

Actualización del Capítulo 4 Semáforos del Manual de Señalización de Tránsito

Mauro Huenupi A.⁽¹⁾, Jaime Swett L.⁽²⁾, Fernando Jofré W.⁽³⁾ y Alejandra Veas S.⁽³⁾

⁽¹⁾CIMA Ingeniería E.I.R.L., mhuenupi@aristo.cl; ⁽²⁾Tek Chile S.A., jswett@tekchile.cl; ⁽³⁾ Unidad Operativa de Control de Tránsito, fjofre@uoct.cl, aveas@uoct.cl

Resumen

El Capítulo 4 “Semáforos” del Manual de Señalización de Tránsito no había sido objeto de actualizaciones desde su publicación en 1982, a pesar de los cambios tecnológicos, metodológicos y en el tráfico producidos desde entonces. Teniendo esto en cuenta, la Subsecretaría de Transportes licitó un estudio cuyo objetivo fue actualizar dicho capítulo. El presente trabajo describe las actividades desarrolladas y los productos de ese estudio. En particular, se describen algunos elementos relevantes de las experiencias recientes en el país y el extranjero y los mejoramientos propuestos a los procesos de justificación y programación y a las especificaciones técnicas de instalación de semáforos.

Palabras clave: semáforo, justificación, programación, instalación, peatones, vehículos

Número de palabras: 5.001

1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo describe el desarrollo y resultados del estudio “Actualización del Capítulo 4 Semáforos del Manual de Señalización de Tránsito”, adjudicado mediante licitación pública a CIMA Ingeniería E.I.R.L. por la Subsecretaría de Transportes. Los objetivos del estudio fueron perfeccionar los criterios de justificación de semáforos, incorporar mejoramientos metodológicos al proceso de programación e incluir los avances tecnológicos de los equipos semafóricos, desarrollados desde la publicación del Capítulo 4 del Manual de Señalización de Tránsito (MST) en 1982.

2 TAREAS REALIZADAS

Como parte del estudio se realizó un conjunto de tareas que permitieron avanzar gradualmente en el perfeccionamiento del Capítulo 4 del MST. Las principales actividades realizadas fueron las siguientes:

- Revisión de antecedentes nacionales e internacionales: Incluyó la recopilación y análisis de documentos referidos a la justificación y programación de semáforos, publicados en sitios de internet, actas de congresos y memorias de título. A nivel internacional, la revisión se concentró en la experiencia de países tales como EE.UU, Reino Unido y Australia; representantes del buen uso de semáforos como elementos de regulación del tránsito.
- Perfeccionamiento de los criterios de justificación de la instalación de semáforos: Luego del análisis de la experiencia internacional y de los criterios vigentes en el país, se desarrolló una metodología de mejoramiento de los criterios nacionales. Siguiendo la experiencia revisada se buscó también enfatizar el análisis previo de alternativas a la semaforización, como una forma de lograr una regulación de los conflictos más eficiente.
- Desarrollo de metodología de programación de semáforos: En el Capítulo 4 del MST vigente, la programación de los semáforos se trata resumidamente y sólo para el caso de semáforos aislados. Por su fecha de publicación, los métodos descritos en él no incluyen los avances metodológicos nacionales desarrollados desde el año 1982. Se elaboró entonces una metodología detallada de programación de semáforos aislados y en red, la cual se presenta en el cuerpo principal del nuevo Capítulo 4 y en un anexo específico. La metodología reúne la mejor experiencia nacional y elementos novedosos tomados de otros países, particularmente lo referido a programación de semáforos con énfasis en las necesidades de los usuarios más vulnerables.
- Mejoramiento de especificaciones técnicas de semáforos: Las especificaciones técnicas vigentes de semáforos no tienen un adecuado soporte legal y no han sido actualizadas en años recientes, en especial en lo referido a su instalación. Como parte del estudio se generó una nueva versión de las especificaciones de instalación, en la cual se incorporaron los avances técnicos en materia de equipos semafóricos y la experiencia acumulada en el país sobre su disposición en terreno.

A continuación, se describen con mayor detalle estas tareas, con énfasis en los mejoramientos más relevantes.

3 PERFECCIONAMIENTO DE LOS CRITERIOS DE JUSTIFICACIÓN DE INSTALACIÓN DE SEMÁFOROS

3.1 DESCRIPCIÓN DE CRITERIOS VIGENTES DEL CAPÍTULO 4 DEL MST

Los criterios de justificación de la instalación de semáforos incluidos en el Capítulo 4 del MST vigente se refieren principalmente a dos características de la intersección o cruce peatonal analizado: primero, niveles de flujo vehicular y, segundo, accidentabilidad. El Capítulo 6 del MST incluye además un criterio para justificar su instalación en función del nivel de conflicto entre peatones y vehículos.

