

Sistema de Conducción Automática de Trenes (ATO), para la Línea – 4 del FC Metropolità de Barcelona

Automatic Train Operation of trains, for the Line 4 of FC Metropolità de Barcelona

Montserrat Artigas Palomeque*, Pau Picas Martínez

Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú (Barcelona)

Resumen

El proyecto desarrollado consiste en una mejora del sistema de protección al tren ATP instalado actualmente en la línea 4 de Metro de Barcelona. Esta optimización se conseguiría a través de la implementación del sistema ATO (Conducción Automática del Tren), el cual aumenta la eficiencia de la curva de frenado cuando se tiene que cambiar de Circuito de Vía, no generando saltos de aceleración ni de frenado. En el caso del Motorista, en conducción manual, él mismo no puede regular correctamente los cambios de velocidad al pasar de un circuito de vía a otro con los distintos códigos de velocidad. También se logra un aumento de la velocidad comercial, una mejor regulación entre trenes y estabilidad en el intervalo entre trenes en la citada L-4 de FMB (Ferrocarril Metropolità de Barcelona).

Palabras clave: ATO, Circuito de Vía, ATP, ATS, ECA (Equipo de Campo ATO), FMB, CTC, DMI.

Abstract

The Project developed consist about an improvement of the automatic train protection (ATP) currently working in the line 4 of Metro de Barcelona. This optimization will be obtained through the implementation of the ATO (Automatic Train Operation) system, which increases the efficiency of the braking curve when the train has to change of track circuit, avoiding acceleration jumps or brakes. In the case of the driver; manual conduction, he cannot regulate correctly the changes of velocity when is going to pass from a track circuit to another one with different velocity codes. In addition, it can obtain an increasing commercial velocity, a better traffic regulation of the trains and more stability of the interval between trains in the Line 4 from FMB (Ferrocarril Metropolità de Barcelona).

Keywords: ATO, Track circuit, ATP, ATS, ECA (Land Equipment ATO), CTC, FMB, DMI.

* montserrat.artigas@selca.org

1. Objetivos

Dentro del presente proyecto podemos definir dos objetivos principales, que son los siguientes:

- Conseguir con el desarrollo de este proyecto de Ato en Línea – 4 de FMBCN, aumentar la eficiencia de la curva de frenado cuando se efectúan cambios de Circuitos de vía que tengan asignadas diferentes velocidades (Ahorro de energía), así como un aumento de la velocidad comercial, mejor regulación entre trenes y estabilidad en el intervalo de estos en la citada Línea – 4 de Ferrocarril Metropolitano de Barcelona.
- Objetivos específicos: El proyecto consiste en una optimización del sistema de protección del tren ATP instalado actualmente en la Línea-4 de FMBC mediante la implantación del sistema ATO (Conducción automática del tren)

2. Solución propuesta

La solución propuesta en este proyecto con el fin de conseguir una conducción automática de los trenes en la Línea-4 de Ferrocarril Metropolitano de Barcelona mediante el sistema de ATO. La razón de la adopción de esta solución, está basada en las necesidades de explotación. Operación y coste económico. Son los siguientes:

- Confort al viajero, supresión de las aceleraciones y frenadas en conducción manual del tren
- Intervalo entre trenes mucho más estable que a través de la conducción manual
- ATS controla a las circulaciones por la línea en conducción automática
- Ahorro de energía, eliminando consumos de energía innecesarios, optimizando la curva de frenado y controlando los cambios de velocidad entre Circuitos de Vía hasta su estacionamiento en el punto de parada de la estación.

3. Introducción al sistema ATO

La necesidad de instalar un Sistema de ATO en la línea – 4 de Metro de Barcelona, viene condicionado por la necesidad de dar confort al viajero, ya que se suprimen todas las aceleraciones y frenadas que introduce el motorista cuando se conduce manualmente el tren. Con el Sistema ATO, también se consigue un intervalo entre trenes mucho más estable que a través de la conducción manual. Al ser un sistema de conducción automática del tren la intervención del motorista es mínima, lo que permite que el ATS tenga control de los trenes que circulan por la línea en conducción automática. También se consigue un ahorro de energía, pero que en este proyecto no se contempla ni su cálculo ni las condiciones que se requieren para optimizar el mencionado ahorro de energía.

