



METRO DE MADRID, S. A.

ALAMYS
COMITE DE OPERACIONES

1742

**FILOSOFIA DE REGULACION Y OPTIMIZACION
DEL
TRAFICO DE TRENES**

AURELIO ROJO GARRIDO
Ingeniero Jefe División de Movimiento

Octubre 1994

**(Miembro del Subcomité de Explotación
del Comité de Metros de la U.I.T.P.)**



METRO DE MADRID, S. A.

FILOSOFIA DE REGULACION Y OPTIMIZACION DEL TRAFICO DE TRENES

Introducción

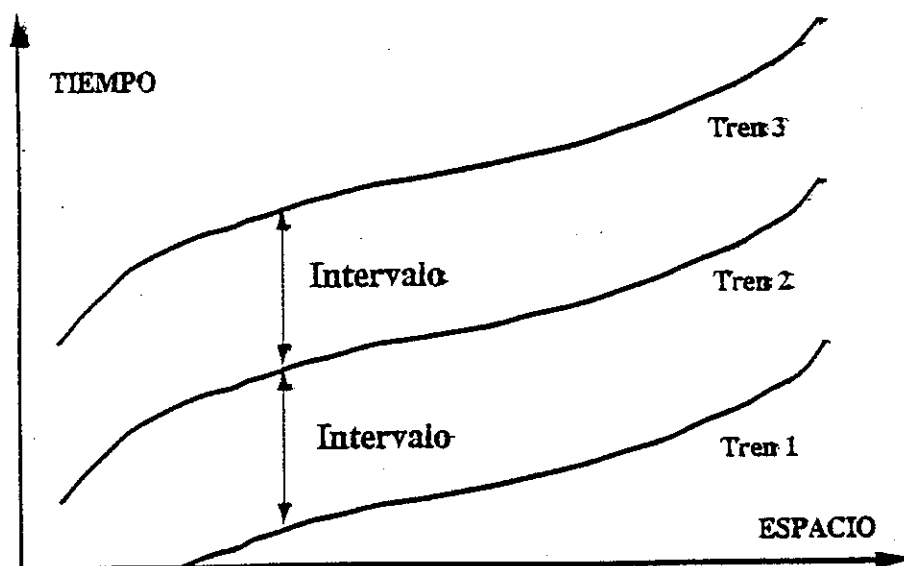
Las nuevas y crecientes necesidades de explotación de las líneas de Metro, derivadas de los incrementos de demanda y de las exigencias de mayor calidad en el servicio, implican un aumento de la capacidad de transporte mediante el aumento de la velocidad comercial (nuevos diseños del Material Móvil, conducción automática, etc.) y disminución del intervalo mínimo (permite incrementar el número máximo de trenes) hasta valores de 1 min. 30 seg. a 2 min. y mantenimiento estricto de la regularidad.

La consecución de estas tres premisas implica necesariamente el abandono de antiguos criterios de programación basados en el mantenimiento de estrictos horarios, basados en gráficos ferroviarios así como la asunción de nuevas filosofías de regulación que desechen como factor primordial el gobierno de las señales y pasen a basarse en la optimización de la circulación de los trenes, basada en la simulación y predicción del comportamiento de la línea en los instantes siguientes.

REGULACION OPTIMIZADA DEL INTERVALO

Los antiguos sistemas de regulación disminuyen la velocidad por mantener la regularidad.

- Objetivos**
- Mantener la frecuencia de paso constante
 - Mantener la velocidad comercial prevista



