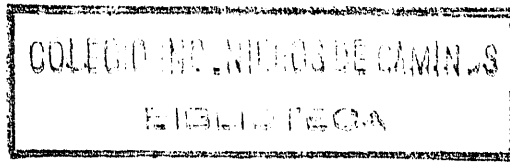


# Automatización del control de la explotación de los transportes colectivos de viajeros (\*)



Por JUAN LARA LARA  
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

*Se presenta a continuación la segunda y última parte del artículo cuya publicación se inició en nuestro número anterior. En él se estudian los sistemas de automatización de autobuses, tranvías y trolebuses, abordando temas como los de preferencia en los cruces, equipamiento mediante radio de los autobuses, dispositivos de localización de vehículos, control de estaciones terminales, etc., recogiéndose finalmente las conclusiones deducidas del estudio.*

## C) SISTEMAS DE AUTOMATIZACION DE LOS AUTOBUSES, TRANVIAS Y TROLEBUSES

### 7. Generalidades

El cuestionario distribuido a las empresas proporciona datos sobre 72 redes que explotan servicios de autobuses, tranvías o trolebuses. A continuación se irán describiendo los sistemas adoptados para cada uno de estos tres sistemas de transporte. Esta elección ha sido motivada principalmente por el hecho de que, en muchos casos, las empresas tenidas en cuenta han adoptado sistemas de control común a diversos modos de transporte. Un informe sometido a la consideración del precedente 40º. Congreso de la U.I.T.P. (celebrado en La Haya en 1973) por la Comisión Internacional de la circulación y el equipamiento urbano describía el empleo de sistemas electrónicos en la explotación de transportes públicos de superficie. Sin embargo, esta descripción recaía necesariamente sobre el material pues en esta época no se había tenido aún ocasión de experimentar los diversos sistemas considerados. En lo posible, se intentará corregir esta situación describiendo la experiencia adquirida en el plano de la explotación.

### 8. Objetivos del control

Como respuestas al tema en estudio, en el marco de la encuesta, sobre los objetivos del control de los autobuses, las respuestas se han repartido por igual entre la necesidad de controlar el horario y el de

(\*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de Agosto de 1981.

mantener los intervalos necesarios. Como ocurre con los ferrocarriles, es probable que la elección de los objetivos dependa de la frecuencia del servicio en estudio. Para los itinerarios muy cargados, es verosímil que se intentará asegurar intervalos regulares, mientras que para los itinerarios poco frecuentados es el respeto al horario lo que jugará un papel preponderante. En la planificación de los servicios de autobuses del London Transport, la intervención de estos dos criterios se traduce generalmente en intervalos de 12 minutos.

En lo que concierne a la explotación tradicional de redes de autobuses, se deduce de la mayor cantidad de respuestas que las empresas controlan sus itinerarios por medio de controladores de líneas apostados a lo largo del trayecto. Estos pueden adoptar medidas correctoras: hacer dar media vuelta a un autobús, por ejemplo, o prolongar un servicio determinado cuando la necesidad así lo exige. Un gran número de respuestas añadían que estos controladores de línea son, a su vez, supervisados por un controlador situado en el puesto de mando central. Aparece, no obstante, que el sentido dado a la palabra controlador varía de una red a otra. En ciertas situaciones, cuando el controlador central tiene que supervisar un elevado número de autobuses es evidente que su papel principal es el de servir de centro de información: no toma decisiones más que en el caso de incidentes o contrariedades mayores que afectan al servicio. En los demás sistemas, donde no existen más que una o dos líneas que supervisar, él se encarga de coordinar la acción de los controladores de línea y de aconsejarles en cuanto a las medidas a adoptar.

Es evidente que una vez definidos los papeles que pueden desempeñar los diferentes sistemas de

"control" las posibilidades de automatización pueden ser muy amplias. Desgraciadamente la encuesta no ha llegado a poner de manifiesto el nivel del control considerado, de suerte que es difícil evaluar la eficacia de los esquemas realizados, con excepción de una muestra realizada en un número reducido de empresas. Ocurre por ello que en un sistema orientado principalmente a *superar* los imprevistos se puede considerar suficiente un enlace por radio entre el vehículo y el controlador central. Para un control del itinerario más detallado, en el que el controlador central tiene la responsabilidad de las medidas adoptadas por los controladores de línea será necesario recurrir a un sistema de localización más preciso.

## 9. Preferencia en los cruces

En las 72 redes que explotan servicios de autobuses, tranvías o trolebuses, 17 poseen itinerarios en que las señales de circulación son *mandadas*, en cierta medida, por un dispositivo que detecta la proximidad de un autobús. Los sistemas utilizados varían considerablemente, desde aquéllos en los que un emisor-receptor a bordo del autobús *desengancha bucles* situados en la calzada hasta aquéllos en los que la aproximación al cruce se efectúa por una vía reservada, en la que se puede utilizar un simple detector de bucle. Se desprende claramente del cuestionario que entre los cruces equipados así con señales de circulación de *mando automático*, la cuarta parte se acompaña de aproximación por vía reservada. En algunos casos, el sistema se asocia, igualmente, a un sistema de control de la circulación por zona.

La mayor parte de las empresas que han respondido a la cuestión relativa a las ventajas del sistema estiman que la más importante reside en la mayor rapidez de los trayectos. Otras constatan que el sistema permite asegurar un servicio más puntual alcanzando los autobuses la estación terminal con menos retraso.

Una de las aplicaciones más importantes del control de señales de circulación es el empleo del sistema VETAG (VE hicle TAG. gung) en las ciudades holandesas de Amsterdam, Utrecht, La Haya y Rotterdam. Se verá más adelante una descripción más detallada. Conviene, no obstante, hacer notar que, en este caso, el uso a largo plazo del sistema tiene objetivos muchos más vastos que el *mero accionamiento* de las señales de circulación. Desempeña, también, un papel de seguridad en los tranvías, en los cruces complejos, y como dispositivo de localización para la necesidad de control.

