



ACTUATE

Formación avanzada
para conducir vehículos
eléctricos de forma
segura y rentable

TROLEBÚS



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

actuate



Nota del sitio

Concepto y redacción:

IS [ingeniero superior] Christian Osterer, Ing. [ingeniero] Markus Perberschlager, Richard Moltinger

Fotografía:

IS [ingeniero superior] Christian Osterer, Archivo: Salzburg AG

Diseño:

Agencia publicitaria INTOUCH, respaldada por el estudio creativo DECASA

Versión:

Julio 2014

Reservado el derecho a errores de imprenta.

Contacto:

Rupprecht Consult – Forschung & Beratung GmbH

Dr. Wolfgang Backhaus

Clever Straße 13-15

50668 Colonia, Alemania

Tlf.: +49 / 221 / 606055-19

Correo electrónico: w.backhaus@rupprecht-consult.eu

Web: www.rupprecht-consult.eu

Salzburg AG

para energía, transporte y telecomunicaciones

SALZBURGER Lokalbahnen [red de ferrocarril de cercanías de Salsburgo]

DI Christian Osterer

Plainstraße 70

A-5020 Salzburgo

Tlf.: +43 / 662 / 4480-1500

Correo electrónico: salzbuerger_lokalbahnen@salzburg-ag.at

Web: www.slb.at

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.

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.

ACTUATE - 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	6
1.1 Conducción rentable en el sector del transporte público	6
1.2 Recursos energéticos	7
1.3 Definiciones	7
1.4 Resistencia a la tracción	8
1.5 Estados de conducción	12
2. El sistema «trolebús»	14
2.1 Alimentación	14
2.2 Ingeniería automotriz	16
2.3 Vehículos con supercondensadores	20
3. Conducción rentable con trolebuses	22
3.1 Aspectos fundamentales	22
3.2 Efectos de la forma de conducir	23
3.3 Frenado eficiente energéticamente con freno eléctrico	25
3.4 Uso consciente de la calefacción, el aire acondicionado y el sistema de ventilación	26
3.5 Diferencias con respecto a la conducción rentable de vehículos diésel	26
4. Seguridad	28
4.1 Modo de actuar en caso de accidentes	28
4.2 Modo de actuar en caso de averías técnicas del trolebús	29
4.3 Remolque	30
4.4 Modo de actuar en caso de incendio	30
4.5 Modo de actuar si los troles se salen de su posición	30
4.6 Daños en los sistemas de catenaria	31
5. Desarrollo de las sesiones formativas	34



1. Introducción

1.1 Conducción rentable en el sector del transporte público

La conducción rentable es una conducción de eficiencia energética, bajo desgaste y ecológica. Se pueden establecer tres requisitos para la conducción rentable en el sector del transporte público:

- **Requisito de seguridad**
Los demás requisitos están subordinados al requisito de seguridad.
- **Requisito de puntualidad**
La puntualidad en el sector del transporte público es necesaria e implica no salir antes ni después de lo previsto de cada parada.
- **Requisito de rentabilidad**
La conducción rentable implica minimizar el consumo de energía y proteger el vehículo teniendo en cuenta los requisitos de seguridad y puntualidad.

El siguiente orden de factores se aplica en la conducción de un vehículo de transporte público: seguridad antes que puntualidad y puntualidad antes que rentabilidad. A partir de aquí, se asume el conocimiento de las leyes, disposiciones de servicio y normativas que se deben cumplir a la hora de conducir de manera segura vehículos de transporte público.

La conducción rentable contribuye además a proteger el medio ambiente y cubrir un itinerario de forma relajada tanto para los pasajeros como para el conductor, además de ayudar a la empresa a reducir los costes de energía y del vehículo mediante la disminución del desgaste.

Ventajas para el conductor	Ventajas para el pasajero	Protección medioambiental	Empresas
conducción relajada	transporte relajado	contribución activa a la protección del medio ambiente	Reducción de los costes del vehículo
Protección de los puestos de trabajo gracias a la reducción de costes			Reducción de los costes de energía

Tabla 1: Ventajas de la conducción rentable

En las siguientes secciones se muestran en verde los factores de la conducción rentable en los que puede influir el conductor; los factores ajenos al conductor se indican en amarillo.

1.2 Portador de energía

La propulsión eléctrica de vehículos de carretera está ganando importancia gracias al alto nivel de eficiencia de los motores eléctricos. No solo acelera el transporte público eléctrico, sino que los avances en el sector de los vehículos de pasajeros también indican mayor uso de propulsiones alternativas. Además de la propulsión puramente eléctrica, como es el caso de los trolebuses, los sistemas híbridos adquieren cada vez mayor importancia. El punto fuerte de los sistemas de propulsión alternativos que emplean energía eléctrica es la posibilidad de recuperar la energía de frenado en la catenaria y/o en unidades de almacenamiento de energía móviles, como baterías o supercondensadores. Otra ventaja de la propulsión eléctrica es el empleo de energía primaria. Los motores de combustión funcionan generalmente con combustibles fósiles como el petróleo, el diésel o el gas natural que se deben convertir y transportar para su consumo, lo que constituye un proceso costoso.

Sin embargo, la energía eléctrica limpia se puede generar en una central hidroeléctrica sin emisiones y/o a partir de la energía solar o eólica, y se puede convertir directamente en energía mecánica en el vehículo, aparte de pequeñas pérdidas por conducción. A nivel local, la energía eléctrica está siempre exenta de emisiones. Los motores eléctricos avanzados tienen un nivel de eficiencia que oscila entre el 90 y el 99 por ciento, mientras que los diésel alcanzan el 35 por ciento en un rango de velocidades ideal.

1.3 Definiciones

Se explicarán primero los términos más importantes para comprender mejor los procedimientos técnicos de conversión de energía secundaria en energía efectiva, es decir, en energía mecánica para mover el vehículo:

Velocidad

La velocidad es la relación entre el número de rotaciones de un componente y el tiempo empleado para hacerlo. La velocidad, por ejemplo, indica la frecuencia con que gira el cigüeñal de un motor de combustión en un minuto. La unidad de velocidad es 1/min (U/min).





Par motor

El par motor (energía rotativa) es una cantidad física y provoca el movimiento rotatorio en caso de un cambio. El par motor depende de la fuerza aplicada y de la distancia entre el centro de rotación y el punto de aplicación de la fuerza (par motor = fuerza * distancia normal). La unidad del par motor es el Newton metro (símbolo de la unidad: Nm).

Potencia

El nivel del par motor y la velocidad asociada son factores decisivos en la potencia de un motor de combustión. Esto se debe a que la potencia es el producto resultante de la velocidad y del par motor. En motores eléctricos, la potencia se calcula también multiplicando la corriente por la tensión (potencia = corriente * tensión). La potencia se indica en vatios (en motores de gran tamaño en kilovatios) (símbolo de unidad: W y/o kW).

Potencia indirecta

La potencia indirecta P_{Offset} es la parte de la potencia total que no se emplea para la propulsión. Alimenta otros componentes como el control, el compresor, la luz etc. La potencia indirecta determina el consumo de energía en las fases de parada y se acerca a cero durante el rodaje porque el equipo auxiliar recibe energía mediante la autoexcitación del motor. La potencia calorífica se considera independiente de la potencia indirecta.

1.4 Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción se ejerce de forma permanente mientras el vehículo está en movimiento. La fuerza resultante siempre muestra el movimiento en la dirección contraria y frena el vehículo. La fuerza de propulsión del motor necesaria para superar la resistencia a la tracción afecta al consumo de energía. El funcionamiento rentable de vehículos industriales solo es posible si se conoce la resistencia a la tracción y los parámetros que la afectan. Por este motivo explicamos a continuación la resistencia a la tracción.

