



**Universidad Tecnológica Nacional  
Centro Tecnológico de Transporte, Tránsito y Seguridad Vial**

Director  
Enrique María Filgueira

Maipú 521 3° piso oficina B  
C1006ACE – Ciudad Autónoma de Buenos Aires  
4393-4469/72  
c3t@rec.utn.edu.ar  
<http://www.utn.edu.ar/secretarias/extension/c3t.utn>

---

**Sistema de Cálculo de Curvas de Marcha de  
Trenes**

Gustavo Borghi  
(gborghi@gmail.com)  
Luis Alberto de la Peña  
(delapenaluis@hotmail.com)

**Coordinador Transporte Ferroviario**

José Giraldes  
(giraldesjose@gmail.com)

El presente trabajo permite, a partir de los parámetros de diseño que se fijen para una línea ferroviaria y de las ecuaciones de la cinemática incorporadas en las tablas de cálculo, trazar la curva de marcha (diagrama de distancia recorrida en función del tiempo) de uno o más trenes, determinando en forma rápida los tiempos de circulación, distancias entre trenes, aspectos de señales al frente de un tren (definidos por el tren precedente) y capacidad de la línea (frecuencia mínima entre trenes), entre otras posibilidades.

Los contenidos de este trabajo son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente reflejan la opinión del C3T. Se permite la reproducción total o parcial de este documento citando la fuente.

# SISTEMA DE CÁLCULO DE CURVAS DE MARCHA DE TRENES<sup>1</sup>

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo permite, a partir de los parámetros de diseño que se fijen para una línea ferroviaria y de las ecuaciones de la cinemática incorporadas en las tablas de cálculo, trazar la curva de marcha (diagrama de distancia recorrida en función del tiempo) de uno o más trenes, determinando en forma rápida los tiempos de circulación, distancias entre trenes, aspectos de señales al frente de un tren (definidos por el tren precedente) y capacidad de la línea (frecuencia mínima entre trenes), entre otras posibilidades.

El esquema está basado en una planilla de cálculo Excel, en la que se han incorporado las ecuaciones del movimiento cinemático para las siguientes cinco etapas que componen el movimiento del tren desde su partida hasta su detención:

- Aceleración
- Velocidad constante
- Deriva
- Reacción previa al frenado
- Frenado

Estas cinco etapas se repiten tantas veces como paradas realice en el trayecto completo, por lo que la planilla de cálculo se compondrá de módulos sucesivos que contienen las ecuaciones antes señaladas, los que se agregan uno a continuación del otro hasta el final de la línea.

Con esto se pretende brindar una herramienta que permita analizar de manera rápida, las consecuencias que tendría la modificación de distintos parámetros en las condiciones de circulación de los trenes (aceleración, velocidad máxima, velocidad máxima en estaciones, frenado, etc.).

A continuación se presenta un módulo básico, en el que se indican del 1 al 5 las etapas señaladas:

---

<sup>1</sup>Este trabajo tuvo su origen en la necesidad de determinar la distancias entre semáforos en un tramo, sector, de vía férrea **subterránea**. Es por ello que no se consideró necesario introducir en el cálculo el valor de las **pendientes** del terreno, parámetro que deberá ser tenido en cuenta en los casos más generales.

Etapas de movimiento		1	2	3	4	5	
Velocidad Máxima Tramo (Km/h)	Nombre Estación Progresiva	120					Nombre Estación
Tiempo de Reacción (seg)		1,175					Progresiva
Estación	Once	Once		Nº de Curva			Caballito
Progresiva (m)	0	0	Curva Nº				3670
Velocidad permitida (Km/h)	0	0					0
			Vel.Cte.	Desaceleración			
		Aceleración	SI	Deriva	Reac.	Frenado	Tiempo Parada
Velocidad Inicial (Km/h)		0	120,00	120,00	120,00	119,84	
Aceleración (m/seg <sup>2</sup> )		0,6		0,039	0,039	0,8	
Velocidad Final (Km/h)		120,00	120,00	120,00	119,84	0,00	0,00
Distancia Recorrida (m)		925,9	2012,4	0,0	39,1	692,5	
Progresiva (m)		926	2938	2938	2977	3670	3670
Tiempo (seg)		56	60	0,000	1,175	42	30
Tiempo Acumulado (seg)	0	55,56	115,93	115,93	117,10	158,71	188,71
Tipo de Movimiento	a	Vc	D	d	F	p	a

Cuadro 1. Módulos de cálculo de la marcha del tren de una estación a otra

En cada etapa las velocidades, las distancias recorridas y los tiempos empleados, son calculados en función del tipo de movimiento y de los siguientes parámetros que deben ser definidos por quienes realizan el análisis:

- Aceleración (del material rodante)
- Velocidad máxima permitida en el tramo
- Desaceleración de deriva
- Tiempo de reacción
- Desaceleración de frenado
- Velocidad máxima permitida al pasar por la estación (cero si se detiene)
- Tiempo de parada
- Progresivas

El sistema también permite definir o modificar los siguientes parámetros:

- Tiempo entre trenes (frecuencia)
- Distancia entre señales
- Longitud del tren

A partir de los parámetros definidos por el analista y de las ecuaciones indicadas, se determina en cada instante de su recorrido, la ubicación del tren, la velocidad de circulación y el tiempo empleado para cada tramo, como así también las distancias de frenado y según se describe más adelante, permite también conocer la separación entre dos trenes sucesivos en cada momento de sus circulaciones.

Las planillas de cálculo se complementan con gráficos que permiten visualizar las distancias recorridas en función del tiempo, para los trenes bajo análisis.

En el siguiente ejemplo (figura 1) se compara la marcha de un tren semi rápido con otro que le sigue parando en todas las estaciones (en el eje vertical se indica la distancia recorrida en metros y en el horizontal el tiempo transcurrido en segundos).