## 10. Equipamiento mediante radio de los autobuses

Numerosas redes recurren a los sistemas de radio para enfrentarse con las anomalías de explotación. El cuestionario ha puesto de manifiesto que 40 de entre las 70 empresas interesadas han adoptado o están adoptando algún sistema de radio. Los objetivos pretendidos difieren sin embargo considerablemente según cada empresa. En numerosos casos la adopción del sistema ha tenido por objeto facilitar la lucha contra los actos de violencia y vandalismo que se multiplican en los autobuses. La instalación de una radio a bordo del vehículo juega un papel disuasión y permite, asimismo, al agente único procurarse más fácilmente ayuda en caso de incidente.

No obstante, se sirven también de la radio para mejorar la calidad de control. Entre los sistemas de radio descritos, 37 permiten al controlador del puesto central el hablar a los controladores de línea, lo que daría a entender que el sistema no sirve solamente para control. En ciertos casos, la gama de control que se contempla es muy vasta y es probable que no se utilice el sistema más que para tomar decisiones motivadas por circunstancias críticas.

Varias empresas han señalado que utilizaban sistemas de radios de bolsillo que permitían a los controladores apostados a lo largo de la línea comunicarse entre sí. Tal sistema ha sido utilizado con cierto éxito en Londres.

Pocas redes han podido proporcionar datos precisos sobre las ventajas del sistema. Muchas de ellas están convencidas de su valor, pero no han adquirido aún experiencia suficiente para juzgar de la utilidad de la radio. No obstante, Londres ha señalado las ventajas obtenidas de la instalación de radio a bordo de los vehículos de la línea 76.

Se ha podido constatar una mejora en la regularidad de los servicios de autobuses y una disminución del tiempo medio de espera de los viajeros.

## 11. Dispositivos de localización de los autobuses

La encuesta ha señalado que existen diversos sistemas, bien ya en marcha o en trance de implantación. Pueden clasificarse bajo dos rúbricas principales:

1) *Material instalado a lo largo de la línea.* Los sistemas más antiguos utilizaban en su mayor parte *balizas* fijadas a lo largo de la línea, que registraban el paso de cada autobús o tranvía. Entre estos an-

tiguos sistemas puede citarse el BESI (ver más adelante) empleado en Londres (hoy en desuso) y un sistema análogo en París. Un sistema más perfeccionado que éste, desarrollado por Motorola y utilizado en Chicago, presenta numerosas características comunes con el sistema instalado a bordo del vehículo. Registra no solamente el paso de un autobús ante una baliza sino también el tiempo transcurrido desde su salida. A partir de estas informaciones, un ordenador central calcula la posición probable del autobús. Se dispone así de datos continuos. El VETAG es otro sistema instalado a lo largo de la línea. Se usa en varias ciudades europeas.

2) *Material instalado a bordo del vehículo.* En este caso los datos relativos al movimiento del autobús son registrados a bordo del mismo vehículo y transmitidos por radio a un controlador de tráfico. Los datos son proporcionados habitualmente por un odómetro que cuenta el número de vueltas de la rueda; sistema CARLA (ver más adelante), en Londres; sistema SECAMA (ver más adelante) en París. Ciertos sistemas son análogos a estos, pero las lecturas son *recogidas* por medio de señales recibidas automáticamente de las balizas (Toronto, Zurich y Hamburgo).

El cuestionario ha permitido identificar 14 sistemas distintos. 11 de ellos proporcionan continuamente datos sobre la posición de los vehículos. Todos están ligados con ordenadores que trabajan simultáneamente y con pantallas de visualización. Los otros 3 sistemas proporcionan indicaciones de forma discontinua, es decir, cuando el autobús pasa ante balizas fijas.

Datos auxiliares se transmiten de forma diversa. Las instrucciones transmitidas desde el controlador al autobús pueden ser precodificadas pero, ordinariamente, se transmiten en fonía. Ciertos sistemas auxiliares del ordenador son más perfeccionados, en el sentido de que indican en que modo podrían aportarse al servicio determinadas mejoras.

## 12. Control en la estación terminal de los autobuses

Si se considera, sobre todo, que el material de localización de los autobuses permite controlar los vehículos en línea, es igualmente necesario asegurar un estrecho control de la estación terminal. Realmente, en numerosas empresas se estima que éste es uno de los aspectos más importantes del control de los autobuses. Si estos no toman sus salidas a su debido tiempo y con intervalos regulares llega a ser, evidentemente, mucho



más difícil controlar su recorrido. Si, por el contrario, el servicio se asegura convenientemente, con salidas regulares desde la terminal, el papel de los sistemas de localización y de los métodos conexos de control del recorrido será el de remediar las perturbaciones del servicio relacionadas con la circulación.

Ejemplo de este sistema es el que se utiliza en París, que se describirá más adelante. En Toulouse se ha puesto a punto, para controlar las salidas, un algoritmo de regulación que, cuando sea plenamente operacional, permitirá trabajar en tiempo real, a partir de datos relativos al movimiento de los autobuses registrados en recorridos anteriores.

## 13. Ejemplos de sistemas de regulación automática para autobuses y tranvías.

### 13.1. *Autobuses del London Transport.*

El London Transport está en trance de equipar todos sus autobuses con un sistema de radio para llamadas de urgencia.

Prevé utilizar finalmente este sistema de radio a efectos de control. De momento se procede a efectuar ensayos sobre varias líneas piloto controladas de distintas formas. La referencia de la línea 76, ya mencionada, y que describe las ventajas del radio-control, es un ejemplo de estos ensayos.