Los criterios basados en flujos vehiculares dependen del cumplimiento de ciertos umbrales de flujo, definidos para combinaciones de número de pistas en los accesos de las vías secundaria y prioritaria. Si los flujos observados durante cada una de las 8 horas más críticas de un día representativo superan el correspondiente umbral entonces se da por justificada la instalación del semáforo. De manera similar, el criterio de accidentabilidad establece que si el número de accidentes por año es mayor a 5 en los últimos 3 años entonces se justifica la instalación. El criterio de conflicto peatón-vehículo utiliza umbrales para el indicador PV^2 , que relaciona el flujo peatonal (P) y vehicular (V). Si el indicador que resulta con los flujos promedio de las 6 horas más críticas es superior a los umbrales entonces se justifica la instalación.

La revisión de antecedentes internacionales permitió establecer que los criterios de flujo vehicular del Capítulo 4 del MST vigente son, en esencia, los mismos definidos en el Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways de EE.UU. (DOT, 2009), pues los umbrales de ambos manuales son iguales, con excepción de una cifra. En el Reino Unido también se aplica el indicador PV^2 y en EE.UU., aunque no se utiliza dicho indicador explícitamente, se definen ábacos de flujos peatonales y vehiculares que producen condiciones de justificación similares.

3.2 DESARROLLO DEL NUEVO ENFOQUE PARA JUSTIFICACIÓN DE SEMÁFOROS

La literatura internacional revisada y lo indicado en el Capítulo 4 del MST vigente señalan que la instalación de un semáforo es una alternativa para regular el tránsito cuando los usuarios de la vía secundaria se enfrentan a demoras excesivas. Para verificar si los umbrales vigentes tienen implícita esa condición se realizó un análisis de las demoras de los usuarios con el programa computacional SIDRA. Para esto, se simularon distintos escenarios de composición de los flujos, por tipo de vehículo y movimiento, asumiendo que en los accesos los flujos vehiculares eran idénticos a los umbrales actualmente en uso.

Los resultados de ese proceso se resumen en los siguientes puntos:

- Las demoras de los vehículos de los accesos secundarios en una intersección de prioridad, en la que se cumplen los umbrales de flujo mínimo o interrupción de la continuidad del Capítulo 4 del MST, son similares o incluso menores a las que se obtendrían con esos mismos flujos, pero con la intersección regulada por semáforo. Las demoras de los vehículos de los accesos prioritarios son bajas o nulas sin semáforo y se incrementan significativamente al regular el cruce con un semáforo.