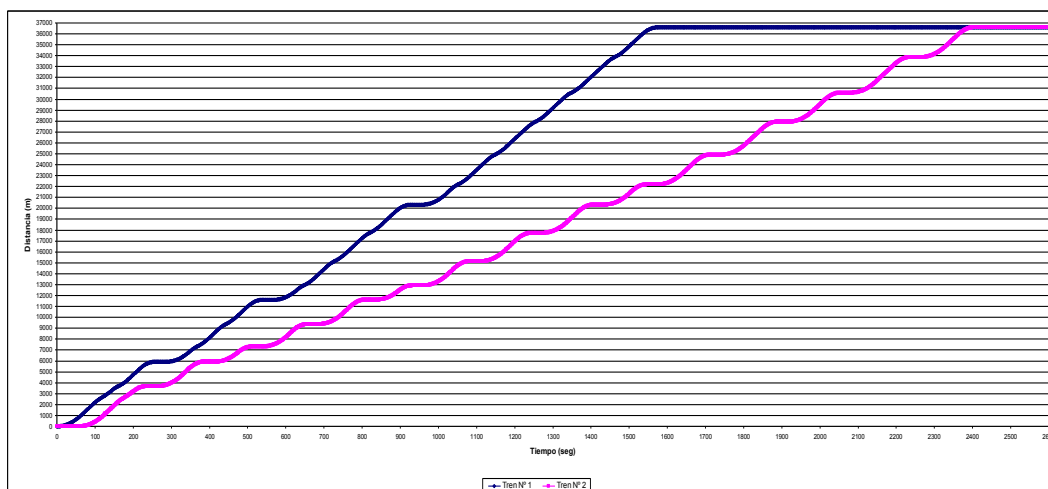


Figura 1. Representación por el sistema de tren semi rápido que precede a tren más lento

Se puede observar cómo el primer tren (azul) recorre en menor tiempo la distancia entre un extremo y otro del recorrido, lo que hace que el tren que le sigue (rojo) se aleje cada vez más del precedente, llegando mucho después que el primero a la estación de destino.

En el siguiente gráfico (figura 2) se presenta también a título de ejemplo, un tren semi rápido que sigue a otro que para en todas las estaciones y lo sobrepasa en una estación que lo permite.

Cada tramo se ha definido por progresivas (distancia a la estación terminal), simulando paradas en estaciones con sus respectivos tiempos de espera. En el caso de la marcha del tren semi rápido, se definen también en el sistema las velocidades máximas permitidas al pasar por las estaciones en las que no se detiene.

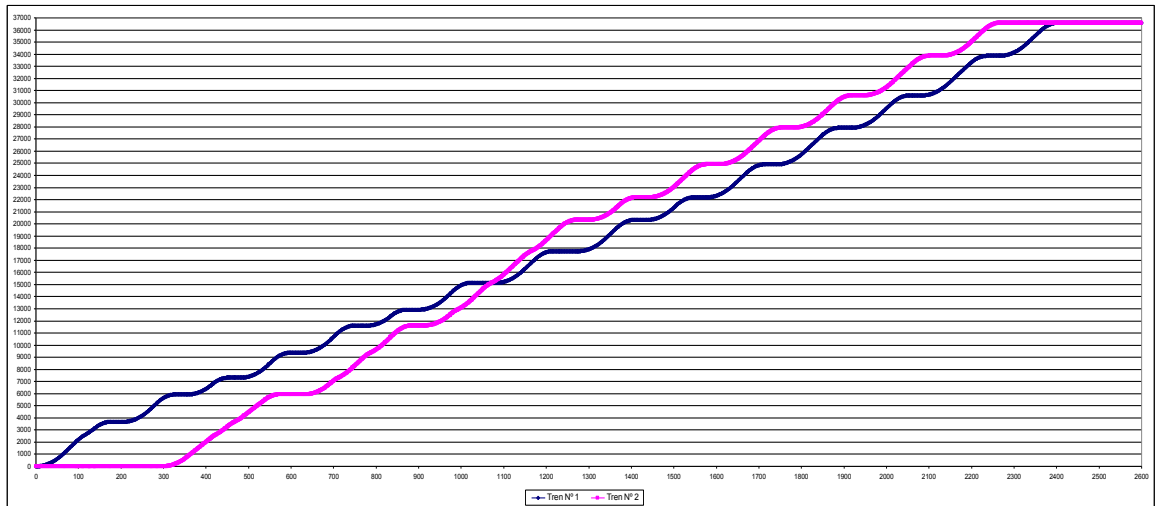


Figura 2. Representación por el sistema de tren semi rápido que alcanza y sobrepasa a uno más lento

Por último, en la figura 3 se observa el caso de seis trenes urbanos ascendentes y seis descendentes saliendo en los mismos horarios desde las estaciones cabeceras en sentidos contrarios:

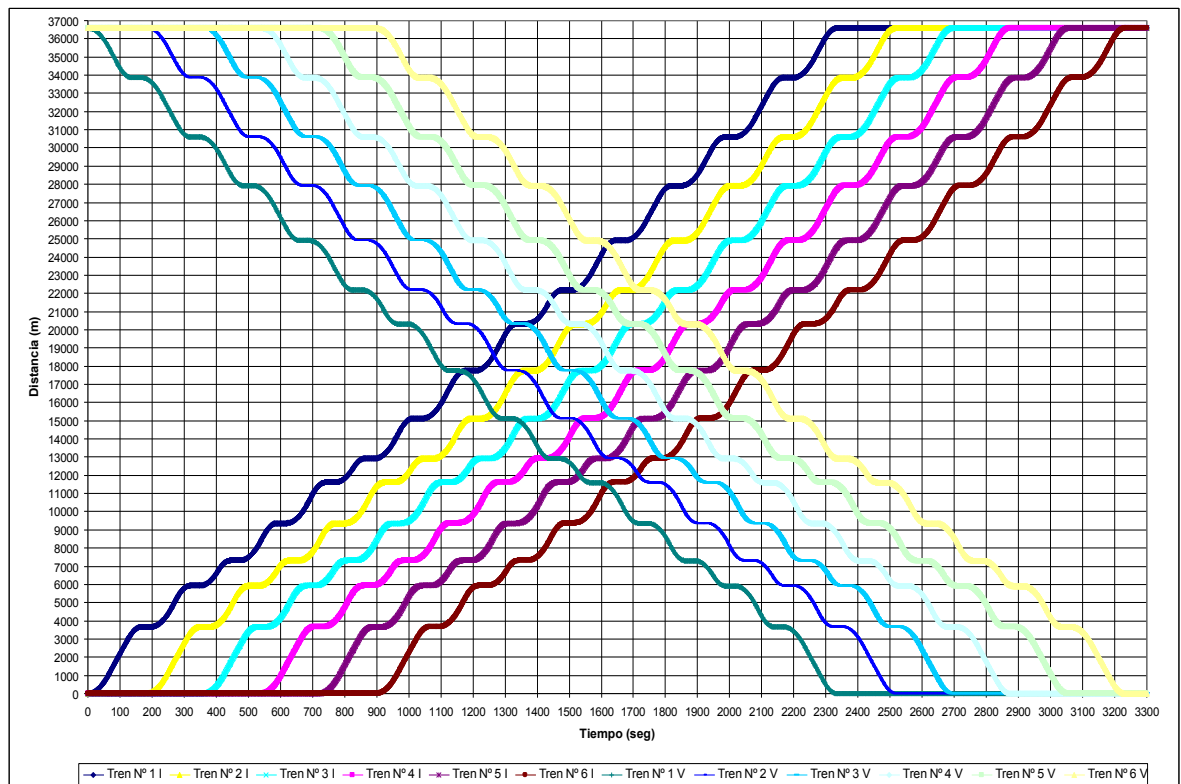


Figura 3. Representación por el sistema de trenes urbanos en ambas direcciones

Teniendo en cuenta las características de la marcha de los trenes urbanos, el sistema genera la gráfica de la distancia recorrida por cada tren (expresada en metros), en función del tiempo dividido en intervalos de un (1) segundo.