Desde 1959, el London Transport experimenta, igualmente, el empleo de sistemas de telecomunicaciones para ayudar al control de los itinerarios de los autobuses. El primer sistema de este género era el BESI (Bus Electric Scanning Indicator-Indicador de autobús con barrido electrónico) que indica a un controlador que se encuentra en un puesto de mando central en qué momento un autobús pasa

delante de cualquier baliza de una red. En 1968, se ha dotado, de forma análoga, a los autobuses que circulan por una de las líneas equipadas con BESI con un sistema de radio a bordo y, desde entonces, todas las demás líneas equipadas con BESI utilizan igualmente la radio.

Este sistema ha demostrado ser muy útil al London Transport y es muy apreciado por los controladores. Desgraciadamente no se dispone de ninguna comparación entre la situación "anterior" y la "posterior" para poner en evidencia las mejoras aportadas a la calidad del servicio, pero se estima que éstas son apreciables. Sin embargo, el material propiamente dicho ha dejado de ser actual y al ser costoso su modernización ha dejado por ahora de utilizarse. Ha sido reemplazado por un sistema de radios portátiles que permite a los controladores de línea el comunicarse entre sí. Se ha revelado como otro medio que se ha puesto de manifiesto como muy eficaz y que, hoy en día, ha demostrado ser capaz de asegurar un nivel de control comparable con el proporcionado por el sistema BESI.

Ahora se ensaya el empleo del material de localización con un sistema más perfeccionado, puesto a punto por la Sociedad Marconi. Se conoce con el nombre de CARLA (Computer and Radio Location Aid - Ayuda a la localización por radio y ordenador). Constituye un progreso apreciable en materia de sistemas de control de los autobuses y completa los radios de a bordo proporcionando un fichado automático de la posición ocupada por cada autobús en su recorrido. Un ordenador central está programado para interrogar cada 5 segundos a cada autobús en servicio por medio de un enlace de datos de radio VHF. Cuando es interrogado el autobús envía una representación en código de la distancia recorrida en número de vueltas de rueda efectuado desde el control precedente. El ordenador en circuito establece la última posición, que se reproduce sobre una pantalla de fichado en el puesto de control central. Se verifica también el horario del autobús comparándolo con la hora de paso prevista por los puntos de control.

El sistema susodicho tiene los siguientes objetivos:

- 1) Asegurar un control más eficaz del itinerario, lo que debería traducirse en un servicio más regular para los viajeros y en una disminución de tiempo suplementario efectuado por el personal a bordo al fin del servicio.
- 2) Asegurar mejores relaciones con el personal, proveyéndole el medio de reclamar ayuda en caso de urgencia.

- 3) Reducir el número de controladores de línea necesarios para el ejercicio de un mismo nivel de supervisión.

Hasta ahora, la evaluación operacional del empleo de CARLA en la línea 11 ha proporcionado los datos siguientes:

- 1) Se ha registrado, al fin de recorrido, una acentuada mejora de la regularidad de los servicios de punta de la tarde, llevando consigo una disminución del tiempo medio de espera de los viajeros que podía alcanzar el 25 %. No obstante, no se ha notado ninguna mejora sensible de la regularidad a las demás horas del día o en otros puntos del recorrido. Se ha evaluado en unas 40.000 libras anuales el beneficio social de la mejora conseguida, medida sobre la línea 11.
- 2) No se ha registrado ninguna diferencia apreciable en el número de veces en que el personal de los vehículos acaba su servicio con retraso. Los datos recogidos no permiten sacar conclusiones.
- 3) Las ventajas indicadas han sido obtenidas a pesar de la disminución de efectivos de los controladores. Se puede tal vez concluir que la adopción de un sistema tal como el CARLA se traduciría, a largo plazo, en una reducción de los gastos de explotación.

En términos operacionales, el sistema se ha revelado eficaz, pero a condición de que los autobuses estén bien conservados y que se disponga de vehículos equipados de modo apropiado en los depósitos. Aunque a largo plazo el sistema haya de acarrear probablemente una disminución de efectivos entre los controladores ha demostrado también la imposibilidad práctica de adoptar un sistema de control completamente centralizado. Se mantendría la necesidad de los controladores de línea, especial en los momentos de relevo y en los terminales. Es probable que una buena parte de la mejora registrada vuelva al sistema de radio incorporado al CARLA. El fichaje visual se ha demostrado útil en el servicio normal pero el interés que habría en recibir datos continuos no se ha comprobado aún de modo definitivo, sobre todo si se tiene en cuenta el aumento de coste que implica. Lo que cuenta tal vez, desde ahora en adelante, es que el sistema no ha permitido realizar ninguna mejora en el control del respeto al horario, lo cual presenta una importancia particular en los terminales.

Aunque en numerosos informes el sistema CARLA haya sido un éxito subsisten aún ciertas dudas en cuanto a saber si constituye el método más eficaz de mejorar el control de los autobuses.

## 13.2. *Los autobuses en París*

De igual modo que en otras empresas es habitual en la RATP el confiar la regulación a agentes expertos encargados, de entre otras múltiples tareas, de hacer respetar exigencias de puntualidad (toma de servicio) o de regularidad, salidas de horario determinado, válidas para un período determinado de la explotación. Con el fin de asistir a los controladores han estado ensayándose o se ensayan hoy en día sobre la red un cierto número de sistemas de ayuda a la regulación, las cuales se examinan por orden de aparición histórica.

### 13.2.1. Los mandos centralizados de partida (Comandes Centralisés de départ - CCD).

La idea se remonta a 1938 y han sido probadas hasta 1955 en una docena de líneas y después desarrolladas en serie. Actualmente 104 líneas (52 por ciento de la red) están equipadas en una o varias terminales y 218 CCD están en servicio. Estos dispositivos emiten automáticamente una señal de partida al conductor a partir del bobinado de un film perforado. Estas perforaciones corresponden a los puntos de partida previstos en el horario.