- La variación de las demoras recién descrita, junto con la inversión y los costos de mantenimiento y operación del semáforo, generan pérdidas sociales considerables si se concreta la instalación, incluso cuando los umbrales vigentes se superan por un amplio margen.
- Si los umbrales de flujo vehicular se incrementan con respecto a los vigentes la pérdida social disminuye. Pero si se impone como requisito de justificación lograr una rentabilidad social positiva, por reducción de demoras, entonces se requiere que los accesos secundarios tengan niveles de congestión inadmisibles. Esas situaciones de congestión excesiva inducirían a que los conductores se vuelvan más temerarios para cruzar la intersección, o bien a que utilicen rutas alternativas o modifiquen sus horarios de viaje para evitar las demoras.
- Conductas más arriesgadas de los conductores pueden generar accidentes cuyo costo social es considerable y, por lo tanto, deben evitarse tanto como sea posible. Para lograr esto, el enfoque de análisis fue definir demoras tolerables en los accesos secundarios, a partir de las cuales tiene sentido semaforizar.
- Se definió como tolerables las demoras correspondientes a los niveles de servicio D y E para intersecciones de prioridad del Highway Capacity Manual (TRB, 2010). Las demoras que se obtienen con los umbrales actuales caen en los niveles de servicio A y B, correspondientes a condiciones de flujo libre y estable de ese manual, respectivamente. Esto significa que con los umbrales actuales no se sostiene el argumento de excesivas demoras. Obviamente pueden existir situaciones en que con los umbrales vigentes se tengan altas demoras, pero con relativa certeza esas situaciones se deben a problemas con la geometría de la intersección, mala visibilidad, uso ineficiente de la capacidad u otras situaciones que podrían ser resueltas con otro tipo de solución, distinta de la semaforización.
- A partir de lo anterior, se establecieron ponderadores de los umbrales vigentes de flujo de modo que con los nuevos valores resultaran demoras iguales a las tolerables. Los nuevos umbrales representan incrementos de 30% a 70% con respecto a los vigentes.
- Por otro lado, siguiendo la experiencia de EE.UU., y la constatación de que en ciertos casos no se tienen 8 horas con flujos vehiculares suficientemente altos, se incorporó un nuevo criterio que se basa en datos de flujo de sólo 4 horas. En la actualidad, estos casos se tratan utilizando los umbrales de 8 horas al 75% de su valor, ya que el Capítulo 4 así lo permite como opción para justificar semáforos actuados. En función de esto, el nuevo criterio de 4 horas reemplaza la justificación al 75%.
- Para el criterio de justificación por accidentabilidad se realizó un análisis de rentabilidad social asumiendo valores para el costo social de las lesiones y fallecimiento de personas. De acuerdo con los datos publicados en Elvik y Vaa (2004) y Roads and Traffic Authority New South Wales (2004), se asumió que la reducción del número de accidentes generada por la instalación de un semáforo es igual a 31%. Para caracterizar los accidentes se utilizó la información oficial de accidentabilidad del año 2009 en Santiago. Con esta información se pudo determinar el costo social de un accidente con características promedio. La reducción de la tasa de accidentes se transformó entonces en una reducción de accidentes promedio, lo cual representa un beneficio social expresado en términos monetarios. Con este análisis se pudo establecer el nivel de accidentabilidad a partir del cual se justifica socialmente la instalación de un semáforo.

3.3 ETAPAS DE LA JUSTIFICACIÓN DE SEMÁFOROS

Uno de los aspectos novedosos de la propuesta de actualización del Capítulo 4 del MST no trata sobre semáforos. En efecto, la experiencia nacional e internacional muestra que la semaforización no siempre es una solución adecuada. Una parte de los conflictos entre usuarios o los problemas operativos de las intersecciones de prioridad pueden ser resueltas con rediseños geométricos, medidas de aquietamiento de tráfico o con rotundas o mini-rotundas, entre otras opciones.

Por esta razón, en la actualización del Capítulo 4 del MST se estableció la obligación de analizar dichas alternativas como una forma de generarsolucioneseficaces a los conflictos,conun menor costo de inversión, operación y/o mantenimiento que un semáforo.Para facilitar el estudio de alternativas se incluyeron referencias a documentos que tratan esos temas. Si se concluye que no existen alternativas o éstas no son factiblesentonces se debe proceder al estudio de justificación de semáforo.

Relacionado con lo anterior está el hecho de que existen situaciones donde los criterios de justificación podrían ser inadecuados, dada la gran cantidad de factores que inciden en el tráfico y que no pueden ser incorporados totalmente en los criterios definidos. Por ejemplo, el funcionamiento de una intersección de prioridad cercana a semáforos puede ser controlado, en parte, introduciendo ajustes a la programación de esos semáforos,de modo que se generen brechas de magnitud adecuada en la vía prioritaria en el cruce no semaforizado. En ese caso, aunque se verifique alguno de los umbrales de justificación, podría ser innecesaria la instalación del semáforo. Por el contrario, intersecciones complejas o de gran tamaño probablemente deban semaforizarse, a pesar de que no se verifiquen los criterios.Algunas de estas situaciones se incluyeron como casos especiales que, si corresponde, deben ser revisados junto con los criterios normales de justificación.

De acuerdo con lo anterior, en la propuesta del nuevo Capítulo 4 del MST es posible identificar las siguientes cuatro etapas en el estudio de justificación de semáforos:

1. Análisis de alternativas a la semaforización.
2. Estudio de justificación de la instalación de semáforo.
3. Análisis de casos especiales.
4. Conclusiones del análisis de justificación de semáforo.

3.4 DESCRIPCIÓN DE NUEVOS CRITERIOS DE JUSTIFICACIÓN DE SEMÁFOROS

En función de la metodología de actualización descrita se realizaron ajustes a los criterios de justificación vigentes. Se buscó mantener la estructura y forma de uso de los criterios actuales para minimizar los problemas de aplicación que cambios más profundos pudiesen generar.