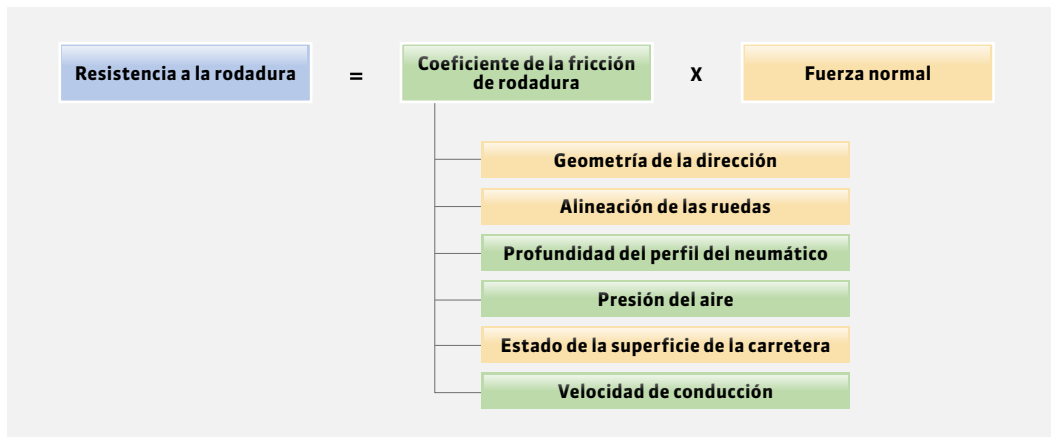
Resistencia y fuerzas durante la tracción			
Resistencia a la rodadura	Resistencia a la inclinación	Resistencia aerodinámica	Resistencia a la aceleración

Tabla 2: Resistencia a la tracción

Resistencia a la rodadura

La resistencia a la rodadura se produce por el movimiento de las ruedas sobre la superficie de la carretera. Depende de la masa del vehículo y del coeficiente de las fricciones de rodadura, que tienen en cuenta las propiedades de la combinación de materiales (neumáticos y estado de la carretera) y la geometría de los neumáticos.

Se deforma cuando los neumáticos ruedan. La mayor parte de la deformación es elástica y sin pérdidas y vuelve a su posición original. Entre los procedimientos que generan pérdida, que resultan evidentes en la producción de calor, se incluyen el trabajo de flexión del caucho del neumático y los porcentajes de fricción deslizante al rodar las partes excéntricas del neumático y al conducir en una curva.



La fuerza normal indicada en la figura 1 corresponde a la masa del vehículo que actúa proporcionalmente en un neumático.

Fig. 1: Factores que influyen en la resistencia a la rodadura

Aunque el aumento de la presión de los neumáticos reduce la resistencia de rodadura disminuyendo el trabajo de flexión del caucho del neumático y la superficie de contacto entre los neumáticos y la carretera (fricción deslizante), también influye negativamente en el agarre del neumático a la carretera y en la comodidad de conducción del vehículo. Si la presión del aire es demasiado baja, puede aumentar el consumo de energía a causa de una mayor resistencia a la rodadura por el efecto del trabajo de flexión. Además, aumentan el desgaste del neumático y el riesgo de incendio del neumático. Con aproximadamente el 85 por ciento de la presión de aire ideal, la durabilidad de los neumáticos disminuye un 20 por ciento.

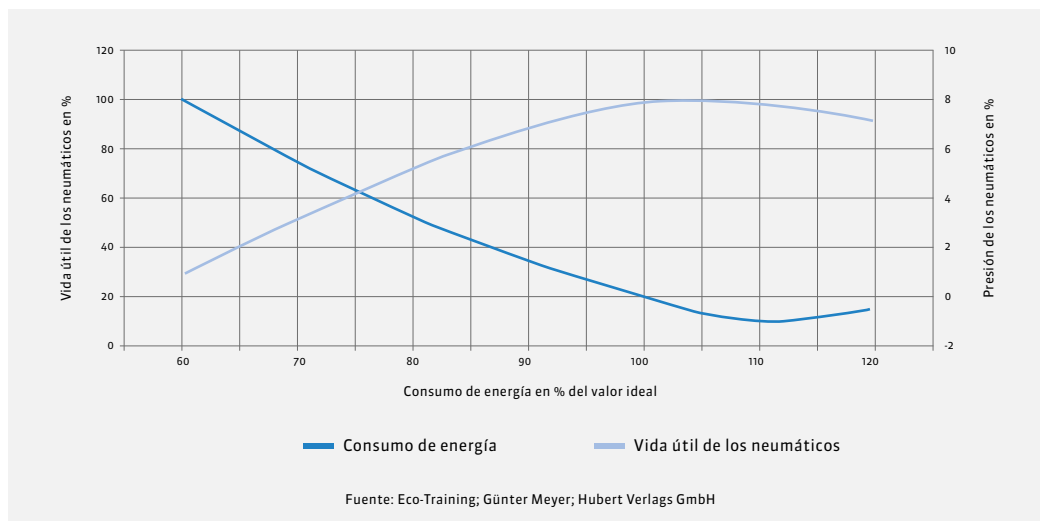


Fig. 2: Durabilidad y consumo de energía en función de la presión del aire

El mayor consumo de energía es la principal diferencia entre los neumáticos de verano y de invierno en lo que a la conducción rentable se refiere. Los neumáticos de invierno registran mayor resistencia a la rodadura por tener un perfil más profundo y aumentan el consumo de energía hasta un 10 %.

Resistencia a la inclinación

La resistencia a la inclinación es la fuerza necesaria para superar la diferencia de altitud en una subida. En la resistencia a la inclinación influyen los factores que se muestran en la figura 3.

$$\text{Resistencia a la inclinación} = \text{Masa del vehículo} \times \text{Gravedad } (=9,81\text{m/s}^2) \times \text{Coseno de la pendiente de la carretera}$$

Fig. 3: Factores que influyen en la resistencia a la inclinación

Resistencia aerodinámica

Se denomina resistencia aerodinámica a la fuerza que se debe ejercer para desplazar el aire. La resistencia aerodinámica depende cuadráticamente de la velocidad de conducción. Esto implica que si se dobla la velocidad, la resistencia aerodinámica se multiplicaría por cuatro.

Otros factores que la afectan son la superficie transversal del vehículo, el coeficiente de resistencia al aire (forma aerodinámica) y la densidad del aire.

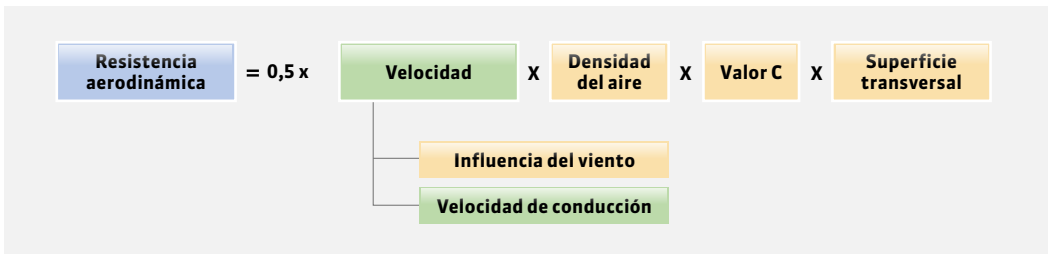


Fig. 4: Factores que influyen en la resistencia aerodinámica

Resistencia a la aceleración

La inercia del vehículo y los componentes en movimiento que contiene provocan resistencia a la aceleración. El principio físico de la inercia indica que un cuerpo con masa permanece en estado de inercia hasta que se aplica una fuerza a dicho cuerpo. En ingeniería automotriz esto implica el uso de energía para cambiar la velocidad. La resistencia a la aceleración depende de los siguientes factores:

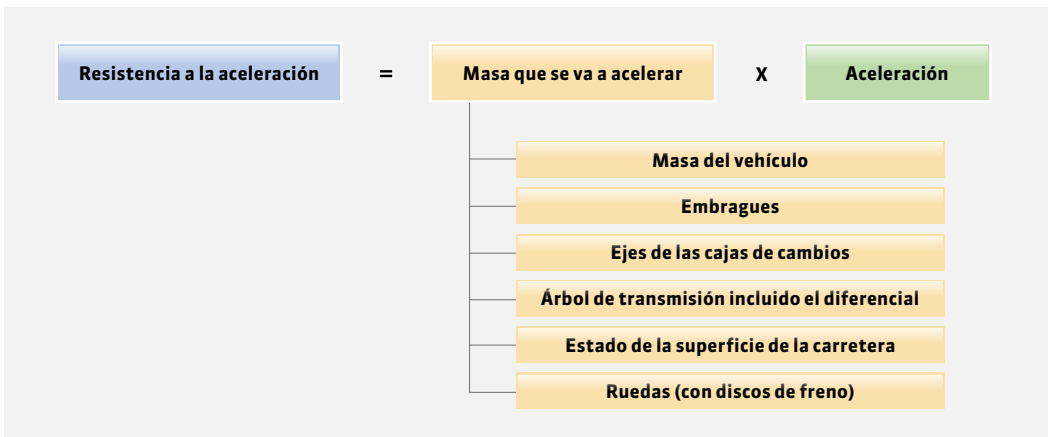


Fig. 5: Factores que influyen en la resistencia a la aceleración



Teniendo en cuenta los factores que influyen en la resistencia a la tracción individual se puede deducir que existen dos factores que juegan un papel clave en el ahorro de energía de los vehículos industriales:

- **antes de iniciar el viaje:** Inspeccionar el estado del vehículo, especialmente los neumáticos
- **durante el viaje:** elegir la velocidad conscientemente

1.5 Estados de conducción

Durante el movimiento de los vehículos pueden darse diferentes estados de conducción. Y es precisamente en el transporte público con distancias pequeñas entre las paradas cuando los estados de conducción adquieren importancia ya que influyen directamente en el consumo de energía, que varía en gran medida si se elige la forma correcta de conducir. A continuación se describen cuatro estados de conducción posibles en los vehículos:

- **Aceleración**

La aceleración significa aumentar la velocidad de conducción a través del suministro de energía. La fuerza de propulsión del vehículo debe ser superior a la resistencia a la tracción ejercida en dirección contraria al movimiento.