Para la implementación del sistema ATO es necesaria la instalación de equipos de campo, de estación y de vía juntamente con los protocolos de comunicaciones necesarios y la instalación de toda una red de fibra óptica para la correcta ejecución de sus funciones.

3.1. La evolución del sistema ATP por códigos de velocidad al ATC (ATO + ATP)

El sistema ATP por códigos de velocidad pertenece al grupo de Información Continua – Protección Continua por lo tanto el tren está permanentemente comunicado con el enclavamiento y recibiendo la información necesaria para la seguridad en la conducción del tren, protegiéndolo contra rebases de señales con indicación de rojo, excesos de velocidad máxima en los circuitos de vía, entre otros. Este sistema protege al motorista de cometer un error como por ejemplo superar la máxima velocidad o entrar en el siguiente circuito de vía a una velocidad excesiva, en estos casos el sistema ATP actuaría con el freno de emergencia.

El sistema ATP juntamente con el ATO ayuda a que estas anomalías sean eliminadas debido a que el motorista está presente solo por medidas de seguridad (en el caso de caída de objetos o de caída de personas a la vía), para abrir puertas de andén y para arrancar el tren. Gracias a que el sistema ATO se encarga de todo lo relacionado con la conducción: sistemas de marcha del tren interestaciones (ayuda a optimizar la marcha respecto a las curvas de frenado), ayudas a la conducción, precisión en paradas en la estación, etc...

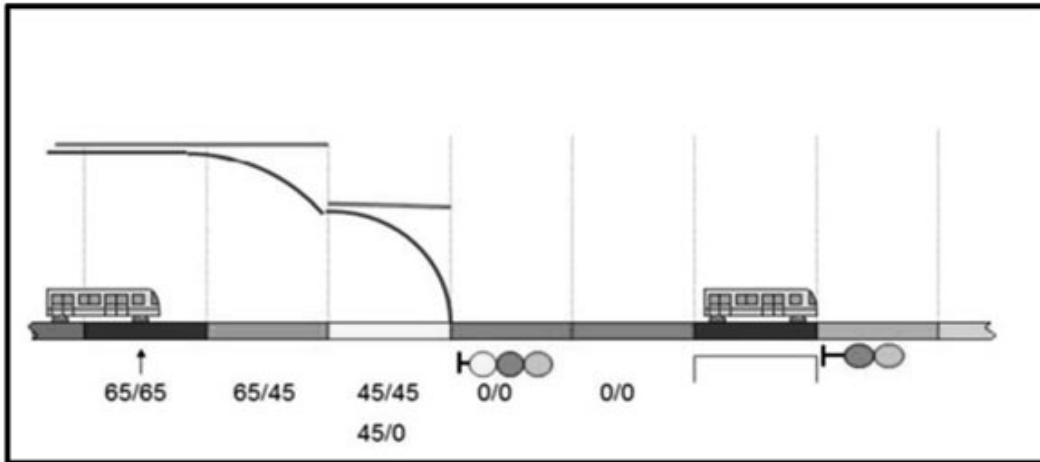


Figura 1. ATP por códigos de velocidad

En la imagen anterior se puede observar cómo debido a la ocupación de un tren del cantón entre señales, el tren que le sigue se ve obligado a detenerse delante de la señal que protege el circuito de vía del cantón ocupado. La información que recibe el tren del cantón ocupado, por delante de él, en el mismo sentido de marcha por otro tren, le permite el cálculo de la curva de frenado para poder detenerse delante de la señal con indicación de rojo y que protege el cantón ocupado por el tren que circula por delante del mismo. En conducción manual, el motorista al empezar la curva de frenado calculada por el tren, se le indicará en el DMI (Interface Hombre Maquina) si va por encima de la velocidad permitida y a qué velocidad debe ir para respetar la velocidad en la curva de frenado calculada por el tren a través del sistema de ATP hasta pararse delante de la señal con indicación de rojo.