3.4.1 CRITERIO DE FLUJO VEHICULAR MÍNIMO

El método de actualización del criterio de flujo vehicular mínimo se basó en incrementar proporcionalmente los umbrales vigentes hasta que en los accesos secundarios la demorapromedio fuese igual a 30 o 45 s/veh en los criterios de 8 y 4 horas, respectivamente.Con este procedimiento se obtuvieron los valores que se muestran en las tablas siguientes.

TABLA 1CRITERIO DE JUSTIFICACIÓN PARA 8 HORAS

Número de pistas por calzada de ingreso a la intersección		Flujo vehicular mínimo (veh/h) que llega a la intersección	
Vía principal	Vía secundaria	Suma de ambos accesos en la vía principal	Acceso con mayor flujo en la vía secundaria
1	1	750	230
2 o más	1	760	190
2 o más	2 o más	850	280
1	2 o más	840	280

TABLA 2CRITERIO DE JUSTIFICACIÓN PARA 4 HORAS

Número de pistas por calzada de ingreso a la intersección		Flujo vehicular mínimo (veh/h) que llega a la intersección	
Vía principal	Vía secundaria	Suma de ambos accesos en la vía principal	Acceso con mayor flujo en la vía secundaria
1	1	850	260
2 o más	1	920	230
2 o más	2 o más	1.010	340
1	2 o más	1.000	330

Los valores ajustados representan incrementos entre 30% y 70% con respecto a los umbrales vigentes, pero el hecho de reducir el número de horas de análisis en el criterio de 4 horas compensa, en ciertos casos, ese incremento. En efecto, semáforos que actualmente se justifican podrían no justificarse con los nuevos criterios; y semáforos que ahora no se justifican, sí podrían con el criterio de 4 horas. Los análisis realizados con estudios de justificación reales revelaron casos de este último tipo, correspondientes a intersecciones en zonas no céntricas de Santiago donde el flujo vehicular es alto solamente durante las horas punta de la mañana y la tarde.

3.4.2 CRITERIO DE FLUJO PEATONAL

La revisión de antecedentes internacionales permitió establecer que el criterio de justificación por actividad peatonal contenido en el Capítulo 6 del MSTes adecuado y, por lo tanto, no fue actualizado. Ese criterio fue incorporado directamente en el nuevo Capítulo 4, de manera que el análisis de justificación de semáforos quedara contenido solamente en un capítulo del MST.

3.4.3 CRITERIO DE ACCIDENTABILIDAD

La literatura especializada señala que la instalación de un semáforo disminuye la tasa de ocurrencia de los accidentes de tránsito más graves, que son aquellos que involucran atropellos y colisiones de vehículos en

distinta dirección. Dado esto, y los costos sociales utilizados en Chile para las lesiones y fallecimiento de personas, se realizó un análisis de rentabilidad social que involucró también los costos de inversión y mantenimiento de los equipos semafóricos. El análisis permitió determinar la tasa anual de accidentes con lesionados o el número de fallecidos a partir del cual se justifica socialmente la instalación del semáforo. Los valores obtenidos se utilizaron para definir el siguiente criterio de justificación:

“Se justifica la instalación de un semáforo cuando en la intersección o cruce peatonal analizado se haya producido al menos una de las siguientes condiciones:

- 5 o más accidentes promedio con lesionados por año, cualquiera sea la gravedad, en los últimos 5 años; o
- 2 o más personas fallecidas durante los últimos 5 años.”.

Para aplicar este criterio se deben considerar solamente los accidentes que pueden ser reducidos con la instalación del semáforo, que hayan ocurrido en condiciones normales de circulación y que no involucren personas bajo la influencia del alcohol o drogas.

3.4.4 TOMA DE DATOS, USO DE DATOS ESTIMADOS Y VERIFICACIÓN DE CRITERIOS DE JUSTIFICACIÓN

Uno de los aspectos deficitarios en el procedimiento actual de justificación de semáforos es que se basa en datos de flujos de solamente un día. Es sabido que los flujos varían de un día a otro porque son una representación del comportamiento humano, que si bien está sujeto a los horarios de las actividades, no se repite de la misma forma cada día. Por esta razón, se decidió incorporar la exigencia de realizar mediciones en dos días y verificar el cumplimiento de los umbrales con los valores promedio de esos días.

Se incorporó también la posibilidad de analizar la justificación con datos estimados en un estudio de transporte, lo que permite resolver el inconveniente que tienen los estudios de impacto sobre el sistema de transporte urbano (EISTU) cuando proponen semaforizaciones como medida de mitigación de un proyecto de edificación: con los criterios vigentes esa proposición quedaba supeditada a un estudio de justificación posterior a la recepción final de la edificación, que de acuerdo con dictámenes de la Contraloría General de la República no es consistente con la normativa que sustenta los EISTU.

