



# ACTUATE

*Formación avanzada para conducir  
vehículos eléctricos de forma segura y rentable  
– Tranvía –*

[www.actuate-ecodriving.eu](http://www.actuate-ecodriving.eu)



Co-funded by the Intelligent Energy Europe  
Programme of the European Union

actuate



ACTUATE

Un proyecto para optimizar la conducción y reducir el consumo de energía

En el marco del proyecto de patrocinio europeo ACTUATE, se han desarrollado, comprobado e introducido con éxito programas de formación y medidas formativas generales sobre cómo conducir de manera más rentable los vehículos electrónicos en el sector del transporte público.

Mediante la introducción de una formación avanzada sobre una forma de conducción más rentable se puede optimizar el potencial de ahorro energético de los vehículos electrónicos como tranvías, autobuses híbridos o trolebuses y promover la rentabilidad y la expansión de este tipo de vehículos.

El proyecto ACTUATE se centra en particular en el conductor como elemento clave de la conducción rentable. Las campañas de motivación que acompañan al proyecto también garantizarán que los conductores apliquen a largo plazo lo aprendido en las sesiones de formación avanzadas.

Un proyecto para optimizar la conducción...

- ▶ de vehículos eléctricos de forma segura y rentable en el sector del transporte público
- ▶ y mejorar la rentabilidad de los vehículos eléctricos en el sector del transporte público mediante
  - la creación y evaluación de programas formativos sobre conducción segura y rentable
  - campañas de motivación para conductores de tranvías, trolebuses, autobuses híbridos

Este folleto formativo se ha elaborado para el tipo de vehículo trolebús en el marco del programa ACTUATE.

ÍNDICE

1	Introducción	4
1.1	Ecoconducción	5
1.2	¿A quién beneficia la “ecoconducción”?	6
1.3	Vehículos eléctricos: – pasado y futuro	7
2	Factores que influyen en el consumo de energía	8
2.1	El factor humano	9
2.2	Los factores relativos a la infraestructura y la topografía	10
2.3	Los factores relativos a las rutas y la resistencia a la rodadura	11
2.4	El papel de la velocidad	14
3	Control del vehículo y suministro de energía	15
3.1	Control del vehículo	15
3.2	Suministro eléctrico	18
3.3	Registro del consumo de energía	18
3.4	Evaluación de los resultados	20
4	Funcionamiento defectuoso	24
5	Escuela de conducción de tranvías	25
6	Ecoconducción y horarios	27
7	Formación	28
8	Resumen	30

## 1 Introducción

¿Por qué debemos ahorrar energía? La energía se ha convertido en un recurso muy valioso. El petróleo, como fuente de combustible, no es infinito. Aunque los vehículos actuales que funcionan con motores diésel o de gasolina contaminan bastante menos que los de hace unos años gracias a los convertidores catalíticos, los filtros de partículas y otros sistemas, lo cierto es que siguen contaminando el medio ambiente. Es, por tanto, necesario evaluar otras opciones, y la electricidad es una alternativa limpia.

No obstante, hay que tener en cuenta que no todos los métodos de producción eléctrica son iguales. Entre ellos se encuentran las centrales térmicas de carbón, que todavía siguen utilizándose de manera generalizada. Sin embargo, el carbón es un recurso no renovable que cuando se utiliza para generar electricidad genera productos contaminantes que degradan el medio ambiente. Por tanto, cada vez es más intenso el uso de energías limpias y renovables, tales como la eólica, la solar y la hídrica, para este fin.

Es un método de producción eléctrica totalmente respetuoso con el medio ambiente y su importancia es cada vez mayor. No obstante, son muchos los problemas que deberán resolverse antes de que podamos satisfacer todas nuestras necesidades de electricidad mediante energías renovables. En primer lugar, la electricidad generada debe trasladarse desde la central de producción hasta el consumidor. Esto exige que las redes eléctricas se amplíen proporcionalmente. En segundo lugar, el suministro de energía debe ser estable, ya que no siempre hay viento suficiente y no todos los días son soleados. Aquí surge el problema de almacenar la electricidad hasta que se necesite, pero el número de centrales de almacenamiento por bombeo es todavía insuficiente.

La electricidad es un bien muy valioso y sin ella sería imposible vivir como lo hacemos actualmente. Por tanto, debemos comportarnos de manera consciente y ser muy cuidadosos a la hora de utilizar los recursos existentes tanto en nuestra vida privada como en la esfera pública. El transporte público local desempeña una función fundamental como modelo. La tecnología moderna y unos hábitos de conducción respetuosos con el medio ambiente pueden contribuir de manera sustancial al ahorro de energía.

*Todos los vehículos ferroviarios que devuelven la energía de frenado a la red de tracción eléctrica nos ayudan a reducir el consumo de energía*

*Eine Straßenbahn vom Typ NGT 8 vor dem Neuen Rathaus in Leipzig*



*Der Fahrer macht den Unterschied!*

### 1.1 Ecoconducción

Evidentemente, la ecoconducción no solo se aplica a los tranvías, sino también a otros vehículos "ecológicos", como los trenes ligeros, el metro, los trolebuses, los autobuses eléctricos y los autobuses de tecnología híbrida. Los principios para una conducción óptima deben, por tanto, formularse como sigue:

*Seguridad*

*Rentabilidad*

*Puntualidad*

*Orientación al cliente*

*¿Y qué significa esto concretamente?*

#### Seguridad

La seguridad es la principal prioridad. De hecho, todos los demás aspectos deben estar supeditados a ella. La palabra "seguridad" proviene del término en latín "securitas", que significa "providencia" o "sin temor a preocuparse". Describe un estado que se considera exento de peligro. Los usuarios deben subir a un tren local "sin temor a preocuparse" y el tren debe llevarlos a su destino "con cuidado". La ecoconducción siempre supone mantener una actitud anticipatoria, que es un elemento esencial de la seguridad en el tráfico rodado.

#### Rentabilidad

La rentabilidad es una medida general de eficiencia y uso sensato de recursos. El objetivo también es consumir la menor cantidad posible de energía para ir de un punto a otro. Asimismo, un modo de conducción equilibrado, bien pensado y de eficiencia energética reduce el desgaste de los vehículos y la infraestructura (vías y catenarias). ¡El ahorro energético es ahorro económico!

#### Puntualidad

Los clientes cuentan con la puntualidad de su sistema de transporte público. Los vehículos nunca deben salir de las paradas demasiado pronto. Los sistemas de metro pueden seguir siendo puntuales sin ninguna dificultad porque operan en un sistema cerrado que no se ve alterado por otro tipo de tráfico.

*Viele Menschen  
vertrauen täglich  
dem ÖPNV.*



Por el contrario, es frecuente que los tranvías y, en cierta medida, los sistemas de ferrocarril urbano, no puedan evitar retrasos en el servicio puesto que operan junto con medios de transporte individuales. La puntualidad nunca debe primar sobre la seguridad (es decir, correr riesgos cuando se conduce). La conducción imprudente a velocidades elevadas no solo supone un riesgo para la seguridad, sino que además incrementa el desgaste de los vehículos y la infraestructura. La conducción económica y anticipatoria no significa mayor duración de los trayectos, tal y como demuestran los resultados obtenidos en las sesiones prácticas de los cursos de ecoconducción impartidos en ciudades adscritas al proyecto ACTUATE (como Brno, en la República Checa, con los tranvías, o como Salzburgo, en Austria, con los trolebuses).

#### **Orientación al cliente**

La orientación al cliente constituye una herramienta importante para las empresas de transporte a la hora de crear su imagen pública. A menudo se denomina atención al cliente, o lo que es lo mismo: satisfacer los deseos de los usuarios en lo que respecta al servicio de "transporte de pasajeros". Este servicio se

complementa con otros servicios asociados, como son ayudar a los pasajeros con movilidad reducida al subir y bajar de los vehículos, brindar información sobre el precio de los billetes, etc. Nuestros clientes desean tratar con empleados competentes y no con conductores estresados y agotados que responden bruscamente a las preguntas. Lo que quieren es sentirse seguros (véase seguridad). Los conductores que conducen de forma equilibrada y económica están menos estresados y responden mejor a los clientes (pasajeros). Tanto los conductores como los pasajeros se sienten más cómodos y seguros cuando se conduce de forma más cuidadosa y económica.

#### **¿A quién beneficia la ecoconducción?**

##### **El conductor**

Se siente más relajado y menos estresado mientras conduce.

##### **El pasajero**

Se siente más seguro porque percibe la calma del conductor competente que adopta un modo de conducción anticipatorio y cuidadoso.

##### **La infraestructura**

Sufre menor tensión con un modo de conducción anticipatorio y cuidadoso, lo que se traduce, por ejemplo, en menor desgaste de los puntos y las intersecciones de las vías. A largo plazo, esto supone un ahorro sustancial en costes de infraestructuras.

##### **El vehículo**

Dejar que el vehículo ruede permite un funcionamiento más suave y un menor desgaste, por ejemplo de las llantas o del sistema de control electrónico (protección antideslizante y antipatinado).

#### **La empresa**

Ahorrrá mucho dinero a largo plazo porque se consume menos energía y se reducen las reparaciones de vehículos e infraestructura. También cabe esperar una disminución de los costes de personal al reducirse los días de baja. Esto aumenta la disponibilidad de los trabajadores, quienes sufrirán menor estrés gracias a la ecoconducción y por lo tanto habrá mayor satisfacción en la plantilla.