Con la implantación del sistema ATO, la regulación de la velocidad en el frenado del tren se efectúa automáticamente sin necesidad que intervenga el motorista, hasta situarse en el punto de parada delante de la señal en rojo.

El sistema ATO genera una serie de marchas en el tren que le permite regular su consumo en función de las mismas. Una de las marchas del tren es circular en deriva, con esta consigna de marcha el tren no consume energía ya que circula por su propia inercia. Con esta consigna de marcha, puede darse el caso que el tren no tenga suficiente potencia como para llegar al siguiente circuito de vía lo que provoca que se tenga que volver aplicar tracción provocando un consumo de energía innecesario.

Con el sistema ATO este consumo se elimina, automatizando la curva de frenado y controlando los cambios de velocidad para que el tren llegue con la velocidad adecuada al pie de la señal con indicación en rojo.

3.2. Descripción general de la funcionalidad del sistema de conducción automática ATO

El sistema ATO estará basado en una comunicación mediante lazos inductivos y el equipo de a bordo del tren. El equipo de campo principal serán los lazos inductivos situados en la entrada y salida de las estaciones

que permitirán transmitir información a los trenes. Dicha información se compone de una parte fija (códigos de: Línea, estación y vía), y de una parte variable que básicamente contiene:

- Programas de regulación de marcha (velocidad de regulación y en deriva, velocidad para que el tren vuelva a aplicar tracción y parábola de frenado)
- Indicación del lado de apertura de puertas
- Selección del punto de parada en estación
- Permiso de vuelta automática
- Petición de salto de estación

Habrà que tener en cuenta que la indicación del lado de apertura de puertas es un dato fijo, pero que se podrá contemplar como un dato variable en determinadas ocasiones cuando el operador así lo desee.

3.3. Funciones principales del Sistema ATO de vía

El sistema de ATO de vía realizará las siguientes funciones:

Corrección de los errores acumulados en la interestación en cuanto a medida de distancia por el equipo de ATO instalado en el tren. Esto se conseguirá mediante la información fija (actualización del punto kilométrico) que entrega la parte del lazo que se encarga de esta información y se compara con la información odométrica que tiene el tren a través de las medidas ejecutadas por los odómetros situados a bordo del tren.

Corrección del diámetro de rueda. Igualmente, el equipo calculará y corregirá el valor almacenado de diámetro de rueda, midiendo el tiempo que tarda el tren en recorrer la distancia entre lazos inductivos.

Auto localización del tren. Mediante la transmisión de una serie de datos fijos a través de los lazos inductivos, el equipo de tren se localizará en cuanto recibe la información del primer lazo.

Centro de Control del ATO en el ATS (CCM). El sistema de ATO está compuesto de sendos servidores que son los que gestionan el sistema de ATO conjuntamente con el sistema de regulación. Puesto que, además de los datos fijos, los lazos inductivos transmitirán datos variables enviados por el ATS, éste puede intervenir sobre la marcha de los trenes (cambio de marcha, permiso o no de vuelta automática, etc.)

3.4. Funciones principales del equipo de campo

Se tratarán de elementos pasivos y son los siguientes:

- Unidad de Alimentación de lazos inductivos (UAL)
- Lazos inductivos ATO

3.4.1. Funciones principales de la Unidad de Alimentación de Lazo.

- Adaptará las impedancias entre el equipo de vía y el lazo inductivo de ATO.
- Servirá de elemento de ajuste, mediante atenuadores, para conseguir que circule por el lazo la intensidad requerida.
- Se instalan, en general, dos UAL por cada estación y vía.