En lo esencial asisten al controlador en las maniobras sencillas pero frecuentes de retraso progresivo de las salidas con relación al horario para absorber una laguna (de la cual se ha previsto o constatado la llegada) y tras ello volver lentamente hacia el horario de base. Permiten también establecer correspondencias con el metro. Aliviando al controlador los CCD llevan incorporadas economías sustanciales en personal. Un controlador supervisa de 2 a 4 líneas, lo que representa, por puesto de trabajo, de 250 a 350 salidas.

El sistema ha satisfecho y va a modernizarse utilizándose miniprocesadores. Los primeros prototipos se han comprobado en Febrero de 1977 y el lanzamiento de la serie se previó para Octubre del mismo año y permitirá renovar y extender dicho dispositivo a numerosas líneas suplementarias.

### 13.2.2. *Detección automática de autobuses*

Iniciada en 1965 se realizó sobre las líneas 27 y 54 una experiencia de detección automática de los autobuses en ciertos puntos fijos (balizas). Pequeños radiotransmisores equipan cada autobús y emiten su número a balizas receptoras que lo transmiten por cable al controlador situado en el CCD. Hasta el momento se ha evidenciado que solamente la baliza más próxima al terminal era utilizada correctamente. El equipamiento se en-

cuentra en renovación y es de esperar que la última experimentación, en 1977, permita definir los límites de la cantidad de información utilizable eficazmente por un controlador adiestrado.

Aunque este sistema da resultados interesantes es difícil extenderlo mucho pues implica demasiados equipamientos en la red viaria y en líneas telefónicas.

### 13.2.3. *La radiotelefonía*

Se ha ensayado desde 1968 y los ensayos de explotación han permitido fijar los datos funcionales que son, esencialmente, los siguientes: 150 autobuses por canal, llamada selectiva por línea o grupo de líneas (50 autobuses como máximo). La gestión de cambios se confía por entero a los controladores. Actualmente 1.500 autobuses están equipados, de un total de 3.000, correspondiendo a 70 líneas cuya mayor parte está en París intramuros. El equipamiento de toda la red se programó para finales de 1978. La eficacia de la radiotelefonía en la regulación es indiscutible pues se adapta perfectamente a las perturbaciones de carácter imprevisible.

### 13.2.4. *SECAMA (Système Experimental de Controle Automatique du Mouvement des Autobus).*

Este sistema representa el dispositivo más completo experimentado hasta el momento actual. La realización técnica ha comenzado en 1971; la explotación técnica in situ en Diciembre de 1973; la explotación operacional después de Febrero de 1975. Cada autobús está equipado de captadores de número de vueltas de rueda, de contadores de viajeros que suben y bajan. La información memorizada se envía tras la pregunta cíclica de la estación central de radio, que tiene lugar cada 10 segundos. La posición del autobús se muestra automáticamente en cada apertura de puertas y se representa sobre la pantalla catódica de una consola gráfica. El conjunto de informaciones recibidas se trata mediante ordenador y almacenado en paralelo en bandas magnéticas. El controlador dispone igualmente de una impresora que le permite guardar la señal de cualquier suceso.

Puesto a prueba con los mismos controladores escogidos por su competencia el sistema ha sido evaluado desde su utilización en Marzo de 1975 hasta Noviembre-Diciembre de 1975.

Se concluye que el sistema SECAMA ha permitido a los controladores el abrir más el abanico de maniobras de regulación posible y que el número de acciones de regulación ha aumentado mucho (5

veces más de medias vueltas, por ejemplo). La evaluación ha evidenciado una reducción (20 al 25 %) en el número de grupos de autobuses. Esto no es perceptible para los viajeros más que en las horas punta de la tarde en el sentido de carga. Supone una reducción de la espera media y de su desviación, del orden del 9 %.

Este resultado positivo ha de imputarse a la "vigilancia continua" aportado por el sistema SECA-MA, al cual los conductores son sensibles. No se debe a la utilización del sistema por los controladores. Por el contrario, comparada con la regulación clásica de los terminales, asistidos del CCD, ya descrito, no se ha podido evidenciar una mejora significativa de la regularidad de salidas, de la regularidad en finales de línea y del número de servicios que terminan con retraso.

Esta experimentación ha llamado la atención sobre la dificultad de adivinar el futuro próximo de una línea perturbada, aún cuando se conozca la posición de todos los autobuses. Ha permitido también constatar la imposibilidad actual de discernir que una maniobra eficaz a corto plazo puede, en ciertas condiciones, inducir a medio y largo plazo a una situación aún más perturbada que si no se hubiera hecho nada.

Actualmente, la ausencia de resultados alentadores, junto con problemas de mantenimiento, condujo a la suspensión de la utilización de SECAMA.

Estos y otros ensayos han evidenciado algunas reglas sencillas que guían actualmente la actuación de la RATP.

- 1) El primer límite que alcanza un sistema de ayuda es la del propio personal de explotación. La producción de una multiplicidad de información crea el problema de una formación específica del personal para que la sepa utilizar, lo que exige tiempo.
- 2) No es posible confiar a un mismo tipo de sistema la regulación de todas las líneas. Existen grandes diferencias entre niveles de perturbación; en ciertos casos una ayuda a la regulación se considera indispensable pero debe posibilitarse modular las necesidades según una jerarquía de medios.
- 3) Una conclusión se impone: para la regularidad de la explotación de una línea de autobuses nada puede reemplazar a un horario bien establecido. Ahora bien, ello necesita un conocimiento estadístico de los tiempos de recorrido; la RATP ha procedido al estudio de registradores de datos embarcados en los autobuses

que, entre otros resultados, daría tal información. Se siguen buscando medios más sencillos de recoger esta información de modo fiable.

