

TEMA 77

REGULACIÓN SEMAFÓRICA. OBJETO. REGULACIÓN DE UN CRUCE SEMAFÓRICO: UBICACIÓN EN LA VÍA, CONCEPTO DE FASE, CICLO Y DESPEJE. FUNCIONAMIENTO DE UN CRUCE SEMAFÓRICO. CRUCES SEMIACTUADOS. CRUCES TOTALMENTE ACTUADOS. SINCRONIZACIÓN ENTRE CRUCES. CAPACIDAD DE LAS INTERSECCIONES CONTROLADAS POR SEMÁFORO.

ÍNDICE

1. OBJETO DE LA REGULACION SEMAFÓRICA

1.1 Tipos de semáforos.

2. REGULACION DE UN CRUCE SEMAFORICO

- 2.1. Descripción física de los elementos
- 2.2. Ubicación de los semáforos en la vía
- 2.3. Significado de las indicaciones
- 2.4. Concepto de fase, ciclo, despeje y reparto
- 2.5 Criterios para la instalación de semáforos

3. FUNCIONAMIENTO DE UN CRUCE SEMAFÓRICO.

- 3.1. Cruces a tiempos fijos.
- 3.2. Cruces semiactuados.
- 3.3. Cruces totalmente actuados.

4. SINCRONIZACION ENTRE CRUCES

- 4.1. Sincronización por medio de los mismos reguladores.
- 4.2. Sincronización a través de un equipo diferente a los reguladores.

5. CAPACIDAD DE LAS INTERSECCIONES CONTROLADAS POR SEMÁFOROS

- 5.1. Capacidad de las intersecciones reguladas por semáforos.
- 5.2. Niveles de servicio para intersecciones reguladas por semáforos.

1. OBJETO DE LA REGULACION SEMAFÓRICA

Cuando dos o más vías, de uno o dos sentidos de circulación, se cruzan a un mismo nivel y la intensidad de tráfico es más grande que la que se puede admitir con una regulación de preferencia de paso, la utilización de semáforos se ha mostrado como un medio seguro, económico y eficaz para regular el tráfico. Como inconveniente se producen detenciones y por tanto demora a los vehículos que acceden a la intersección.

Funcionalmente, los semáforos, permiten el paso alternativo de los vehículos desde los distintos accesos que confluyen a la intersección durante un tiempo determinado. Este paso es concedido ordenadamente y se repite en el tiempo de forma cíclica. Cuando los movimientos son "paralelos" o "divergentes", pueden realizarse al mismo tiempo aunque sean de distintos accesos. No pueden realizarse al mismo tiempo cuando son "convergentes" o se "cruzan".

En una intersección puede regularse exclusivamente la circulación de vehículos, pero, de una forma más general y principalmente en zona urbana, suele regularse la circulación de vehículos y peatones.

El principal campo de aplicación de la regulación semafórica, son las zonas urbanas, pero también se recurre a ella en carreteras, especialmente en intersecciones que están cerca de poblaciones, en travesías y en intersecciones peligrosas. En este caso de semáforos en carretera, su colocación siempre deberá ir acompañada de una señalización fija de preaviso de semáforo.

1.1 Tipos de semáforos.

El Reglamento General de Circulación establece los tipos de semáforos en el Título IV: "De la señalización", capítulo VI: "De los tipos y significados de las señales de circulación y marcas viales", Sección 3ª: "De los semáforos".

Clasifica los semáforos en cuatro tipos:

- Artículo 145: Semáforos reservados para peatones.
- Artículo 146: Semáforos circulares para vehículos.
- Artículo 147: Semáforos cuadrados para vehículos, o de carril.
- Artículo 148: Semáforos reservados a determinados vehículos.

Artículo 145: Semáforos reservados para peatones Fig 17.1:

El significado de las luces de estos semáforos es el siguiente:

- a) Una luz roja no intermitente, en forma de peatón inmóvil, indica a los peatones que no deben comenzar a cruzar la calzada.

b) Una luz verde no intermitente, en forma de peatón en marcha, indica a los peatones que pueden comenzar a atravesar la calzada. Cuando dicha luz pase a intermitente, significa que el tiempo de que disponen para terminar de atravesar la calzada está a punto de finalizar y que se va a encender la luz roja

Artículo 146: Semáforos circulares para vehículos Fig 17.2:

El significado de sus luces y flechas es el siguiente:

a) Una luz roja no intermitente prohíbe el paso. Mientras permanece encendida, los vehículos no deben rebasar el semáforo ni, si existe, la línea de detención anterior más próxima al mismo. Si el semáforo estuviese dentro o al lado opuesto de una intersección, los vehículos no deben internarse en ésta ni, si existe, rebasar la línea de detención situada antes aquella.

b) Una luz roja intermitente, o dos luces rojas alternativamente intermitentes, prohíben temporalmente el paso a los vehículos antes de un paso a nivel, una entrada a un puente móvil o a un pontón trasbordador, en las proximidades de una salida de vehículos de extinción de incendios o con motivo de la aproximación de una aeronave a escasa altura.

c) Una luz amarilla no intermitente significa que los vehículos deben detenerse en las mismas condiciones que si se tratara de una luz roja fija, a no ser que, cuando se encienda, el vehículo se encuentre tan cerca del lugar de detención que no pueda detenerse antes del semáforo en condiciones de seguridad suficientes.

d) Una luz amarilla intermitente o dos luces amarillas alternativamente intermitentes obligan a los conductores a extremar la precaución y, en su caso, ceder el paso. Además, no eximen del cumplimiento de otras señales que obliguen a detenerse.

e) Una luz verde no intermitente significa que está permitido el paso con prioridad, excepto en los supuestos a que se refiere el artículo 59.1 de este Reglamento.

f) Una flecha negra sobre una luz roja no intermitente o sobre una luz amarilla no cambia el significado de dichas luces, pero lo limita exclusivamente al movimiento indicado por la flecha.

g) Una flecha verde que se ilumina sobre un fondo circular negro significa que los vehículos pueden tomar la dirección y sentido indicados por aquélla, cualquiera que sea la luz que esté simultáneamente encendida en el mismo semáforo o en otro contiguo.

Cualquier vehículo que, al encenderse la flecha verde, se encuentre en un carril reservado exclusivamente para la circulación en la dirección y sentidos indicados por la flecha o que, sin estar reservado, sea el que esta circulación tenga que utilizar, deberá avanzar en dicha dirección y sentido.

Los vehículos que avancen siguiendo la indicación de una flecha verde deben hacerlo con precaución, dejando pasar a los vehículos que circulen por el carril al que se incorporen y no poniendo en peligro a los peatones que estén cruzando la calzada.

Artículo 147: Semáforos cuadrados para vehículos, o de carril Fig 17.3:

Los semáforos de ocupación de carril afectan exclusivamente a los vehículos que circulen por el carril sobre el que están situados dichos semáforos o en el que se indique en el panel de señalización variable, y el significado de sus luces es el siguiente:

- a) Una luz roja en forma de aspa indica la prohibición de ocupar el carril indicado. Los conductores de los vehículos que circulen por un carril sobre el que se encienda una luz roja de este tipo deberán abandonarlo en el tiempo más breve posible.
- b) Una luz verde en forma de flecha apuntada hacia abajo indica que está permitido circular por el carril correspondiente. Esta autorización de utilizar el carril no exime de la obligación de detenerse ante una roja circular o, por excepción a lo dispuesto sobre el orden de preeminencia en el artículo 133 de este Reglamento, de obedecer cualquier otra señal o marca vial que obligue a detenerse o a ceder el paso, o en su ausencia, del cumplimiento de las normas generales sobre prioridad de paso.
- c) Una luz blanca o amarilla en forma de flecha, intermitente o fija, apuntada hacia abajo en forma oblicua, indica a los usuarios del carril correspondiente la necesidad de irse incorporando en condiciones de seguridad al carril hacia el que apunta la flecha, toda vez que aquél por el que circula va a quedar cerrado en corto espacio.

Artículo 148.- Semáforos reservados a determinados vehículos Fig 17.4:

- 1. Cuando las luces de los semáforos presentan la silueta iluminada de un ciclo, sus indicaciones se refieren exclusivamente a ciclos y ciclomotores.
- 2. Cuando, excepcionalmente, el semáforo consista en una franja blanca iluminada sobre fondo circular negro, sus indicaciones se refieren exclusivamente a los tranvías y a los autobuses de líneas regulares, a no ser que exista un carril reservado para autobuses o para autobuses, taxis y otros vehículos, en cuyo caso sólo se refiere a los que circulen por él. El significado de estos semáforos es el siguiente:
 - a) Una franja blanca horizontal iluminada prohíbe el paso en las mismas condiciones que la luz roja no intermitente.
 - b) Una franja blanca vertical iluminada permite el paso de frente.
 - c) Una franja blanca oblicua, hacia la izquierda o hacia la derecha, iluminada indica que está permitido el paso para girar a la izquierda o a la derecha,

respectivamente.

d) Una franja blanca, vertical u oblicua, iluminada intermitentemente indica que los citados vehículos deben detenerse en las mismas condiciones que si se tratara de una luz amarilla fija.

2. REGULACION DE UN CRUCE SEMAFORICO

2.1. Descripción física de los elementos

El semáforo consta de una serie de elementos físicos y funcionales cuya terminología y definición se enumeran en los párrafos siguientes Fig 17.5.

Se denomina **cabeza** a la armadura que contiene las partes visibles del semáforo. Cada cabeza tiene un número determinado de luces que pueden estar orientadas en distintas direcciones. El conjunto de las luces que están orientadas en la misma dirección se llama **cara del semáforo**. En cada cara del semáforo, existirán como mínimo dos, tres o más unidades ópticas, que están formadas por un emisor luminoso que puede ser una bombilla incandescente o de leds, un reflector cóncavo para concentrar el haz luminoso en una dirección determinada y un vidrio difusor circular, de color denominado lente, cuyo diámetro es generalmente de 20 cm y excepcionalmente de 30 cm cuando se pretende reforzar el efecto de la señal. A estos diámetros puede añadirse los semáforos de 10 cm, llamados de repetición y que se colocan a la altura del conductor en las columnas o los báculos.

Aunque no es imprescindible, se suele colocar una visera encima o alrededor de cada una de las unidades ópticas, con dos propósitos: el primero es el de evitar que, a determinadas horas, los rayos del sol incidan sobre éstas y den la impresión de que están iluminadas: el segundo, es el de impedir que la señal emitida por el semáforo sea vista desde otros lugares distintos a aquél hacia el que está enfocada. Para ambos propósitos lo más aconsejable es que la parte interior de la visera esté pintada de negro mate.