3.4.2. Funciones principales de los lazos de ATO.

- Construcción asimétrica: Entrada – Salida de la estación
- Sirven de referencia kilométrica al tren
 - . Corrección de errores de distancia
 - . Cálculo de diámetro de rueda
- Transmitir la información al tren:
 - . Localización al tren
 - . Realización del control de la marcha del tren

3.5. Funciones principales del Equipo de Campo ATO (ECA)

- Recibir la información, destinada a la estación que controla, que viene desde el ATS (CCM) a través de un cable de comunicación dedicado (cable de fibra óptica).
- Enviar la información fija y variable al lazo inductivo situado en la vía.

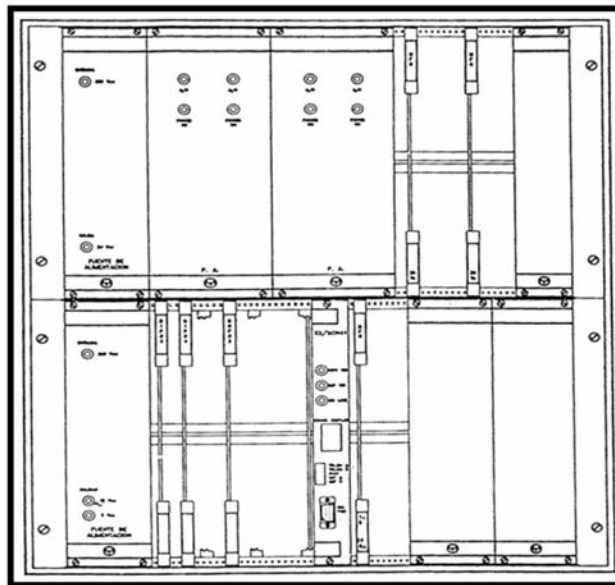


Figura 2. Equipo de Campo ATO (ECA)

3.6. ATO embarcado

El equipo de ATO embarcado constará de lo siguientes equipos:

- Unidad de ATO
- Antenas de ATO
- Conjunto de relés de ATO
- Panel de conducción
- Cableado correspondiente para la interconexión de estos elementos y la conexión con el resto de sistemas de tren (en particular con el sistema de tracción y freno de tren).

3.6.1. Unidad de ATO

Esta unidad está constituida por unidades Fail-Safe que constituyen el equipo principal del sistema de ATO de tren y es en ella donde se toman las decisiones para la aplicación de freno o tracción y el grado correspondiente. Además de cumplir con los requerimientos propios de la conducción automática proporciona al motorista la información necesaria del tren.

Dispone de chequeos internos que le permiten detectar fallos debidos a causas internas, así como fallos motivados por causas ajenas al ATO (fallos en el freno del tren, etc.). De esta forma se minimiza el tiempo de detección y reparación de averías.

Para la toma de decisiones, esta unidad utiliza la información procedente del exterior que le llega a través de un interface de entrada.

Estas informaciones son:

- Velocidad real del tren procedente de la Unidad No Vital del equipo de ATP embarcado
- Modo ATO seleccionado, procedente de la Unidad no vital equipo ATP
- Orden de arranque procedente del pupitre de conducción (pulsadores).
- Velocidad objetivo transmitida por el equipo de ATP de vía a la Unidad no vital y enviada por esta a la unidad de ATO.
- Señal de ATO (modulada en FSK) transmitida a través de los lazos inductivos situados en las estaciones. Esta señal es captada por las antenas de ATO.

La unidad de ATO procesa estos datos y obtiene como resultado las órdenes de tracción y freno necesarias en cada instante para la marcha del tren, así como una serie de indicaciones para el motorista y para el resto de los equipos de tren.