### 13.3. Control de autobuses y tranvías en las grandes ciudades de los Países Bajos.

En el marco de intercambio de ideas, que se llevan a cabo regularmente sobre la planificación de la explotación de los transportes colectivos urbanos, las empresas de transportes colectivos de Amsterdam, de La Haya, de Rotterdam y de Utrecht han sometido a consideración planes que tienden a conceder un mayor repertorio de prioridades en los transportes colectivos. Estos planes recomiendan la adopción de un sistema perfeccionado de control de vehículos, el VETAG o VE hicle TAG ung, que tiene por objetivos los siguientes:

- a) Asegurar en los cruces la prioridad a los transportes colectivos (y, eventualmente, a servicios públicos que se señalan especialmente).
- b) Transformar, a largo plazo, este sistema en uno de localización y control de itinerarios.
- c) Asegurar una señalización de seguridad a algunos de los cruces principales de líneas de tranvías.

La fase piloto de este proyecto ha sido iniciada en Amsterdam, donde se utiliza la VETAG para controlar los semáforos y los cambios de aguja en la línea 1 de tranvías. Un sistema más perfeccionado, que asegura una señalización con enclaves de seguridad en la estación de tranvías situado por encima de la estación central de La Haya se ha puesto en servicio, sistema que controla automáticamente el funcionamiento de dicho nudo pero si el desenvolvimiento del programa encuentra algunas dificultades el personal de control central puede siempre sustituir al control automático. En este sistema, igual que el que se utiliza en Amsterdam, los controladores están enlazados por radio con los conductores.

Al recomendar este sistema, el informe se fija los objetivos siguientes:

- 1) Dar, a los cruces equipados con semáforos, la prioridad a los transportes colectivos (y también a otros servicios públicos).
- 2) Controlar los cambios de aguja necesarios para la circulación de los tranvías.
- 3) Actuar de forma que los servicios de autobuses y de tranvías respeten sus horarios.
- 4) Sincronizar las correspondencias entre las

# AUTOMATIZACION DEL CONTROL DE LA EXPLOTACION DE LOS TRANSPORTES COLECTIVOS

líneas y asegurar una buena "mezcla" de los servicios en los trozos de recorrido común.

- 5) Prevenir con anticipación el aviso de llegada de vehículos.

Dada la necesidad de controlar con precisión los semáforos y los cambios de aguja (objetivos 1 y 2) se ha convenido que el sistema utilizaría material instalado a lo largo de la línea (y anotando el paso de cada vehículo) mejor que con aparatos que operaran desde los mismos vehículos. Esto crea dificultades de comunicación del mismo tipo de las probadas en París cuando era necesario proporcionar información a los controladores del puesto de mando central. En el caso considerado, se ha estimado no obstante que el sistema tenía como objetivo esencial el asegurar a los vehículos la prioridad en los semáforos y en los cruces, y que este objetivo no podía alcanzarse con un grado de precisión suficiente nada más que con un medio de detección instalado a lo largo de la línea.

Se espera que este material se complete bien por una red de líneas telefónicas enlazando cada cruce controlado por el centro de supervisión, bien por un sistema de localización que opere desde los mismos vehículos. La elección entre estas posibilidades se efectuará en una fase posterior y en función de las posibilidades de realización y del coste de una tal red de telecomunicación instalado en cada gran ciudad.

Este sistema es especialmente interesante en el sentido que exige la coordinación del control de la circulación entre el sector público y el sector privado. La mayor parte de las demás grandes ciudades han tendido a tratar estos dos sectores separadamente y han relacionado el control de semáforos con el control de tráfico por zonas, las cuales por lo general dependen de autoridades distintas. Por el contrario, el sistema proyectado por las grandes ciudades holandesas reconoce la importancia que presentan los atascos en la explotación de autobuses y tranvías y se esfuerza en atacar el sistema en sus orígenes.

## 13.4. Sistema de control de los transportes de superficie en Toronto

Este sistema es uno de los más perfectos que se hayan proyectado para el control de los transportes. Combina la mayor parte de las características de los sistemas de localización puestos a punto en París y en Londres con un sistema de telecomunicaciones que permite la transmisión entre los conductores y el controlador y viceversa mensajes en fonía o precodificados.

El estudio relativo a las posibilidades de realización de esta técnica se puso a punto y la etapa siguiente consiste en estudiar el funcionamiento del sistema sobre 100 autobuses pilotos durante un período en el que se ponen a prueba diversas estrategias de explotación y de planificación, que permitirán evaluar si el sistema constituye o no un éxito. Se decide tras ello si conviene extender a todo el parque de vehículos de transportes colectivos, autobuses, trolebuses y tranvías.

En el cuadro de puesta a punto de este sistema se ha procedido a un estudio detallado de las necesidades operacionales en materia de control. Se han definido las necesidades del modo siguiente:

- 1) Supervisión de itinerarios - necesidad de apreciar rápidamente las variaciones sobrevenidas en el horario y de tomar medidas eficaces para remediarlas.
- 2) Tratamiento de urgencias - notificación inmediata de urgencias y envío de la ayuda necesaria.
- 3) Establecimiento dinámico de los horarios - recogida de datos sobre el movimiento de viajeros a fin de establecer los horarios que respondan mejor a las circunstancias.
- 4) Informes a la dirección - Registro automático de incidentes y establecimiento de notas.
- 5) Información de los viajeros - tratamiento de informaciones relativas al horario real de los vehículos y comunicación de esta información a los viajeros.
- 6) Prioridad en las señales de circulación - transmisión de datos por el material de localización para llevar a aquellas a dar prioridad.

Se ha concluido que los datos recogidos por las dos primeras estrategias proporcionan información suficiente sobre las otras 4.