En la figura 17.5 se representan los componentes de un semáforo, descritos anteriormente

Los semáforos se sustentan en columnas o en báculos. Las columnas son soportes bien de acero galvanizado o de fundición de hierro; las de acero son las más extendidas debido fundamentalmente a la diferencia de precio con las de fundición; éstas últimas se suelen instalar en climas húmedos, con ambientes salinos (en ciudades o poblaciones costeras) debido a su mayor resistencia y durabilidad ante condiciones atmosféricas agresivas. Las columnas se fabrican en dos alturas. 2,00 metros y 2,40 metros.

El otro soporte para sustentar los semáforos son los báculos; éstos son siempre de acero galvanizado y están constituidos por dos tramos rectos unidos por un tramo curvo; su altura es de 4,50 metros y el saliente sobre la vertical, denominado brazo, oscila desde 3,50 metros hasta 5,50 metros. Se utilizan los báculos cuando es

necesario que los semáforos se vean a gran distancia, caso de vías de gran velocidad, o bien en caso de que las columnas puedan quedar poco visibles por el arbolado o por vehículos de grandes dimensiones estacionados o simplemente detenidos delante de ellas. Con la longitud del brazo se consigue ubicar la cabeza del semáforo lo más centrada posible en el carril al que va dirigido, que es la posición idónea que deben tener los semáforos aéreos. En las figuras 17.6. y 17.7 se representan las columnas y los báculos respectivamente.

Para lograr una mejor visibilidad de las luces de los semáforos, se instalan unas placas alrededor de las cabezas, denominadas pantallas de contraste (caso de los 2 semáforos más a la derecha en la figura 17.2). Van pintadas en negro mate y con un borde blanco, con objeto de conseguir contraste sobre el horizonte.

Desde los orígenes de la señalización semafórica, los semáforos han funcionado mediante lámparas incandescentes. En la década de los 80 comenzó a emplearse la tecnología LED (Light Emitting Diode) Fig 17.15. Tecnología que ha experimentado una enorme evolución en los últimos 10 años.

2.1.1 Regulador

Para controlar el funcionamiento de los semáforos instalados en un cruce o en dos o más muy próximos, se utiliza un aparato denominado regulador, que sirve para ordenar los cambios de luces a los semáforos instalados en una intersección.

Los reguladores pueden ser electromecánicos, electrónicos o de microprocesador. Se comprende que los semáforos van conectados al equipo regulador a través de los cables eléctricos necesarios para su funcionamiento y control. Por tanto, en la Regulación Automática del Tráfico con Semáforos intervienen dos partes distintas y complementarias a la vez:

- Primero, la ingeniería de tráfico que es quien determina teóricamente la manera en que los semáforos han de funcionar, para conseguir un resultado práctico sobre la circulación de vehículos y personas.
- Segundo, la ingeniería eléctrica, electrónica e informática, que hacen realidad el plan teórico, encendiendo y apagando las lámparas de los semáforos con precisión en el tiempo y realizando todas las funciones complementarias necesarias.

El regulador tiene por función primaria el encendido y apagado de todas las lámparas de los semáforos, aunque también puede controlar el encendido y apagado de señales de información variable y de señales ocultas.

El encendido y apagado de las lámparas se realiza de acuerdo con el PLAN DE TRAFICO que determina los movimientos de tráfico autorizados que se realizan en la intersección, su orden y el tiempo de duración que tiene cada uno de ellos.

Los reguladores pueden ser autónomos, sincronizables o centralizables. En el primer caso, funcionan aislados sin enviar ni recibir señales a ningún otro regulador. En el segundo han de ser capaces de enviar y de recibir señales de sincronismo. En el tercer caso han de estar equipados con el interface y el protocolo de comunicaciones adecuado para recibir y enviar las señales de control y de información del sistema.

Los reguladores pueden ser a tiempos fijos, actuados o semiactuados, si bien los modernos reguladores basados en el microprocesador, suelen funcionar indistintamente en cualquiera de las tres formas.

El regulador deberá constar, al menos, de las siguientes partes:

- Fuente de alimentación con fusible de entrada.
- Módulo central con los elementos de cálculo y control memorias, etc.
- Módulos de salida, en un número variable de ellos, que incorpora los elementos encargados de suministrar la potencia a las lámparas.
- Módulo de comunicaciones para comunicarse con el sistema de C.T. u otros reguladores.

Los reguladores van instalados dentro de armarios metálicos de doble chapa, preparados para estar a la intemperie y, en función del modelo, pueden llevar ventilador, luz, toma de tensión, etc. así como la regleta de conexión de los cables de semáforo.

2.1.2 Detector

Se denomina detector - en ingeniería de tráfico- a todo dispositivo que registra y transmite cualquier información referente a determinada característica o parámetro del tráfico - intensidad, velocidad, densidad, ocupación-, de la vía.

Tradicionalmente se han utilizado las espiras insertadas en el pavimento, fácilmente destruibles por los equipos de mantenimiento en campañas de fresado. Estas espiras pueden ser sustituidas por equipos basados en visión artificial, que proporcionan los parámetros anteriormente citados, pero cuyo mayor inconveniente es un coste muy superior.

Un detector es - cualquier dispositivo capaz de registrar y transmitir los cambios que se producen, o los valores que se alcanzan, en un determinado parámetro del tráfico o de la vía.

Son numerosísimas las variantes que pueden encontrarse en el mercado, y por ello se describen solamente las que han alcanzado mayor difusión.

Detectores de presión:

Consisten esencialmente en una plancha de caucho en cuyo interior se sitúan dos láminas metálicas, muy cerca una de la otra, que establecen contacto cuando pasa una carga sobre la plancha. Todo ello va colocado en la parte superior de una plataforma de hormigón o metálica que se empotra en el pavimento.

Puede conseguirse una detección direccional si en vez de las dos láminas metálicas se ponen cuatro, enfrentadas dos a dos.

Detectores de lazo:

Llamados así por estar constituidos por un bucle, lazo o espira metálica que se empotra en el pavimento y se conecta a un amplificador. Detecta la variación de

inductancia que se produce cuando pasa un vehículo por encima de la espira.

Detectores de radar y similares:

Constan de un aparato emisor y otro receptor de ondas electromagnéticas y generalmente se suspenden sobre la vía o se colocan lateralmente a ella.

Están basados en el efecto Doppler que se produce al chocar un tren de ondas contra algo que se mueve.

Los detectores basados en la propagación de las ondas, son muy similares en su funcionamiento a los de radar. Entre ellos se pueden destacar especialmente los ultrasónicos y también los fotoeléctricos y los neumáticos. También se pueden utilizar detectores basados en los rayos Laser.

2.2. Ubicación de los semáforos en la vía

La cabeza del semáforo puede estar situada sobre la vía, o en los bordes de ésta. En el primer caso se cuelga del brazo de un báculo. Naturalmente la parte inferior del semáforo debe estar por encima de la altura máxima permitida a los vehículos que circulen por la zona. En España esta altura es de 4 m. por lo que la altura libre deberá ser de 4,50 m. como mínimo. Cuando el semáforo está colocado fuera de la calzada, lo normal es que esté montado sobre una columna, aunque puede estar adosado a otras columnas ya existentes como, por ejemplo, las del alumbrado, aunque no es lo recomendable.

En cuanto a la situación del semáforo parece haberse llegado universalmente a la conclusión de que el tipo más sencillo, más económico y que ofrece al mismo tiempo mejores condiciones de visibilidad es el suspendido.

Es aconsejable, que, si las condiciones de la intersección lo permiten existan por lo menos dos semáforos para cada dirección, exhibiendo la misma luz. Las ventajas de ello son evidentes, pues si un vehículo de grandes proporciones impide la visión de uno de los semáforos o si se funde una bombilla del mismo, siempre queda otro visible. La necesidad de repetir el semáforo crece con la intensidad del tráfico, la velocidad, la anchura de la calzada y la proporción de vehículos pesados.

Hay dos formas de disponer los semáforos en una intersección. La primera consiste en que las caras de los semáforos cuyas indicaciones deben obedecerse se colocan una vez pasado el cruce, es decir, que entre el semáforo y la línea de detención queda toda la intersección. La segunda consiste en situar el semáforo justamente antes de entrar en la intersección (Fig. 17.8.). Ambos sistemas tienen ventajas e inconvenientes.

El primer sistema, muy utilizado en Norteamérica, tiene la ventaja de que hay menos posibilidades de que un semáforo quede oculto por un camión o autobús y de que en el momento de arrancar, la visibilidad es mejor pues el ángulo -tanto vertical como horizontal- desde el que se ven las luces roja, verde y amarilla, es menor que

cuando los semáforos están antes del cruce.

El segundo sistema, usado en España y en otros muchos países, tiene las siguientes ventajas:

1. Delimita más claramente el lugar donde tienen que parar los vehículos.
2. En intersecciones complicadas no es posible, en general utilizar más que este sistema.
3. Los semáforos situados conforme al segundo sistema son fácilmente comprendidos por los habituados al primer sistema, mientras que lo contrario no es cierto. Ante el primer sistema, muchos conductores reaccionarían deteniéndose dentro de la intersección.

Se discute con frecuencia sobre si el semáforo debe colocarse antes o después de los pasos de peatones, es decir, si ha de ponerse éste inmediatamente detrás de la línea de detención o dejando entre ésta y el semáforo los cuatro o cinco metros que constituyen el paso de peatones.

Hay dos factores que están a favor de la situación “detrás” del paso de peatones. Observando la fig. 15.9. puede apreciarse que el ángulo desde el que se ve el semáforo es siempre menor para el B que para el A, por lo que es más aconsejable aquél que éste. La misma figura anterior hace innecesarios los comentarios sobre cual de las dos situaciones ofrece mayores garantías para que la visión no quede interrumpida por un camión, un autobús o simplemente un furgón.

Sin embargo, cuando se instala el semáforo en el punto B es imprescindible que se mantenga en perfectas condiciones de pintura el paso de peatones, o, cuando menos la línea de parada, pues de lo contrario los vehículos se detendrían en la zona destinada a los peatones.

La altura a que debe colocarse la cabeza del semáforo viene obligada por diversos factores, entre los que destacan la distancia entre aquella y la línea de detención y el ángulo de visibilidad vertical del parabrisas del automóvil.

Cada vehículo tiene unas características geométricas propias que, en lo referente a la visibilidad, quedan modificadas por las características del conductor en cuanto a altura sobre el asiento y distancia horizontal al parabrisas.