## **2. ANÁLISIS DE LA CIRCULACIÓN DE TRENES EN LA LÍNEA “E” BOLÍVAR – PLAZA DE LOS VIRREYES Y CONSIDERACIONES SOBRE POSIBLES MEJORAS**

Se realiza un análisis del servicio en la Línea “E” de Subterráneos de la Ciudad de Buenos Aires, a partir de una simulación de los tiempos de recorrido mediante las ecuaciones de la cinemática anteriormente descriptas. Este análisis resulta aplicable con similares resultados a otras líneas de similares características.

### **2.1 SITUACIÓN ACTUAL**

El tiempo del viaje entre cabeceras es de 24 minutos (1440 seg.), conforme la información brindada en el sitio web (<http://www.subte.com.ar/horarios/horarios.asp>).

Tanto la aceleración como la desaceleración de servicio del actual material rodante de la Línea “E” (coches General Electric Españoles de fines de los años 60) es de 0,7 m/seg<sup>2</sup>.

La distancia entre cabeceras es de 9,58 Km.

Se considera el servicio prestado en la actualidad, con trenes que paran en todas las estaciones y un tiempo de parada en cada una de ellas de 20 seg. en promedio. Los cálculos se realizan considerando una aceleración del material rodante degradada a 0,6 m/seg<sup>2</sup>.

En esas condiciones el diagrama de marcha (espacio / tiempo) se presenta en el siguiente cuadro, en el que se expresa la distancia recorrida en metros en el eje vertical y el tiempo transcurrido en segundos en el horizontal.

La curva azul representa la marcha del tren y la roja la distancia mínima que el tren posterior no debe superar nunca, indicada por las señales de protección detrás del tren bajo análisis, con distancia media entre señales de 500 metros.

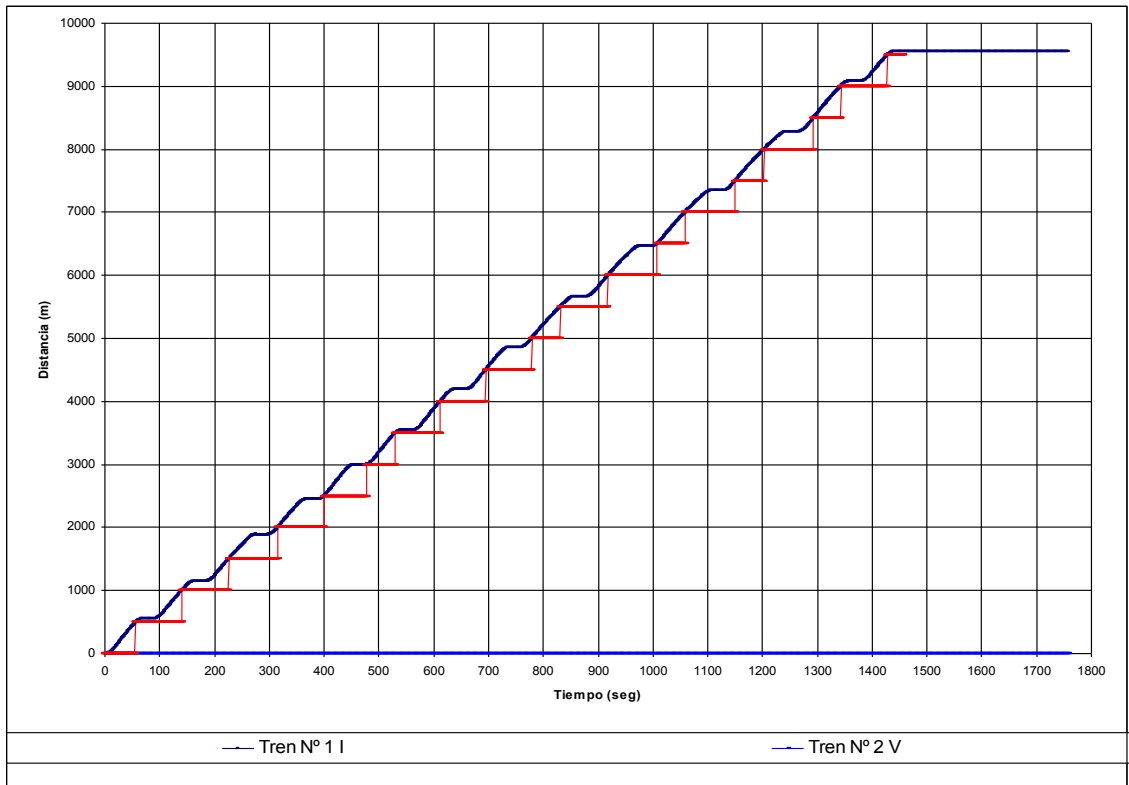


Figura 4. Representación por el sistema de la distancia de protección definida por la señalización

En la Línea “E” la máxima frecuencia de servicio es de un tren cada 4 minutos y 49 segundos según surge del sitio web <http://www.subte.com.ar/horarios/frecuencia.asp> y se verifica de lunes a viernes en los horarios pico, entre las 7:30 y las 10:00 hs. y entre las 16:00 y las 20:30 hs. (se puede ver la tabla correspondiente en la próxima página). Esta frecuencia equivale a un tren cada 4,8 minutos.

Para completar el ciclo (llamado “calesita” en la jerga ferroviaria) y cumplir con el servicio indicado de trenes cada 4,8 minutos, se requerirían **once formaciones (trenes)**, recorriendo cada una la distancia entre cabeceras en 24 minutos de viaje. Esta cantidad de trenes se obtiene de considerar 24 minutos de viaje en cada sentido más 2 minutos de espera en cada cabecera (no contemplados en el recorrido), lo que suma en total 52 minutos para la vuelta completa. Dividiendo ese tiempo por 4,8 minutos entre trenes, da como resultado 10,83 que es la cantidad de trenes necesaria para cubrir el servicio.