La verificación del cumplimiento de los nuevos criterios de justificación es simple pues mantiene el procedimiento actual: si los valores de ciertos indicadores son superiores a los umbrales exigidos entonces se verifica el cumplimiento del respectivo criterio y se concluye que la instalación del semáforo está justificada técnicamente. No obstante lo anterior, y teniendo en cuenta la variabilidad de los flujos y el hecho de que se requiere tener cierto grado de flexibilidad en el análisis, se incorporó una condición que obliga a tomar datos en un tercer día si el promedio de los datos obtenidos en dos días tiene una diferencia absoluta menor o igual al 15% con respecto al umbral del criterio analizado. Con los datos de 3 días se deberá tomar una decisión final sobre si se justifica o no la instalación.

4 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA PARA PROGRAMACIÓN DE SEMÁFOROS

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA VIGENTE DEL CAPÍTULO 4 DEL MST

En el Capítulo 4 del MST vigente se incluye la metodología para calcular la programación de semáforos aislados. Esto incluye el cálculo de los tiempos de verde mínimos, entreverdes y ciclo óptimo y los repartos del tiempo de verde. Aunque estos métodos, en general, continúan siendo válidos, fue necesario describirlos en mayor detalle y complementarlos con el tratamiento de redes de semáforos, además de incorporar mejoramientos tomados de la experiencia nacional e internacional, como se describe a continuación.

4.2 ANTECEDENTES NACIONALES

Con posterioridad a la publicación del MSTy hasta mediados de los años noventa se desarrollaron en el país un conjunto de avances metodológicos que, obviamente, no están incluidos en el Capítulo 4 vigente; una parte de esos avances se utilizan desde hace años en la práctica profesional. Debido a esto, se consideró necesaria su incorporación al nuevo Capítulo 4, como una forma de mejorar y estandarizar los métodos de programación que se aplican en el país. En síntesis, los avances nacionales incorporados fueron los siguientes:

- Cálculo del flujo de saturación, dependiente de la proporción de vehículos pesados. El trabajo de Gibson et al. (1997) estableció una nueva definición del automóvil directo equivalente (ADE) y definió nuevos factores de equivalencia por tipo de vehículo. Esos factores de equivalencia dependen de la proporción de vehículos pesados en la pista. El nuevo Capítulo 4 establece ese método como el procedimiento estándar para estimar el flujo de saturación. Para considerar el efecto del viraje se propuso utilizar la expresión para el radio de giro corregido estimada por Herrera y Coeymans (2002).
- Uso de la interacción TRANSYT-SIDRA para la estimación de capacidad en casos complejos. Algunas situaciones no pueden ser representadas con suficiente detalle con TRANSYT, lo cual limita la capacidad explicativa del modelo de la red vial y en consecuencia la calidad de las programaciones que se estimen con ese modelo. Ejemplos de esas situaciones son pistas en que existen interacciones que producen bloqueos entre vehículos (viraje con oposición y movimiento directo, por ejemplo) y pistas cortas cuya capacidad dependen de la programación del semáforo. En esos casos se requiere una estimación exógena del flujo de saturación. Para esto, el nuevo Capítulo 4 propone seguir la metodología de Kausel (1992), la cual define un procedimiento de interacción entre TRANSYT y el software SIDRA.
- Conformación de redes de semáforos. Se incluyó en el nuevo Capítulo 4 la descripción del método definido por Baeza et al. (1995) para conformar espacial, temporal y operativamente una red de semáforos. Esto permitirá formalizar el proceso de definición de redes, proceso que se ha vuelto más frecuente debido la implementación de varios sistemas centralizados de control de tránsito en ciudades de tamaño medio.

4.3 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

En los antecedentes internacionales revisados no se encontraron metodologías de programación de semáforos que representasen un avance significativo con respecto a las desarrolladas en el país. Donde sí se hallaron aportes fue en aspectos referidos al tratamiento de usuarios no motorizados, que tienen como objetivo generar mejores y más seguras condiciones de circulación para los usuarios más vulnerables de las vías.