- **Régimen constante**

El régimen constante significa mantener constante la velocidad de conducción. Para ello debe aplicarse la cantidad de energía correspondiente a la resistencia de tracción ejercida en dirección contraria al movimiento.

- **Rodadura**

La velocidad de conducción se reduce con la rodadura. En ocasiones se debe a la resistencia a la tracción ejercida en dirección contraria al movimiento del vehículo. Durante la rodadura no se gasta energía para mover el vehículo hacia delante.

- **Frenado**

El frenado significa reducir la velocidad de conducción. En un trolebús se realiza generalmente con frenos eléctricos, que tienen la capacidad de recuperar parte de la energía. Cuando los frenos son mecánicos, toda la energía de frenado se convierte en calor por la fricción entre el disco de freno y la almohadilla de freno, y éste se disipa en el ambiente.

Los estados de conducción se pueden representar perfectamente en un diagrama de velocidad/tiempo. Al hacerlo, vemos una curva de velocidad trapezoidal en el ciclo de conducción de régimen constante (véase la figura 6).

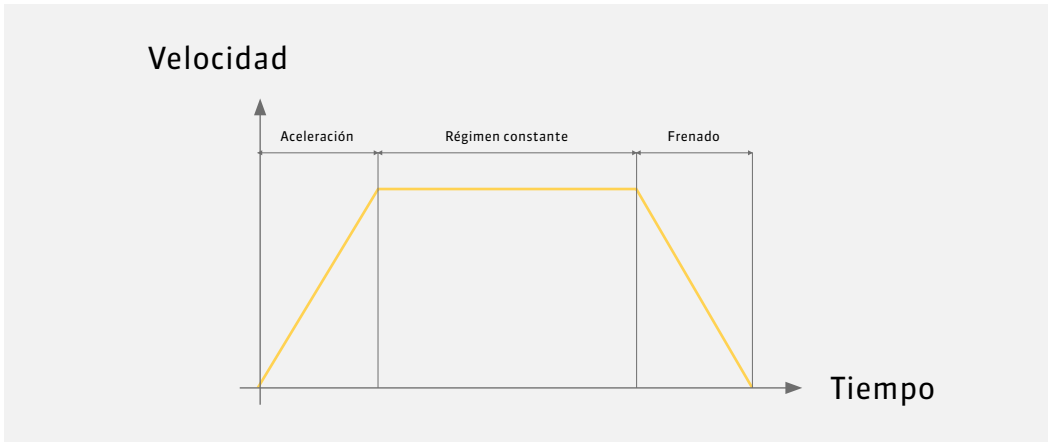


Fig. 6: ciclo de conducción perfecto en régimen constante

La figura 7 muestra el ciclo de conducción perfecto con el índice de rodadura máximo. Como no es necesario gastar energía para que el vehículo ruede, este ciclo de conducción se considera el de menor consumo de energía. El ciclo de conducción se puede representar como un triángulo en el diagrama de velocidad/tiempo.



Fig. 7: ciclo de conducción perfecto con el índice de rodadura máximo.

Esto demuestra que los ciclos de conducción con alto índice de rodadura son los más eficientes energéticamente. En la realidad, la forma del ciclo de conducción es en la mayoría de los casos un cuadrado, ya que normalmente es necesario frenar en la siguiente parada. Los estados de conducción conocidos como régimen constante y frenado se deben reducir al mínimo posible.

2. El sistema «Trolebús»

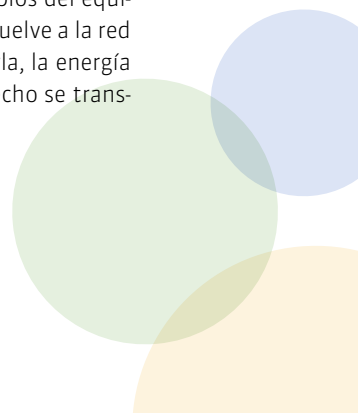
El sistema «Trolebús» se caracteriza por un funcionamiento casi silencioso y sin emisiones locales. El sistema y sus características se expondrán en las siguientes secciones.

2.1 Alimentación

La alimentación para propulsar el vehículo y su equipamiento auxiliar se garantiza con la catenaria. La corriente suministrada por la empresa de energía se convierte en corriente continua en subestaciones rectificadoras y se alimenta a la red de la catenaria.

Las diferentes secciones suministradas por las subestaciones rectificadoras se separan mediante áreas aisladas («aisladores»). Los aisladores más antiguos funcionan con distancias de aislamiento simples, motivo por el que no se puede obtener corriente de la red de catenaria en estas áreas y se debe desconectar el regulador de potencia del trolebús. Los aisladores más avanzados se han diseñado como puentes de diodos que, en principio, garantizan el suministro de energía al vehículo. Para que no haya restricciones de comodidad y para proteger el empleo de la tecnología disponible (tanto en el vehículo como en la catenaria) estos aisladores también deben emplearse en la medida de lo posible con un regulador de potencia desconectado.

No obstante, la función de la catenaria no se limita a suministrar energía a los trolebuses. También permite recuperar energía durante los frenados y emplearla para suministrar energía a otros vehículos de la misma sección. Este proceso, conocido como recuperación, permite recuperar hasta un 25 % de la energía cinética del trolebús al frenar con el freno eléctrico en el momento de activar el freno. La energía recuperada se emplea primero para abastecer los requisitos propios del equipamiento auxiliar del trolebús y la energía restante se devuelve a la red de catenaria (véase la figura 9). Si no es posible recuperarla, la energía de frenado restante de las resistencias montadas en el techo se transforma en calor y se disipa en el ambiente.