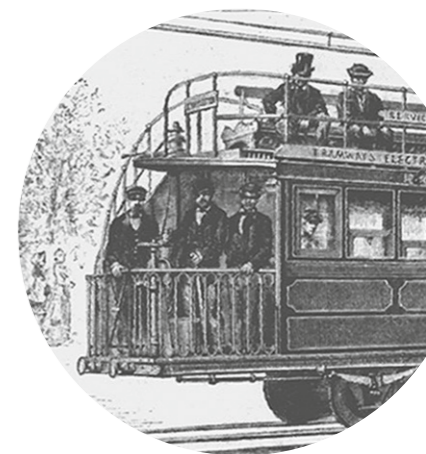
### **1.2 Vehículos eléctricos – pasado y futuro**

Los vehículos eléctricos son en realidad más antiguos que los vehículos que funcionan con combustible. El francés Gustave Trouvé fabricó el primer vehículo eléctrico en 1881 y lo condujo por todo París.

Era un coche de tres ruedas con baterías de plomo y ácido y motor eléctrico. Alcanzaba una velocidad máxima de 12 km/h y recorría entre 14 y 26 km. La empresa Maschinenfabrik A. Flocken, con sede en Coburg, fabricó en 1888 el primer vehículo eléctrico de Alemania. Fue el primer coche eléctrico de cuatro ruedas. En 1886, Karl Benz creó el primer coche de combustible.

*„eco driving“:  
entspannter und  
stressärmer durch  
ausgeglichene  
Fahrweise*

*Primera catenaria  
creada por W. v. Siemens*



Los tranvías eléctricos se remontan a 1881. La expansión de las redes de tranvías fue posible gracias a la catenaria creada por J.C. Henry en 1884, cuyo diseño era muy similar al actual. A pesar de que en la década de 1950 los autobuses sustituyeron a los tranvías en numerosas ciudades de Europa, este medio de transporte se está recuperando en un gran número de urbes de la región (especialmente en Francia). Las ventajas de los vehículos eléctricos son ampliamente reconocidas.

Se trata de vehículos más limpios y silenciosos que los que funcionan con gasolina o diésel. Los tranvías están equipados con nuevos sistemas de tracción que incorporan frenos regenerativos (que permiten devolver la energía de frenado a la red de tracción eléctrica), por lo que son mucho más eficientes y rentables.

Como medio de transporte público en las grandes ciudades, todos los vehículos ferroviarios ofrecen la ventaja de poder transportar un volumen de pasajeros mucho mayor que los autobuses. Cuando además funcionan con energía renovable, los tranvías, los trenes urbanos y el metro son los medios de transporte más limpios y ecológicos que existen.

¿De qué otra forma se puede ahorrar si no es de manera inteligente?

Christiane "Tissy" Bruns  
(periodista)

## 2 Factores que influyen en el consumo de energía

A pesar de todas las ventajas generales señaladas y de la moderna tecnología que utilizan, los vehículos ferroviarios deben operarse de tal forma que el consumo de energía se reduzca al mínimo, ya que la generación de electricidad tiene un coste muy elevado. Asimismo, la transición hacia la electricidad ecológica conlleva costes adicionales. La conducción económica y de escaso consumo energético depende de varios factores. Por un lado están los factores externos, en los que **no pueden** influir los conductores. Entre ellos se encuentran el estado de las vías, el estado de las llantas, la densidad del tráfico, la topografía, el tipo de vehículo (características del motor), la ocupación del vehículo y, por supuesto, que el vehículo esté o no equipado con frenos regenerativos. No obstante, hay otros factores que los conductores sí pueden controlar. Por ejemplo, una conducción **que ahorre energía de manera consciente**; es decir, valorar cuándo tiene sentido acelerar y cuándo no. Es lo que comúnmente se llama **conducción anticipatoria**.

Cuando conducimos, deberíamos plantearnos constantemente las siguientes preguntas y responderlas con sinceridad:

- ▶ ¿Tiene sentido elegir siempre la máxima aceleración al arrancar cuando el estado de las vías no es óptimo?
- ▶ ¿Realmente ahorro tiempo si acelero con el máximo valor teórico/la máxima aceleración al arrancar pero luego tengo que frenar en seco ante una señal de parada?
- ▶ ¿Tengo que aumentar la velocidad si a corta distancia hay puntos por los que solo puedo pasar a baja velocidad?

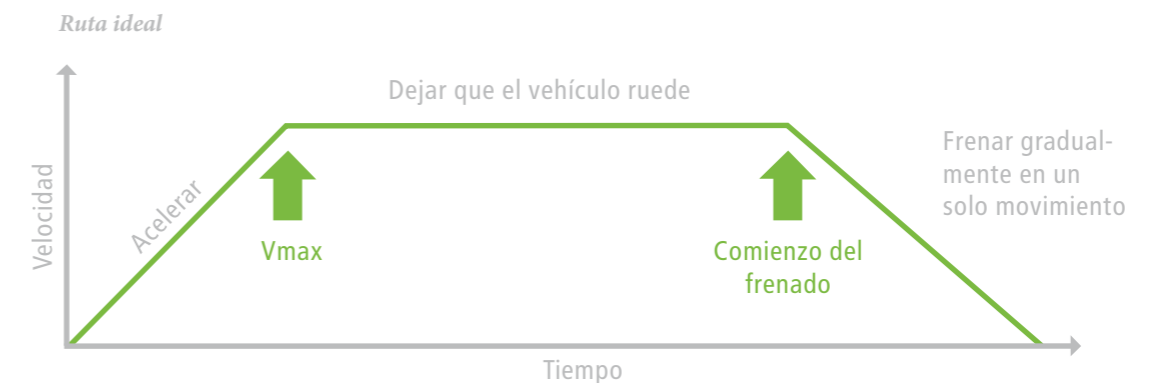
Para ser sinceros, podríamos responder a todas estas preguntas con un rotundo "NO". En las subidas hay que pensar si conviene mantener una velocidad constante de bajo consumo energético o bien acelerar y dejar que el vehículo ruede. Para ello hay que tener en cuenta la pendiente de la subida y el sistema de control del vehículo.

A continuación se ofrece un ejemplo de conducción eficiente: Si a 30 metros de una parada que acabamos de dejar hay una serie de puntos por los que solo se puede pasar a 15 km/h, lo sensato sería acelerar hasta un máximo de 18 km/h (suponiendo que estamos en una línea recta). A continuación, habría que dejar al vehículo rodar por esos puntos y después acelerar según las condiciones del tramo. Cuando se ha alcanzado la velocidad requerida, optar por rodar y frenar de manera uniforme en la siguiente parada.

Blick aus dem Cockpit auf eine modernisierte Trasse



### 2.1 El factor humano



Los conductores deben entender que la conducción adaptativa y de ahorro energético redunda en su propio beneficio. La curva de conducción ideal en una ciudad sin subidas o bajadas importantes sería la siguiente: elegir una tasa de aceleración alta pero uniforme, adaptada a las condiciones meteorológicas y al estado del tráfico y de las vías, hasta alcanzar la máxima velocidad permitida o deseada. Dejar que el vehículo ruede y luego frenar gradualmente hasta detenerlo, con una distancia de frenado suficientemente larga, es decir, valor nominal medio /nivel medio de frenado, teniendo en cuenta a los pasajeros. Este modo de conducción es apto para vehículos con frenos regenerativos o sin ellos.

Los vehículos equipados con un sistema de recuperación de energía presentan la ventaja de que si se elige una mayor distancia de frenado, la energía se devuelve a la red de tracción eléctrica durante más tiempo. Cuando un vehículo devuelve la energía de frenado a la red, en la mayoría de las empresas de transporte se incorpora a la barra colectora de la subestación y puede utilizarse en todas las rutas conectadas a la barra colectora. Esto significa que casi un 90% de la energía de regeneración puede ser utilizada por otros vehículos que aceleren. La recuperación energética no puede utilizarse de

manera intensiva a primera hora de la mañana o a última hora de la noche, cuando los intervalos entre los vehículos son más espaciados.

Sin embargo, ya existen dispositivos de almacenamiento de energía que pueden instalarse en las subestaciones para que la energía de regeneración se pueda utilizar en horas de menor actividad. Cada empresa debe calcular si los costes y los beneficios merecen la pena. Esto mismo se aplica a los dispositivos de almacenamiento de energía en vehículos que también almacenan energía de manera temporal, aunque en este caso se incrementa la carga por eje, lo que puede afectar a la infraestructura.

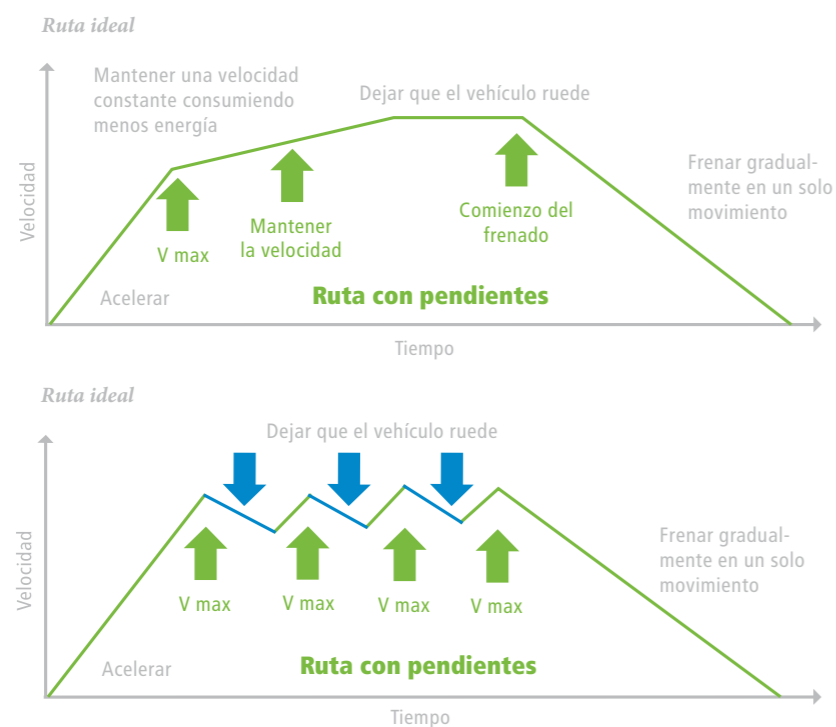
Independientemente de que las subestaciones cuenten o no con dispositivos de almacenamiento, la cuestión sigue siendo que si la red de tracción eléctrica no es capaz de absorber la energía, el vehículo derrochará la energía de frenado a través de la resistencia. En Europa todavía hay ciudades donde operan vehículos equipados con regulación reostática. Siempre se debe elegir la tasa de aceleración máxima posible adecuada a la catenaria y la adherencia, de manera que las resistencias puedan desconectarse rápidamente (véase la explicación en el apartado 3.1).