A partir de la revisión de esos antecedentes se propuso, en primer lugar, incorporar al nuevo Capítulo 4 del MST una disminución de la velocidad de caminata en los cruces peatonales semaforizados. Se decidió utilizar 1,1 m/s, valor recomendado por diferentes estudios internacionales que en el manual vigente es 1,4 m/s. Este cambio puede implicar aumentos del tiempo de verde peatonal de 1 y 3 segundos en cruces de 7 y 14 metros, respectivamente. Además, si existe una presencia importante de niños, ancianos o personas con movilidad reducida, la velocidad de caminata recomendada disminuye a 0,9 m/s. En relación con esto, se describió con mayor detalle el cálculo del tiempo de verde peatonal intermitente pues se detectó cierto nivel de confusión al respecto. Ese tiempo debe corresponder al 90% del tiempo de cruce de los peatones. De esta forma, en cualquier circunstancia, los peatones tendrán tiempo suficiente para cruzar en las intersecciones semaforizadas.

El segundo elemento tomado de la experiencia internacional fue la implementación de facilidades explícitas para peatones tales como el uso de fases peatonales exclusivas y el desplazamiento aguas abajo del cruce peatonal. La UOCT de Santiago ha tenido buenas experiencias definiendo fases peatonales exclusivas en intersecciones conflictivas, logrando en ellas una mejor y más segura operación para peatones y conductores. En consecuencia, se incorporaron en el cuerpo principal del nuevo Capítulo 4 ejemplos gráficos que muestran la configuración recomendada de cruces tipo orientados a mejorar las condiciones de seguridad de los peatones y/o disminuir el nivel de conflicto entre esos usuarios y los conductores de vehículos que viran en la misma fase del semáforo.

4.4 METODOLOGÍA DE PROGRAMACIÓN DE SEMÁFOROS

A partir de los avances metodológicos nacionales y los aportes internacionales descritos previamente, se generó una metodología para programar semáforos de tiempo fijo aislados y en red, que reúne la mejor experiencia revisada. La metodología describe las variables que representan la programación, la forma de calcularlas y los parámetros que deben definirse, indicando valores por defecto cuando fue posible.

La metodología se presenta en el cuerpo principal del nuevo Capítulo 4, comenzando por la definición de las variables que definen la estructura y secuencia de las indicaciones del semáforo, hasta la optimización de desfases en redes coordinadas. Para facilitar su aplicación se incluyó un ejemplo de programación de un semáforo aislado.

5 Mejoramiento de las especificaciones técnicas de semáforos

5.1 ESPECIFICACIONES DE INSTALACIÓN

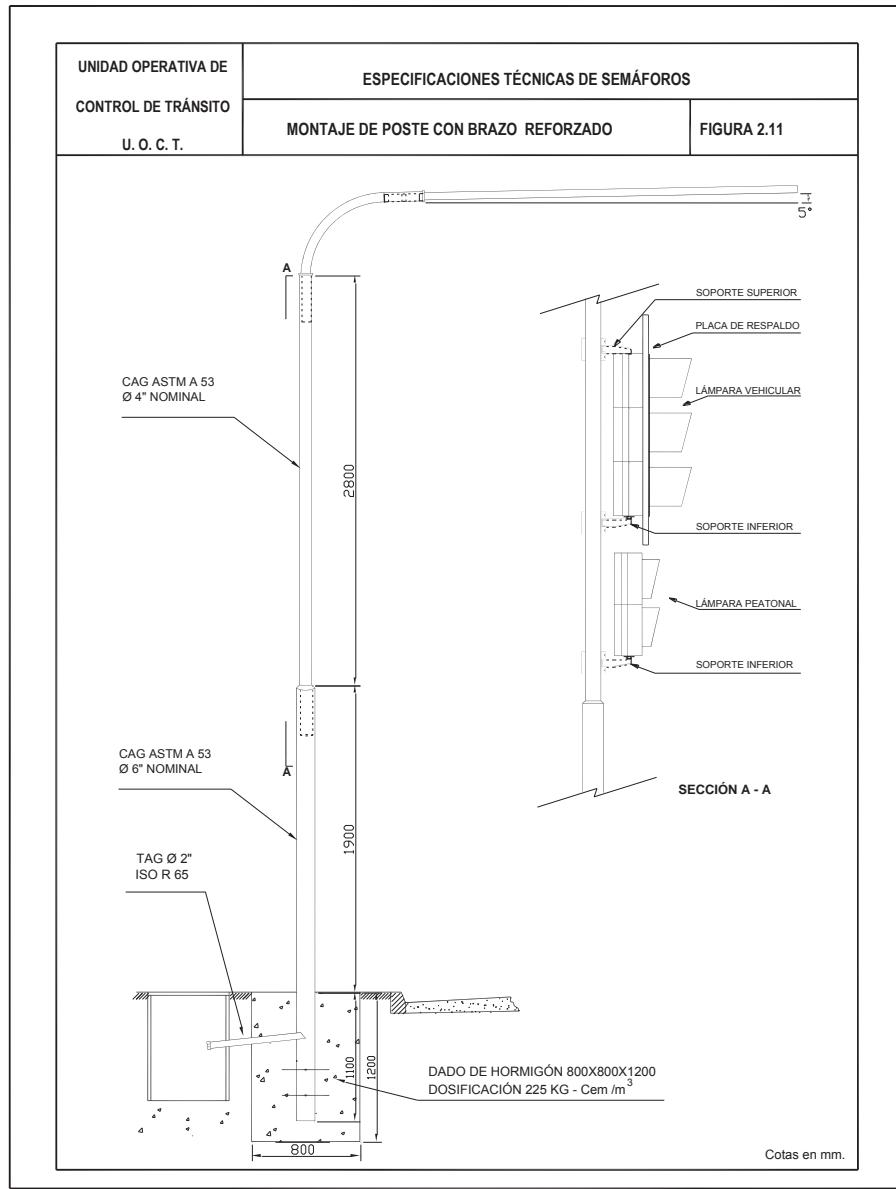
Como parte de las tareas del estudio se realizó un proceso de mejoramiento y actualización de las Especificaciones Técnicas de Instalación de Semáforos. Las especificaciones vigentes fueron generadas por la UOCT y actualmente no son parte del MST, razón por lo cual carecen de un adecuado soporte legal.