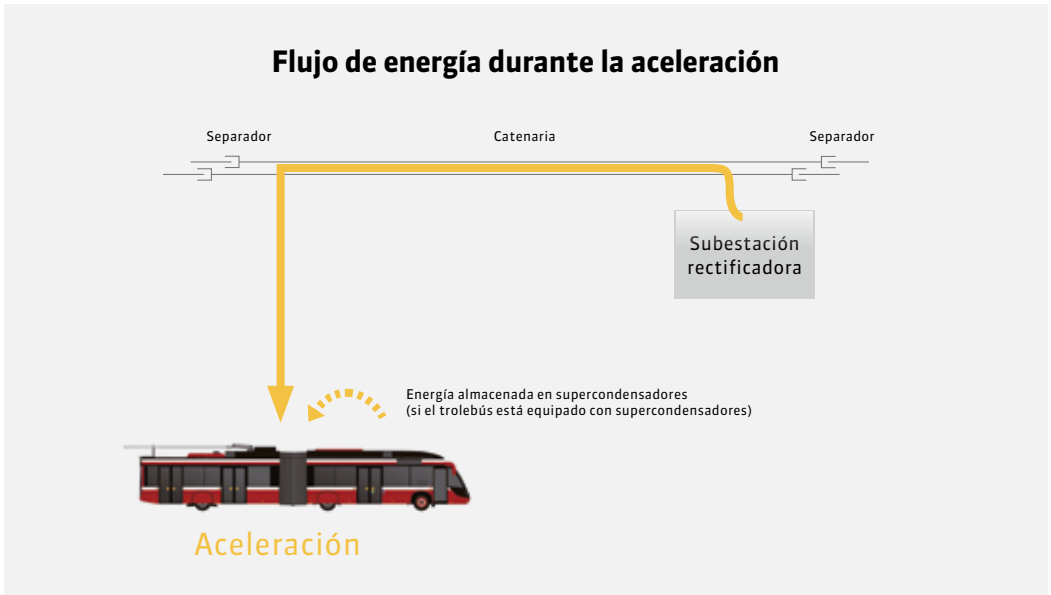


Fig. 8: Flujo de energía durante la aceleración

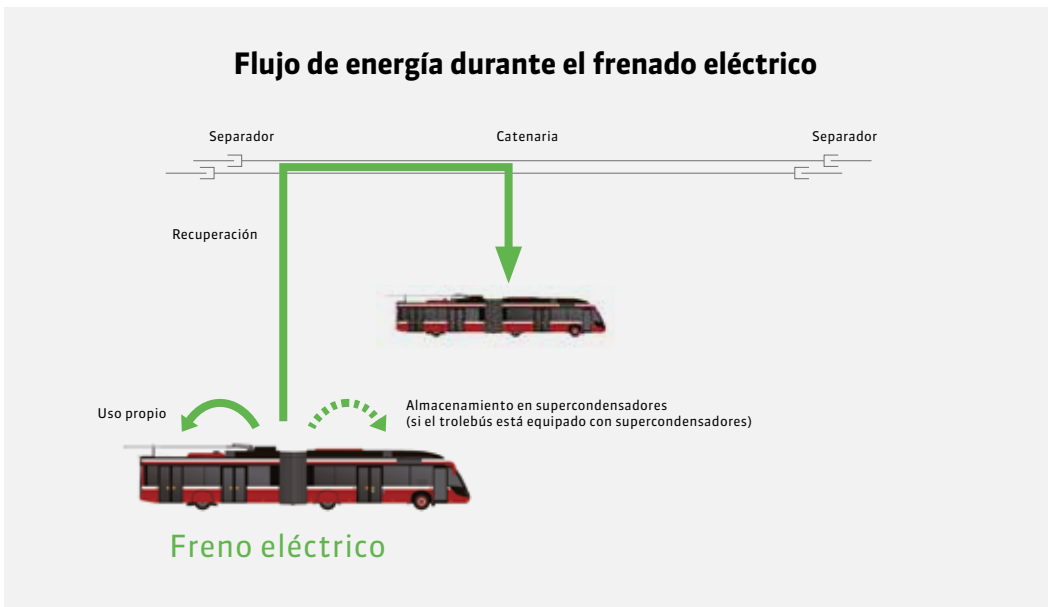


Fig. 9: Flujo de energía durante el frenado eléctrico con excedente de energía

Como resultado de la demanda energética, cada aceleración del trolebús disminuye la tensión de la catenaria y cada frenado con frenos eléctricos aumenta la tensión de la catenaria del trolebús.

Los trolebuses con supercondensadores almacenan parte de la energía recuperada durante el frenado en sus supercondensadores y la emplean para los procesos de aceleración desde una posición vertical o a baja velocidad. Este tipo de gestión de energía a bordo ayuda a moderar la infraestructura de la catenaria ya que se reduce el efecto de disminuir y aumentar la tensión de la catenaria durante la aceleración y la deceleración.

2.2 Ingeniería automotriz



La corriente de la catenaria se extrae mediante una toma de corriente y se guía a través del filtro de entrada, el supresor de sobrevoltaje y el interruptor principal hasta los sistemas de control electrónico (véase la figura 10). El filtro de entrada se emplea para estabilizar la corriente, que puede mostrar irregularidades en la curva de tensión a causa de diferentes influencias externas.



El supresor de sobrevoltaje (supresor por caída catódica) funciona como protección a bordo frente a posibles sobrevoltajes de la catenaria que, en ocasiones, pueden tener elevados niveles de energía y destruir piezas de ingeniería automotriz. El sobrevoltaje se produce por relámpagos directos o cercanos, impulsos electromagnéticos y procesos de conmutación en la red. El interruptor principal permite la separación galvánica del trolebús y la catenaria.

Los componentes del sistema electrónico de control y potencia se alojan en carcasas montadas en el techo de los trolebuses avanzados de suelo bajo. En esta parte se encuentran el cicloconvertidor (CC) que controla los motores de tracción y los convertidores estáticos (CS) que alimentan los sistemas eléctricos auxiliares del trolebús. En general, el filtro de entrada y los contactores eléctricos se alojan en la carcasa montada en el techo. La carcasa montada en el techo y conectada a la tensión de la catenaria en el lado de entrada constituye una unidad compacta en el techo del trolebús. La protección pasiva frente a accidentes se garantiza colocándola fuera del área de colisión. El doble aislamiento de las piezas conductoras de alta tensión, de vital importancia para los trolebuses, se integra en la carcasa montada en el techo.

El cicloconvertidor (CC) empleado para el control eléctrico del motor de tracción se alimenta directamente con energía de la catenaria a través del filtro de entrada y genera bloques de tensión de diferentes anchos que se utilizan para alimentar el motor de propulsión.

A través de este proceso, denominado modulación por ancho de pulso, se puede generar un sistema trifásico de corriente y frecuencia variables que permite transportar energía en ambas direcciones. Los transistores bipolares de puerta aislada (IGBT, por sus siglas en inglés), caracterizados por una alta frecuencia de conmutación y escasas pérdidas, se emplean como elementos de conmutación. Esta avanzada tecnología permite frenar eléctricamente casi hasta detenerse del todo con los controles adecuados y recuperar así el máximo de energía.

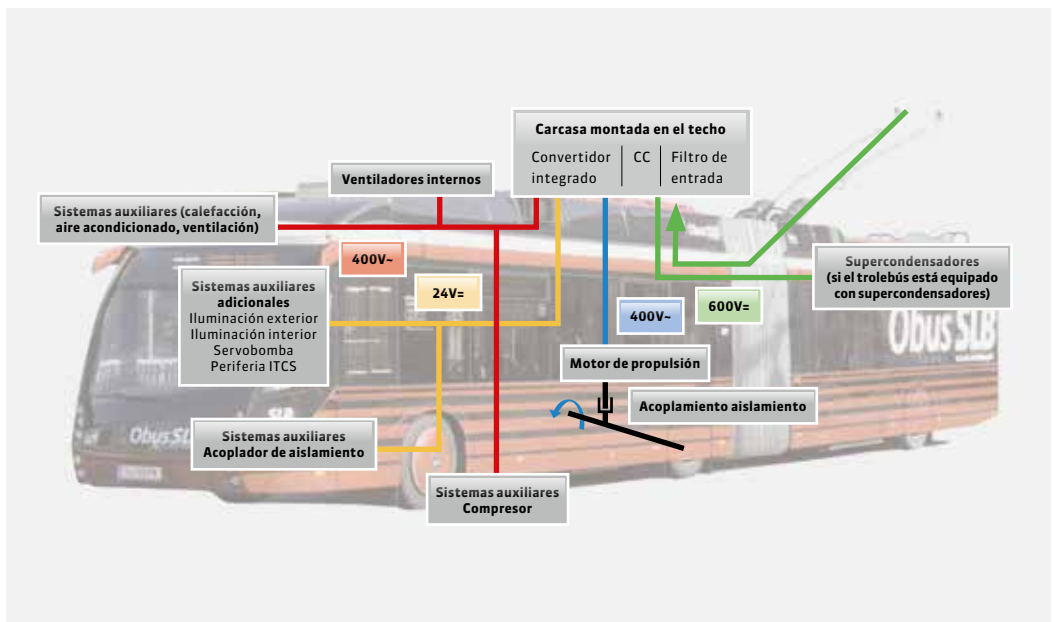
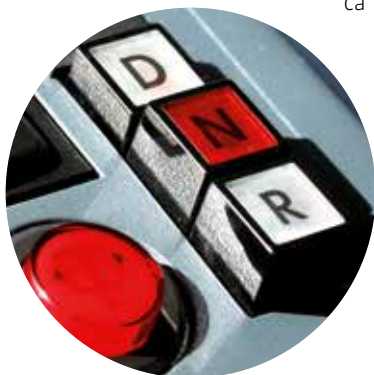


Fig. 10: Componentes para operar y controlar un trolebús

«Desde la estación del conductor se puede cambiar la dirección con los botones D, N y R; aunque esto depende del tipo de vehículo».



El inversor estático suministra energía al equipo auxiliar. En la mayoría de los trolebuses se trata de un suministro de corriente continua de 24 voltios y de un suministro trifásico de 400 voltios. Mientras que la propulsión del compresor se realiza con la alimentación trifásica de 400 voltios, la carga de la batería y la alimentación del equipo auxiliar (como la iluminación interior y exterior, las servobombas y la periferia ITCs) se garantiza con la alimentación de corriente continua de 24 voltios (véase la figura 10). Por motivos de seguridad, todas las salidas cuentan con una separación galvánica doble de la tensión de la catenaria conectada directamente a la entrada.