**Es decir que se requieren como mínimo 11 formaciones en servicio para cumplir el diagrama actual.**

FRECUENCIAS											
LINEA	LUNES A VIERNES							SABADOS			DOMINGOS Y FERIADOS
	05:00 06:30	06:30 07:30	07:30 10:00	10:00 16:00	16:00 19:00	19:00 20:30	20:30 22:30	05:00 08:00	08:00 14:00	14:00 22:30	08:00 23:00
<b>A</b>	05:38	04:15	03:07	04:25	03:07	03:19	05:38	07:00	07:00	07:00	08:00
<b>B</b>	07:10	04:15	02:57	04:25	02:57	03:07	06:22	07:15	06:30	07:15	8:00
<b>C</b>	03:56	03:35	02:55	04:00	02:55	03:15	05:20	06:00	06:00	06:00	7:30
<b>D</b>	04:35	03:20	02:54	03:25	02:54	03:40	04:35	07:00	07:00	07:00	07:00
<b>E</b>	08:20	06:15	04:49	06:15	04:49	04:49	06:15	08:00	08:00	08:00	08:00
<b>H</b>	06:30	06:30	06:30	06:30	06:30	06:30	06:30	06:30	06:30	08:40	08:40
<b>P</b>	07:15	08:00	06:25	07:15	06:25	07:30	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00

Frecuencias expresadas en minutos.

Cuadro 2. Frecuencias de trenes subterráneos y premetro informadas por Metrovías (<http://www.subte.com.ar/horarios/frecuencia.asp>)

## 2.2 PROPUESTA DE MEJORA

Se analiza a continuación la posibilidad de lograr mejoras en la capacidad de transporte de la línea, realizando cambios en el plan de transporte en las horas pico.

En estos horarios el flujo de pasajeros se concentra en grandes cantidades y en una misma dirección (por ejemplo en horario vespertino saliendo del centro de la ciudad), lo cual presenta el inconveniente que los trenes salen desde las estaciones cabeceras con gran cantidad de pasajeros, no admitiendo nuevos ascensos a partir de la segunda o tercera estación subsiguiente, pese a lo cual se detienen en todas ellas.

Se plantea la alternativa que en dichos horarios los trenes no paren en todas las estaciones, sino que lo hagan estación por medio en la primera mitad de su recorrido (lugar de



origen de los pasajeros) y luego paren en todas las estaciones de la segunda mitad (estaciones de destino).

En el esquema propuesto, los trenes cumplirían el siguiente programa secuencial, parando únicamente en las estaciones marcadas con X:

<u>Estación</u>	<u>Tren A</u>	<u>Tren B</u>	<u>Tren A</u>	
Bolivar	X	X	X	Cabecera origen
Belgrano		X		
Independencia	X	X	X	Combinación línea C
San José	X		X	
Entre Ríos		X		
Pichincha	X		X	
Jujuy	X	X	X	Combinación línea H
Urquiza	X		X	
Boedo		X		Estación con andén central
Av. La Plata	X	X	X	Estación con andén central
J.M.Moreno	X	X	X	
Emilio Mitre	X	X	X	
M. Milagrosa	X	X	X	
Varela	X	X	X	
P. de los Virreyes	X	X	X	Cabecera destino

Cuadro 3. Esquema de paradas alternadas en las estaciones de origen en horarios pico

Este cambio reduciría en más de un 20% la cantidad de paradas que realiza cada tren en su trayecto entre cabeceras, con lo que se obtendrían los siguientes beneficios:

1. Reducción del tiempo total del viaje entre cabeceras.
2. Aumento de la frecuencia del servicio sin necesidad de aumentar la cantidad de trenes (ya que completarían la vuelta en menor tiempo).
3. Mejora la posibilidad de ascenso de pasajeros en las estaciones subsiguientes.
4. Evita detenciones en estaciones colmadas con trenes colmados que ocasionan demoras importantes para el descenso – ascenso de pasajeros y cierre de puertas.
5. Menor desgaste del material rodante al suprimirse el 20% de paradas y arranques con plena carga.
6. Menor consumo energético por el mismo motivo.

Como contrapartida se generarían los siguientes inconvenientes:

1. En seis estaciones de la primera mitad del trayecto se detendrá un tren de dos (tren por medio).

*Cabe aclarar que los usuarios de estas estaciones se verán compensados por el aumento en las frecuencias, la reducción en el tiempo total de viaje y la mayor factibilidad de ingresar a los trenes que llegarán a esas estaciones con menor número de pasajeros.*

2. En los horarios pico no será posible viajar entre las estaciones no servidas por un mismo tren (por ejemplo desde estación Belgrano no sería posible bajar en estación San José, Pichincha ni Urquiza).

*Sin embargo en esos casos y con el uso habitual, una parte de los pasajeros que tomaban el tren en Belgrano para ir por ejemplo a Urquiza, podrían caminar hasta Bolívar o Independencia, según les resulte más cómodo, para tomar el tren que para en Urquiza. Otra parte de los pasajeros que hacen el mismo trayecto, podían tomar el tren en Belgrano y bajarse en Jujuy o en Boedo según les convenga y caminar hasta su destino, con lo que el número de pasajeros realmente **imposibilitado** de realizar el viaje deseado, se reduce considerablemente.*

3. Los trenes deberán ser identificados (por ejemplo con dos colores diferentes) de modo que los pasajeros sepan en qué estaciones no pararán.

*Esto puede hacerse con un cartel visible en el frente de las formaciones.*

### **2.3 CÁLCULO DE LAS MEJORAS QUE SE OBTENDRÍAN**

Utilizando el sistema desarrollado para este fin, e ingresando estos cambios en la simulación de la marcha de los trenes, se determina el nuevo tiempo de viaje entre cabeceras.

Para mantener la misma frecuencia en toda la línea, en el recorrido de regreso se debería implementar un programa similar de paradas alternadas, pero en sentido inverso.

Es así que suprimiendo las paradas en las estaciones propuestas en el punto anterior y limitando la velocidad de los trenes a 30 km./h cuando pasan por esas estaciones sin detenerse, el tiempo de viaje de los trenes entre cabeceras se reduciría a 22,29 min. (1338 seg.).

Esto implica un ahorro de casi 2 minutos de viaje para los pasajeros entre cabeceras ((una **reducción del 8 % respecto del tiempo actual**) y una **economía estimada de entre el 10 y el 15 % en la energía consumida** respecto de la que se utilizaría parando en todas las estaciones.