Por lo general, diríamos que la situación ideal para poner en práctica la ecoconducción es con un sistema de vías independiente o especial. Cuando un tranvía debe circular por una zona con tráfico de vehículos motorizados de particulares se produce un cambio constante del estado del tráfico que evita que el conductor adopte el “modelo de conducción ideal”. En estas situaciones, la conducción anticipatoria es la única opción válida para acercarse lo más posible al patrón de conducción ideal. No obstante, también hay que tener en cuenta nuestro estado interno, ya que si estamos tranquilos, esto se reflejará en nuestro modo de conducción, por lo que conduciremos de forma relajada y sin estrés. Como extrapolación, ser previsores en cualquier situación y mantener la calma pueden ahorrar mucha energía, no solo en términos de kW/h, sino en lo que respecta al nerviosismo del conductor.

## 2.2 Los factores relativos a la infraestructura y la topografía

Entre los factores que no se pueden controlar en la ecoconducción están las condiciones topográficas de las ciudades (subidas y bajadas pronunciadas) y, desde el punto de vista del conductor, la construcción de las vías (un sistema de vías independiente o vías colocadas en la superficie de la calzada).

Para las redes de tranvías en ciudades con fuertes pendientes hay dos “modelos de conducción ideal” para las subidas, dependiendo del sistema de control del vehículo. En los vehículos equipados con un tipo de control de



crucero resulta más económico permanecer en una determinada posición del regulador de consigna o acelerador para mantener la velocidad en el nivel requerido consumiendo poca electricidad. Esto resultaría especialmente eficaz si el vehículo también tuviera que circular cuesta abajo y frenar ligeramente de manera constante.

La electricidad de regeneración podría utilizarse plenamente en vehículos que circulen por una pendiente de bajada. Lógicamente ello presupone que los vehículos estén equipados con frenos regenerativos. Si el vehículo solo está equipado con un freno reostático simple, la energía de frenado se derrocha a través de los reostatos. Esto ocurre, por ejemplo, con el control de aceleración de un Tatra que no se haya actualizado o en vehículos con resistencia adicional. En este tipo de vehículos lo mejor es acelerar mucho de forma rápida para que la resistencia se desactive de manera inmediata y los motores puedan aprovechar al máximo la corriente de tracción (véanse los sistemas de control de vehículos en el apartado 3.1). El modelo de conducción ideal en rutas con pendientes también depende de la longitud de la ruta en cuestión, de la velocidad permitida y, como se ha señalado varias veces, del sistema de control del vehículo. Por consiguiente, la mejor curva de conducción en vías incorporadas a la superficie de la calzada en una situación concreta sería adoptar un comportamiento anticipatorio y conocer bien la ruta.

Siempre resulta más fácil adoptar el modelo de conducción ideal en el metro y en los trenes urbanos que circulan por rutas en las que el control del tren no se ve “afectado” por el tráfico de vehículos motorizados particulares. Aquí es donde una programación óptima puede contribuir al ahorro energético (por ejemplo, teniendo en cuenta los puntos de intersección, haciendo un uso óptimo de los semáforos, etc.).

## 2.3 Los factores relativos a las rutas y la resistencia a la rodadura

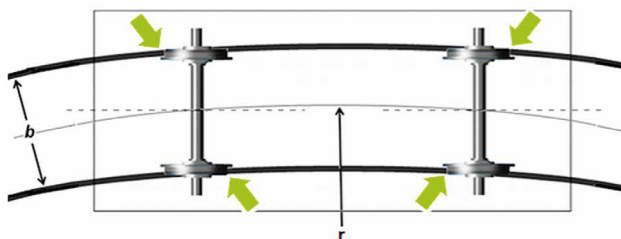
### La tracción...

... es necesaria para generar y mantener el estado del movimiento.

... va en contra de la inercia y la fuerza de resistencia.

... depende de que haya suficiente conexión de fricción entre rueda – vía.

La fuerza  $F$  no puede superar el coeficiente máximo de adherencia (conexión por fricción entre rueda-vía) porque de lo contrario las ruedas se deslizarían o patinarían. Hay diferentes fuerzas y resistencias positivas y negativas que siempre actúan sobre la dinámica del vehículo. En cuanto a las características de la ruta, estas engloban la fuerza del plano inclinado, la resistencia en curvas y la resistencia de los puntos. La resistencia del plano inclinado debe entenderse como una referencia a las condiciones topográficas. Esta resistencia convierte el potencial en energía cinética y viceversa.



La resistencia o fuerza del plano inclinado puede retener energía (cuesta abajo) o bloquear energía (cuesta arriba). Las pendientes se miden en ‰ (por milla). La resistencia en curvas se refiere al frotamiento del juego de ruedas contra la cabeza del carril. Esto puede provocar que las ruedas patinen debido a las distancias diferentes que deben recorrer la parte inferior y la parte superior de las mismas.

A diferencia de un vehículo de motor, las ruedas de un tranvía están fijadas rígidamente al eje. En una curva, la pestaña de la rueda está en posición oblicua a la acanaladura o presiona contra la cabeza del carril. Cuanto menor sea el radio de curvatura, mayor será la resistencia. Esto provoca el característico chirrido que actualmente puede aminorarse mediante dispositivos fijos de lubricación en curvas o lubricación de las pestañas de las ruedas incorporada en el tren.

La resistencia de los puntos es baja, por lo que puede omitirse en los cálculos. Esta resistencia se refiere a choques y fricción entre ruedas y vías cuarteadas o puntos deteriorados. Además de la resistencia de la catenaria hay otras fuerzas provocadas por el propio vehículo: la resistencia al arranque, la resistencia al aire y la resistencia a la rodadura. La resistencia al arranque se produce por inercia física. "Los objetos tienen tendencia a permanecer parados". Isaac Newton explicó este fenómeno en 1687 y está formulado en su Ley de la inercia. En términos de dinámica del movimiento del vehículo, esto significa que la fuerza generada desde el motor debe superar distintas "resistencias internas", por ejemplo, el tren de engranajes, distintos rodamientos y la fuerza del contacto entre la rueda y la vía antes de que el vehículo comience a moverse (fuerza = masa x aceleración).

La resistencia al aire es la fuerza que debe ejercer el vehículo para desplazar el aire. Esta resistencia es cuatro veces mayor con la velocidad. Dado que los tranvías no tienen una forma aerodinámica, su resistencia al aire es mayor que en el caso de los trenes de alta velocidad, como los Thalys, ICE o TGV, cuyo diseño es muy estilizado. De todos modos, la resistencia al aire no desempeña un papel muy importante en los tranvías debido a que la velocidad media a la que se desplazan es relativamente baja.

La última resistencia es la denominada "resistencia a la rodadura". Si comparamos las ruedas de un tranvía u otro vehículo ferroviario en general con las de un vehículo motorizado, enseguida observamos que la superficie de apoyo de las ruedas en los vehículos ferroviarios es pequeña. Esto presenta la ventaja de que la resistencia a la rodadura es muy baja. Después de acelerar brevemente, el vehículo ferroviario recorrerá

*Der Rollwiderstand von Schienenfahrzeugen ist durch die geringe Auflagefläche der Räder sehr niedrig.*

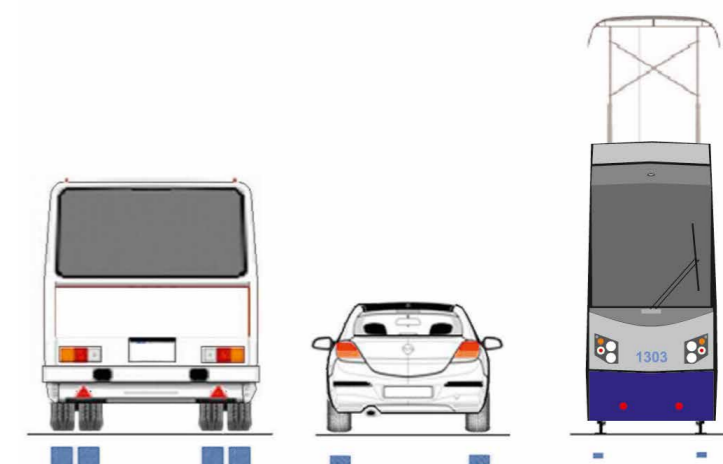
distancias muy largas prácticamente a la misma velocidad en tramos nivelados. Este es uno de los hechos más importantes de la ecoconducción. Sin embargo, los neumáticos del coche tienen un contacto más amplio con la superficie de la carretera. Si se dejara que un coche circulara en punto muerto/a rueda libre por una carretera llana, perdería velocidad con mucha mayor rapidez que un tranvía debido a la elevada fricción de rodadura entre los neumáticos y la carretera. Esto se ve agravado por los materiales que entran en contacto entre sí. La superficie uniforme de las ruedas de acero y la vía de acero también garantizan una baja fricción de rodadura.