ATS (CCM)

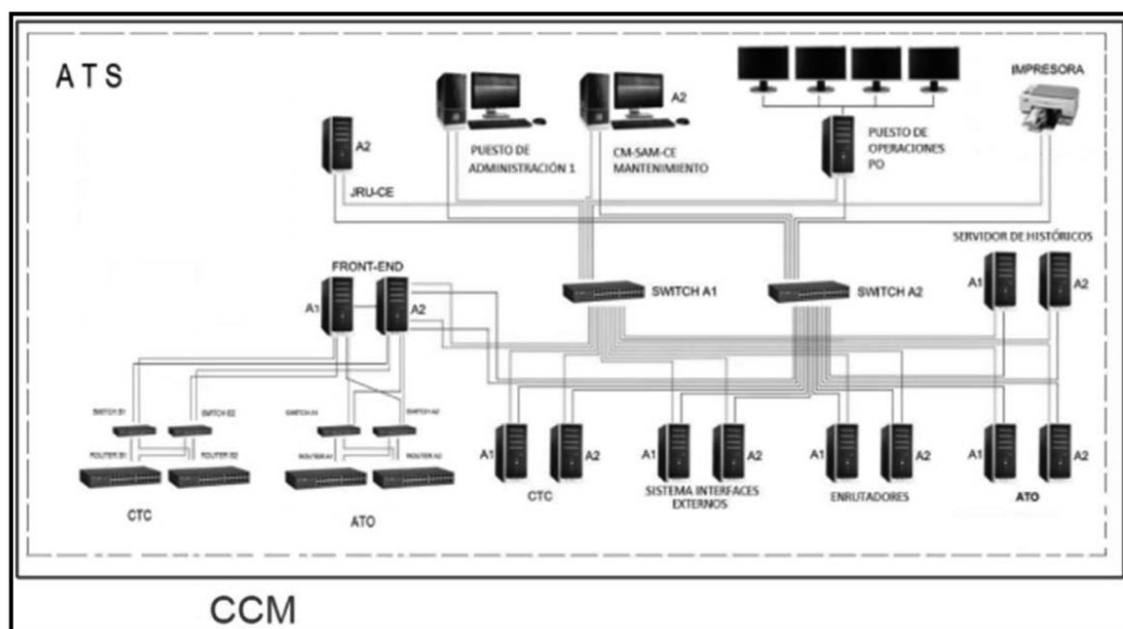


Figura 3. Equipo ATO en el ATS (CCM)

Este conjunto de Sistemas permiten efectuar el seguimiento del tren, ejecutar el enrutamiento del tren a través de los itinerarios permitidos por los ENCE's, modos de conducción (ATO) y sistemas de marcha con velocidades por debajo del ATP, para optimizar el tiempo de recorrido.