Este cambio haría que el tiempo de la vuelta completa baje a 48,58 min. (desde los 52 min. actuales), por lo que con la misma cantidad de formaciones circulando (11), la frecuencia se podría aumentar a un tren cada 4,42 min. (desde los 4,8 min. actuales) lo que implica una mejora de la capacidad de transporte de la línea en horarios pico, sin necesidad de agregar material rodante, conforme el siguiente cálculo:

<b>Situación actual conforme el programa vigente</b>				
Trenes con formaciones de 4 coches G.E.E.				
	Sentados	Parados 6/m2	<b>Total</b>	
Capacidad de cada coche	42	153	<b>195</b>	Pasajeros
Capacidad total del tren (4)			<b>780</b>	Pasajeros
Frecuencia en horas pico	1 tren cada	4,8	min.	
Trenes por hora	12,50			
Capacidad de transporte	<b>9.750</b>	<b>Pasajeros / hora</b>		

<b>Situación con menos paradas (frecuencia en horas pico a 4,42 min.)</b>				
Trenes con formaciones de 4 coches G.E.E.				
	Sentados	Parados 6/m2	<b>Total</b>	
Capacidad de cada coche	42	153	<b>195</b>	Pasajeros
Capacidad total del tren (4)			<b>780</b>	Pasajeros
Frecuencia en horas pico	1 tren cada	4,42	min.	<b>7,92%</b>
Trenes por hora	13,57			
Capacidad de transporte	<b>10.588</b>	<b>Pasajeros / hora</b>		<b>8,60%</b>

Cuadro 4. Aumento de la capacidad de transporte de la Línea "E" con el nuevo esquema propuesto en horas pico

## 2.4 CONCLUSIONES

**El cambio propuesto resulta equivalente a agregar un tren adicional por hora, con el material rodante actualmente disponible y sin necesidad de realizar ninguna inversión.**

Por el contrario, implica un menor consumo energético y menor desgaste del material rodante, ya que las mayores exigencias se producen fundamentalmente en los arranques y paradas.

## 2.5 RESUMEN

Ventajas:

- Los trenes que no paran en todas las estaciones realizarán una marcha más económica al evitar la mitad de las paradas y arranques en la primera parte del trayecto (evitan así el 20 % de las paradas del trayecto total), con una economía estimada en la energía consumida de entre el 10 y el 15 % del total parando en todas las estaciones.
- El material rodante sufrirá una menor exigencia y degradación por el mismo motivo.
- Con el material rodante actualmente disponible se podría aumentar la frecuencia de los trenes (reducción del tiempo entre trenes y aumento de la capacidad de transporte de la línea de un 8,6 % equivalente a un tren adicional por hora).

Desventajas:

- Una mínima parte de los usuarios se vería en estos horarios imposibilitado de realizar el viaje deseado entre dos estaciones en las que no para un mismo tren (por ejemplo quien desee viajar desde Belgrano a Urquiza).

- Los tiempos de espera en las estaciones en las que no paran todos los trenes serían mayores, pero también con mayores posibilidades de poder ascender a los trenes.

En el siguiente gráfico se observa el recorrido espacio tiempo con esta modalidad de transporte.

El trazo en rojo indica el espacio vedado por una señal a rojo que protege al Tren A y que no podría ser transpuesto por el tren B., por lo que se observa que aún con una separación de tres minutos entre trenes no existirían inconvenientes generados por el primer tren sobre la marcha del segundo.

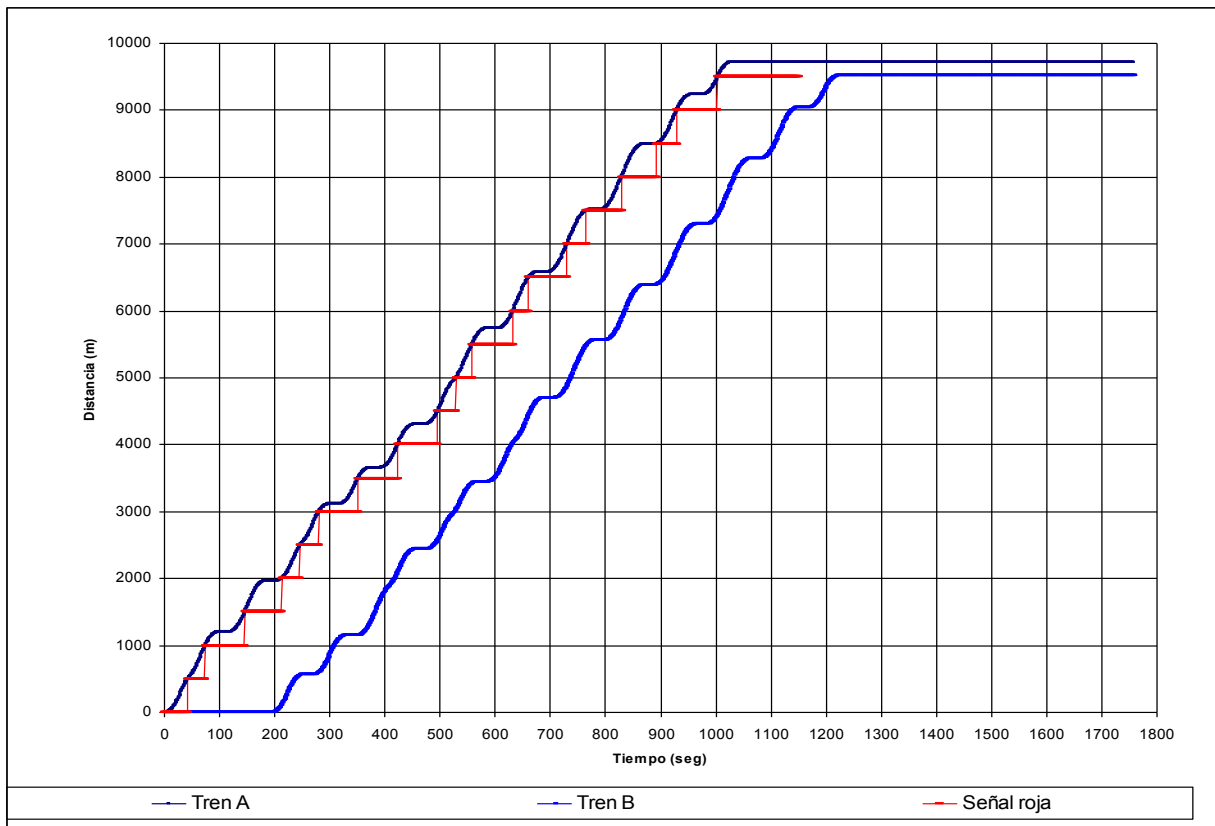


Figura 5. Representación por el sistema de la marcha de dos trenes con paradas alternadas

Las consideraciones para este cálculo han sido las siguientes:

- Velocidad máxima permitida 70 Km/h.
- Aceleración y frenado 0,7 m/seg<sup>2</sup>
- Tiempo de parada en estaciones 20 seg.

- Vel. Máxima de pasada por estaciones 30 Km/h. (tren que no para)
- Tiempo de partida entre trenes 209 seg. (3,48 min.)
- Distancia entre señales 500 m.