Por el contrario, el neumático antideslizante se adhiere bien al asfalto rugoso, lo que supone una ventaja a la hora de frenar. Sin embargo, como la superficie de contacto del tranvía es pequeña, éste se desliza rápidamente si no se tienen debidamente en cuenta los parámetros pertinentes. Las llantas nuevas o recién renovadas siguen siendo ligeramente oblicuas y las cabezas del carril nuevas están ligeramente arqueadas, lo que reduce la fricción de rodadura, pero también la adherencia. También son muy importantes los denominados "medios intermedios". La tierra en la vía produce un efecto de frenado, por lo que aumenta la fricción entre la rueda y la vía y el vehículo arranca con facilidad y no patina cuando frena.

En los vehículos nuevos no es necesario que el conductor active el arenero, sino que el sistema de control electrónico activa automáticamente este mecanismo cuando detecta que la revolución de los ejes se produce a distintas velocidades en el

motor de tracción u órgano de rodadura. Por otra parte, el conductor puede y debe hacer un uso responsable del arenero. Por ejemplo, si al acercarse a una parada es evidente que las vías están ennegrecidas porque se ha vertido nuevo asfalto en la calzada, el conductor debe activar el arenero cuando frene y no esperar a que respondan los dispositivos electrónicos. Las hojas, el polen y materiales similares también reducen de manera considerable la adherencia, lo que provoca que el vehículo se deslice con mayor facilidad cuando se frena y que las ruedas resbalen al arrancar.

No obstante, compensar la escasa adherencia mediante dispositivos electrónicos que evitan que el tren resbale o patine presenta el inconveniente de que dichos dispositivos se activan cuando los ejes muestran diferencias de velocidad de rotación muy reducidas. Esto automáticamente significa que la tierra se esparce por los puntos. Los puntos se atascan con la tierra, no pueden moverse con electricidad y tienen que limpiarse con más frecuencia. Este tipo de situaciones se deben tener en cuenta porque la toma de medidas adecuadas también ahorra electricidad.



Vergleich des Rollwiderstand: Bus, Kfz und Straßenbahn

Si los puntos no se pueden mover con electricidad, el conductor debe parar, mover los puntos y arrancar de nuevo, lo que interrumpe el trayecto. Para arrancar de nuevo se necesita más electricidad y además se pierde tiempo, lo que de nuevo genera estrés. Por tanto, siempre resulta más conveniente rodar por los puntos sin interrumpir el trayecto. Para garantizar un trayecto sin interrupciones es necesario evitar el exceso de tierra en los puntos.

Por consiguiente, en circunstancias normales (es decir, cuando no haya peligro) hay que dejar que el vehículo ruede por los puntos en punto muerto. Cuando un vehículo circula de esta forma la tierra no se esparce porque las ruedas no patinan ni resbalan. Son pequeñas medidas que, por muy insignificantes que sean, conviene tener en cuenta en su conjunto. En los vehículos antiguos el conductor debe evitar que las ruedas se deslicen y patinen activando manualmente el arenero en el momento oportuno. Cuando el vehículo patina y se desliza también se produce un mayor desgaste de las ruedas y las vías. Si se desliza, las llantas se desgastan más, mientras que cuando patina se produce un aplanamiento de las ruedas, por lo que las suspensiones deben ajustarse.

En ambos casos se produce un mayor desgaste de las vías. Todo ello supone una serie de costes que pueden evitarse cuando se adopta un comportamiento de conducción inteligente y anticipatorio.

## 2.4 El papel de la velocidad

La velocidad y la distancia de frenado están íntimamente ligadas y se influyen mutuamente. A la hora de elegir la velocidad, además de las

resistencias de la catenaria y del vehículo ya señaladas hay que tener en cuenta otros factores, como la visibilidad, la ocupación del vehículo, las condiciones del tráfico y las habilidades del conductor. Es necesario elegir la velocidad no solo para garantizar el control del vehículo en todo momento, sino también para asegurar que el vehículo puede detenerse a tiempo y sin riesgo en cualquier situación. La distancia de frenado también se ve influida por varios factores.

Por ejemplo, la velocidad, el estado de las vías, el estado de la catenaria, la tracción o la incorporación de un remolque y el tipo de sistema de frenado desempeñan un papel que no se debe subestimar. El factor más importante es la velocidad, ya que la distancia de frenado aumenta cuatro veces con la velocidad. Dicho de otro modo:

**Si se duplica la velocidad, se cuadruplica la distancia de frenado.**

Si nos fijamos en la distancia de parada general, debemos añadir el tiempo de respuesta del conductor porque la distancia de parada general es la distancia de respuesta más la distancia de frenado. Si el conductor tiene un tiempo de respuesta de 1 segundo, recorrerá 13,9 metros a una velocidad de 50 km/h. Hay que ser conscientes de ello. Si un conductor se distrae con algo y pierde la concentración tan solo 3 segundos, el tranvía recorrerá 41,7 metros "desatendido" entre el tráfico.

*Si se duplica la velocidad, se cuadruplica la distancia de frenado.*



Das Leipziger Streckennetz umfasst insgesamt 319,1 km.

*In Leipzig werden 98 % der zurück gespeisten Energie genutzt!*

## 3 Control del vehículo y suministro de energía

¿Por qué es tan importante el sistema de control para los vehículos ferroviarios? Los sistemas de suministro eléctrico de los tranvías son de corriente continua (CC). Un troceador, o chopper, es un método de control de bajas pérdidas para los motores eléctricos (véase 3.1). Los troceadores permiten un control más eficiente.

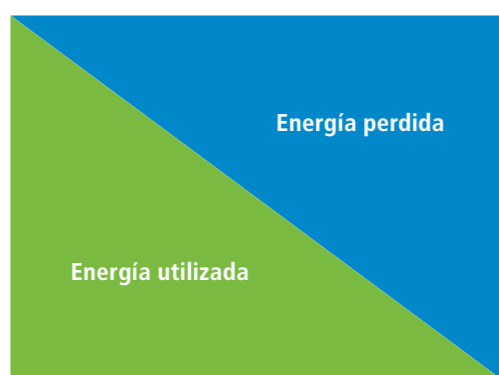
Cuando se puede recuperar la energía de frenado mediante la regeneración, esta se reintroduce en la red de tracción. Para ahorrar aún más energía, algunos fabricantes de tranvías han desarrollado dispositivos de almacenamiento energético para almacenar la energía de frenado cuando la red de tracción no puede absorberla. Los vehículos llevan instalados condensadores de doble capa (DLC).

En la fase de aceleración, los motores pueden extraer electricidad de los dispositivos de almacenamiento y los capacitadores se recargan con energía regenerativa durante el frenado. Es un modo excelente de usar energía al 100%, aunque los costes siguen siendo muy elevados. La rentabilidad de esta tecnología depende en gran medida de la red de tracción existente, los intervalos entre vehículos y el grado de utilización de la energía devuelta a la red.



### 3.1 Sistemas de control de vehículos

A la hora de considerar un comportamiento que se ajuste a las reglas de la ecoconducción hay que tener en cuenta los distintos sistemas de control de vehículos. Como ya se ha explicado en el apartado sobre infraestructura y topografía, la regulación reostática es la forma de control menos económica.



Para que la corriente de tracción se introduzca lentamente en los motores de tracción, esta fluye a través de las resistencias (resistencias en serie), que se desconectan de manera sucesiva hasta que toda la corriente de tracción alimenta a los motores. En épocas pasadas, esto se realizaba manualmente mediante una manivela o un mecanismo de trinquete. La electricidad se convierte en calor en las resistencias. Solo se utiliza realmente alrededor del 50% de la energía absorbida. A menudo es necesario utilizar ventiladores para enfriar las resistencias. Para incrementar la velocidad es habitual utilizar el control de reducción del campo.

La reducción del campo o maniobra (maniobrar en paralelo) es una resistencia que, cuando se desconectan todas las resistencias en serie, se conecta para funcionar en paralelo con el campo del motor de tracción pertinente (tambi-

én pueden utilizarse 2 resistencias conectadas en paralelo una detrás de otra). La intensidad de la corriente del campo principal se divide en el motor de tracción, mientras que la corriente de inducido se mantiene a plena potencia. Esto debilita el campo magnético de las bobinas del campo principal, mientras que el inducido conserva su potente campo magnético. El resultado es que el inducido puede girar con mayor rapidez, lo que incrementa la velocidad.

Todavía se ven controles reostáticos y derivadores de corriente en motores de CC para tranvías con conexiones en paralelo. Los vehículos con regulación reostática no están equipados con frenos regenerativos. La regulación reostática desperdicia tanta energía en el frenado como en la tracción. La corriente de frenado se convierte en calor mediante las resistencias y se disipa.

Para poder seguir utilizando motores de CC en vehículos renovados, el control del troceador (chopper) puede aportar a los vehículos una cualidad absolutamente nueva. Con el control del troceador, el campo y el inducido de los motores se controlan por separado. El troceador divide la corriente continua en pequeños pulsos que introduce directamente en el campo y/o el inducido de los motores de CC. Disminuir el voltaje de excitación genera revoluciones más altas y un descenso del voltaje del inducido provoca revoluciones más altas. Esto permite una aceleración y un frenado uniformes y de eficiencia energética.