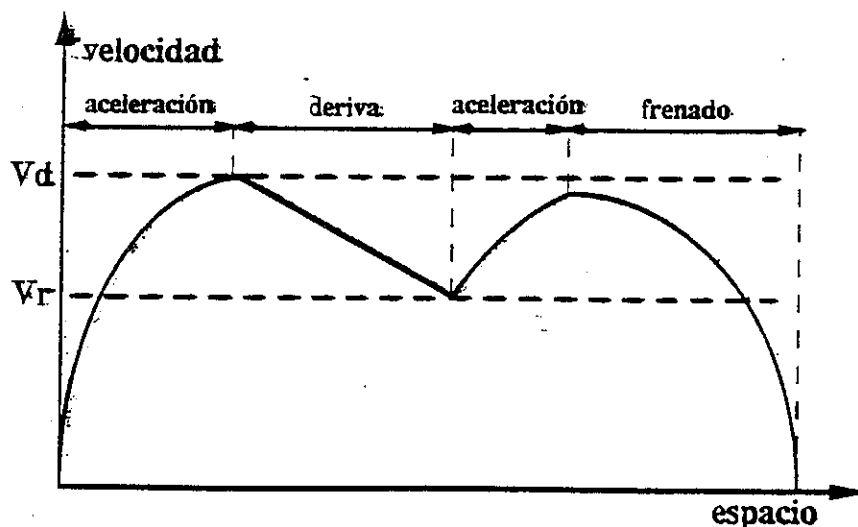


CARACTERISTICAS DE UNA LINEA DE METRO

- Sobrecarga en horas punta.
- Flujos de viajeros altos y cambiantes.
- Tiende al desequilibrio - INESTABILIDAD
 - Un TREN RETRASADO.
 - Aumenta su retraso.
 - Perturba al siguiente.
 - Propaga la perturbación a toda la línea.

CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE REGULACION

- Lleva al SISTEMA al punto de equilibrio, de forma optima desde cualquier situación de perturbación.
- Se adapta a los cambios de escenario (modificación de programa) y perturbaciones sistemáticas.
- Predice el comportamiento a corto y medio plazo de la línea.
- Optimiza la velocidad comercial y minimiza las esperas en estación.
- Utiliza 3 tipos de acciones de control
 - Aceleraciones
 - Deriva
 - Frenado
- Optimiza el coste energético de las acciones de control.
- Maneja informaciones simples:
 - Tiempos de entrada y salida de trenes en estaciones.





ELECCION DE SISTEMAS DE CONTROL APROPIADOS

La elección del tipo de sistema de control apropiado es esencial para el correcto funcionamiento del programa de regulación:

SISTEMAS DE CONTROL EN "LAZO ABIERTO"

- Tratan de caracterizar los distintos tipos de perturbaciones.
- Suponen que la línea está equilibrada salvo una perturbación.
- Detectada la perturbación, se dispara la estrategia de control.
- Supone que no llegan nuevas perturbaciones durante el plan de control.

Problemas

- No es válido para líneas sobrecargadas (continuamente perturbadas).
- No lleva el sistema al punto ideal desde situaciones muy desequilibradas.

REALIMENTACION LINEAL DE VARIABLES DE ESTADO

- Linealiza el sistema alrededor del punto de equilibrio.
- No tiene en cuenta las NO LINEALIDADES:
 - Del sistema, cuando los trenes se interfieren.
 - De la carga de viajeros, cuando un tren se llena al máximo.
 - Del control, ya que la capacidad de recuperación de tiempo está limitada.

Problemas

- El algoritmo sólo es válido para pequeña perturbación, cerca del punto de equilibrio.
- No lleva el sistema al punto ideal desde situaciones muy desequilibradas.

CONCLUSION

Es necesario incorporar la simulación predictiva al sistema de control realimentado.



COEXISTENCIA DE DOS TIPOS DE CONTROL

CONTROL A CORTO PLAZO

- Elabora horas de entrada y salida de las siguientes estaciones.
- Elige la marcha del tren que más se ajusta a dichas horas.
- Actúa cada vez que el tren sale de una estación.
- Ahorra energía.
- Algoritmo sencillo y rápido.

CONTROL A MEDIO PLAZO

- Establece un plan de control global válido para los próximos minutos.
- Determina el tiempo que tiene que ganar o perder cada tren respecto a su marcha nominal al final del plan de control.
- Dispone de un simulador rápido para:
 - Prever el estado del sistema de un futuro cercano y en base a ello diseñar el plan de control.
 - Traduce el plan en un programa específico para cada tren, que será la referencia de control a corto plazo.
 - Si es necesario ensaya planes alternativos y elige el mejor según una función objetivo (rapidez, ahorro, etc.).

ADAPTACION A PLANIFICACIONES HORARIAS

Se consideran como datos de entrada fijos al sistema de control, los horarios planificados y tiene en cuenta las perturbaciones para adaptar la circulación de trenes al horario previsto mediante la utilización de los sistemas de regulación antes reseñados.

REGULACION POR INTERVALO