### 3. SÍNTESIS PARA LA LÍNEA “D”

El mismo análisis anterior, pero realizado para el servicio de la Línea “D” (una de las más saturadas en horarios pico), arroja resultados similares que se sintetizan a continuación:

El plan de paradas alternadas propuesto se presenta en el siguiente cuadro:

Estación	Tren A	Tren B	Tren A	
Catedral	X	X	X	Cabecera origen
9 de Julio	X	X	X	Combinación línea C
Tribunales		X		Estación con andén central
Callao	X		X	
Facultad de Med.		X		
Pueyrredón	X		X	Estación con andén central
Agüero		X		
Bulnes	X		X	
S. Ortíz	X	X	X	
Pza. Italia	X	X	X	Estación con andén central
Palermo	X	X	X	Estación con andén central
Carranza	X	X	X	
Olleros	X	X	X	
J. Hernández	X	X	X	
Juramento	X	X	X	
C. de Tucumán	X	X	X	Cabecera destino

Cuadro 5. Esquema de paradas alternadas Línea “D” en las estaciones de origen en horarios pico

En la Línea “D” la máxima frecuencia de servicio es de un tren cada 2 minutos y 54 segundos (2,9 min.) según surge del sitio web <http://www.subte.com.ar/horarios/frecuencia.asp> y se verifica de lunes a viernes en los horarios pico, entre las 7:30 hs. y las 10:00 hs. y entre las 16:00 hs. y las 19:00 hs.

El tiempo de viaje entre cabeceras es de 26 minutos. Para completar el ciclo (llamado “calesita” en la jerga ferroviaria) y cumplir con el servicio indicado de trenes cada 2,9 minutos, se requerirían **veinte formaciones (trenes)**, recorriendo cada una la distancia entre cabeceras en 26 minutos de viaje. Esta cantidad de trenes se obtiene de considerar 26 minutos de viaje en cada

sentido más 2 minutos de espera en cada cabecera (no contemplados en el recorrido), lo que suma en total 56 minutos para la vuelta completa. Dividiendo ese tiempo por 2,9 minutos entre trenes, da como resultado 19,31 que es la cantidad de trenes necesaria para cubrir el servicio.

**Es decir que se requieren como mínimo 20 formaciones en servicio para cumplir el diagrama actual de la Línea “D” en horas pico.**

### 3.1 CÁLCULO DE LAS MEJORAS QUE SE OBTENDRÍAN EN LA LÍNEA “D”

Utilizando el sistema desarrollado para este fin, e ingresando estos cambios en la simulación de la marcha de los trenes, se determina el nuevo tiempo de viaje entre cabeceras.

Es así que suprimiendo las paradas en las estaciones propuestas en el punto anterior y limitando la velocidad de los trenes a 30 km./h cuando pasan por esas estaciones sin detenerse, el tiempo de viaje de los trenes entre cabeceras se reduciría a 24,34 min. (1461 seg.).

Este cambio haría que el tiempo de la vuelta completa baje a 52,68 min. (desde los 56 min. actuales), por lo que con la misma cantidad de formaciones circulando (20), la frecuencia se podría aumentar a un tren cada 2,63 min. (desde los 2,9 min. actuales) lo que implica una mejora de la capacidad de transporte de la línea en horarios pico, sin necesidad de agregar material rodante, conforme el siguiente cálculo:

Situación actual conforme el programa vigente				
Trenes con formaciones de 5 coches Alstom				
	Sentados	Parados 6/m2	<b>Total</b>	
Capacidad de formación	174	645	<b>819</b>	Pasajeros
Frecuencia en horas pico	1 tren cada	2,9	min.	
Trenes por hora	20,69			
Capacidad de transporte	<b>16.945</b>	<b>Pasajeros / hora</b>		

Cuadro 6. Capacidad de transporte actual Línea “D” en horas pico

Con el programa de paradas alternadas propuesto, la capacidad de transporte de la línea aumenta de la siguiente forma:

<b>Situación mejorando la frecuencia en horas pico a 2,63 min.</b>				
Trenes con formaciones de 5 coches Alstom				
	Sentados	Parados 6/m2	<b>Total</b>	
Capacidad de formación	174	645	<b>819</b>	Pasajeros
				Aumento de frecuencia
Frecuencia en horas pico	1 tren cada	2,63	min.	<b>9,31%</b>
Trenes por hora	22,81			
				Mejora respecto al programa actual
Capacidad de transporte	<b>18.684</b>	<b>Pasajeros / hora</b>		<b>10,27%</b>
Esta mejora se lograría sin tener que aumentar la cantidad de material rodante disponible.				

Cuadro 7. Capacidad de transporte de la Línea "D" en horas pico con paradas alternadas

**En este caso el cambio propuesto resulta equivalente a agregar dos trenes adicionales por hora, con el material rodante actualmente disponible y sin necesidad de realizar ninguna inversión.**

#### 4. ANTECEDENTE DE ANÁLISIS SIMILAR EN EL METRO DE SANTIAGO DE CHILE

Cabe mencionar que un análisis realizado por Nueva Vía Consultores s.a. en Santiago de Chile, bajo el título "Santiago 2041", a cargo del Sr. Clemente Pérez, indica resultados ventajosos para el Metro de Santiago mediante el programa de paradas alternadas.

Los siguientes gráficos resumen este aspecto en particular, los que se corresponden conceptualmente con los resultados obtenidos para el caso de las Líneas "E" y "D" de Subterráneos.



METRO DE SANTIAGO.pdf - Adobe Reader

Archivo Edición Ver Documento Herramientas Ventana Ayuda

5 / 35 58.4%

Buscar



Haga clic para ir a la página anterior del documento

NUEVA VIA CONSULTORES

## Operación Expresa

Entre las 06:00 y las 09:00 AM desde Tobalaba y Puente Alto, solo en Línea 4

**Metro Expreso: detención alternada de trenes en estaciones con dos rutas de viaje: verde y roja.**

● Tobalaba	● Quinta Normal
● Cristóbal Colón	● Cumming
● Francisco Bilbao	● Santa Ana
● Príncipe de Gales	● Plaza de Armas
● Simón Bolívar	● Bellas Artes
● Plaza Ezequiel	● Baquedano
● Los Orientales	● Parque Bustamante
● Grecia	● Santa Isabel
● Los Presidentes	● Irarrázabal
● Quilín	● Nuble
● Las Torres	● Rodrigo de Araya
● Macul	● Carlos Valdivinos
● Vicuña Mackenna	● Camino Agrícola
● Vicente Valdés	● San Joaquín
● Rojas Magallanes	● Pedrero
● Trinidad	● Mirador
● Los Quillayes	● Bellavista de La Florida
● Elisa Correa	● Vicente Valdés
● Hospital Sotero del Río	
● Protectora de la Infancia	
● Las Mercedes	
● Plaza de Puente Alto	