Si el ángulo de visibilidad medio de un automóvil es α y las distancias desde los ojos del conductor al suelo y al parabrisas del automóvil son h y l respectivamente, y si el semáforo tiene una altura total H y la línea de detención dista de él una longitud L (Fig. 15.10.), resulta que:

$$L = \frac{H-h}{\operatorname{tg} \alpha} - l$$

Si se supone que el ángulo de visibilidad vertical es de unos 20° , l es 1,50 m. y $h = 1,25$ m. con el tipo de semáforo más corriente en España, cuya altura está comprendida entre 3,20 y 3,50 m., L debe ser igual a unos 4,5 m., lo que en muy pocas ocasiones se cumple cuando no hay un paso de peatones por medio, siendo preciso instalar en ese caso repetidores a una altura de poco más de un metro.

2.3. Significado de las indicaciones

Las luces verde y roja significan respectivamente, la autorización y prohibición de pasar. Con la luz roja, los vehículos deben detenerse inmediatamente detrás de la línea de parada si ésta existe, o junto a la vertical del semáforo en el caso de que no esté marcada en el pavimento.

Internacionalmente se admite que la luz amarilla aparezca sola después de la verde y antes de la roja, o junto a la roja, inmediatamente antes de la verde

La luz amarilla intermitente sirve para advertir a todos los usuarios de la vía que deben proceder con una prudencia especial. En ningún caso indica la obligación de parar o de ceder el paso, aunque si va acompañada de una señal que sí lo exige, sirve para llamar la atención del conductor sobre dicha señal.

En muchos casos es necesario discriminar entre los vehículos que llegan a una intersección y se dirigen hacia puntos distintos. Cuando esto ocurre, pueden producirse una de las dos situaciones siguientes: que se permita el paso a los vehículos que efectúan un movimiento con la obligación de ceder el paso a los vehículos y peatones que encuentren durante su recorrido por la intersección o que ese movimiento parcial se efectúe sin ninguna restricción.

En el primer caso - se trata de un movimiento de "filtración" - puede indicarse el movimiento con una flecha verde sobre fondo negro, inscrita en el círculo de una unidad óptica combinada con la luz roja para el tráfico principal.

Cuando se trata de movimientos sin restricción alguna y se requiere independizar unos de otros, es conveniente utilizar el sistema de flechas en las luces roja y amarilla de un semáforo adjunto. En este último caso, las flechas deberán ser negras y opacas y estar situadas sobre las luces amarilla o roja, indicándose entonces que el significado de la señal se limita a las direcciones marcadas por las flechas. Un ejemplo de lo anterior se esquematiza en la figura 17.11.

Si bien en los semáforos destinados exclusivamente a los vehículos se ha conseguido una relativa uniformidad, no ha sucedido así con los destinados a los peatones. De entre la gran variedad de semáforos para peatones destacan los consistentes en una luz roja que tiene la forma de un peatón inmóvil visto de frente y otra luz verde situada inmediatamente debajo de la anterior con la forma de un peatón en posición de marcha, visto de perfil. En los actuales de LED el peatón en verde se encuentra en movimiento con el número de segundos que le quedan para el rojo. No es recomendable el uso del color amarillo ya que los peatones no tienen el problema de la

distancia de frenado. Sin embargo, como existe el problema del tiempo de despeje, es aconsejable conseguir éste por medio de la luz verde que pasa a intermitente y a continuación la luz roja. La luz roja de peatones no obliga a parar sino a no iniciar el cruce; su duración dependerá por tanto de la anchura de la calzada y de la velocidad de marcha que se suponga en el peatón. Si existe un refugio intermedio, la anchura que habrá de considerarse es la que haya entre el bordillo de la acera y el del refugio.

2.4. Concepto de fase, ciclo, despeje y reparto

Se llama **ciclo** al tiempo transcurrido desde el cambio de un grupo semafórico hasta la repetición de dicha situación después de realizarse una secuencia de maniobra completa en los semáforos conectados a un mismo regulador.

Se denomina **fase** a cada una de las divisiones del ciclo durante la cual la configuración de colores de todos los grupos semafóricos permanece invariable.

El término **despeje** se refiere al tiempo necesario para que los vehículos que han accedido a la intersección por uno de los ramales o calles, salgan de la zona de intersección y la dejen totalmente libre para que entren en la misma los vehículos de otros ramales sin que exista peligro de colisión de los mismos.

Por último, **reparto del ciclo** es la división del tiempo del ciclo entre cada una de las fases que integran la estructura de regulación propia del plan de tráfico operativo.

2.4.1. Determinación de las fases.

La determinación de las fases, es decir de los movimientos que pueden darse simultáneamente, no puede sujetarse a reglas fijas, sino que dependerán, en general, de las características del tráfico y del trazado de la intersección. Como las fases de funcionamiento condicionan la situación de los semáforos, el ciclo y la duración de cada indicación, es muy deseable que no se estudie la ordenación de una intersección independientemente del funcionamiento de los semáforos.

Los criterios que deben presidir el estudio de las fases son los siguientes:

- 1º. El número de fases debe ser lo menor posible. Con ello se reducen al mínimo los tiempos perdidos en cada ciclo.
- 2º. El número de movimientos simultáneos--sin conflicto entre sí debe ser máximo.
- 3º. El recorrido dentro de la intersección se procurará que sea lo más corto posible. Así se logran unos tiempos de despeje más cortos.
- 4º. Cuando un ciclo se divide en más de dos fases es necesario considerar el orden en que se producen, ya que ello influye en la seguridad y rendimiento de la intersección.

5°. Cuando durante la fase de peatones, tanto el número de éstos como el de vehículos que tratan de salir de la intersección no será muy elevado, puede permitirse el paso de ambos asignando la preferencia a los peatones. Si uno de los dos movimientos es relativamente importante, hay que considerar unas fases que los separen totalmente, ya que en caso contrario podría resultar peligroso para los peatones o producirse colas que bloqueen la intersección

Un ejemplo de cómo puede reducirse el número de fases cambiando la disposición en planta de la intersección, aparece en la figura 17.12, que suele ser una solución conveniente cuando el tráfico que continúa de frente en una de las calles es predominante.

2.4.2. Calculo del ciclo y del reparto

Reparto de tiempos verdes

Independientemente de lo que resulte de los cálculos, la duración del ciclo tiene que estar forzosamente comprendida entre los límites que fija la psicología del conductor. La práctica indica que ciclos menores de 35 segundos o mayores de 120 se acomodan difícilmente a la mentalidad del usuario de la vía pública

En gran parte de los casos, la proximidad entre intersecciones obliga a que se adopte una misma duración de ciclo. Cuando las distancias entre intersecciones son grandes, es posible elegir ciclos distintos, pues se produce una dispersión de los vehículos que circulaban agrupados.

El caso más sencillo es aquél en que se pretende repartir un ciclo de una duración dada entre dos calles con una intensidad de tráfico conocida; para resolver el caso más desfavorable, se toma la que corresponde a los 15 minutos punta. La primera aproximación, que en muchos casos es suficiente, consiste en repartir el ciclo proporcionalmente a las intensidades máximas por carril de cada calle.

En este caso se tendría que

$$\frac{T_a}{T_b} = \frac{I_a}{I_b}$$

$$T_a + T_b = C$$

donde I_a , I_b = Intensidades máximas por carril en las calles A y B respectivamente.

T_a , T_b = Tiempos de verde correspondientes a cada calle.

C = Duración del ciclo en segundos.

Como casi siempre el tráfico tiene unas características diferentes en cada calle, conviene tener también en cuenta el intervalo más frecuente con que se suceden los

vehículos en cada vía. En ese caso se hacen proporcionales los tiempos verdes al producto de las intensidades por carril y el intervalo más frecuente de los vehículos en cada calle:

$$\frac{T_a}{T_b} = \frac{I_a \cdot E_a}{I_b \cdot E_b}$$

$$T_a + T_b = C$$

donde E_a y E_b son los intervalos más frecuentes observados en las calles A y B, respectivamente.

El reparto así obtenido no se puede adoptar sin más análisis. En muchos casos hay que tener en cuenta el tiempo mínimo necesario para que los peatones atraviesen la calzada. Si ese tiempo mínimo es mayor que el tiempo de paso asignado al movimiento que se realiza simultáneamente con el paso de peatones, habrá que modificar el reparto o el ciclo hasta que los peatones tengan tiempo suficiente para cruzar.

Duración del tiempo amarillo

La utilización de la luz amarilla entre la verde y la roja se debe a que no es posible detener instantáneamente un vehículo. Su finalidad es la de avisar al conductor que va a aparecer la luz roja y que, por tanto, debe decidir si tiene tiempo para pasar antes de que se encienda o si, por el contrario, no lo tiene y ha de frenar.

En muchos tratados de ingeniería de tráfico se hace el cálculo de la duración del amarillo basándose en los dos supuestos siguientes:

1. El tiempo de amarillo será igual o superior al requerido para frenar antes de la línea de detención.
2. Si se ha entrado en la intersección, dará tiempo a atravesarla antes de que se encienda la luz roja.

Para que en todo momento se cumplan ambos supuestos habrá de tomarse siempre el mayor de los valores que resulte de calcular el tiempo de amarillo con ambos criterios.

El primer supuesto exige que sea

$$t_1 = R + 2d/v \quad (1)$$

en donde t_1 es el tiempo de frenado, R el tiempo de percepción y reacción, v la velocidad de un vehículo representativo y d la distancia de frenado; se parte de la base, no exacta pero aceptable, de que la deceleración es constante.

Si la anchura de la intersección es a , el tiempo t_2 necesario para reaccionar,

llegar a la intersección y atravesarla a la velocidad v será:

$$t_2 = R + d/v + a/v \quad (2)$$

Como la distancia de frenado es proporcional al cuadrado de la velocidad, cuando ésta sea baja, el tiempo de amarillo vendrá dado por la anchura de la intersección. Tomando velocidades cada vez mayores se llegará a un punto en que la distancia determinante sea la de frenado.

A pesar de que los criterios antes indicados parecen muy razonables, como con la aplicación de las fórmulas (1) y (2) se llega generalmente a tiempos de amarillo muy largos, la mayoría de los autores recomiendan reducirlo a 3 ó 4 segundos, ya que la práctica indica que los valores teóricos generalmente obtenidos son menos eficaces que los más reducidos aconsejados por la experiencia. La razón de esta contradicción se encuentra probablemente en el hecho de que el cálculo teórico no tiene exactamente en cuenta lo que ocurre en la realidad.