La conversión de la energía eléctrica de la catenaria en energía cinética mecánica se efectúa por magnetismo en los motores eléctricos. El motor eléctrico funciona de manera más sencilla y más eficaz que el motor de combustión. Está formado por un estator (externo) y un rotor (interno). El rotor es móvil y tiene imanes permanentes con un polo norte y otro sur. Si la propulsión se controla eléctricamente con ayuda del cicloconvertidor, el trolebús no necesita un mecanismo de engranaje para transmitir esta rotación. Desde la estación del conductor se puede cambiar la dirección con los botones D, N y R; aunque esto depende del tipo de vehículo.

En los vehículos modernos se emplean motores asíncronos. Elegir el número correcto de polos es particularmente importante durante el proceso de adquisición, ya que los motores de 6 polos suelen ser más caros. Sin embargo, los motores de 4 polos consumen más energía porque necesitan corriente de control continua para determinar la dirección de giro del motor, aunque generalmente tienen un diámetro inferior con el mismo rendimiento.

El motor propulsor se conecta al árbol de transmisión a través de un acoplador de aislamiento positivo, de tal modo que, por un lado, se logra el aislamiento eléctrico entre los componentes de alto voltaje y las piezas de propulsión mecánica y, por otro lado, se puede transferir el par motor del motor sin apenas pérdidas.

El excedente de energía de los procesos de frenado con frenos eléctricos, que no se necesita para uso propio del vehículo ni se puede usar para realimentar la catenaria por falta de consumo, se debe convertir en calor en la resistencia de frenado eléctrico. La resistencia de frenado eléctrico, junto con el motor de propulsión empleado como generador, cumplen además los requisitos legales de frenado permanente. La resistencia de frenado se controla con la unidad de frenado integrada en el cicloconvertidor. El frenado eléctrico no necesita mantenimiento.

Los frenos eléctricos se pueden activar hasta que se detenga el vehículo. El motor de desplazamiento se emplea como generador. De esta forma, el freno mecánico no es casi nunca necesario y se reduce en gran medida el desgaste de la almohadilla de freno. Además, se reducen los tiempos de parada y aumenta la disponibilidad del vehículo.



2.3 Vehículos con supercondensadores

Los supercondensadores, conocidos técnicamente como condensadores eléctricos de doble capa, son condensadores electroquímicos con una densidad de energía cientos de veces superior a la de los condensadores electrolíticos. Los supercondensadores se emplean para almacenar energía en diferentes aplicaciones, ya sean vehículos, equipos médicos y de baja potencia o aplicaciones de energía alternativa y como complemento de las baterías. En el sector del transporte público este tipo de almacenamiento de energía se ha instalado en los trolebuses, autobuses eléctricos e híbridos y en trenes ligeros y pesados. Los módulos de los trolebuses se colocan normalmente en el techo del vehículo, aunque esto depende del tipo de vehículo.

Los supercondensadores se fabrican con dos capas del mismo material (normalmente carbón activo) conectadas con un electrodo y divididas por un separador fino. La porosidad del material permite almacenar abundante carga en un volumen pequeño.



Las ventajas operativas de los trolebuses con supercondensadores son unos índices de recuperación de energía muy elevados (hasta el 90 %) durante la deceleración con freno eléctrico y el ahorro general de energía operativa, que puede llegar al 25 % según sea la topografía y la red de catenaria. Además se reducen las sobrecargas en las subestaciones y el riesgo de arcos voltaicos entre la catenaria y las tomas de corriente. La fiabilidad de los dispositivos integrados es mayor.

Para aprovechar al máximo las ventajas de un supercondensador, el sistema se debe diseñar conforme a las características de la red de trolebuses en la que funcionará el vehículo. Siempre hay un número de módulos que ofrece la solución más eficaz. El número óptimo de módulos depende de las curvas, cuestas y velocidad de la ruta del trolebús, ya que cuantos más módulos haya mayor será el ahorro de energía, pero también aumentará el consumo energético debido al peso adicional.

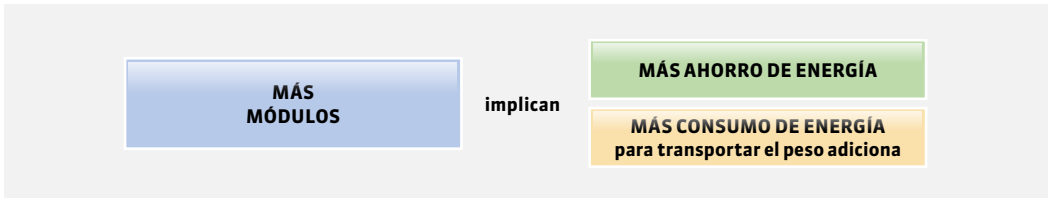


Fig. 11: Influencia del número de módulos de supercondensadores



3. Conducción rentable con trolebuses

3.1. Aspectos fundamentales

La conducción rentable es una conducción de eficiencia energética, bajo desgaste y ecológica. Depende esencialmente de los siguientes aspectos:

- del estado del desarrollo técnico del trolebús
- de la condición del vehículo y el mantenimiento regular del trolebús
- de la gestión de la línea, la densidad del tráfico y la utilización del trolebús
- de la forma de conducir del conductor, en particular su actitud previsor
- del uso consciente de la calefacción, el aire acondicionado y el sistema de ventilación

El conductor no puede influir en ningún caso en el volumen del tráfico, la ruta (condiciones de la carretera y topografía), el grado de utilización del trolebús ni el tipo de vehículo en el sistema de transporte público (se representa en amarillo en la figura 13). Se otorga más importancia a los factores en los que puede influir el conductor, tales como la forma de conducir, la previsión al conducir y el control de la calefacción, el aire acondicionado y el sistema de ventilación.

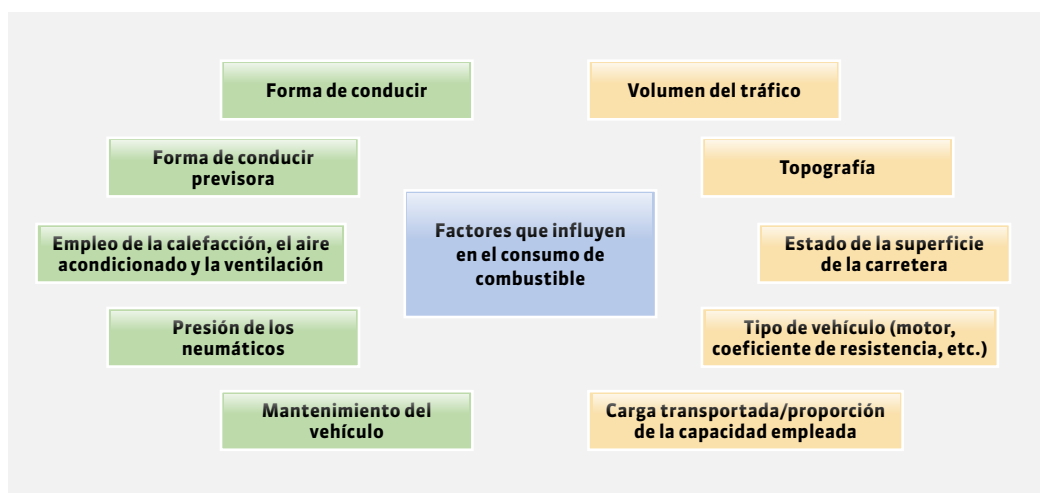


Fig. 12: Factores que influyen en el consumo de energía

Además, el conductor (y/o los talleres) pueden examinar la presión de los neumáticos y la condición del vehículo. Una buena cooperación con el centro de control y el taller, explicando de forma precisa los posibles defectos del vehículo, es tan importante como respetar las instrucciones operativas.

3.2 Efectos de la forma de conducir

El funcionamiento rentable del trolebús depende en gran medida de la forma de conducir del conductor. Su función es garantizar no solo que los pasajeros viajen de forma segura y puntual, sino que la tarea se lleve a cabo haciendo un uso eficiente de la energía.