Inicio PCO 110406 Gmail - Rec... 2 Microso... METRO DE... 12:11

METRO DE SANTIAGO.pdf - Adobe Reader


Archivo Edición Ver Documento Herramientas Ventana Ayuda

6 / 35 58.4% Buscar

**NUEVA VIA CONSULTORES** GERBERO OLIVO - NOYA ERRAZURIZ ARDABIDI

## Operación Expresa

- **Resultados**
  - Ahorros 8 minutos por la vía más cargada
- Aumento de un 15% en la velocidad comercial en punta mañana
  - Disminución de averías e incidentes de puerta (30%)
  - Aumento de 10 trenes de oferta en las 3 horas de la punta mañana
  - 300.000 pasajeros beneficiados diariamente
- 82% de los usuarios aprueba la medida



Inicio PCO 110406 Gmail - Rec... 2. Microso... METRO DE... 12:52

**ANEXO I : Línea “E” Trayecto entre cabeceras en 24 minutos parando en cada estación intermedia durante 20 segundos**

Se ha fijado el tiempo de viaje entre cabeceras en el programa del sitio web del SUBTE que lo fija en 24 minutos. Se fijaron paradas de 20 segundos en todas las estaciones. En esas condiciones se calculó la velocidad máxima que deberían alcanzar los trenes en todos los tramos entre estaciones, considerando una conducción económica (alcanza la velocidad máxima y luego deriva hasta la distancia de frenado, de manera que el trayecto completo lo realice en el tiempo establecido).

Como primera conclusión se observa que dicha velocidad es inferior a los 40 km/h., por lo que a priori se puede decir que tanto aumentando dicha velocidad máxima como reduciendo los tiempos medios de paradas en estaciones, se podía reducir sensiblemente los tiempos de viaje. Asimismo en el cálculo adjunto se ha considerado una aceleración del material rodante de 0.6 m/seg<sup>2</sup>, por lo que si se eleva a 0.7 m/seg<sup>2</sup> también reduciría el tiempo total.

Tanto es así que si se fija la velocidad máxima entre estaciones en 70 Km/h. y la aceleración 0.7 m/seg<sup>2</sup>, el tiempo total de viaje se reduce a 19, 06 min. lo que implica una reducción del 20% respecto de lo programado (casi 5 minutos de ahorro de tiempo).

<b>TRENES DE IDA 1</b>													
Velocidad Máxima Tramo (Km/h)		39,8	Vel.Cte.				Nombre Estación	39,8	Vel.Cte.				Nombre Estación
Tiempo de Reacción (seg)		1,175					Progresiva	1,175					Progresiva
Estación	Bolivar	Bolivar	SI	Nº de Curva			Belgrano	Belgrano	SI	Nº de Curva			Independencia
Progresiva (m)	0	0	Curva Nº				532	532	Curva Nº				1139
Velocidad permitida en Prg.(Km/h)	0	0					0	0					0
			Vel.Cte.	Desaceleración			Tiempo Parada	Aceleración	Vel.Cte.	Desaceleración			Tiempo Parada
		Aceleración		Deriva	Reac.	Frenado				Deriva	Reac.	Frenado	
Velocidad Inicial (Km/h)		0	39,80	39,80	35,05	34,89		0	39,80	39,80	33,88	33,72	
Aceleración (m/seg <sup>2</sup> )		0,6	0,94428571	0,039	0,039	0,7		0,6	0,944285714	0,039	0,039	0,7	
Velocidad Final (Km/h)		39,80	39,80	35,05	34,89	0,00	0,00	39,80	39,80	33,88	33,72	0,00	0,00
Distancia Recorrida (m)		101,9	0,0	351,7	11,4	67,1		101,9	0,0	431,5	11,0	62,7	
Progresiva (m)		102	102	454	465	532	532	634	634	1065	1076	1139	1139
Tiempo (seg)		18	0	33,826	1,175	14	20	18	0	42,162	1,175	13	20
<b>Tiempo Acumulado (seg)</b>	<b>0</b>	<b>18,43</b>	<b>18</b>	<b>52</b>	<b>53</b>	<b>67,27</b>	<b>87,27</b>	<b>106</b>	<b>106</b>	<b>148</b>	<b>149</b>	<b>162</b>	<b>182</b>
Tipo de Movimiento	a	vc	d	d	f	p	a	vc	d	d	f	p	a

Nombre Estación	39,8	Vel.Cte.				Nombre Estación	39,8	Vel.Cte.				Nombre Estación	
Progresiva	1,175					Progresiva	1,175					Progresiva	
Independencia	Independencia	SI	Nº de Curva				San José	San José	SI	Nº de Curva			Entre Ríos
1139	1139	Curva Nº					1904	1904	Curva Nº				2477
0	0				0	0				0			0
Tiempo Parada	Aceleración	Vel.Cte.	Desaceleración			Tiempo Parada	Aceleración	Vel.Cte.	Desaceleración			Tiempo Parada	
			Deriva	Reac.	Frenado				Deriva	Reac.	Frenado		
	0	39,80	39,80	31,27	31,11		0	39,80	39,80	34,42	34,25		
	0,6	0,944285714	0,039	0,039	0,7		0,6	0,944285714	0,039	0,039	0,7		
0,00	39,80	39,80	31,27	31,11	0,00	0,00	39,80	39,80	34,42	34,25	0,00	0,00	
	101,9	0,0	599,6	10,2	53,3		101,9	0,0	395,3	11,2	64,7		
1139	1241	1241	1840	1851	1904	1904	2006	2006	2401	2412	2477	2477	
20	18	0	60,748	1,175	12	20	18	0	38,348	1,175	14	20	
182	201	201	262	263	275	295	314	314	352	353	367	387	
a	vc	d	d	f	p	a	vc	d	d	f	p	a	

Nombre Estación	39,8	Vel.Cte.				Nombre Estación	39,8	Vel.Cte.				Nombre Estación	
Progresiva	1,175					Progresiva	1,175					Progresiva	
Entre Ríos	Entre Ríos	SI	Nº de Curva				Pichincha	Pichincha	SI	Nº de Curva			Jujuy
2477	2477	Curva Nº					3000	3000	Curva Nº				3526
0	0				0	0				0			0
Tiempo Parada	Aceleración	Vel.Cte.	Desaceleración			Tiempo Parada	Aceleración	Vel.Cte.	Desaceleración			Tiempo Parada	
			Deriva	Reac.	Frenado				Deriva	Reac.	Frenado		
	0	39,80	39,80	35,19	35,02		0	39,80	39,80	35,14	34,98		
	0,6	0,944285714	0,039	0,039	0,7		0,6	0,944285714	0,039	0,039	0,7		
0,00	39,80	39,80	35,19	35,02	0,00	0,00	39,80	39,80	35,14	34,98	0,00	0,00	
	101,9	0,0	342,1	11,5	67,6		101,9	0,0	345,3	11,4	67,4		
2477	2579	2579	2921	2932	3000	3000	3102	3102	3447	3459	3526	3526	
20	18	0	32,845	1,175	14	20	18	0	33,172	1,175	14	20	
387	405	405	438	439	453	473	491	491	525	526	540	560	
a	vc	d	d	f	p	a	vc	d	d	f	p	a	