La introducción de los tiempos de “todo rojo” hacen innecesario incluir en el amarillo el tiempo de despeje, con lo cual el único valor que cuenta es el del tiempo de frenado. Supóngase un conductor que ve encenderse la luz amarilla. Si su distancia a la línea de parada es inferior a la mínima de frenado deberá proseguir. Si es igual o superior, podrá parar y el tiempo mínimo t_a que necesitará para hacerlo será:

$$t_a = 2d/v + R$$

si a pesar de poder frenar a tiempo decide no hacerlo y continúa con la velocidad que llevaba, tardará t_b segundos en alcanzar la línea de parada y se tendrá que

$$t_b = d/v + R \quad \text{y como } t_a - t_b = d/v, \quad \text{será siempre } t_a > t_b$$

o lo que es lo mismo, si la duración del amarillo es igual al tiempo de frenado, como la teoría tradicional aconseja, habrá un período de tiempo (d/v) en que el conductor podrá elegir entre detenerse o seguir sin obedecer a la luz roja. El resultado de esa posibilidad de elección será que una inmensa mayoría optará por seguir, ya que es lo que menos esfuerzo requiere y lo que más tiempo ahorra.

Cuanto menor sea el intervalo en que pueden tomarse decisiones contrapuestas, es mayor la seguridad de funcionamiento. Como lo que realmente importa es la distancia de frenado y no el tiempo, la luz amarilla debe encenderse de forma que si en ese momento hay un vehículo situado a una distancia superior a la de frenado tenga que parar forzosamente y si está a una distancia menor, mantenga su velocidad y pase. Para ello (Fig. 17.13.) el tiempo en amarillo será el que se tarde en recorrer la distancia d , a la velocidad v . es decir:

$$t = d_1/v + R$$

Puesto que la distancia de frenado depende a su vez de la velocidad y está ligada a ella por una relación de tipo

$$d_1 = v^2/K$$

en la que K es una constante que tiene en cuenta el coeficiente de rozamiento

$$t = \frac{v^2}{K \cdot v} + R ; \text{ es decir, } t = \frac{v}{K} + R$$

Un valor perfectamente posible de la constante podría ser $K = 10$, con lo que:

$$t = \frac{v}{10} + R$$

que para una velocidad de 60 km./h. (16,6 m./seg.) y un tiempo de reacción de 1,5 segundos da una duración del amarillo de 3,16 segundos, que está de acuerdo con la práctica habitual.

La tendencia general es llegar a una duración del amarillo uniforme, con lo cual los conductores reaccionarán siempre de la misma forma y las únicas variables que intervendrán en su decisión serán la distancia a que se encuentran del semáforo y la velocidad a que circulan.

Solamente en vías de gran velocidad puede recurrirse a tiempos de amarillo un poco más largos, aunque en estas vías no abundan los semáforos a no ser en puntos donde cambia el carácter de la calle o carretera, que suelen ser muy peligrosos y conviene preseñalizar adecuadamente.

La duración del amarillo, es un factor que hay que tener en cuenta, pues en los ciclos cortos puede llegar a representar un porcentaje apreciable del tiempo total. Con un tiempo amarillo de 3 segundos y un ciclo de 30, el semáforo está el 10 por 100 del tiempo en amarillo, mientras que si el ciclo es de 90 segundos sólo lo está el 3,3 por 100.

Longitud del ciclo

Puesto que el tiempo de salida de un vehículo es mayor que el intervalo medio entre varios en movimiento, a mayor cantidad de ciclos por hora--es decir, a menor ciclo-- se efectuarán mayor número de arrancadas y, por consiguiente, se acumularán mayores pérdidas de tiempo.

A pesar de lo anterior, casi siempre se procura obtener un ciclo lo más corto posible, ya que con ello se suelen reducir los tiempos de espera, aunque la capacidad disminuya con la duración del ciclo.

Un método bastante exacto para el cálculo de la longitud del ciclo es el siguiente:

Sea I_i la intensidad que se registra en cada uno de los 1,2,...,i, ...n accesos a la intersección y C_i la capacidad de los mismos.

Para cada uno de estos movimientos se necesitarían como mínimo:

$$\frac{I_i}{C_i} \text{ C segundos}$$

siendo C la longitud del ciclo también en segundos. Como hay que tener en cuenta que en cada ciclo se pierde un tiempo P_i en reaccionar, arrancar, frenar y despejar la intersección, el tiempo que habrá que asignar a cada movimiento será:

$$T_1 = P_1 + \frac{I_1}{C_1} C$$

$$T_2 = P_2 + \frac{I_2}{C_2} C$$

$$T_n = P_n + \frac{I_n}{C_n} C$$

y como la suma de todos los tiempos asignados a cada movimiento (o conjunto de movimientos simultáneos) es igual al ciclo:

$$C = \sum_{i=1}^n P_i + C \sum_{i=1}^n I_i / C_i$$

Si llamamos P_t a la suma de todos los tiempos perdidos e Y a la suma de todas las relaciones intensidad-capacidad, se podrá escribir:

$$C = P_t + CY$$

o lo que es lo mismo:

$$C_{\min} = P_t / 1 - Y$$

que es, medido en segundos. el ciclo más corto con que puede funcionar una intersección regulada por semáforos. Habrá que tratar, por tanto, de que el ciclo esté algo por encima del valor dado por la fórmula anterior ya que de lo contrario, la congestión aumentaría rápidamente al producirse cualquier incidencia.

A este respecto y según Webster el ciclo que produce las menores demoras en el conjunto de los usuarios, llamado también ciclo óptimo, es:

$$C_o = \frac{\frac{1,5 \sum_{i=1}^n P_i + 5}{1}}{1 - \sum_{i=1}^n I_i / C_i} = \frac{1,5 P_t + 5}{1 - Y}$$

Cuando una misma fase da lugar a dos o más movimientos, cada uno de ellos presentará una relación I/C distinta. El valor que debe tomarse para el cálculo, como representativo de esa fase será el del movimiento en que la relación intensidad / capacidad sea más alta.

2.4.3.- Regulación semafórica desde una sala de control.

En una sala o centro de gestión de tráfico se centraliza toda la información que puede obtenerse del estado del tráfico por varios medios; por los detectores instalados en la calzada, por medio de cámaras de televisión instaladas en grandes mástiles, e incluso por indicación de agentes de policía. Esta información una vez procesada por ordenadores permite modificar los ciclos implantados en los reguladores.

La información enviada llega a una central de zona que a su vez la distribuye a los reguladores que de ella cuelgan. Esta información una vez recibida en cada regulador modificará los ciclos para producir el efecto que desde la sala ha ordenado el operador.

Una de las funciones más importantes de la regulación semafórica en las grandes ciudades es la disminución de las paradas en los cruces semafóricos con el fin de disminuir los tiempos de recorrido y actualmente, disminuir la contaminación atmosférica y el gasto energético.

Debe conseguirse una coordinación de los semáforos instalados en una vía de tal forma que gracias a un desfase en la aparición de los verdes sucesivos nos permita llegar al siguiente semáforo en verde. Lo que se llama “onda verde”.

2.5 Criterios para la instalación de semáforos

La instalación de semáforos en vías preferentes supone una disminución de la prioridad de paso ya que ésta queda limitada a unos ciertos intervalos de tiempo. Por esta razón las instalaciones semafóricas no deben efectuarse más que cuando contribuyan realmente a mejorar la fluidez y la seguridad del tráfico.

Las normas más conocidas para la instalación de semáforos, son las de Estados

Unidos, que se resumen a continuación:

Norma 1. Intensidades mínimas requeridas

Es recomendable instalar semáforos cuando se exceden simultáneamente y durante al menos ocho horas de un día medio las intensidades indicadas en la tabla 15.1.

Una alternativa a los valores establecidos por las normas americanas (tabla 15.1) puede ser aplicar la curva de la figura 15.14, que establece un criterio en función de la IMD de las vías que se cortan. Conviene tener en cuenta que en las intersecciones que, por su intensidad de tráfico, quedan a la derecha de la curva de la citada figura, no es forzoso --y a veces ni siquiera recomendable-- la instalación de semáforos, siendo preferible muchas veces aplicar otras medidas de ordenación de la intersección.

Norma 2. Demoras

Cuando las vías secundarias no alcanzan las intensidades marcadas por la norma 1, puede ocurrir que el tráfico que circula por ellas se vea obligado a esperar durante largos períodos de tiempo o a cruzar con peligro.

En este caso se recomienda la instalación de semáforos si se exceden durante ocho horas de un día medio las intensidades indicadas en la tabla 15.2., y siempre que se tenga la seguridad de que los nuevos semáforos no perturbarán gravemente el tráfico en la vía principal.

Norma 3. Peatones

Según esta tercera norma los semáforos deben instalarse cuando se superen simultáneamente durante 8 horas cualesquiera de un día normal las siguientes cifras:

- a) 600 vehículos por hora en total (ambos sentidos).
- b) 150 peatones por hora.

Cuando se trata de cruces de peatones en los que los principales usuarios son los niños de alguna escuela próxima, se varía el criterio y se reconoce la necesidad de instalar semáforos cuando en un día normal se presentan las tres condiciones siguientes:

- a) Hay más de 250 peatones por hora durante 2 horas no necesariamente consecutivas.
- b) Durante esas mismas 2 horas la calle registra una intensidad igual o superior a los 800 vehículos / hora.
- c) No hay ningún cruce con semáforos a menos de 300 m. del punto donde se

discute la posible instalación.

Si se trata de una intersección aislada o cuando el 85 por 100 de los vehículos circulan a velocidad superior a 60 km/h, los límites anteriores se pueden reducir en un 70 por 100.

Los criterios europeos generalmente tienden a proteger algo más al peatón que las normas americanas.

Naturalmente, los semáforos instalados por causa de los peatones deben estar regulados de tal forma que, en ausencia de éstos se dé la máxima prioridad a la vía principal, lo que se consigue, por ejemplo, con reguladores semiaccionados con pulsador para peatones.

Norma 4. Accidentes

Los semáforos no siempre reducen los accidentes. Si los que se producen en la intersección son claramente evitables con la instalación de semáforos -y no con otras medidas, como mejorar la visibilidad, limitar la velocidad, prohibir algunos giros, mejorar la señalización fija, o instalar isletas o refugios- aquella viene indicada cuando:

- a) Durante un período de 12 meses consecutivos haya habido un número de accidentes cuyo coste en daños personales o materiales, se puede cuantificar económicamente.
- b) Además de lo anterior, las intensidades de peatones y vehículos son superiores al 80 por 100 de lo exigido en las normas 1, 2 y 3.