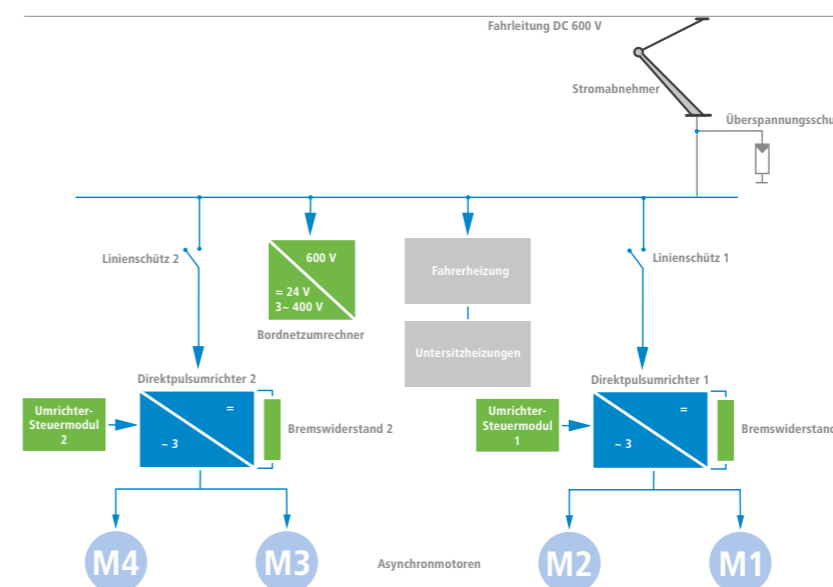
El vehículo puede utilizar ahora la corriente que extrae y el conductor es responsable de la eficiencia de la corriente mediante su forma de conducir. Al elegir el punto de consigna correcto, el conductor determina en qué medida y durante cuánto tiempo el vehículo se encuentra acelerado o frenado. El freno regenerativo de los vehículos

con troceador permite recuperar energía. La energía de frenado no utilizada se devuelve a la red de tracción y se recoge en la barra colectora de la subestación. En ciertos vehículos, la energía generada mediante el frenado también se utiliza para el sistema de calefacción en días fríos, además de la energía de regeneración.

Los vehículos con motores asíncronos trifásicos constituyen un nuevo avance técnico. La corriente continua se obtiene de la catenaria y se convierte en corriente alterna mediante convertidores de frecuencia para alimentar el motor a las frecuencias correspondientes. Como siempre, es el conductor quien determina cuánta corriente se extrae de la catenaria o el grado de frecuencia de control en el motor trifásico, puesto que debe fijar la aceleración requerida en el ajuste del punto de consigna y, por tanto, la correspondiente cantidad de llamada de corriente. Independientemente de la tecnología del vehículo, el modo de conducción del conductor sigue siendo fundamental para un posible ahorro de energía. Cuanto mayor sea el valor del punto de consigna, mayor será la corriente y más rápido podrá acelerar el vehículo.

Durante el frenado, la corriente que se recupera se rectifica en el vehículo mediante rectificadores. Los motores asíncronos trifásicos prácticamente no necesitan mantenimiento.

Se trata simplemente de una máquina de inducción, también denominada jaula de ardilla. Generalmente se controla mediante un convertidor de pulsos de corriente continua. El control de deslizamiento y patinado tiene un ajuste muy preciso. El software del vehículo se adapta de forma óptima a las características del vehículo y a la infraestructura de la ciudad en cuestión. La corriente se regula en todos los tranvías mediante el pantógrafo. A modo de protección contra los rayos se instala un pararrayos inmediatamente detrás del pantógrafo. El conductor puede incluso controlar, en cierta medida, los circuitos de energía auxiliares de 600 V que incorpora el vehículo. Si bien no puede influir en el consumo del convertidor instalado, sí puede tomar una decisión prudente sobre la conveniencia de tener siempre encendido el aire acondicionado o la calefacción en la sección de pasajeros.



*Bremsenergie  
wird in das  
Bahnstromnetz  
zurück gespeist.*

*Der Fahrer gibt die gewünschte Beschleunigung und damit die Höhe der Stromaufnahme vor.*



La tecnología de control en los tranvías sería impensable hoy en día sin los convertidores de pulsos de corriente continua y los IGBT (transistores bipolares de puerta aislada). Este tipo de tecnología es extremadamente precisa para garantizar una regulación de la corriente y una recuperación de la energía óptimas.

### 3.2 Suministro de energía

El suministro de energía se realiza a través de subestaciones de CC. La electricidad que llega a la subestación desde la central eléctrica se rebaja y rectifica.

A través de los aparatos de vía, esta corriente continua se transmite desde la barra colectora a la red de tracción para que los vehículos puedan utilizarla. La energía de regeneración que un vehículo devuelve a la red se recoge en la barra colectora para que todas las líneas conectadas a ella puedan utilizarla. Además, hay una conexión a través de las vías gracias a la cual los cables de retorno se conectan con la subestación.

Si las empresas incorporan vehículos equipados con frenos regenerativos y retiran los vehículos con control de resistencias, el consumo general de electricidad se reducirá de manera sustancial tan sólo aplicando la tecnología actual. No obstante, aquí también entra en juego el conductor,

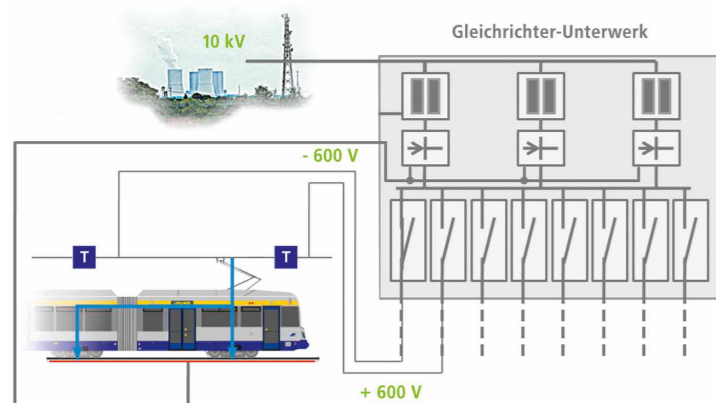
que puede ahorrar incluso más energía mediante una conducción cuidadosa que también tenga en cuenta la comodidad de los pasajeros.

### 3.3 Registro del consumo de energía

La mejor forma de medir la energía que consume cada conductor sería instalar dispositivos de medición en los vehículos. Esto permitiría llevar un registro constante del consumo. El inconveniente es que conlleva un coste muy elevado que no todas las empresas pueden permitirse. Las leyes de protección de datos de algunos países también suponen un obstáculo.

En ciertos países existen disposiciones legales que prohíben controlar directamente los datos de consumo de conductores individuales o el desglose de datos de conductores individuales. A la hora de planificar la instalación de dispositivos de medición hay que verificar primero si las disposiciones legales o las normas internas (que se fijan conjuntamente a través del comité de empresa) permiten hacerlo.

*La tecnología más moderna solo será buena si la utilizan personas competentes.*



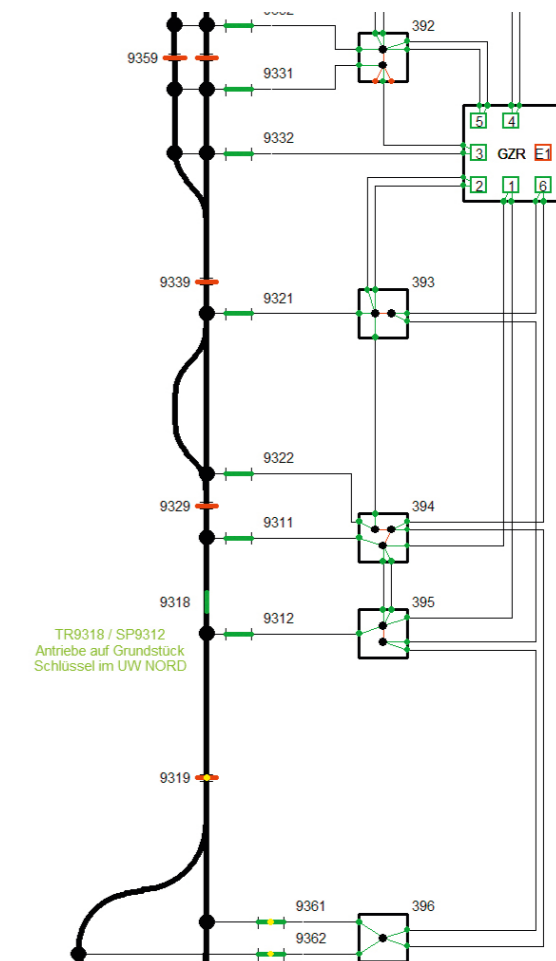
Otro método consiste en medir el consumo de energía mediante alimentadores en una subestación, aunque resulta muy costoso y requiere mucha mano de obra. No obstante, aquí también nos encontramos con que muchas empresas no tienen permitido relacionar los nombres de los conductores con las rutas por motivos de privacidad de datos, aunque teóricamente sería posible.

Este método se ha aplicado en Leipzig, por ejemplo. En este caso se tomaron dos mediciones en una subestación que suministraba electricidad a un tramo de vía única, y también a otras rutas.

La primera medida se tomó al comienzo del proyecto con participantes que no habían recibido la formación y la segunda se tomó aproximadamente seis meses después con conductores entrenados. En este tramo de la vía se tomaron los datos de consumo de energía de todos los tranvías durante un día. Para ello fue necesario medir manualmente cada uno de los viajes en ambos puntos de medición (con un disyuntor al comienzo y al final del tramo) mediante el uso de activadores.