Durante el periodo de prueba se probó y evaluó hasta qué punto influye la forma de conducir (véase también la sección 1.5) en el consumo de energía y la tensión de la catenaria. En la figura 14 se muestran los resultados de las mediciones realizadas en el periodo de prueba. Los dos gráficos superiores muestran la curva de la velocidad y la aceleración en el tiempo. La corriente y la potencia proporcionales se muestran a continuación (potencia = tensión * corriente, véase la sección 1.3).

«La elección consciente de la forma de conducir y la actitud previsoras son esenciales para el ahorro de energía durante el funcionamiento.»

En los diferentes ciclos de conducción del periodo de prueba se determinó lo siguiente:

- la aceleración debe ser rápida,
- el régimen constante debe evitarse por completo,
- el índice de rodadura debe ser el máximo, cumpliendo con el horario,
- se debe evitar el frenado innecesario y, a ser posible, sólo se debe recuperar la energía con frenos eléctricos sin desgaste.

Se debe evitar conducir sólo con aceleración baja y frecuente porque el equipo auxiliar se alimenta de energía durante el desplazamiento mediante la autoexcitación. Cada vez que se activa el conmutador de mando aumenta la potencia indirecta, lo que incrementa el consumo de energía. En cada proceso de aceleración se debe perseguir el objetivo teniendo en cuenta la velocidad máxima permitida para que pueda haber una fase de rodadura prolongada.



Sólo se pueden alcanzar índices de rodadura elevados si se conduce de forma previsor y se mide bien la distancia con el vehículo de delante, lo que no solo ahorra energía, sino que aumenta la comodidad de la conducción. Conducir de manera previsor implica evitar procesos de aceleración y frenado innecesarios. Los procesos de arranque innecesarios (por ejemplo, movimientos frecuentes en atascos o ante señales luminosas que obliguen a detenerse) también se pueden evitar con un estilo de conducción previsor.

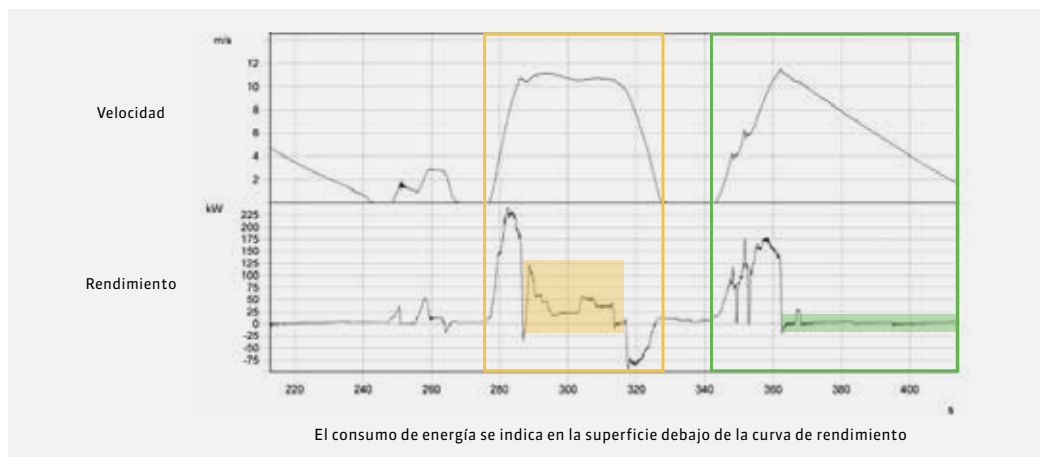


Fig. 13: estados de conducción reales en régimen constante (amarillo) y rodadura (verde)

Para poder aprovechar el índice de rodadura máximo en el tiempo programado disponible, el tiempo de parada debe reducirse al máximo.

Aunque se recupera energía al frenar con frenos eléctricos, se debe elegir previsoramente una velocidad que permita frenar lo mínimo posible.

3.3 Frenado eficiente con freno eléctrico

Después de la seguridad, la recuperación eficiente de energía del frenado es el aspecto más importante de los procesos de frenado de los trolebuses. Al accionar el pedal de freno, el motor de tracción actúa como generador, lo que ofrece la posibilidad de recuperar la energía de frenado. El sistema de frenado eléctrico se regula con el pedal de freno, que lleva integrado un freno mecánico que funciona con aire comprimido.

En la mayoría de los trolebuses en activo, al usar el pedal de freno, representado en la figura 15 con una curva característica roja, solo está activo el freno eléctrico. Cuando se acciona el pedal de freno de forma continua aumenta el par de frenado (curva característica amarilla) al 100 %. Tras unos dos tercios del recorrido del pedal de freno (en función del tipo de vehículo), el freno eléctrico permanece constante con un efecto del 100 %; si se continúa accionando el pedal de freno también aumenta el efecto del freno mecánico. El efecto resultante del pedal de freno es, por tanto, lineal y rápido, sin sacudidas ni cambios en el par de frenado.

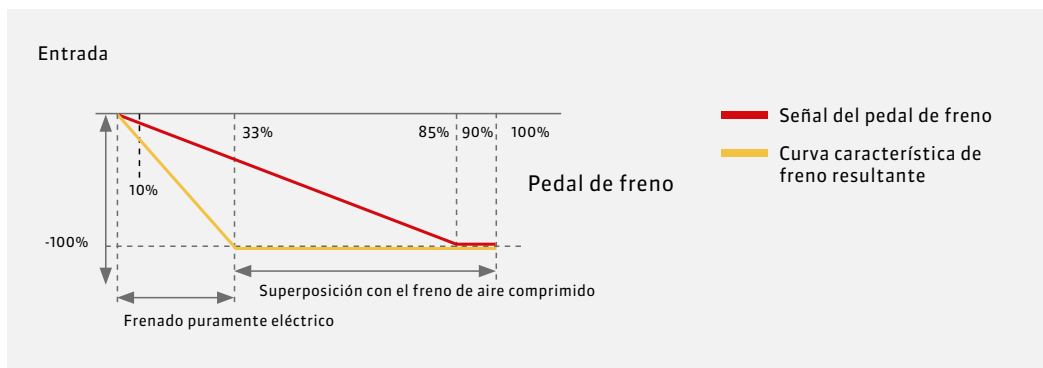


Fig. 14: Interacción entre los frenos eléctricos y el freno de aire comprimido

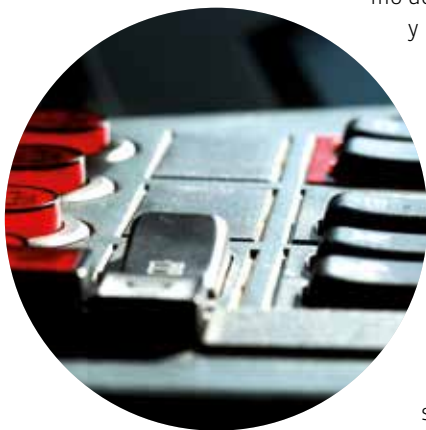
En lo que respecta a la respuesta de frenado, esto implica que el pedal de freno nunca se acciona completamente, sino a un máximo de dos tercios para recuperar la máxima energía de frenado posible y proteger los frenos mecánicos. No obstante, la seguridad siempre debe ser lo primero.

3.4 Uso consciente de la calefacción, el aire acondicionado y el sistema de ventilación

Si el conductor controla manualmente la calefacción, el aire acondicionado y el sistema de ventilación, también contribuye de manera significativa a reducir el consumo de energía con un empleo consciente. Se debe evitar calentar o enfriar los vehículos con las ventanas abiertas.

3.5 Diferencias con la conducción rentable de vehículos diésel

La conducción rentable en vehículos eléctricos es muy diferente a la de los vehículos con motor de combustión. Entre otras cosas, el mecanismo de engranaje necesario para transmitir la potencia entre el motor y las ruedas es esencial para el nivel de eficiencia general del vehículo.



Se necesita un mecanismo de engranaje en la cadena de transmisión entre el motor y el árbol de transmisión, ya que los motores de combustión solo generan suficiente par motor en un rango de velocidad limitado. Esto permite variar la velocidad y/o la relación del par entre el motor y el árbol de transmisión. Se establece una distinción entre caja de cambios manual y caja de cambios automática.

La conexión positiva de las cajas de cambios hace que éstas sean más eficientes que las cajas de cambios automáticas, con conexión no positiva. No obstante, los autobuses que se emplean para el transporte local urbano normalmente llevan una caja de cambios automática que tiene entre cuatro y seis marchas para mayor comodidad de conducción. En las cajas de cambios positivas es necesario interrumpir la cadena de transmisión (desacoplamiento) para el proceso de conmutación, mientras que en las automáticas no es necesario interrumpirla debido al convertidor hidráulico.