Las normas anteriores sólo pueden tener un valor indicativo y por tanto en cada caso se necesita contar con el criterio del ingeniero de tráfico que conozca la zona.

Hay que recalcar que está demostrado que cuando se instalan semáforos en cruces con intensidades menores que las mínimas indicadas, lo normal es que aumenten las demoras e incluso el número de accidentes.

Una vez decidida y llevada a efecto la instalación de semáforos es conveniente que cuando el tráfico baje lo suficiente, aquellos funcionen en amarillo intermitente. Como es lógico esto será siempre que esta disminución del tráfico dure un tiempo mínimo. Así durante “las horas bajas” se tendrá un funcionamiento más eficiente.

Las normas sobre semáforos están basadas en una regulación por tiempos fijos. Los semáforos de tiempos variables pueden instalarse con menos tráfico, pero es difícil dar reglas fijas por la gran variedad de tipos de regulación flexible. De todas formas, aunque las intensidades de tráfico sean altas, los semáforos variables están especialmente indicados cuando el tráfico es muy distinto a lo largo del día para los movimientos que se cruzan.

3. FUNCIONAMIENTO DE UN CRUCE SEMAFÓRICO.

Los semáforos de una intersección pueden funcionar de dos formas diferentes:

- A tiempos fijos.
- Actuados por el tráfico.

Se dice que un cruce semafórico funciona a tiempos fijos, cuando el tiempo que tiene cada acceso se repite invariablemente.

En los cruces actuados, el derecho de paso viene determinado por la demanda del tráfico en cada uno de los accesos por medio de detectores convenientemente instalados o, bien, a través de pulsadores cuando la demanda la realizan los peatones.

En la regulación actuada hay que distinguir dos modalidades:

- La actuación total.
- La semiactuación.

En la actuación total no existe ningún acceso preferente con respecto a las demás y los cambios se realizan según la demanda producida en los accesos, sin más restricción que el orden de la demanda y un tiempo máximo por acceso. La actuación total es poco utilizada en la práctica.

En los cruces semiactuados uno de los accesos se considera principal y el resto secundarios. El acceso principal está normalmente en verde y el resto en rojo. Cuando en uno de los accesos secundarios se detecta una demanda, se corta el verde del acceso principal y se da verde al acceso que tiene demanda. Una vez servido éste, el acceso principal se pone nuevamente en verde. Cuando hay demanda en más de un acceso secundario, se concede derecho de paso de acuerdo con un orden establecido en el regulador, retornando siempre al verde del acceso principal. En caso de demanda continuada el regulador semiactuado funcionaría exteriormente como un regulador de tiempos fijos.

3.1. Cruces a tiempos fijos.

Los reguladores a tiempos fijos no hacen sino cumplir monótonamente lo que previamente se les ha ordenado, sin depender para nada de las variaciones en intensidad, velocidad o composición que, a lo largo del tiempo, se producen en el tráfico. Para poder acomodarse a esas variaciones se introdujeron modificaciones que mejoraban la adaptabilidad de los reguladores de tiempos fijos, llegando al diseño de los reguladores accionados por el tráfico, cuyo primer elemento indispensable es el detector.

Se puede intervenir en el funcionamiento de un regulador a tiempos fijos modificando de una manera u otra la duración de alguna de sus funciones. Así por ejemplo es

relativamente fácil acelerar o retardar el ciclo o simplemente pararlo en el momento adecuado para prolongar una de las fases. Es más efectivo yuxtaponer en uno solo varios reguladores a tiempos fijos. Cada uno de ellos funcionará cuando sea seleccionado manualmente o por medio de un reloj. De esta última manera, lo que en realidad se tiene es una serie de programas fijos para varias situaciones de tráfico típicas y previsibles.

3.2. Cruces semiactuados.

Los semáforos situados en intersecciones aisladas y cuyos cambios obedecen a las variaciones que se producen en el tráfico se llaman “accionados”. Pueden no estar accionados por todo el tráfico y entonces se les denomina “semiaccionados”, porque solamente tienen en cuenta una parte del tráfico, generalmente la menos importante. Este tipo de regulación suele instalarse cuando se trata de un cruce de una calle de relativa importancia con otra, que se considera menos importante. Los detectores se colocan en la vía secundaria y el regulador da paso libre a dicha vía siempre que, además de producirse una detección, se haya agotado el tiempo mínimo de verde asignado a la vía principal.

Un caso especial de funcionamiento semiaccionado es el de paso de peatones con pulsador, en el que el tráfico secundario está constituido por los peatones.

3.3. Cruces totalmente actuados.

En los semáforos accionados, todo el tráfico que llega a la intersección es detectado y los tiempos se reparten de acuerdo con unos determinados criterios. Es posible, con este tipo de regulación, fijar entre ciertos límites algunas de las partes que componen el ciclo total. Una vez descrito con detalle el funcionamiento de un regulador totalmente accionado por el tráfico, es muy fácil comprender como actúa un regulador semiaccionado, ya que este segundo no es más que una simplificación del primero.

En la figura se representan los diversos tiempos variables que componen el tiempo total de una de las fases con que funciona la intersección.

El comienzo de la primera fase (Fase A) tiene lugar cuando el vehículo pasa sobre el detector o cuando el regulador indica que un vehículo que no pudo atravesar la intersección durante el ciclo anterior está esperando recibir la luz verde para atravesarla. En primer lugar aparece el tiempo inicial, cuya fijación debe hacerse teniendo en cuenta que sirve para que el conductor del primer vehículo reaccione y tenga tiempo para atravesar la intersección a la marcha no muy rápida que se obtiene al arrancar. A medida que se siguen produciendo detecciones, el regulador alarga el tiempo de verde en fracciones fácilmente prefijables, a las que puede llamarse prórroga por vehículo. En el momento que exista demanda para cruzar en otra fase, empieza a contar el tiempo máximo que podrá o no agotarse totalmente. Caso de que se agote sin

que dé tiempo a que pasen todos los vehículos, empezará a contar el tiempo máximo para la fase B y se pasará de nuevo a la fase A en la primera oportunidad.

Hay que advertir que los tiempos máximos y mínimos, así como las prórrogas que se fijan en el regulador, no tienen por qué ser iguales en ambas fases.

Para poner a punto este tipo de reguladores es aconsejable hacerlo en horas punta, con lo que cuando baje el tráfico funcionarán perfectamente. Normalmente el cálculo del tiempo máximo de verde se hará como si se tratase de un regulador de tiempos fijos cuyo funcionamiento se previese para un tráfico en el que coincidiesen las horas punta de cada movimiento.

La experiencia indica que a falta de datos con los que poder hacer un buen estudio, se consigue un mejor funcionamiento fijando unos tiempos más bien bajos.

Cuanto más lejos estén los detectores (siempre dentro de ciertos límites) más “sensible” parecerá la regulación. Sin embargo como los vehículos almacenados entre el detector y la línea de detención tienen que poder atravesar el cruce durante el “tiempo mínimo”, cuanto más lejos esté el detector mayor tendrá que ser ese tiempo mínimo, con el consiguiente perjuicio para esa misma sensibilidad en la regulación.

El procedimiento descrito corresponde a reguladores accionados solamente por la intensidad del tráfico. Hay otros aparatos que, además, tienen en cuenta el número de vehículos que están parados, así como el tiempo que lo están; también consideran los intervalos entre unos vehículos y otros, es decir, consideran la densidad del tráfico.

Con una regulación por intensidad-densidad conviene que los detectores, situados en todos los accesos, estén algo más alejados de la intersección que en el caso de regulación sólo por intensidad.

Los sistemas que tienen en cuenta la densidad están muy indicados cuando se trata de intersecciones muy sobrecargadas o cuando, por cualquier razón, el tráfico llega irregularmente y formando grupos más o menos compactos. En este último caso, la ventaja es clara, pues los automóviles agrupados representan una densidad alta, con lo que consiguen fácilmente más tiempo de paso o, por lo menos, una reducción importante en el tiempo de espera.

Comparación entre los semáforos accionados y los no accionados

Siempre que sea aconsejable la instalación de semáforos, es preferible que su regulación, al menos en cierta medida, pueda depender del tráfico.

Un ejemplo claro en que debe escogerse el semáforo accionado es el de aquellos puntos en los que la instalación viene obligada exclusivamente por los peatones y éstos pasan a intervalos muy irregulares.

A pesar de todo conviene poner de manifiesto que los semáforos no accionados tienen algunas ventajas:

- a) Proporcionan una mejor coordinación con los de las intersecciones adyacentes,

debido a la constancia de su ciclo y su reparto.

- b) El funcionamiento de los semáforos no se ve nunca afectado por anomalías en el detector, como pueden ser unas obras o un vehículo averiado.
- c) En general dan mejor resultado en lugares donde constantemente hay grandes masas de peatones.
- d) Por lo común son más económicos.

Como contrapartida de lo anterior se puede indicar una serie de ventajas a favor de los semáforos accionados. Entre ellas destacan las siguientes:

- a) Son más eficaces cuando existen fluctuaciones de tráfico de previsión imposible o difícil.
- b) Pueden ser mejores en intersecciones donde haya movimientos esporádicos o cuya intensidad varía mucho a lo largo del día.
- c) Su rendimiento es claramente mejor en los cruces de vías de muy poca importancia con otras que la tienen relativamente grande.
- d) En los lugares donde los semáforos de tiempos fijos deben ser puestos en destellos durante varias horas por falta de tráfico, los accionados son más adecuados.

4. SINCRONIZACION ENTRE CRUCES

Hasta el momento nos hemos referido a la técnica de la regulación como un fenómeno aislado, es decir, comprendiéndolo como instalación autónoma, sin relación con otras instalaciones semaforicas.

La regulación de tráfico tiene como primer objetivo la solución de un problema inequívocamente localizado, generalmente en un cruce de vías o intersección, sin tener que preocuparse por el problema que pueda existir aguas arriba o aguas abajo de la intersección o a su derecha o izquierda. Sin embargo, una vez solucionado el problema local y especialmente cuando otros cruces semaforizados están próximos, pueden darse interferencias no deseadas entre ellos que es preciso solucionar.

Está demostrado que cuando varias intersecciones semaforizadas están próximas entre sí, es conveniente sincronizar los reguladores con el fin de coordinar el encendido y apagado de los semáforos. La coordinación tiene por objeto el que un vehículo que circule por una arteria semaforizada en un sentido concreto y a una velocidad determinada, encuentre el menor número de semáforos en rojo y de que los tiempos de parada sean mínimos. Dicho en sentido positivo sería el que un vehículo que circule en una red semaforica sincronizada, encuentre en el sentido de la marcha el mayor número de semáforos en verde.