En total se tomaron datos de 156 trayectos que se evaluaron posteriormente. La sección de vía única del tramo medido tiene una longitud aproximada de 900 metros (fotografía de la derecha).

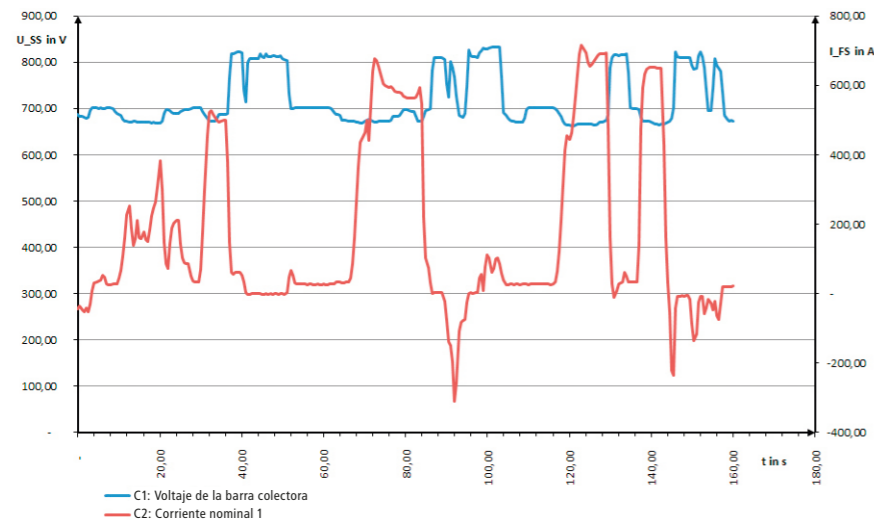
Con las curvas resultantes se pudo llegar a conclusiones sobre el consumo de energía en trayectos individuales. Se registraron los siguientes datos: tensión y corriente nominales, tipo y número de vehículo, tiempo y si el trayecto era de entrada a la ciudad o de salida.



*Auf der Messstrecke wurden Spannungen und Stromstärken aufgezeichnet.*



### 3.4 Evaluación de los resultados con la prueba de Leipzig



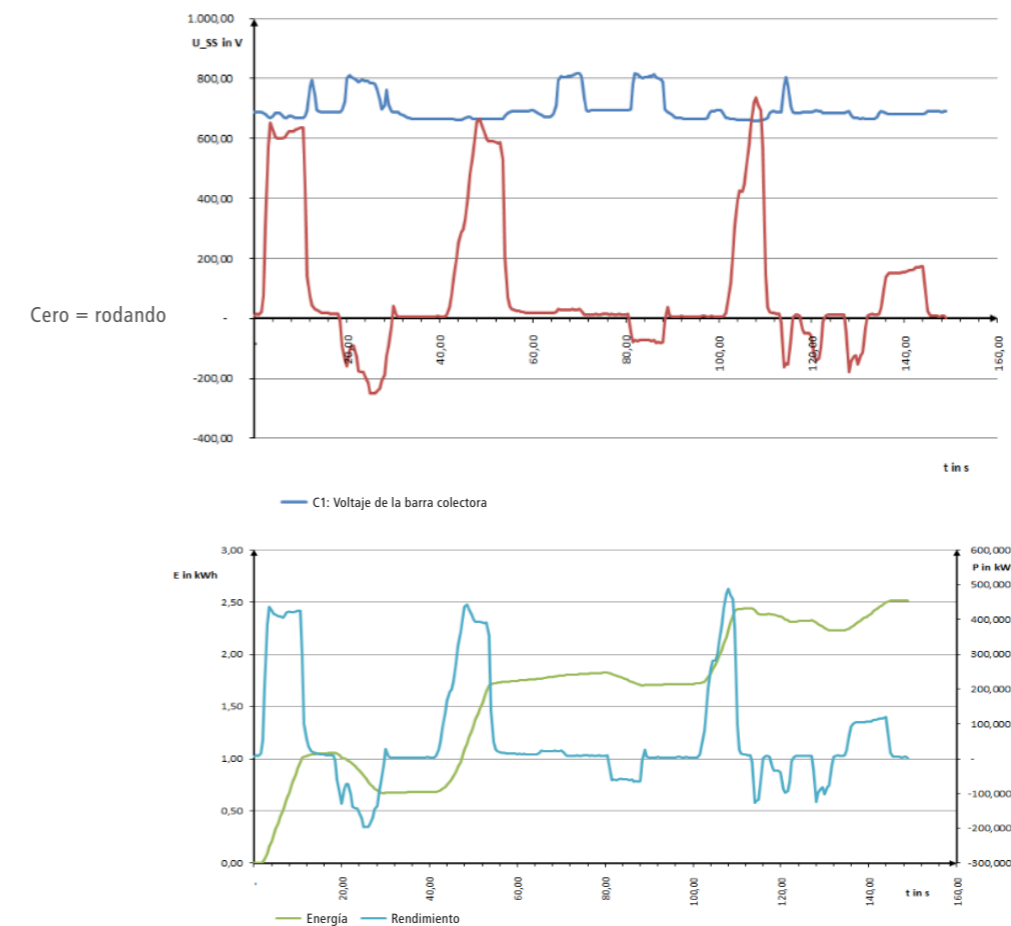
Cero = rodando

En el gráfico se puede ver la activación del dispositivo del punto de consigna por parte del conductor siguiendo la curva de color rojo. En este ejemplo se observa que hay demasiadas fases de aceleración no controladas y muy pocas fases de rodado. El dispositivo del punto de consigna casi nunca marcaba cero. Esto sugiere que el conductor “juega” con el dispositivo, moviéndolo constantemente hacia adelante y hacia atrás durante el trayecto. En los tramos donde la corriente nominal (en rojo) pasa a ser negativa el conductor está frenando. Si la corriente aumenta (curva azul) al mismo tiempo es porque la energía de frenado estaba siendo utilizada por otro vehículo simultáneamente.

La conclusión que se extrae de este gráfico es la siguiente: **La forma de conducir es muy poco económica.** El consumo de energía en este trayecto fue de 5,1 kWh/km.

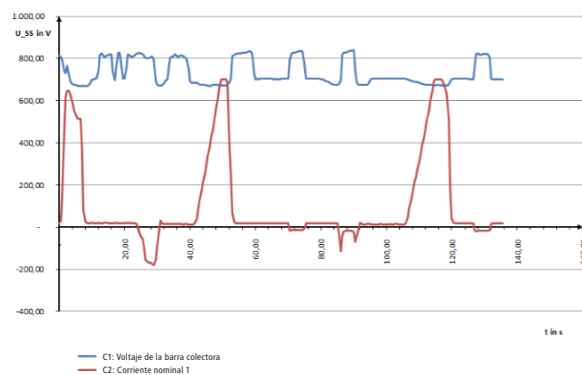
Tras evaluar las curvas de conducción se puede elaborar un informe sobre ecoconducción y calcular cuánta energía podría ahorrarse si todos los conductores cumplieran las reglas de la ecoconducción. Sin embargo, los costes de los activadores manuales son muy elevados.

El siguiente ejemplo muestra que se pueden hacer las cosas de manera distinta a la del gráfico anterior. Con las mismas condiciones que en el ejemplo mencionado, el gráfico resultante es muy diferente. Es evidente que la aceleración fue limpia y que el rodado se utilizó de forma óptima.



Esta vez solo se consumieron 2,6 kWh/km (curva de conducción (azul) del gráfico inferior y línea verde de consumo de energía → a la izquierda). Esta comparación muestra cuánta energía podría ahorrarse. La empresa municipal de transportes de Leipzig ha fijado un objetivo realista de ahorro energético del 3% mediante la ecoconducción.

La flota de vehículos también juega un papel importante. Sin embargo, es frecuente que los vehículos más nuevos presenten el mayor consumo de energía. El sistema de aire acondicionado de la sección de pasajeros es claramente lo que más consume. Dicho consumo se acerca al 0,8 kWh por cada trayecto sujeto a medición. Técnicamente sería posible apagarlo, pero esto no se hace porque la sección de pasajeros no tiene ventanas que puedan abrirse. En lo que respecta a la atención al cliente, la mayoría de los pasajeros desean aire acondicionado, por lo que la empresa de transporte debe estudiar cuidadosamente los pros y los contras.

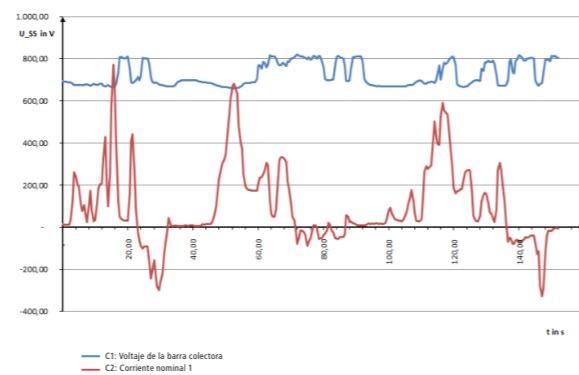


Curva de conducción del Tatra (control de pedal)

En Leipzig, una comparación entre tipos de vehículos reveló que el T4D-M con control de troceador (chopper) y pedal era el que menos energía consumía. Lo que resulta llamativo, casi extraño, es la gran diferencia que existe entre las curvas de conducción del T4D-M (control de pedal) y los vehículos que utilizan un dispositivo del punto de consigna. La mayoría de los conductores mostró un comportamiento de conducción limpio con el uso de pedales de tracción y de freno. Aceleran y sueltan el pedal cuando se alcanza la velocidad requerida y permiten que el tranvía ruede.