Como parte del perfeccionamiento de las especificaciones se incluyeron correcciones acordes con los avances en los equipos semafóricos, tanto en aspectos constructivos como de instalación. Se incluyeron nuevas especificaciones para otros materiales, tales como postes para semaforizaciones provisorias, postes reforzados para zonas de viento extremo, balizas peatonales, semáforos para corredores de buses, y recomendaciones sobre el uso de canalizaciones de PVC en suelos salinos, entre otros mejoramientos

Adicionalmente, se incluyeron otros elementos, como sensores de movimiento para pasos de rodados, señales auditivas para discapacitados, espiras inductivas inalámbricas para detección de vehículos y sistemas de detección de vehículos por video.

Cada elemento semafórico se presenta con una descripción y una lámina con el detalle de sus especificaciones de fabricación e instalación; un ejemplo se muestra en la siguiente figura.

FIGURA 1 EJEMPLO DE REPRESENTACIÓN DE ELEMENTO SEMAFÓRICO



A partir de este trabajo se generó un documento anexo del Capítulo 4 del MST, que por sí solo representa un avance sustantivo con respecto a la situación actual, pues para el desarrollo de los proyectos de semaforización no se contaba con un documento de referencia tan completo y actualizado. En el cuerpo principal del nuevo Capítulo 4 se incorporaron también esquemas que muestran la configuración recomendada de postes, cabezales y ganchos para distintos tipos de cruces. Todo lo anterior permitirá que los proyectos de semaforización se desarrollen desde el inicio cumpliendo un estándar ya validado por la UOCT.

5.2 ESPECIFICACIONES DE CONTROLADORES DE TRÁFICO Y MÓDULOS DE SEÑALES DE LED

En forma paralela al desarrollo del estudio, la UOCT procedió a mejorar las especificaciones técnicas de controladores de tráfico y módulos de señales de LED. Las nuevas versiones también fueron incorporadas como anexos del nuevo Capítulo 4.

6 ESTRUCTURA DEL NUEVO CAPÍTULO 4 DEL MST

En función de las tareas descritas se propuso una reestructuración el contenido del Capítulo 4 vigente. Este ajuste fue necesario para incorporar nuevos temas y para tratar otros de forma más clara y en una progresión gradual, desde aspectos generales hasta temas de detalle. Distintos aspectos fueron incorporados como anexos para facilitar su posterior actualización o mejoramiento, sin alterar el contenido del cuerpo principal. La estructura definida fue la siguiente:

Capítulos

- Cap. 1-Generalidades
- Cap. 2-Justificación de la instalación de un semáforo
- Cap. 3-Capacidad de intersecciones semaforizadas
- Cap. 4-Aspectos generales de la programación de semáforos
- Cap. 5-Diseño básico de un plan
- Cap. 6-Indicadores de rendimiento
- Cap. 7-Planes prefijados para semáforos aislados
- Cap. 8-Planes prefijados para redes de semáforos
- Cap. 9-Control dinámico de tránsito
- Cap. 10-Diseño seguro para todos los usuarios
- Cap. 11-Implementación y sintonía fina
- Cap. 12-Características técnicas de los equipos semafóricos

Anexos

- Anexo A-Especificaciones técnicas de instalación de semáforos
- Anexo B-Especificaciones técnicas de controladores de tráfico
- Anexo C-Especificaciones técnicas de módulos de señales de LEDs
- Anexo D-Programación y modelación de semáforos
- Anexo E-Mantenimiento de equipos y actualización de programaciones

7 CONCLUSIONES

El resultado principal del estudio fue una versión mejorada y actualizada del Capítulo 4 del MST y de las especificaciones técnicas de los equipos semafóricos. Este logro primario involucró una serie de perfeccionamientos, entre los que se pueden destacar los siguientes:

- La nueva versión del Capítulo 4 del MST tiene una estructura más clara, pero a la vez rigurosa, en la presentación de los temas, que se complementa con anexos que tratan temas de detalle.
- Se perfeccionó el proceso de justificación de la instalación de semáforos, aumentando las exigencias de análisis para evitar que sean utilizados en situaciones que pueden ser resueltas con otro tipo de medidas, de menor costo. En este sentido, se hizo exigible un estudio de esas soluciones alternativas, para lo cual se entregan referencias a documentos que las describen. Adicionalmente se aumentaron los umbrales de flujos vehiculares a partir de los cuales se recomienda la instalación de los semáforos. Los nuevos umbrales de flujo vehicular se definieron en función de valores tolerables de demora para los usuarios de la vía secundaria (nivel de servicio). Se incluyó también un criterio que se basa en el análisis de solamente 4 horas de flujos vehiculares, el cual se estima que será de gran utilidad para los estudios de justificación en zonas de la ciudad donde los flujos son relevantes durante pocas horas al día.
- Otro mejoramiento importante del nuevo Capítulo 4 del MST se refiere a los métodos de programación y modelación. Se realizó una recopilación de los principales avances en estas materias generados en el país, que se sistematizaron y compatibilizaron para generar un planteamiento unificado que podrá ser utilizado como referencia primaria para el análisis de intersecciones semaforizadas en el país.
- El nuevo Capítulo 4 del MST incluye diversas recomendaciones orientadas a mejorar los proyectos de semaforización. Para esto se desarrollaron ejemplos de configuración de postes y cabezales para intersecciones en cruz, en "T" y para rotondas. El tratamiento de peatones y ciclistas recibió mayor atención que en la versión vigente. Se incluyeron además los requerimientos mínimos de mantenimiento de equipos semafóricos y actualización de programaciones.
- Uno de los anexos del nuevo Capítulo 4 es el correspondiente a las especificaciones para la instalación de semáforos, el cual fue actualizado completamente en sus contenidos, según la experiencia adquirida en el país en los últimos años y los avances técnicos producidos. El anexo incluye todas las figuras que describen las características técnicas de los elementos semafóricos.

La propuesta de nueva versión del Capítulo 4 del MST y sus anexos está siendo tramitada para que pueda ser utilizada oficialmente, como parte del Manual de Señalización de Tránsito.

8 REFERENCIAS

Baeza, I., Zucker, M., Villaseca, A., Albornoz, M. y Gibson, J. (1995). Conformación de redes para programación de semáforos. *Actas del VII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*, 669-681.

Elvik, R. y Vaa, T. (2004). *The Handbook of Road Safety Measures*. ElsevierScience.

Gibson, J., Bartel, G. y Coeymans, J.E. (1997). Redefinición de los parámetros de capacidad de una intersección semaforizada bajo condiciones de tráfico mixto. *Actas del VIII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*, 383-395.

Herrera, J.C. y Coeymans J.E. (2002). Estimación de parámetros de capacidad en pistas con virajes. *Actas del XII Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte*. Quito.

Kausel, M. (1992). *Compatibilización de los programas SIDRA y TRANSYT en la modelación de tráfico*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.

Roads and Traffic Authority New South Wales (2004).*Accident Reduction Guide Part 1-Accident Investigation and Prevention*.

Transportation Research Board (2010).*Highway Capacity Manual*, fifth edition.

U.S. Department of Transportation (2009).*Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways*, 2009 edition.