En la coordinación existen dos acciones distintas: la primera, que denominamos

"sincronización", es el hecho físico de unir dos o más reguladores a través de un cable que transporta una señal eléctrica que llamamos "sincronismo" y que hace que los reguladores funcionen al unísono cada período de tiempo que llamamos ciclo; la segunda acción es propiamente la "coordinación" que forma parte del plan de ingeniería de tráfico y que determina cómo han de funcionar los semáforos para conseguir un efecto práctico.

La sincronización puede realizarse de dos formas diferentes:

- Por medio de los mismos reguladores.
- A través de un equipo diferente a los reguladores.

4.1. Sincronización por medio de los mismos reguladores.

En este caso, los equipos están interconectados a través de un cable denominado "cable de sincronismo" por el que se transmite la señal que sincroniza la red. Uno de los reguladores será el emisor y enviará la señal periódicamente al resto de reguladores que serán todos receptores. Antiguamente los receptores se paraban en una posición determinada del ciclo y no arrancaban hasta recibir la señal de sincronismo. Esta forma de proceder tenía serios inconvenientes por lo que en la actualidad los receptores no paran, sino que esperan un tiempo determinado para recibir la señal y si durante este tiempo no llega, siguen funcionando de forma autónoma, pero de forma más lenta o más rápida, es decir, autocorrigiéndose, hasta conseguir sincronizarse.

La señal de sincronismo puede ser diferente de un regulador a otro, especialmente teniendo en cuenta la diversidad de modelos y tecnologías que se encuentran en la calle. En la actualidad todavía se pueden encontrar señales de sincronismo a 220 V de ca para mandos electromecánicos y electrónicos; señales de 12 ó 24 V de cc y, posiblemente, señales mucho más complejas y sofisticadas para reguladores con microprocesador.

Existe la posibilidad de realizar la conexión entre los reguladores sin cable físico que los una. Aunque en el pasado se realizaron intentos de sincronizar los reguladores sin necesidad de estar unidos por medio de cable (hubo reguladores con motores síncronos que pretendían sincronizarse sin cable), ha sido con el desarrollo de la electrónica cuando más se ha extendido este procedimiento. De hecho se pueden considerar dos métodos distintos: el sincronismo vía radio, cuyas experiencias no dieron el resultado esperado, y el sincronismo por medio de reloj. Este último se puede subdividir a su vez en dos tipos: el de reloj interno basado en la frecuencia de la red o en un cristal de cuarzo (que en definitiva poco se distingue del de los motores síncronos) y el de reloj de tiempo real que si se sincroniza con una señal astronómica exterior puede ser bastante eficaz.

4.2. Sincronización a través de un equipo diferente a los reguladores.

Este equipo puede ser un generador de sincronismo que es el equipo más elemental y cuya función es única y exclusivamente generar dicha señal, o una central de tráfico, si bien ésta cumple otras funciones más complejas. En este caso, los reguladores serán todos receptores ya que la señal de sincronismo será enviada por este último equipo.

La coordinación de los semáforos debe estar prevista en el Plan de Tráfico. Es por tanto una parte de la Ingeniería de Tráfico con que se ha estudiado la red y que se implanta en los reguladores tal y como indicamos anteriormente.

5. CAPACIDAD DE LAS INTERSECCIONES CONTROLADAS POR SEMÁFOROS

5.1. Capacidad de las intersecciones reguladas por semáforos.

En las intersecciones, la capacidad se define para cada grupo de carriles. La capacidad del grupo de carriles es la intensidad de circulación máxima del grupo de carriles en cuestión que puede circular a través de la intersección en las condiciones prevalecientes de tráfico, calzada y semaforización. Generalmente, la intensidad de circulación se mide o proyecta para un período de 15 min., la capacidad se expresa en vehículos por hora (v/h).

Las condiciones de circulación abarcan los volúmenes de cada acceso, la distribución de los vehículos en cada movimiento (izquierda, de frente y derecha), la distribución por tipo de vehículo en cada movimiento, la situación y utilización de las paradas de autobús en la zona de influencia de la intersección, flujos peatonales de cruce y, finalmente, movimientos de estacionamiento en la zona de afección de la intersección.

Las condiciones de calzada comprenden la geometría básica de la intersección incluyendo el número y la anchura de los carriles, las pendientes de la rasante y las asignaciones de uso a los carriles (considerando también los carriles de estacionamiento).

Las condiciones de semaforización incluyen una total definición de las fases semafóricas, el reglaje, el tipo de control y una evaluación de la progresión semafórica en cada acceso.

La capacidad de un grupo de carriles determinado puede evaluarse y determinarse utilizando los procedimientos descritos en el “Manual de Capacidad de Carreteras”. Esto se hace para aislar los carriles que presten servicio a un movimiento o serie de movimientos en particular, como es el caso en un carril de giro obligatorio a la derecha o a la izquierda. Anteriormente se definieron como *grupo de carriles* a un grupo determinado de carriles que se analizan conjuntamente. El Manual de Capacidad establece un procedimiento que contiene directrices para determinar cuándo y cómo se deben determinar los grupos de carriles de un acceso.

La capacidad en las intersecciones reguladas por semáforos, se basa en los conceptos de *saturación e intensidad de saturación*, que se define como la máxima intensidad de circulación que puede circular por un grupo de carriles dado, en las condiciones de circulación y de calzada prevalecientes, suponiendo que el grupo de carriles tenga un 100 por ciento de tiempo real disponible como tiempo de verde efectivo. La *intensidad de saturación* se expresa en unidades de vehículos por hora de tiempo de verde efectivo (v/hv) para un grupo de carriles dado.

Se define el *índice de saturación* de un grupo de carriles dado como la relación entre la intensidad de circulación real o provisional del grupo de carriles y la intensidad de circulación.

5.2. Niveles de servicio para intersecciones reguladas por semáforos.

Se define el nivel de servicio en intersecciones reguladas por semáforos en términos de demora, que es una medida de la molestia, frustración, consumo de carburante y el tiempo de viaje perdido por el conductor. Específicamente los criterios del nivel de servicio se establecen en términos de la demora media de parada por vehículo para un período de análisis de 15 min. La TABLA siguiente muestra estos criterios. La demora puede medirse directamente en la calle o estimarse utilizando los procedimientos descritos en el Manual de Capacidad. La demora es una medida compleja y depende de una serie de valores que incluyen la calidad de la progresión, la duración del ciclo, la duración de verde y la relación Intensidad/Capacidad para el grupo de carriles en cuestión.

TABLA.- CRITERIOS DE NIVEL DE SERVICIO PARA INTERSECCIONES REGULADAS POR SEMÁFOROS.

NIVEL DE SERVICIO

DEMORA POR PARADA POR VEHÍCULO

	(seg.)
A	$\leq 5,0$
B	$> 5,0 \text{ y } \leq 15,0$
C	$> 15,0 \text{ y } \leq 25,0$
D	$> 25,0 \text{ y } \leq 40,0$
E	$> 40,0 \text{ y } \leq 60,0$
F	$> 60,0$

El *nivel de servicio A* caracteriza operaciones con muy poca demora, es decir, cuando ésta es inferior a 5,0 seg. por vehículo. Este nivel de servicio ocurre cuando el avance es extremadamente favorable y la mayoría de los vehículos llegan durante la fase verde. La mayoría de los vehículos no se detienen para nada. Los ciclos de corta duración también pueden contribuir a que la demora sea corta.

El *nivel de servicio B* describe operaciones con demora superior a 5 seg. y hasta 15 seg. por vehículo. Esto ocurre generalmente bien con una buena progresión, bien con ciclos cortos, o con ambas situaciones a la vez. Se detienen mas vehículos que con el nivel de servicio A dando lugar a niveles superiores de demora media.

El *nivel de servicio C* describe aquellas operaciones con demora superior a 15 seg. e inferior a 25 seg. por vehículo. Estas demoras más prolongadas pueden deberse a una progresión de mediana calidad, ciclos más prolongados o a ambas circunstancias. En este nivel es posible que se empiece a producir una falta de capacidad en algún ciclo individualizado. En este nivel el número de vehículos que se detienen es significativo aunque muchos atraviesan todavía la intersección sin detenerse.

El *nivel de servicio D* describe aquellas operaciones cuya demora sea superior a 25 seg. e inferior a 40 seg. por vehículo. En el nivel D se hace más notable la influencia de la congestión. Se pueden producir demoras más prolongadas debido a alguna combinación de progresión desfavorable, duraciones de ciclo prolongadas o altas relaciones Intensidad/Capacidad. Muchos vehículos se detienen y la proporción de vehículos que no se detienen disminuye. Son notorias las faltas de capacidad en ciclos individuales.

El *nivel de servicio E* describe aquellas operaciones con demora superior a 40 seg. e inferior a 60 seg. por vehículo. Muchos organismos consideran a este nivel como el límite de la demora aceptable. Estos altos valores de demora generalmente indican un avance lento, largas duraciones de ciclo y altas relaciones Intensidad/Capacidad. En algunos ciclos individuales se presenta con frecuencia una insuficiencia de capacidad.

El *nivel de servicio F* describe aquellas operaciones cuya demora supera 60 seg. por vehículo. Este nivel, considerado inaceptable por la mayoría de los conductores, se suele presentar cuando existe una sobresaturación, es decir, cuando las intensidades

de circulación de llegada superan la capacidad de la intersección. Esto también puede ocurrir con relaciones Intensidad/Capacidad altas, inferiores a 1,0 con muchos ciclos insuficientes. Las causas fundamentales de unos niveles de demora tan elevados pueden ser una progresión deficiente y duraciones de ciclo prolongadas.