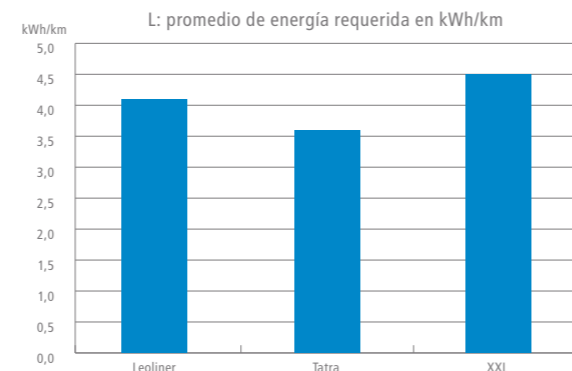
Con los controles de pedal no se registran apenas comportamientos de conducción descuidados. Sin embargo, se observa que la conducción de alrededor del 40% de los conductores de todos los vehículos equipados con controles manuales (dispositivo del punto de consigna) simplemente "no es óptima", lo que evidentemente se opone a la conducción de eficiencia energética. Las curvas de conducción muestran que el dispositivo del punto de consigna (especialmente el modelo XXL (NGT 12), de uso muy extendido, induce a muchos conductores a "jugar" con él sin reflexionar.

Los resultados de Leipzig demuestran la importancia de preparar a los conductores para que adopten una forma de conducir que ahorre energía.



Curva de conducción del NGT 12 (dispositivo del punto de consigna)

El gráfico de barras muestra una comparación entre 3 vehículos en Leipzig. T4D-M (Tatra) de CKD Prague (solo control de pedal, sin aire acondicionado en la sección de pasajeros), actualizado con control de troceador (chopper) en 1994, Leoliner NGT 6 (sin aire acondicionado en la sección de pasajeros) suministrado por Heiterblick GmbH en 2006, y NGT 12 (con aire acondicionado en la sección de pasajeros) suministrado por Bombardier en 2006.



*Der Fahrgast nimmt eine vorausschauende und gleichmäßige Fahrt mit hohem Rollanteil positiv wahr.*



*Debemos pagar la energía que realmente necesitamos!*



Estos resultados plantean las siguientes preguntas para los conductores en lo que respecta a la ecoconducción: ¿Se debería considerar seriamente el restablecimiento del control de pedal? ¿Puede el control de pedal ahorrar energía por sí mismo? Siemens, por ejemplo, está construyendo el "Avenio" con control de pedal por deseo expreso de algunos de sus clientes belgas.

**En aras de la sostenibilidad, la empresa municipal de transportes de Leipzig ofrece a sus conductores de tranvías clases prácticas en el horario de trabajo.**

A modo de incentivo, se distribuyen bolígrafos, libretas, un folleto de capacitación y un manual con las principales orientaciones para reparar averías en todo tipo de vehículos. A los conductores se les entrega un "permiso de ecoconducción limpia" que les permite participar en una tómbola a finales de año. Al final de cada clase, los conductores rellenan un cuestionario sobre el tema de estudio pertinente.

El proyecto "ACTUATE" se ha presentado en otras escuelas de conducción de tranvías de Alemania. Los profesores de conducción de tranvías pueden realizar cursos para divulgadores que se imparten en tres talleres. La ecoconducción debería ser un tema de conversación en toda Europa porque es necesario ahorrar energía en todas partes.



## 4 Funcionamiento defectuoso

Al hablar de funcionamiento defectuoso de los vehículos no se puede generalizar, ya que los distintos tipos de vehículos disponibles en Europa funcionan con sistemas diferentes. Las ciudades con redes de tranvías compran vehículos fabricados especialmente para la ciudad. Cada tranvía es distinto y se adapta a las preferencias del cliente. Por tanto, en el sector de los tranvías no es posible la estandarización de vehículos. Las necesidades de cada ciudad y sus empresas de tranvías son muy diferentes.

No obstante, cuando se produce un funcionamiento defectuoso el siguiente principio es aplicable a todas las empresas: seguridad, ahorro e información. Si se avería la catenaria, todas las partes que cuelguen deben tratarse siempre como partes conductoras de tensión. La ubicación de la avería debe determinarse para evitar el contacto con dichas partes. La corriente continua resulta especialmente peligrosa porque podemos quedarnos adheridos y el contacto puede ser mortal si la fuente no se desconecta inmediatamente. Los aparatos de vía se suelen desacoplar de inmediato en la subestación, pero si la catenaria no tiene una conexión a tierra es probable que aún tenga actividad eléctrica.

En cuanto alguien la toca crea la conexión a tierra. El circuito de la vía se desconectará finalmente y se apagará el suministro eléctrico a dicha sección. Pero puede ser demasiado tarde para esa persona. Es, por tanto, fundamental tener sumo cuidado con las corrientes eléctricas. Se deben cumplir los reglamentos vigentes en materia de prevención de riesgos laborales de los países pertinentes y ofrecer periódicamente cursos de formación.

*Der Fahrer  
handelt nach dem  
Grundsatz:  
SICHERN  
RETTEN  
MELDEN*



## 5 ¿Qué función tienen las escuelas de conducción de tranvías?

Las escuelas de conducción de tranvías de cada país son responsables de impartir formación de la mayor calidad posible y cursos avanzados para los conductores, teniendo en cuenta todas las condiciones estatutarias vigentes.

Para impartir un curso de formación en ecoconducción bien diseñado primero es necesario analizar la flota de vehículos existente. ¿Tienen los conductores un conocimiento amplio de los vehículos? ¿Se sienten seguros a la hora de solucionar problemas? ¿Cuál es la situación actual (nivel de consumo de energía) y qué se pretende conseguir con el curso de formación?

A la hora de definir la finalidad de la formación es fundamental establecer un objetivo realista; en nuestro ejemplo de Leipzig el objetivo es un ahorro del 3%. Se debe tener claro dónde se puede ahorrar y es necesario definir el plazo de tiempo en el que debe cumplirse la meta señalada. A continuación se comunicará el objetivo que corresponda. En esta etapa se necesita el apoyo del equipo directivo de la empresa.



*Es gibt nur eins,  
was auf Dauer  
teurer ist als Bildung:  
keine Bildung!*

*John F. Kennedy*

Una vez alcanzado el objetivo se debe evitar caer en la complacencia. Es muy importante, aunque también muy difícil, asegurarse de que las capacidades en ecoconducción que se han adquirido en la formación se mantienen.

Esto se puede conseguir con un programa de aprendizaje electrónico, la repetición de las sesiones de formación o un test. La experiencia adquirida con el proyecto ACTUATE ha demostrado que la entrega de pequeños obsequios, como tazas de café, una fiambra, un bolígrafo etc. a modo de agradecimiento y de recordatorio ha tenido una excelente acogida entre los conductores de las empresas participantes.

*La educación  
es la capacidad  
de hacer casi todo sin  
perder la calma  
y la confianza en  
uno mismo.*

Como es lógico, el éxito del curso de formación depende de que la escuela de conducción esté bien equipada y cuente con profesores competentes que estén convencidos de la utilidad de la formación y sean modelos a seguir y figuras de autoridad. El propósito de una escuela de conducción de tranvías debe ser realizar todas las tareas encomendadas con la mayor calidad posible, cumpliendo las normas más rigurosas. Esto también supone la necesidad de contar con profesores capacitados que, en la medida de lo posible, hayan realizado algún tipo de formación reconocida (maestro, instructor, técnico). Su nivel de conocimientos y su metodología deben actualizarse mediante sesiones de formación avanzadas periódicas.

Asimismo, los cursos de formación de calidad dependen de lo bien equipadas que estén las aulas de formación, así como los vehículos y la tecnología de medición. No deben faltar dispositivos auxiliares modernos, como por ejemplo:

- ordenador portátil
- proyector LCD
- pizarra o encerado
- tablón de anuncios
- rotafolios

*Moderne Technik  
in den Unterrichtsräumen:  
Beamer, Laptop  
Whiteboard, Flipchart,  
Pinnwand*



## 6 Ecoconducción y horarios

En la formación de los conductores es necesario inculcar las bases del comportamiento adecuado para la ecoconducción. No obstante, una vez finalizado el curso, son varios los factores que contribuyen a que los conductores "olviden" esos conocimientos.

La "eficiencia en los horarios" es la causa de que algunos conductores se olviden de sus buenos propósitos. Para cumplir los horarios de la manera más eficiente posible en términos de la empresa se tiende a ofrecer el menor número de rutas posible. Sin embargo, reducir las rutas implica reducir el número de conductores. Para conseguirlo, la duración de los trayectos y las maniobras en las terminales deben ser breves, en la medida de lo posible.

Si además hay tramos lentos, atascos e interrupciones de servicio, algunos conductores tratarán de recuperar tiempo sin reflexionar. En lugar de dejar que el vehículo ruede, aceleran al máximo y luego frenan. ¿Acaso la ecoconducción altera tanto el horario que todos los buenos propósitos deben tirarse por la borda? La respuesta es no, porque la ecoconducción no supone una conducción más lenta, sino más económica. No obstante, para adoptar esta forma de conducir hay que saber anticiparse.

El conductor debe reconocer si tiene sentido acelerar el vehículo o dejar que ruede sin más. Pero esto no siempre resulta fácil.

Aunque es imposible eliminar un atasco en hora punta con una varita mágica, el conductor puede intentar conducir el vehículo con la mayor suavidad posible y dejar que ruede todo lo que pueda en este tipo de situaciones. De hecho, es posible poner en práctica la ecoconducción cuando se circula a baja velocidad.