Para la puesta en práctica de este sistema, Toronto ha construido su propio microprocesador montado sobre autobuses (TRUMP), que se funda sobre un odómetro pero la precisión de las posiciones indicadas es comprobada simultáneamente por referencia a las balizas situadas en los terminales de líneas y utilizando el algoritmo en uso en París, el cual es actuado por la apertura y cierre de puertas. Todo esto permite localizar los vehículos en todo momento con una precisión de unos 12 metros.

El conductor de autobús se sirve de un teclado con 16 botones que le permite dirigir directamente mensajes al controlador, y de un cuadro de fichaje sencillo, que permite al controlador enviar mensajes al conductor para indicarle, por ejemplo, el adelan-

to o el retraso que lleva respecto al horario. Por su parte el controlador utiliza una pantalla catódica en color sobre la cual pueden ser fichados los datos relativos a la situación de todos los autobuses bajo su control, cualquier mensaje relativo a una urgencia, y estadísticas de explotación. Además de estos aparatos perfeccionados se ha previsto un enlace radiofónico que funciona en ambos sentidos. El empleo de mensajes precodificados se orienta sin embargo a reducir al mínimo el número necesario de llamadas en fonía y, por eso, a aumentar el volumen de información transmitida o el número de autobuses susceptibles de control.

### 13.5. Principios del sistema de control de autobuses en Hamburgo

Desde 1960 la Hamburger Hochbahn AG experimenta un sistema de control automático de los autobuses. En dicha época había decidido crear un sistema que permitiera al controlador hacer frente con eficacia a las perturbaciones más frecuentes que se producían sobre líneas relativamente largas. En 1975 la sala de control ha sido equipada, además, con un ordenador, encargado de ciertas funciones específicas que comprenden la recogida de datos que indican la posición de todos los vehículos con relación a su horario. Estos datos deben asegurar:

- a) La detección rápida del efecto de atascos de circulación por comparación entre la posición efectiva del autobús en su recorrido y la prevista por el horario.
- b) La puesta en servicio de vehículos suplementarios, en caso necesario.
- c) La modificación de los momentos de correspondencia cuando se producen retrasos.

Las medidas adoptadas hasta ahora se traducen en las ventajas que se indican, y que lo son tanto para los viajeros como para la explotación.

1. Reducción de la duración del trayecto.
2. Mejora de la puntualidad.
3. Menor utilización de radioteléfonos.
4. Disminución de la tensión nerviosa de los conductores.
5. Utilización más económica de los vehículos.
6. Reducción del número de agentes de control.

Se asegura así que todos los autobuses parten de sus paradas en el momento previsto por el horario oficial y que todas las líneas son explotadas conforme con dicho horario. Esta planificación se orienta a controlar el movimiento de los autobuses desde el momento en que dejan el depósito, hasta que vuelven a él.

Cada línea es servida por uno o varios vehículos a los cuales se les ha atribuido un número de marcha. Este, junto con el número de la línea, permite identificar al autobús. Todos los horarios de explotación son registrados en discos magnéticos, lo que permite al ordenador elaborar un cuadro de números de marcha y de línea de todos los autobuses en circulación en un momento dado. Cíclicamente se dirigen mensajes a todos estos autobuses desde el puesto de control central.

El material a bordo comprende un emisor-receptor enlazado con el aparato de tratamiento de datos. Antes de comenzar un recorrido el conductor transmite su número de línea y su número de marcha a una unidad central de tratamiento de datos lo que permite dirigir todos los mensajes que emanan del control central hacia el autobús que posee la identificación codificada apropiada. Cuando es interrogado por el puesto de control central el autobús responde automáticamente dando los datos de su posición y si está provisto de contadores de registro de número de entradas y salidas de viajeros esta información también se transmite.

Emisores en código colocados a lo largo de la línea envían mensajes a distancia de 6 metros y cuando un autobús pasa ante este emisor un número de código se transmite al receptor del autobús y el contador de distancias se pone a cero. Tras ello, por cada recorrido de 100 metros medido por el odómetro el contador de distancia avanza una unidad. Se puede calcular así la distancia recorrida desde el paso ante el emisor de posición precedente. Para identificar los cambios de dirección se ha colocado un emisor de posición al principio y al final de cada línea. Si un autobús ha de ponerse en marcha en medio de la ruta conviene prever otro emisor en este lugar.

Tras cada llamada del puesto de control central el autobús responde indicando su posición que es combinada en el ordenador con los números de línea y de marcha y a partir de dichos datos se puede obtener un fichado en varios colores indicando la posición efectiva del vehículo comparándola con la que debería ocupar si el horario se hubiera respetado.

La gran capacidad de tratamiento de datos de este sistema permite interrogar a 100 autobuses en un lapso de tiempo de unos 30 segundos.

### 13.6. Control de tranvías y autobuses en Zurich

El sistema de guía y control utilizados primeramente se ha completado con un sistema de datos y

de informaciones que aseguran un método de control superior al de los radioteléfonos. A este efecto es indispensable proporcionar rápida y continuamente al centro de control informaciones relativas a la posición de los autobuses y a las condiciones de circulación. Un cuadro de conjunto de los movimientos de todos los autobuses y tranvías bajo su vigilancia permite al control central tomar las medidas correctoras necesarias para lo cual es necesario poder comunicar rápidamente, como ya hemos dicho, la información correspondiente. Esto se consigue interrogando a más de 500 vehículos en menos de 12 segundos. Durante dicho lapso de tiempo toda la información procedente de los vehículos debe tratarse en el ordenador central y fichadas de modo apropiado ante el controlador de tráfico. El tiempo necesario para ello es con frecuencia inferior a lo que exige normalmente una llamada de radio dirigida a un vehículo.

La transmisión rápida de la información entre autobuses y controladores se obtiene por la codificación de datos relativos a todas las señales y mensajes programables. Estos datos llevan, en su conjunto, la notificación de retrasos y el resto de la información del control central a los vehículos. Se dispone así de un fichado automático que registra la posición efectiva y la compara con la del horario.