Para conducir a diferentes velocidades con rangos de velocidad relativamente favorables es necesario cambiar de marchas. Esto se puede realizar con cajas de cambios avanzadas que incluyan cambio de rango delantero y trasero. Los autocares incorporan elementos auxiliares de cambio de marchas, como el cambio con selector previo automático (SVS, AS Tronic) y el cambio electroneumático (EPS).



En las cajas de cambios automáticas, los cambios de marcha se pueden controlar con el pedal del acelerador. Si el conductor suelta el pedal del acelerador a tiempo, el cambio pasa a la marcha inferior siguiente.

Para aumentar la eficiencia, el convertidor de par se puentea a partir de una velocidad específica. Esto se produce en función de la velocidad y la carga, y puede ser entre 5 y 35 km/h. Sólo se debe acelerar parcialmente hasta que se alcance este procedimiento de cambio para reducir las pérdidas producidas por deslizamiento.

Las emisiones también juegan un papel importante en los motores de combustión. Por un lado, se pueden reducir conduciendo de forma ahorrativa y reduciendo así el consumo de combustible; por otro lado, mediante diferentes procedimientos para el tratamiento posterior del gas de escape, que han adquirido importancia con la introducción gradual de las normativas europeas sobre emisiones a partir de 1990. Desde la introducción de la normativa Euro 4 en 2006, las emisiones de escape máximas no se pueden alcanzar sin realizar un tratamiento posterior del gas de escape. Los valores límite de la normativa Euro 5 permiten una emisión máxima de óxido de nitrógeno (NOx) de solo 2 g/kWh y una emisión máxima de partículas de 0,02 g/kWh.

Durante la recirculación de gases de escape (RGE), parte del gas de escape se vuelve a introducir en la toma de aire a través de una válvula para que se mezcle con aire limpio. La mezcla de aire limpio y gas de escape tiene menor contenido de oxígeno (O₂) y, por tanto, contribuye a reducir la temperatura de combustión en la cámara de combustión. Al disminuir la temperatura de combustión se reduce el óxido de nitrógeno venenoso (NOx). El aumento de la generación de hollín y monóxido de carbono (CO) se contrarresta con un catalizador.

Para reducir aún más las emisiones de escape es necesario un catalizador SCR (reducción catalítica selectiva). Al gas de escape se le inyecta amoníaco (NH₃) en forma de solución acuosa de urea al 32,5 % delante del catalizador SCR. Esta solución se conoce como AdBlue. El amoníaco y el agua (H₂O) se generan mediante una reacción química (reacciones de hidrólisis). El amoníaco reacciona con los óxidos de nitrógeno del gas de escape en el catalizador SCR, lo que reduce las emisiones de NOx. La ventaja del tratamiento posterior del gas de escape con catalizador SCR es que no afecta al rendimiento ni implica mayor consumo de combustible.

4. Seguridad

La seguridad es el requisito principal, los demás factores están subordinados a este requisito. La conducción previsora contribuye a aumentar la seguridad y reduce al mínimo los riesgos para el conductor y los pasajeros. Actuar correctamente en caso de averías y accidentes es esencial, por lo que en las siguientes secciones recordaremos estos aspectos. El objetivo es reducir al máximo los daños, evitar daños adicionales y minimizar el riesgo para terceros.

4.1 Modo de actuar en caso de accidentes

Si se produce una avería a causa de un accidente, el conductor debe aprovechar con calma todos los recursos de forma sensata para corregir la avería, reducir los daños y evitar daños adicionales. Si no se puede eliminar un riesgo en el momento, se deberá cercar la zona peligrosa.

Para hacerlo, se debe detener el vehículo, encender las luces de advertencia y bloquear el trolebús para evitar que arranque o ruede de manera no autorizada. Al salir del trolebús se debe desconectar el interruptor principal y, de ser necesario, sacar las tomas de corriente.

Por motivos de seguridad personal, sólo se puede abandonar el vehículo con el chaleco reflectante puesto. En carreteras secundarias, autopistas y autovías, los conductores están obligados por ley a llevar un chaleco reflectante cuando salgan del vehículo.

Si se sale del vehículo, se debe cercar la escena del accidente y colocar el triángulo de avería que se encuentra en el vehículo, conforme a la legislación nacional.

Sólo entonces puede entrar el socorrista en la zona de peligro y sacar a las partes implicadas en el accidente.



Una vez que los implicados en el accidente y el socorrista dejen de estar expuestos al riesgo ocasionado por terceros, se procederá a prestar los primeros auxilios y a solicitar ayuda. El número de emergencias habitual en Europa es 112 (según la directiva 2002/22/CE – Directiva servicio universal) y también funciona en teléfonos móviles GSM. El 112 se emplea en Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Croacia, Chipre, República Checa, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Georgia, Grecia, Hungría, Islandia, República de Irlanda, Italia, Letonia, Liechtenstein, Lituania, Luxemburgo, República de Macedonia, Malta, Montenegro, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Rumanía, Serbia, Suecia, Suiza, Turquía, Ucrania y Reino Unido, además de sus otros números de emergencias. Al hacerlo, es importante resumir la situación del accidente de la forma más detallada posible.

Se debe solicitar a los testigos presenciales y las partes implicadas en el accidente un informe de lo sucedido y sus datos personales (nombre, dirección, datos de contacto) deben ser anotados. Es necesario elaborar un informe y/o declaración del accidente que incluya una descripción de cómo se ha producido el accidente. Puede ser útil adjuntar fotografías de la escena del accidente para proteger las pruebas. Las partes implicadas en el accidente deben intercambiar los datos del seguro (aseguradora, número de póliza, tarjeta del seguro).

4.2 Modo de actuar en caso de averías técnicas del trolebús

Las averías del trolebús pueden deberse a diferentes causas, por lo que las respuestas pueden variar. Si es necesario detener un trolebús en la ruta, el conductor debe bloquear y controlar el trolebús. El trolebús apagado se puede bloquear con el freno de mano para evitar que ruede, y si el freno con resorte falta o se ha dañado es necesario colocar topes de bloqueo. Además, se debe desconectar el interruptor principal y, de ser necesario, sacar las tomas de corriente. Se debe extraer la llave de contacto, que quedará a resguardo del conductor.

Si hay fallos de aislamiento en el trolebús se debe desconectar el interruptor principal con las puertas aún cerradas. Por último, el conductor debe sacar las tomas de corriente. Si se sospecha que puede haber daños en el equipo eléctrico tras el accidente, no se debe intentar conducir el vehículo. Es necesario informar al centro de control.

«El centro de control es responsable de informar a las entidades de auxilio necesarias para que presten asistencia tras el accidente y evitar peligros.»

El conductor del trolebús implicado en el accidente y/o la avería, o la primera persona que no pueda continuar el viaje, será el responsable de informar al centro de control.»

4.3 Remolque

Cuando se remolca un trolebús se deben tomar una serie de precauciones. No se puede transportar pasajeros en el vehículo remolcado. La velocidad de remolque no debe superar los 30 km/h. La señal de peligro general se debe colocar en la parte trasera del trolebús remolcado («a remolque»).

4.4. Modo de actuar en caso de incendio

Si se detecta fuego a bordo del trolebús, se debe detener y bloquear el trolebús en un lugar adecuado (si es posible fuera de un túnel o de un paso subterráneo). Es necesario desconectar el interruptor principal. No obstante, el trolebús no se puede cerrar en ningún caso ni desconectar la alimentación principal (tensión de la batería) ya que esto impediría que las puertas se abran automáticamente. Se podrá permitir que los pasajeros abandonen el vehículo accionando la apertura de las puertas. Se debe identificar a los heridos y sacarlos de la zona de peligro. Los servicios de emergencia se solicitan informando al centro de control.

El conductor debe sacar las tomas de corriente e intentar extinguir el fuego con el extintor, siempre que sea útil y posible.

4.5 Modo de actuar si los troles se salen de su posición

Si se detecta que los troles se han salido es necesario detener inmediatamente el vehículo prestando atención a los pasajeros y al tráfico.

Se debe inspeccionar visualmente los troles, los cabezales y la catenaria en el punto donde se hayan salido. Está prohibido tocar los troles si sigue habiendo otros troles en contacto en el sistema. También está prohibido retirar el techo o tocar las piezas cargadas del vehículo y de la catenaria.