Sistema ATO

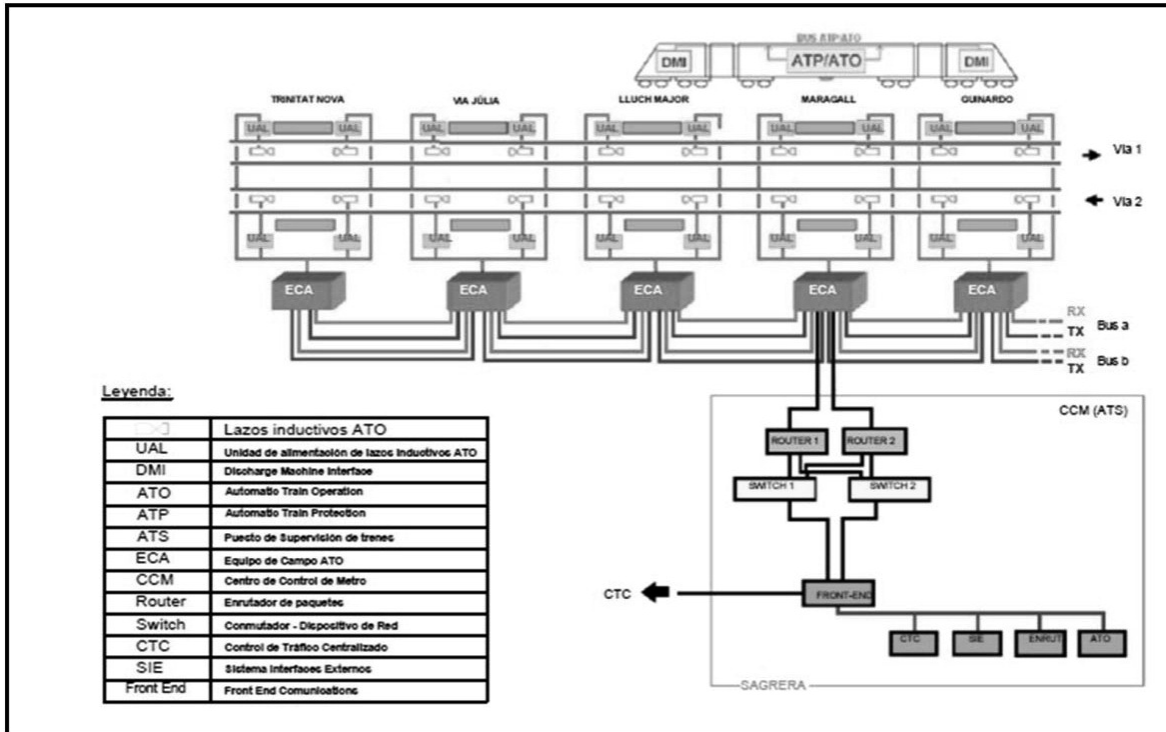


Figura 4. Esquema del sistema ATO

Entre el ATS (CCM) y el equipo de ATO alojado en cada estación se establece una comunicación mediante una red de área local (LAN) propia. El equipo de ATO dentro del ATS envía los datos necesarios para la conducción automática de la línea mediante esta red propia de comunicaciones por lo que no interfiere en el sistema de protección al tren ATP. Estos datos son leídos por el tren en cuanto pasa por encima de un lazo inductivo de ATO, que le indica (dependiendo si es un mensaje fijo o variable) lado de puertas, vía, estación, etc.

6. Red de Comunicaciones ATO en L-4 Metro de Barcelona

Para poder comunicar el ATO (ATS) con el sistema de ATO en cada estación de la línea 4 de Metro de Barcelona se ha propuesto usar dos buses de fibra óptica los cuales permiten que los mensajes transmitidos por el ATS se puedan distribuir a través de toda la línea 4, aparte dará redundancia en caso de que algún tramo falle la transmisión de estos datos a los lazos inductivos de ATO.

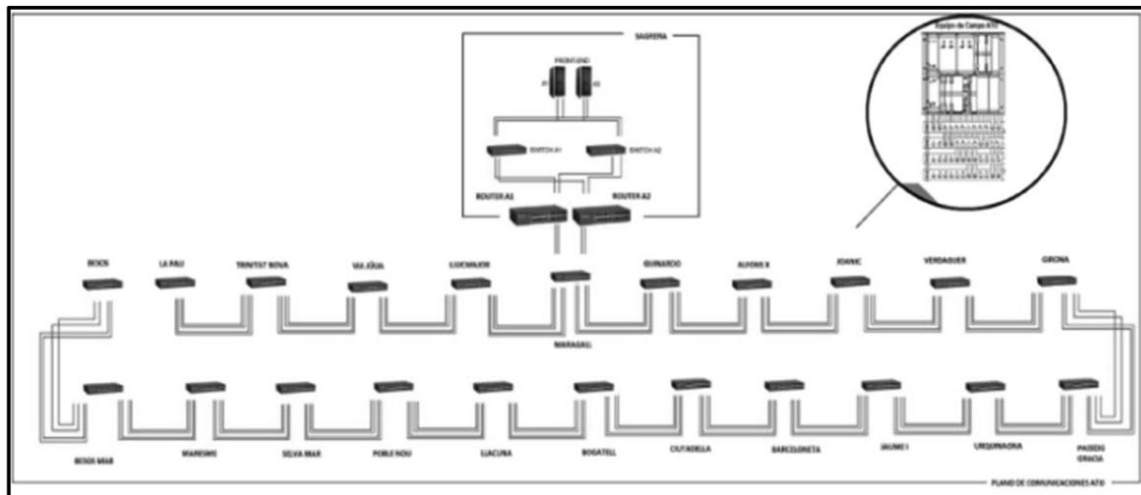


Figura 5. Red de comunicaciones ATO

En la imagen se observa el bus de fibra óptica como recorre cada sala de comunicaciones en cada estación proporcionando así capacidad para transmitir los datos necesarios para la conducción automática del tren.