Evidentemente, la ecoconducción se debe apoyar en elementos técnicos. Por ejemplo, siempre es conveniente establecer una interacción con los sistemas de señales luminosas para cruzar las intersecciones sin tener que parar. Instalar un dispositivo en el tranvía que muestre si se conduce de forma económica o no (parecido a los indicadores de consumo de combustible en los coches) puede ayudar a los conductores. También hay dispositivos que indican al conductor si debe acelerar o dejar rodar el vehículo.

Sin embargo, no siempre resulta fácil llegar a un equilibrio de intereses. En última instancia, cada empresa debe decidir por sí misma el paquete de medidas para la formación y el cumplimiento de los principios de la ecoconducción que desea incorporar.

*In der  
Ruhe liegt  
die Kraft!*



## 7 Formación

Hay dos maneras de impartir formación en ecoconducción. La primera consiste en que todos los conductores de la escuela reciban la formación impartida por los propios profesores de conducción. La viabilidad de este método dependerá del tamaño de la empresa y del número de profesores, así como del número de cursos de formación que se impartan en la escuela. También aquí cada empresa debe tomar su propia decisión.

El segundo método consiste en seleccionar a ciertos empleados (por ejemplo, conductores en prácticas) para que reciban formación intensiva y exhaustiva sobre esta materia en la escuela de conducción junto con instrucción en metodología. Estos empleados bien formados ejercerán posteriormente la función de divulgadores y transmitirán sus conocimientos al resto de conductores. La escuela de conducción debe elaborar un plan en el que se incluya la flota de vehículos, la topografía y las condiciones del tráfico de la ciudad, así como el horario general o la duración de los trayectos (eficiencia del horario actual de la empresa). Por tanto, la formación solo puede describirse en términos generales. La formación por medio de divulgadores se realiza en dos etapas. En la primera se imparte formación teórica a los divulgadores en la escuela de conducción. Los temas que se deben abordar son:

- ▶ Seguridad
- ▶ Dinámica del vehículo
- ▶ Factores que influyen en la dinámica del vehículo
- ▶ Tecnología del vehículo
- ▶ Suministro eléctrico
- ▶ Prevención de riesgos laborales
- ▶ Reparación de averías
- ▶ Forma de conducir y rentabilidad
- ▶ Métodos de formación y recomendaciones para enseñar ecoconducción a los demás

En la segunda etapa se imparte formación práctica en el tranvía desde el punto de vista de la ecoconducción. Estas prácticas deben estar supervisadas y orientadas por el profesor de conducción, es decir, consiste en aplicar los conocimientos teóricos adquiridos (repetidos) en la práctica. El profesor de conducción debe ofrecer instrucciones de manera sistemática. Una vez terminada la formación, los divulgadores pueden formar a otros conductores



acompañándolos en las rutas. Esta práctica debería realizarse durante uno o dos circuitos completos de la ruta (dependiendo de la longitud de esta). Posteriormente se pueden ofrecer algunas “reglas de oro” de la ecoconducción. Para ello se puede diseñar un pequeño folleto que contenga las reglas impresas en la portada y las instrucciones para reparar averías de acuerdo a la flota de vehículos existente en las páginas interiores. Para motivar a los conductores y divulgadores se puede, por ejemplo, elaborar algún tipo de clasificación entre los equipos de conductores que tengan asignados uno o dos divulgadores. El mejor grupo del mes y sus divulgadores recibirán un pequeño regalo simbólico como reconocimiento, ya que sin incentivos la formación con divulgadores no alcanzará los resultados deseados.

### *Las reglas de oro:*

1. **Acelerar los vehículos de forma lenta y uniforme**
2. **Tener en cuenta la adherencia a la hora de acelerar**
3. **Cuando se alcance la velocidad deseada, poner el vehículo en punto muerto y dejar que ruede**
4. **Al conducir, pensar siempre antes de actuar**
5. **Comenzar a frenar a su debido momento**
6. **Frenar de manera uniforme**

Para que el tema de la ecoconducción se grabe para siempre en la mente de los conductores es necesario que se les recuerde una y otra vez la importancia de ahorrar energía. Para ello se podría impartir un breve curso práctico para conductores el año siguiente, por ejemplo. Los conductores participan en cursos de tres horas que se organizan en la escuela de conducción a lo largo del año a modo de revisión práctica. Esto permite comprobar de nuevo los resultados de la ecoconducción en un grupo de 4 o 5 participantes.

Durante la formación práctica también se deben repetir los efectos en el consumo de energía:

- ▶ Estilo de conducción
- ▶ Actitud anticipatoria
- ▶ Mantenimiento y soporte técnico de vehículos
- ▶ Volumen de tráfico
- ▶ Topografía
- ▶ Estado de las vías
- ▶ Tipo de vehículo
- ▶ Volumen de pasajeros
- ▶ Motivación



## 8 Resumen

El ahorro de energía ha adquirido gran importancia en toda Europa. Son muchos los fabricantes de tranvías y las ciudades que invierten fuertes sumas de dinero en la investigación y el desarrollo de medidas de ahorro y energías renovables. Es una inversión útil porque supone invertir en el futuro y eso nos beneficia a todos. Ahorrar energía significa ahorrar dinero y proteger el medio ambiente. Al igual que las empresas de transportes, también nosotros podemos ahorrar energía en casa. ¿Utilizamos electrodomésticos de bajo consumo? ¿Apagamos siempre la luz cuando salimos de una habitación? ¿Dejamos encendida la televisión aunque no la estemos mirando? ¡Pongámonos a prueba!

*Extractos de noticias y publicaciones de prensa en la web:*

*Cita: Viena, jueves 10 de julio de 2014*

*Contacto con los medios: Veronika Gasser*

**"Más del 13% de ahorro energético  
El proyecto de investigación Ecotram  
concluye con éxito"**

*El tranvía de bajo consumo energético de Wiener Linien cubrió la línea 62 hasta mayo en el marco del proyecto de investigación "Ecotram", que tiene como objetivo identificar posibilidades de ahorro energético en los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado en tranvías de plataforma baja. Durante los 10 últimos meses se han registrado datos valiosos sobre consumo energético en los servicios de pasajeros. El proyecto Ecotram consiguió ahorrar unos 4.200 kilovatios/hora, lo que representa más de un 13% de ahorro energético en calefacción, ventilación y aire acondicionado. Esto equivale al consumo energético anual de un hogar austriaco promedio."*

El artículo, publicado en un período vienés, pretende demostrar la importancia de este asunto para todos nosotros y el hecho de que todos podemos contribuir a ahorrar energía y conservar los recursos. Debemos usar la energía con prudencia y no tolerar el despilfarro. El trecho que recorre la energía desde que se genera hasta que llega al consumidor es muy largo.

El potencial de ahorro energético que ofrece la ecoconducción de tranvías queda reflejado, por ejemplo, en los resultados de las mediciones de consumo tomadas en Leipzig. Todas las empresas que se hayan propuesto ahorrar energía formando conductores para ello pueden utilizar este cuadernillo de formación, adaptarlo a la ciudad o las condiciones locales pertinentes y poner en práctica los conceptos de la formación.

Este cuadernillo de formación, elaborado bajo la dirección de los socios del proyecto ACTUATE de Leipzig, le ayudará a abordar el tema del ahorro energético en su empresa mediante la ecoconducción.

¡Mucha suerte!



*Publicado por:*



Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH  
Georgiring 3, 04103 Leipzig  
Telefon: (0341) 492-0  
Telefax: (0341) 492-1005  
Correo electrónico: info@lvb.de  
Web: www.lvb.de

*Equipo de diseño de concepto  
y editorial:*

Frank Hausmann  
Renate Backmann

*Estado:*

Diciembre de 2014  
Renunciamos a toda responsabilidad sobre posibles erratas.

*Contacto:*

Rupprecht Consult – Forschung & Beratung GmbH  
Dr. Wolfgang Backhaus  
Clever Straße 13 – 15  
50668 Köln / Germany  
Tel.: +49 / 221 / 606055-19  
Correo electrónico: w.backhaus@rupprecht-consult.eu  
Web: www.rupprecht-consult.eu

*Presentación, diseño y composición:*

HOFFMANN SCHAFT – Agentur für Werbung  
Dufourstraße 4, 04107 Leipzig  
Web: www.hoffmannschaft.de

*Fotografías:*

Joachim Donath, LVB Archive

Los autores son los únicos responsables del contenido de esta publicación. No refleja necesariamente la opinión de la Unión Europea. Ni la EASME ni la Comisión Europea son responsables del uso que se haga de la información incluida en este documento.

*Colaboradores de ACTUATE:*



El consorcio ACTUATE está formado por cinco empresas de transporte público de Salsburgo (Salzburg AG, Austria), Brno (DPMB, República Checa, Parma (TEP S.p.A., Italia), Leipzig (LVB, Alemania) y Eberswalde (BBG, Alemania) que ya han empleado vehículos eléctricos, y por la Leipziger Aus- und Weiterbildungsbetriebe [actividades formativas y de desarrollo] (LAB), el fabricante belga Van Hool y trolley:motion, la asociación internacional para la promoción de sistemas de autobuses electrónicos innovadores y de cero emisiones (Austria). El proyecto está coordinado por Rupprecht Consult GmbH (Alemania).



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union

*La educación  
es la capacidad  
de hacer casi todo sin  
perder la calma  
y la confianza en  
uno mismo.*



.....

[www.lvb.de](http://www.lvb.de)  
[www.actuate-ecodriving.eu](http://www.actuate-ecodriving.eu)

.....



Co-funded by the Intelligent Energy Europe  
Programme of the European Union

actuate