La fase piloto del proyecto comprende el establecimiento de un sistema de telecomunicación que transmite los datos por radio, y que servirá de base al desarrollo de todas las fases posteriores. Por lo general el conductor no aprecia el intercambio de datos que se lleva a cabo mas que cuando tiene necesidad de enviar un mensaje al control central o cuando éste tiene que enviarle alguno a él mismo. Cada nueva instrucción se indica mediante una señal acústica. Cuando un conductor, por el contrario, desea comunicarse presiona el botón de "LLAMADA", indicación que se transmite al control central en el cuadro de un ciclo regular y se ficha en la unidad de presentación visual de información. El controlador acciona un pulsador que selecciona una vía de fonía que se encuentre libre para conectar con el conductor, operación que resulta instantánea. La "URGENCIA" tiene un botón especial y en este caso el mensaje se transmite mediante una "llamada de urgencia especial" que enlaza al vehículo con el control central en un segundo. Si por alguna circunstancia el conductor no puede hablar se adoptan inmediatamente medidas para ayudarle. En el puesto de control central puede ser controlado un itinerario dado por una o varias tablas de control.

El aspecto particular de la fase 2 reside en el

registro totalmente automático de la posición del vehículo y la comparación con el previsto, cualquier retraso se transmite automáticamente a un dispositivo de fichado numérico y, de esta forma, los conductores pueden salir más pronto de un punto de parada y recuperar ligeros retrasos. La identificación precisa de su posición permite dar prioridad a los vehículos retrasados controlando especialmente los semáforos y en caso de obstrucción material el ordenador puede sugerir ciertas modificaciones sobre una base interactiva, como por ejemplo:

- 1) Cambios de itinerarios.
- 2) Elección de horarios de recambio.
- 3) Paso a un horario basado en el intervalo entre vehículos.
- 4) Empleo de vehículos suplementarios.

El uso estadístico y global de todos estos datos permite adaptar constantemente los horarios a las variaciones en el número de viajeros y a las fluctuaciones de la circulación, con el fin de limitar el número de vehículos en funcionamiento.

Los buenos resultados obtenidos hasta ahora en Zurich han confirmado el valor de la concepción del sistema y de su realización técnica y en adelante los perfeccionamientos de este control operacional de autobuses y tranvías se apoyarán en él.

## D) CONCLUSIONES

### 14. Evaluación de los sistemas automáticos

Emerge claramente que las empresas han adoptado tecnologías muy diversas pero conviene ver las conclusiones que pueden extraerse de todo lo anterior.

En cierta medida se está tentado de sugerir que la puesta en común de la experiencia adquirida debiera traducirse en un nivel de eficacia mayor y que toda organización pudiera beneficiarse de la experiencia de las demás. No obstante es conveniente tener en cuenta que cada empresa se encuentra en una situación especial, dimensiones de la red, de la intensidad de la demanda, de la complejidad de las correspondencias, etc. Las estructuras de costes varían en función del grado de utilización de la mano de obra, del coste de la energía, etc. Tal vez sea en las redes de transportes colectivos de superficie donde se den mayores diferencias ya que debe tenerse cuenta del grado de utilización de la red viaria por los demás usuarios.

Las normas que podrían recomendarse varían con el tiempo y en un principio de la automatización del tráfico de viajeros en los ferrocarriles ha debido

responder a normas de seguridad evidentes y se ha llegado, hoy en día, a un nivel satisfactorio. Salvo esto es poco probable el poder recomendar normas internacionales específicas. De ahí que sea más prometedora la vía de acercamiento paulatino de la metodología a adoptar y deben identificarse los diferentes objetivos a los que debe responder la automatización, las diferentes estructuras de costes de cada empresa y de las diferencias en la distribución y volumen de la demanda.

Consideremos, primeramente, los objetivos de la automatización. Se pueden resumir así:

- 1) Mejora del servicio ofrecido.
- 2) Mejora de la seguridad de las redes (gracias a una comunicación más rápida y más eficaz).
- 3) Mejora de la economía global de la explotación (mano de obra, utilización de la energía, etc.)

Los métodos utilizados para evaluar las economías de mano de obra que permite realizar la automatización son más o menos evidentes. Es posible, generalmente, calcular la inversión del equipo técnico necesario y del personal que ha de utilizarlo y de compararlo con el coste de los métodos actuales si se continuara con ellos. A tal fin pueden compararse los gastos de inversión en material al ahorro anual derivado de una reducción de efectivos procediendo a un cálculo de descuento del flujo de caja. Las únicas dificultades inherentes a este proceso residen probablemente en la determinación de las economías del personal y de su expresión en términos financieros. Para lo primero ha de procederse a evaluar el trabajo de los agentes, sencillo en principio pero, a menudo, con inconvenientes en su puesta en práctica. Para lo segundo es importante conocer la incidencia en los costes de la calidad y cantidad de personal. La calidad es importante pues los nuevos sistemas pueden exigir agentes suplementarios provistos de calificaciones especiales y que por ello costarán con toda seguridad más. Por el contrario el aumento de carga de trabajo que ha de recaer sobre los demás agentes necesarios puede traducirse, a la larga, por una disminución de los costes marginales a medida que el número de agentes a reclutar disminuye.

Por fin, los más difíciles de calcular son los costos y ventajas de estos cambios respecto del público. Para ello es necesario de momento, prever cuales son tales mejoras y después a quienes beneficiará. Se han considerado varios intentos de simulación tales como los de la línea Nortltern y Victoria del metro de Londres y en la RATP de París y permiten calcular la economía de tiempo de los usuarios; casi todos los países siguen en esta línea de estudios

que han de fundarse en la importancia relativa que la gente concede a un ahorro de tiempo y de dinero, de lo cual se puede deducir el valor de un proyecto de este tipo para la comunidad.