Nombre Estación	39,8	Vel.Cte.				Nombre Estación	39,8	Vel.Cte.				Nombre Estación		
Progresiva	1,175					Progresiva	1,175					Progresiva		
Jujuy	Jujuy	SI	Nº de Curva				Urquiza	Urquiza	SI	Nº de Curva				Boedo
3526	3526	Curva Nº					4150	4150	Curva Nº					4790
0	0				0	0				0				
Tiempo Parada	Aceleración	Vel.Cte.	Desaceleración			Tiempo Parada	Aceleración	Vel.Cte.	Desaceleración			Tiempo Parada		
			Deriva	Reac.	Frenado				Deriva	Reac.	Frenado			
	0	39,80	39,80	33,61	33,44		0	39,80	39,80	33,35	33,19			
	0,6	0,944285714	0,039	0,039	0,7		0,6	0,94429	0,039	0,039	0,7			
0,00	39,80	39,80	33,61	33,44	0,00	0,00	39,80	39,80	33,35	33,19	0,00	0,00		
	101,9	0,0	449,6	10,9	61,6		101,9	0,0	466,6	10,9	60,7			
3526	3628	3628	4077	4088	4150	4150	4252	4252	4718	4729	4790	4790		
20	18	0	44,092	1,175	13	20	18	0	45,923	1,175	13	20		
<b>560</b>	<b>578</b>	<b>578</b>	<b>622</b>	<b>623</b>	<b>637</b>	<b>657</b>	<b>675</b>	<b>675</b>	<b>721</b>	<b>722</b>	<b>735</b>	<b>755</b>		
a	vc	d	d	f	p	a	vc	d	d	f	p	a		

Nombre Estación	39,8	Vel.Cte.				Nombre Estación	39,8	Vel.Cte.				Nombre Estación		
Progresiva	1,175					Progresiva	1,175					Progresiva		
Boedo	Boedo	SI	Nº de Curva				Av. La Plata	Av. La Plata	SI	Nº de Curva				J.M.Moreno
4790	4790	Curva Nº					5627	5627	Curva Nº					6444
0	0				0	0				0				
Tiempo Parada	Aceleración	Vel.Cte.	Desaceleración			Tiempo Parada	Aceleración	Vel.Cte.	Desaceleración			Tiempo Parada		
			Deriva	Reac.	Frenado				Deriva	Reac.	Frenado			
	0	39,80	39,80	30,01	29,84		0	39,80	39,80	30,36	30,20			
	0,6	0,94429	0,039	0,039	0,7		0,6	0,94429	0,039	0,039	0,7			
0,00	39,80	39,80	30,01	29,84	0,00	0,00	39,80	39,80	30,36	30,20	0,00	0,00		
	101,9	0,0	676,3	9,8	49,1		101,9	0,0	655,0	9,9	50,3			
4790	4892	4892	5568	5578	5627	5627	5729	5729	6384	6394	6444	6444		
20	18	0	69,755	1,175	12	20	18	0	67,215	1,175	12	20		
<b>755</b>	<b>774</b>	<b>774</b>	<b>843</b>	<b>845</b>	<b>856</b>	<b>876</b>	<b>895</b>	<b>895</b>	<b>962</b>	<b>963</b>	<b>975</b>	<b>995</b>		
a	vc	d	d	f	p	a	vc	d	d	f	p	a		

Nombre Estación	39,8	Vel.Cte.				Nombre Estación	39,8	Vel.Cte.				Nombre Estación		
Progresiva	1,175					Progresiva	1,175					Progresiva		
J.M.Moreno	J.M.Moreno	SI	N° de Curva				E. Mitre	E. Mitre	SI	N° de Curva				M. Milagrosa
6444	6444	Curva N°					7351	7351	Curva N°					8325
0	0							0	0				0	
Tiempo Parada	Aceleración	Vel.Cte.	Desaceleración			Tiempo Parada	Aceleración	Vel.Cte.	Desaceleración			Tiempo Parada		
			Deriva	Reac.	Frenado				Deriva	Reac.	Frenado			
	0	39,80	39,80	28,72	28,56		0	39,80	39,80	27,44	27,27			
	0,6	0,94429	0,039	0,039	0,7		0,6	0,94429	0,039	0,039	0,7			
0,00	39,80	39,80	28,72	28,56	0,00	0,00	39,80	39,80	27,44	27,27	0,00	0,00		
	101,9	0,0	750,8	9,3	45,0		101,9	0,0	822,2	8,9	41,0			
6444	6546	6546	7297	7306	7351	7351	7453	7453	8275	8284	8325	8325		
20	18	0	78,894	1,175	11	20	18	0	88,044	1,175	11	20		
<b>995</b>	<b>1014</b>	<b>1014</b>	<b>1093</b>	<b>1094</b>	<b>1105</b>	<b>1125</b>	<b>1144</b>	<b>1144</b>	<b>1232</b>	<b>1233</b>	<b>1244</b>	<b>1264</b>		
a	vc	d	d	f	p	a	vc	d	d	f	p	a		

Nombre Estación	39,8	Vel.Cte.				Nombre Estación	39,8	Vel.Cte.				Nombre Estación		
Progresiva	1,175					Progresiva	1,175					Progresiva		
M. Milagrosa	M. Milagrosa	SI	N° de Curva				Varela	Varela	SI	N° de Curva				P. de los Virreyes
8325	8325	Curva N°					9097	9097	Curva N°					9586
0	0							0	0				0	
Tiempo Parada	Aceleración	Vel.Cte.	Desaceleración			Tiempo Parada	Aceleración	Vel.Cte.	Desaceleración			Tiempo Parada		
			Deriva	Reac.	Frenado				Deriva	Reac.	Frenado			
	0	39,80	39,80	31,15	30,99		0	39,80	39,80	35,70	35,54			
	0,6	0,94429	0,039	0,039	0,7		0,6	0,944285714	0,039	0,039	0,7			
0,00	39,80	39,80	31,15	30,99	0,00	0,00	39,80	39,80	35,70	35,54	0,00	0,00		
	101,9	0,0	607,1	10,1	52,9		101,9	0,0	305,9	11,6	69,6			
8325	8427	8427	9034	9044	9097	9097	9199	9199	9505	9516	9586	9586		
20	18	0	61,607	1,175	12	20	18	0	29,171	1,175	14	0,1		
<b>1264</b>	<b>1282</b>	<b>1282</b>	<b>1344</b>	<b>1345</b>	<b>1357</b>	<b>1377</b>	<b>1396</b>	<b>1396</b>	<b>1425</b>	<b>1426</b>	<b>1440</b>	<b>1440</b>		
a	vc	d	d	f	p	a	vc	d	d	f	p	a		