Se debe desconectar el interruptor principal antes de colocar y/o sacar los troles. Si la barra de accionamiento se aloja en el compartimento de los pasajeros, no se debe accionar la apertura de las puertas, sino abrir la puerta en cuestión con una válvula de emergencia. De este modo se puede evitar que la puerta preseleccionada se abra antes de tiempo en la rápida carga y descarga de pasajeros.

En las carreteras públicas se debe llevar puesto el chaleco reflectante.

Los troles sólo se deben conectar a la catenaria con la barra de accionamiento del tomacorriente provista para tal fin.

Se debe informar inmediatamente al centro de control en caso de que los troles se salgan de su posición y el incidente debe registrarse en el libro de registro del vehículo. Si se detectan daños en el trolebús, la catenaria o a terceros se deberá informar al centro de control por escrito, además de la notificación inicial. No se debe emplear tomas de corriente con soportes defectuosos. No se puede continuar el viaje sin recibir instrucciones del centro de control.

4.6 Daños en los sistemas de catenaria

Si hay piezas de la catenaria colgando se debe actuar con suma precaución porque se puede aplicar toda la tensión de operación entre los dos hilos de la catenaria (hilo positivo y negativo). Si hay riesgo de que los automovilistas que van detrás entren en contacto con los cables sueltos, el conductor del trolebús que llegue primero deberá cercar adecuadamente la zona de peligro. Está prohibido acercarse o tocar los cables de alimentación y los hilos sueltos, así como los demás cables conectados a los mismos sin llevar el equipo de protección adecuado.

Si un vehículo entra en contacto con los cables sueltos, los pasajeros deben permanecer en el vehículo tranquilamente hasta que llegue el servicio de reparación. No obstante, si se produce al mismo tiempo un incendio, el centro de control debe realizar una desconexión de emergencia de la catenaria. Si esto no es posible, los pasajeros deben abandonar el trolebús inmediatamente para evitar arcos voltaicos (tensión de paso) y se debe garantizar que la carretera haya quedado aislada con medios adecuados (por ejemplo, ropa seca) antes abandonar el trolebús.



Si alguna persona entrase en contacto con un cable cargado, sólo se la podrá auxiliar con elementos que no sean electroconductores. Se debe sacar a la persona agarrándola solo de la ropa. La persona que preste auxilio deberá estar sobre una capa suficientemente aislante, por ejemplo, una estera aislante, una tabla o un material seco y grueso. Otros posibles elementos que pueden ayudar a retirar los conductores cargados son las barras de accionamiento de las tomas de corriente y, en caso de haberlos, ganchos de rescate fabricados con un material no conductor.



Si se interrumpe el viaje por un fallo en la alimentación, se debe aprovechar en la medida de lo posible la velocidad aerodinámica (momento) y el trolebús deberá detenerse para no obstaculizar mucho el tráfico. Las tomas de corriente se deben retirar cuando sea adecuado. Los trolebuses que dispongan de un sistema de propulsión auxiliar pueden continuar su viaje con el sistema alternativo.

Si se producen repetidas interrupciones en el suministro eléctrico en poco tiempo, se debe pensar en una sobrecarga de la alimentación de corriente. En tal caso, se debe tener mucho cuidado al conducir a baja velocidad y conviene evitar el arranque simultáneo de varios vehículos. De ser necesario, el centro de control puede facilitar órdenes de salida a cada vehículo para evitar el arranque simultáneo. Si es posible se debe desconectar la calefacción, el aire acondicionado, el sistema de ventilación y los demás equipos auxiliares.

Si hay un vehículo de la flota de trolebuses parado con luces amarillas intermitentes en un sistema de trolebús, el trolebús deberá detenerse a suficiente distancia de dicho vehículo. El conductor del trolebús deberá establecer contacto visual con el trolebús de la flota y sólo podrá continuar el viaje cuando reciba la señal del trolebús de la flota, de los supervisores presentes o instrucciones del centro de control. Se debe pasar por las zonas de peligro con suma precaución. La velocidad solo se podrá aumentar cuando se hayan pasado las tomas de corriente de la zona de peligro y lo permita la posición de los cables de contacto.



5. Desarrollo de las sesiones formativas

Las sesiones formativas están organizadas en cinco fases. El objetivo de estas sesiones es aprender una forma de conducir rentable y aplicar lo aprendido a las operaciones diarias del transporte público.

- **Introducción y manejo del sistema «Trolebús»**
- **conducción práctica**
- **conducción rentable con un trolebús**
- **conducción práctica teniendo en cuenta los conocimientos sobre conducción rentable**
- **Aspectos de seguridad en la conducción de trolebuses**

La formación tiene una duración de 7 horas.

Durante la parte práctica, se mide el consumo de energía con un software especial y se muestra al final en un registro del recorrido. Además de los datos del recorrido (longitud, duración, velocidad media), también figuran los valores energéticos en este registro.

Los valores de la energía total aplicada por kilómetro conducido y el consumo por kilómetro conducido son de vital importancia en la conducción rentable, en lo que al consumo de energía se refiere.

Si el consumo se reduce en 0,10 kWh gracias a la conducción rentable del conductor a lo largo de 5 millones de kilómetros, se lograría un ahorro de energía anual de 500.000 kWh.

Nombre Muster
N.º de vehículo 308
Fecha 01.06.2012

Parámetros	Valores
Tiempo de medición	0,22 h
Distancia	5,83 km
Velocidad media (durante el tiempo en que la velocidad no es 0)	30,74 km/h
Energía admitida (trabajo eléctrico) de las líneas de catenaria	10,74 kWh
Energía recuperada (trabajo eléctrico) a las líneas de catenaria	2,07 kWh
Energía admitida menos energía recuperada	8,67 kWh
Energía consumida para la propulsión	10,07 kWh
Energía producida de propulsión	3,58 kWh
Energía consumida para sistemas auxiliares adicionales	1,18 kWh
(servobomba, compresor, carga de la batería)	
Energía consumida para el sistema de calefacción	0,00 kWh
Energía admitida por kilómetro	1,84 kWh/km
Energía recuperada por kilómetro	0,36 kWh/km
Energía admitida por km menos energía recuperada por km	1,49 kWh/km
Consumo de energía por km	1,11 kWh/km

Drücken: 09.12.2014

Firma _____

Fig. 15: Plantilla de registro para medir el consumo de energía durante la parte práctica de la formación



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

actuate



Conducción rentable en el sector del transporte público

3 requisitos para la conducción rentable en el sector del transporte público:

Requisito de seguridad

Los demás requisitos están subordinados al requisito de seguridad.

Requisito de puntualidad

La puntualidad en el sector del transporte público es necesaria e implica no salir antes ni después de lo previsto de cada parada.

Requisito de rentabilidad

La conducción rentable implica minimizar el consumo de energía y proteger el vehículo teniendo en cuenta los requisitos de seguridad y puntualidad.

El siguiente orden de factores se aplica en la conducción de un vehículo de transporte público: seguridad antes que puntualidad y puntualidad antes que rentabilidad.



5 reglas de oro para conducir ahorrando energía:

- la aceleración debe ser rápida,
- el régimen constante debe evitarse por completo,
- el índice de rodadura debe ser lo más alto posible, siempre que se garantice el cumplimiento del horario,
- se debe evitar el frenado innecesario y, a ser posible, sólo se debe recuperar la energía con frenos eléctricos sin desgaste,
- empleo consciente de la calefacción, el aire acondicionado y el sistema de ventilación, en caso de que no se controle y optimice automáticamente.

Seguridad

Modo de actuar en caso de accidentes

Si se produce una avería a causa de un accidente, el conductor debe aprovechar con calma todos los recursos de forma sensata para corregir la avería, reducir los daños y evitar daños adicionales.

- Detener el vehículo y conectar las luces de advertencia.
- Bloquear el vehículo para evitar que arranque o se use de modo no autorizado.
- Accionar el freno de mano para que no ruede.
- Si es necesario, las tomas de corriente deben retirarse.
- Por razones de seguridad personal, abandonar siempre el vehículo con el chaleco reflector puesto.
- Cercar el punto del accidente/punto de avería.
- Sacar de la zona de peligro a todos los implicados en el accidente.
- Ofrecer primeros auxilios y solicitar ayuda
- Realizar informes de accidentes, preguntar a los testigos e intercambiar datos.

El centro de control es responsable de informar a las entidades de auxilio necesarias para que presten asistencia tras el accidente y evitar peligros.

El conductor del trolebús implicado en el accidente y/o la avería, o la primera persona que no pueda continuar el viaje, será el responsable de informar al centro de control.