Otro perfeccionamiento de este proceso consiste en calcular el número de recorridos suplementarios que se conseguiría y, de esta forma, el London Transport ha procedido a tal estimación basándose en servicios con diferente elasticidad cuya definición se hace así:

Elasticidad:

Cambio en la demanda (%)

Cambio en las variables que la determinan (%)

Una elasticidad de  $-0,1$  en el tiempo de espera indicaría que por cada disminución del 1 % en dicho tiempo de espera se aumentaría en un 1 % la demanda y, con ello, un 0,1 % de los ingresos. Las investigaciones, en profundidad, de la London Transport han permitido establecer estimaciones de los efectos derivados de la duración de los recorridos y de los tiempos de espera, y se refieren a frecuencias y a mercados diferentes.

Son consideraciones de este tipo las que indican los métodos que podrían utilizarse para estimar los costes del sistema, las ventajas de las que se benefician los actuales usuarios e incluso el aumento de frecuencia que podría resultar de las nuevas técnicas de automatización. La tarea final consiste en reunir todos estos elementos bajo la forma de una evaluación del sistema que tradujera los objetivos corporativos que se ha fijado la empresa que en el caso del London Transport se ha establecido en maximizar el número de viajeros-kilómetro ofrecidos dentro del marco presupuestario determinados por el Greater London Council (Consejo del Gran Londres). Para la realización de este objetivo un proyecto puede ser valioso aunque funcione con pérdidas con tal de que se traduzca en un número suficiente de viajeros-kilómetro.

## 15. Propuesta sobre Conclusiones

Aunque sea imposible formular normas de automatización comunes se pueden notar, sin embargo, ciertas tendencias importantes de carácter general.

### 1) *El coste creciente de personal.*

Abstracción hecha de los efectos a corto plazo de la recesión económica es necesario esperar que el coste efectivo de reclutamiento y de la remuneración de personal no haga más que aumentar. Es

## AUTOMATIZACION DEL CONTROL DE LA EXPLOTACION DE LOS TRANSPORTES COLECTIVOS

verosímil, ciertamente, que tales costes aumenten más que los de la tecnología; de ahí que el economizar personal sea cada vez más ventajoso.

### 2) *La necesidad de aumentar la calidad del servicio.*

Es inevitable que para enfrentarse a la creciente concurrencia del automóvil privado los transportes colectivos tengan que mejorar la calidad de los servicios ofrecidos a los usuarios. Si la automatización ayuda a ello será valiosa en la medida en que lo haga a un coste relacionado con las ventajas que aporte. Algo más importante aún es el demostrar que es más rentable que otros proyectos que se han proyectado para mejorar aquéllos.

### 3) *La necesidad de una eficacia económica.*

De lo anterior surge la necesidad de evaluar correctamente los proyectos de automatización en el contexto de atribución de recursos disponibles para los proyectos de recambio. Sería improductivo invertir con exceso en la automatización ya que de esa forma absorbería una parte de los beneficios de los transportes colectivos, mayor de la que merece, perdiéndose la posibilidad de utilizar más juiciosamente los fondos que han quedado de esa forma inmovilizados.

Tal vez este último punto deba considerarse como un tema importante de este informe, el saber que debe vigilarse el entusiasmo por proyectos de automatización. Cada uno de ellos debe examinarse en relación con las ventajas para la empresa y los usuarios. Los recursos afectados a cada proyecto deben estar en relación con las ventajas que pudieran derivarse de otros proyectos.

## CONCLUSIONES DEFINITIVAS

Tras la exposición del informe tuvo lugar una rica discusión en la que diferentes participantes, en base al retraso de información que pudiera suponer el uso de encuesta, expusieron noticias de última hora y tras una iniciación del propio ponente Sr. Maxwell, síntesis de su trabajo, pasaron a describirse los sistemas de la estación central de Lyon —autobuses, urbanos e interurbanos y trolebuses— de avanzada técnica; el centro de control de

Bruselas —metro, tranvía y autobús—; las técnicas de la Bahía de San Francisco —sistema BART y referencias a la red metropolitana de Pekín y otros modos de transportes individualizados (PRT)—; el sistema VAL de la ciudad de Lille, con su metro ligero y la depurada labor llevada a cabo en Besançon.

No obstante, se consideraron válidas las propuestas formuladas que quedaron así:

“El alto nivel de servicios de transportes públicos sobre carril y mediante autobuses descansa grandemente en la automatización de los diversos procesos de explotación. El Congreso alienta, por consiguiente, cuantos esfuerzos se emprenden por sus miembros con la intención de poner a punto e introducir nuevos métodos de automatización. Deben, fundamentalmente, orientarse a

- 1.º Mejorar los servicios ofrecidos aumentando la capacidad, la seguridad y la fiabilidad de los sistemas de transporte.
- 2.º Localizar y eliminar rápidamente las perturbaciones que acaecen en la explotación gracias a la detección automática de sus causas.
- 3.º Mejorar la información consolidando los medios de comunicación entre los usuarios en las paradas y en los vehículos y el puesto de mando centralizado.
- 4.º Reducir los costes de explotación disminuyendo las necesidades de mano de obra en los diferentes sectores de las empresas.
- 5.º Mejor utilización de los recursos existentes (personal, energía, material) y aumentándose así la rentabilidad global de los transportes públicos.

No deben sobreestimarse las ventajas ofrecidas por la automatización y es conveniente examinar, en cada caso particular, si no es posible alcanzar el mismo objetivo con otros medios.

Los proyectos de automatización exigen por lo general importantes inversiones que las empresas no pueden soportar solas y dado que los poderes públicos deben preocuparse cada vez más de los servicios de transportes colectivos sería deseable el conceder a las empresas una ayuda financiera apropiada, como se hace ya en diversos países.