A N E X O S

(TEMA 17)



FIG. 17.1: SEMAFOROS PARA PEATONES



FIG. 17.2: SEMÁFOROS CIRCULARES PARA VEHÍCULOS



FIG. 17.3: SEMÁFOROS CUADRADOS PARA VEHÍCULOS
O SEMÁFOROS DE CARRIL

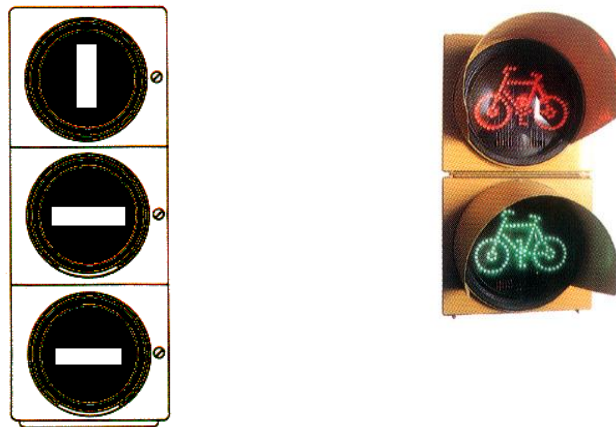


FIG. 17.4 SEMÁFOROS RESERVADOS A DETERMINADOS VEHÍCULOS

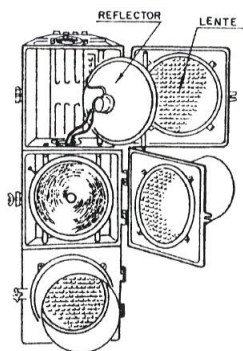


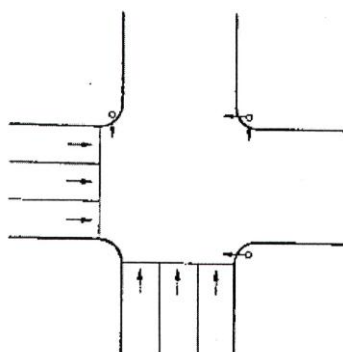
FIG. 17.5: COMPONENTES DE UN SEMÁFORO



FIG 17.6: DISPOSICION DE SEMÁFOROS EN COLUMNA



FIG 17.7: DISPOSICION DE SEMÁFOROS EN BÁCULOS



A) LOCALIZACION "RETRASADA" DE LOS SEMÁFOROS

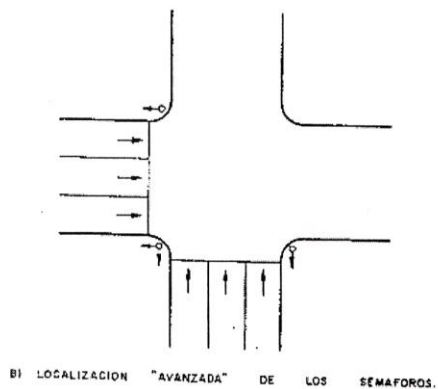


FIG. 17.8: DOS CONCEPTOS CONTRAPUESTOS EN CUANTO A LA FORMA DE SITUAR LOS SEMÁFOROS

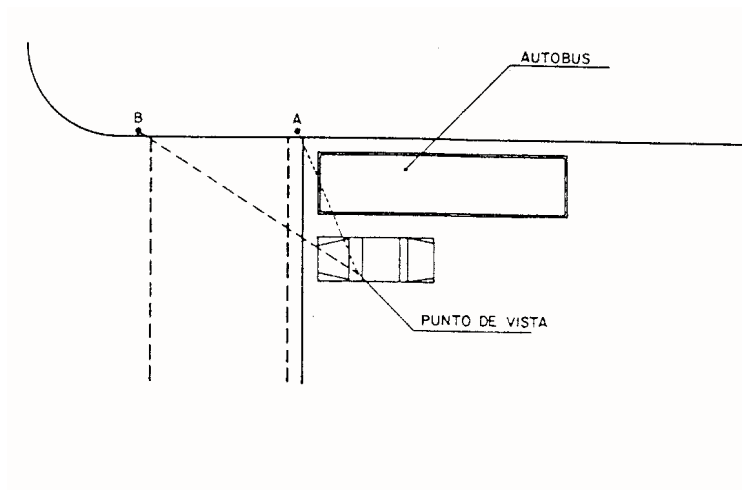


FIG. 17.9 SITUACION DEL SEMAFORO EN UN PASO DE PEATONES

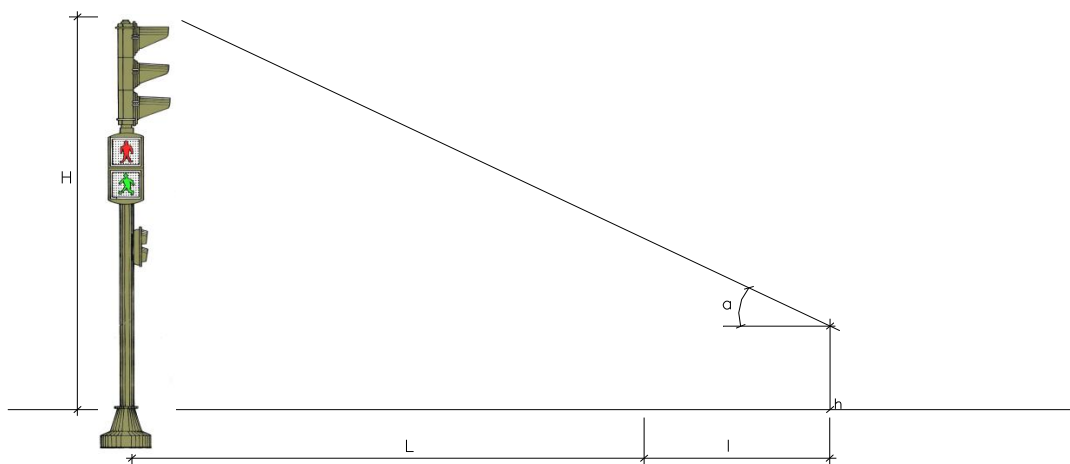


FIG. 17.10:SEPARACION ENTRE EL SEMAFORO Y LA LINEA DE PARADA

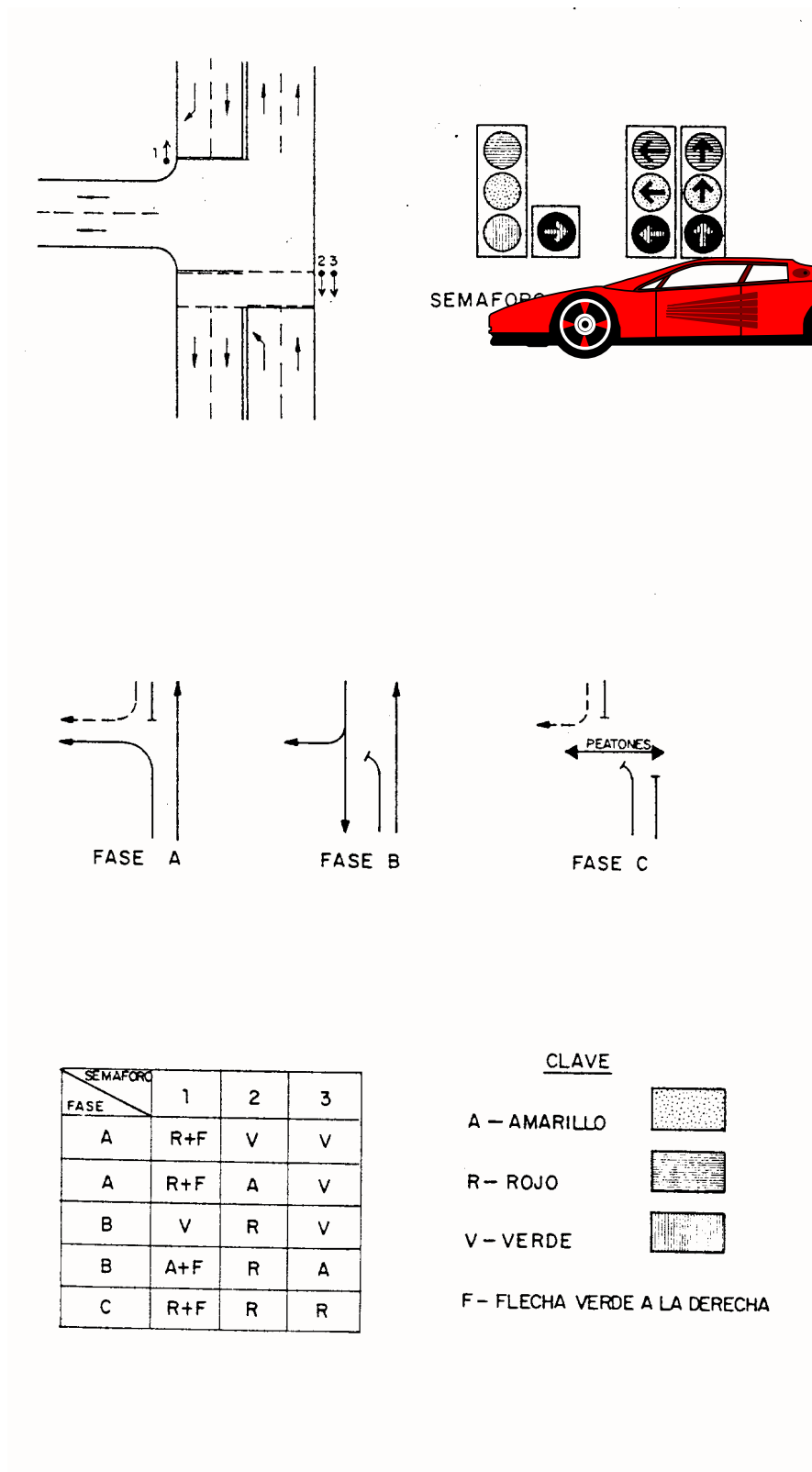


FIG 17.11 EJEMPLO DE FUNCIONAMIENTO Y DETALLES DE LOS SEMÁFOROS INSTALADOS EN UNA INTERSECCION

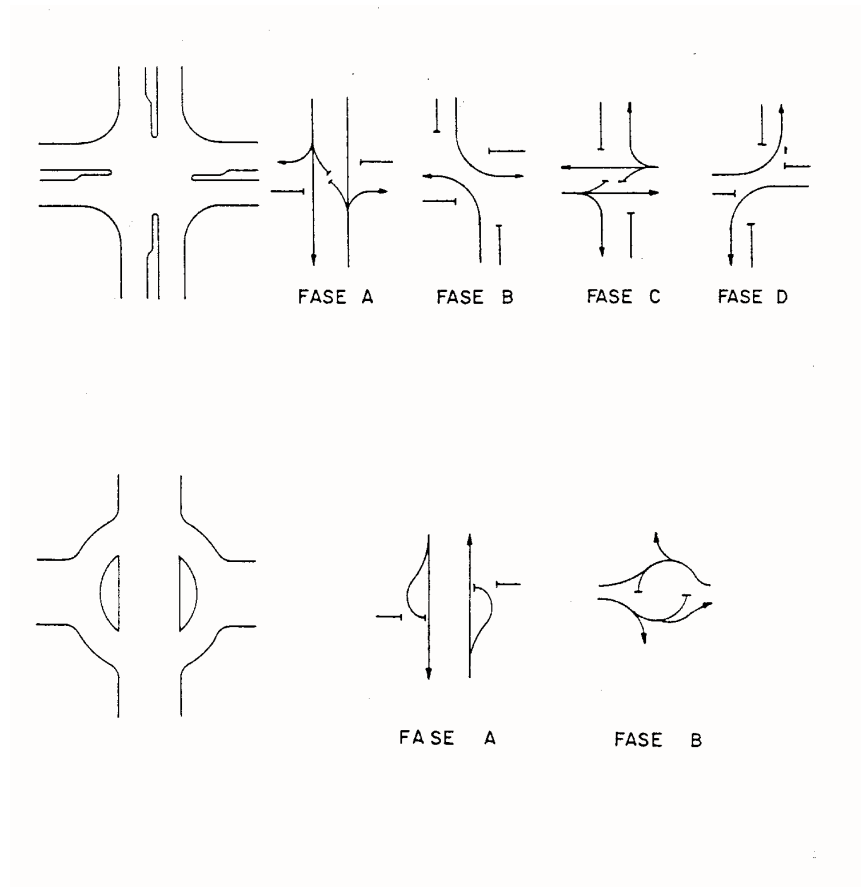


FIG 17.12 EJEMPLO DE DISMINUCION DE FASES EN UNA INTERSECCIÓN