7. Mediciones

- Equipos de ATO de campo por estación:

- . Equipo de Campo ATO (ECA): 1 unidades por estación (22 en total)
- . Repartidor de Fibra Óptica: 4 unidades por estación (88 en total)
- . Remota de ATO: 1 unidad por estación (22 en total)

- Equipo de vía ATO:

- . Unidades de Alimentación de Lazo: 4 unidades por estación (88 en total)
- . Lazo inductivo de ATO: 4 unidades por estación (88 en total)

Equipo en CCM:

- . Router: 2 unidades
- . Switch: 2 unidades
- . Cable telefónico de 4 pares de Cu (200 metros)

- Longitud total de cable de F.O necesario en L-4: 18012 metros (16375 + 10%)

Cable de fibra óptica monomodo de 12 fibras con cubierta tipo LSFRZH (LowSmoke, FireRetardant and Zero Halogen)

Fibra óptica	Servicio asignado	Descripción	Estado servicio	Salida
1	Red ATO	ATO entre estaciones	Activo	ATO
2	Red ATO	ATO entre estaciones	Activo	ATO
3	Red ATO	ATO entre estaciones	Activo	ATO
4	Red ATO	ATO entre estaciones	Activo	ATO
5	Reserva		-	-
6	Reserva		-	-
7	Reserva		-	-
8	Reserva		-	-
9	Reserva		-	-
10	Reserva		-	-
11	Reserva		-	-
12	Reserva		-	-

Tabla 1. Tabla de asignaciones de Fibra Óptica

8. Presupuesto

Descripción	Precio en €
ATO	1.219.827,69
Equipo ATO en CCM	142.174,78
Cables	12.176,48
Cable de Fibra óptica	11.403,00
Comunicaciones	15.391,00
RAMS	186.511,08
TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL	1.400.972,95
Gastos Generales	84.058,38
Beneficio Industrial	182.126,48
TOTAL PRESUPUESTO BASE LICITACIÓN	1.667.157,81
21% IVA	350.103,14
TOTAL PRESUPUESTO	2.017.260,95

Tabla 2. Presupuesto para la Implantación del sistema ATO

9. Conclusiones

El resultado de este proyecto nos ha permitido confirmar los objetivos expresados anteriormente: mayor confort al viajero, supresión de las aceleraciones y frenadas en conducción manual del tren, un intervalo entre trenes mucho más estable que a través de la conducción manual, el ATS controla a las circulaciones por la línea en conducción automática, un ahorro de energía, pero en este proyecto no se contempla ni su cálculo ni las condiciones que se requieren para optimizar dicho ahorro. Por todo lo anteriormente mencionado, la implantación del sistema ATO será beneficioso para Ferrocarril Metropolità de Barcelona.

10. Bibliografía

- [1] Apuntes de Sistemas de Protección del Tren. Tema 1 (ATP). Profesores Enric Domínguez y Carlos Catalán
- [2] Apuntes de Sistemas de Protección del Tren. Tema 2 (ATP). Profesores Enric Domínguez y Carlos Catalán
- [3] Apuntes de Sistemas de Protección del Tren. Tema 3 (ATO). Profesores Enric Domínguez y Carlos Catalán
- [4] ATO 2000 Dimetronic (Juan Carlos Antón)
- [5] Información Ferrocarril Metropolitana de Barcelona (Carlos Catalán)