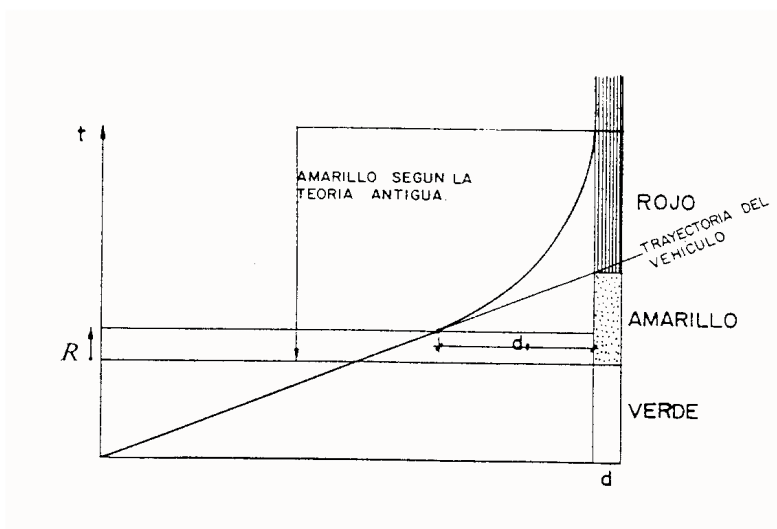


FIG.17.13:DURACIÓN DE LA LUZ AMARILLA

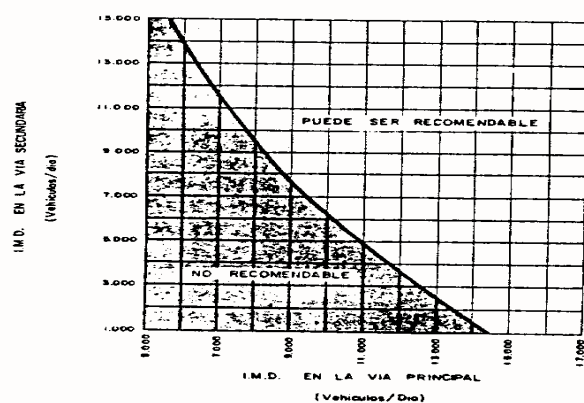


FIG. 17.14: INTENSIDADES MINIMAS PARA LA INSTALACION DE SEMÁFOROS

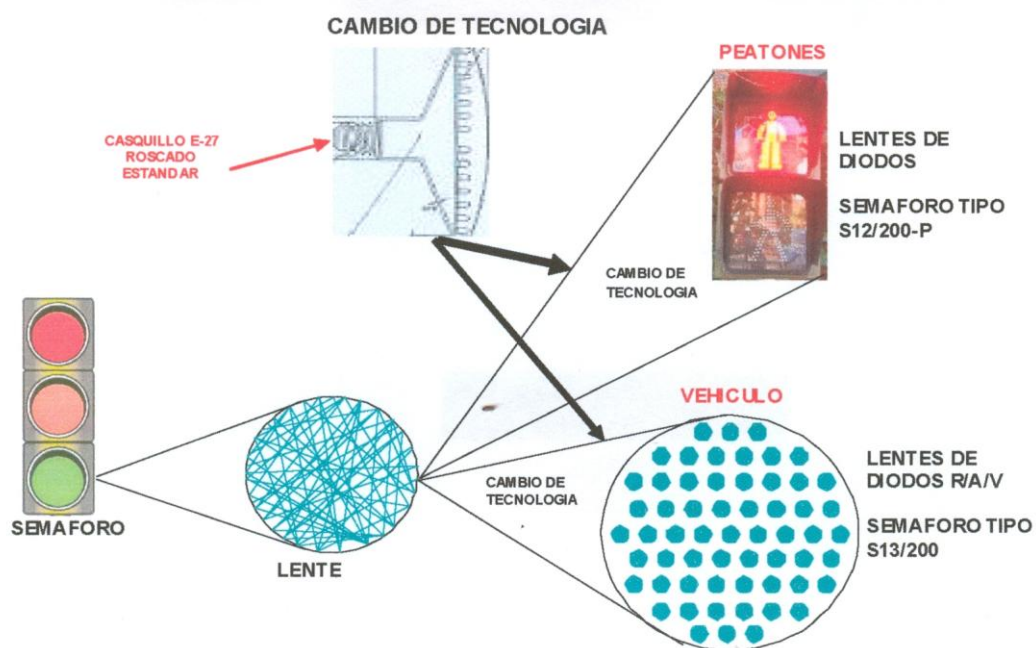


FIGURA 17.15: CAMBIO DE TECNOLOGÍA

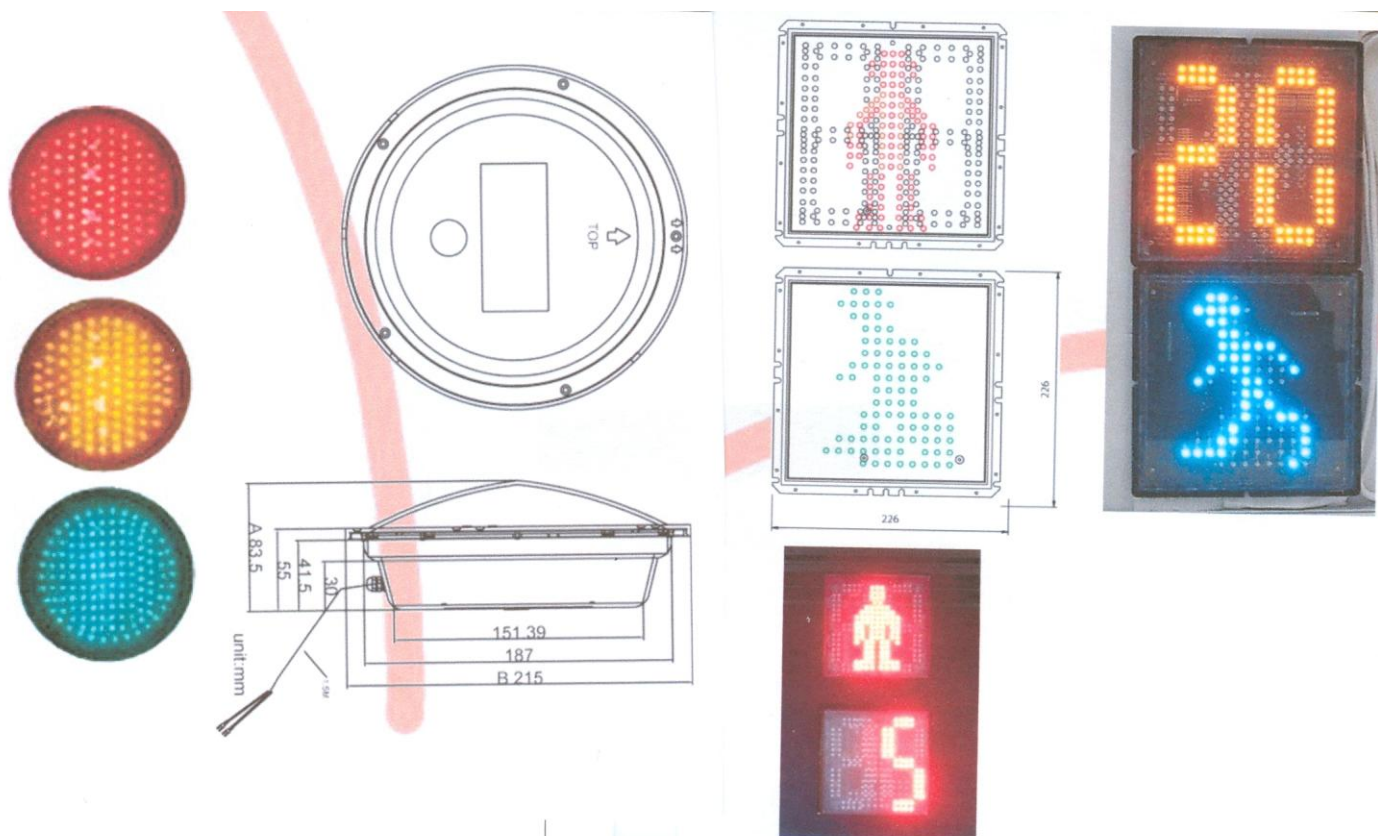


FIGURA 17.16. SEMAFOROS CIRCULARES Y DE PEATONES

Nº de carriles en cada acceso		Intensidad horaria en la calle principal (Total ambos sentidos)	Intensidad horaria en el acceso más cargado de la vía secundaria (un sentido)
Calle principal	Calle secundaria		
1	1	500	150
2 o más	1	600	150
2 ó más	2 ó más	600	200
1	2 ó más	500	200

TABLA 17.1. INTENSIDADES MINIMAS DURANTE MAS DE OCHO HORAS PARA CONSIDERAR LA INSTALACION DE SEMÁFOROS

Nº de carriles en cada acceso		Intensidad horaria en la calle principal (Total ambos sentidos)	Intensidad horaria en el acceso más cargado de la vía secundaria (un sentido)
Calle principal	Calle secundaria		
1	1	750	75
2 o más	1	900	75
2 ó más	2 ó más	900	100
1	2 ó más	750	100

TABLA 17.2: INTENSIDADES MINIMAS PARA QUE LAS DEMORAS JUSTIFIQUEN LA INSTALACION DE SEMÁFOROS