



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería Eléctrica**

# **Movilidad eléctrica en el transporte de viajeros.**

**Autor:**

**Vallejo Luis, Raúl**

**Tutor:**

**Alonso Ripoll, Francisco Javier  
Departamento de Ingeniería  
Eléctrica**

**Valladolid, Julio de 2019**

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

### Resumen

Una de las principales preocupaciones de la sociedad a día de hoy es el cambio climático, de ahí que, para intentar combatirlo, se están lanzando multitud de cambios en nuestras costumbres cotidianas. Una de estas novedades es la aparición del coche eléctrico y en el caso del transporte de viajeros, el autobús híbrido o 100% eléctrico.

A lo largo del trabajo se van a ir detallando los modelos de autobuses eléctricos e híbridos que están en el mercado actualmente, así como los tipos de motores y baterías que éstos emplean.

Asimismo, se va a realizar la simulación de uno de estos autobuses eléctricos 100% para comprender mejor cuales son los sistemas en los que hay que aumentar la eficiencia con el objetivo de mejorar un poco más la duración de la batería del autobús, comparar el rendimiento y la autonomía al variar el ciclo de conducción y obtener finalmente los parámetros de tensión, intensidad, potencia, rendimiento y aceleración del motor.

### Palabras clave

1. Autobús.
2. Motor.
3. Inversor.
4. Híbrido.
5. Batería.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

## Agradecimientos

Me gustaría agradecer en primer lugar a todas las personas que me han apoyado durante estos cuatro años, mis padres, mis abuelos, mi hermano, ...

También a mi tutor de este trabajo, Javier Alonso Ripoll, que me ha ayudado en cuantas cosas le he pedido.

Y, por último, agradecer a Txema, Oscar y Julen de Irizar, por la visita a la fábrica de Irizar e-mobility en Aduna, la información que nos han proporcionado y el buen trato que hemos recibido de ellos. Asimismo, a Antonio de Mercedes, a Fernando de Scania y a Ángel de MAN por los catálogos e información aportada.

¡Gracias a todos!



## Índice

Resumen .....	3
Palabras clave .....	3
Agradecimientos .....	5
Índice .....	7
1. Introducción.....	9
1.1. Objetivos:.....	9
1.2. Estructura:.....	10
2. Transporte de viajeros .....	11
2.1. Orígenes:.....	11
2.2. Actualidad:.....	22
2.3. Nuevos modelos:.....	25
2.3.1. Magnus Hybrid Scania Castrosua.....	26
2.3.2. Iveco Urbanway Full Hybrid.....	28
2.3.3. Volvo 7900 Híbrido.....	30
2.3.4. Volvo 7900 Híbrido Eléctrico.....	32
2.3.5. Volvo 7900 Eléctrico.....	34
2.3.6. Irizar i3h e Irizar i4h.....	36
2.3.7. Modelos Irizar ie bus.....	39
2.3.8. Mercedes Citaro Híbrido.....	39
2.3.9. Mercedes eCitaro Eléctrico.....	42
2.3.10. MAN Lion's City Híbrido.....	45
2.3.11. MAN Lion's City Eléctrico.....	47
2.3.12. Scania Citywide Suburban Hybrid.....	48
2.3.13. Autobús Proterra Catalyst.....	51
2.4. Últimas novedades.....	53
3. Autobuses eléctricos 100%.....	55
3.1. Modelos eléctricos.....	55
Irizar ie bus.....	55
Irizar ie tram.....	56
Análisis técnico:.....	57
3.2. Baterías.....	71
Plomo - ácido.....	71

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

Níquel – Cadmio (Ni - Cd).....	71
Níquel – Hidruro Metálico (Ni - MH).....	72
Ion – Litio (Li - ion). ....	72
Zinc – Aire.....	73
Baterías ZEBRA. ....	73
Supercondensadores.....	74
3.3. Motores eléctricos.....	75
Motor de corriente continua.....	75
Motor síncrono. ....	76
Motor asíncrono. ....	77
Motor de reluctancia conmutada.....	78
Motor de flujo axial. ....	78
3.4. Cargadores eléctricos. ....	79
4. Simulación del autobús 100% eléctrico.....	83
4.1. Baterías del autobús.....	83
4.2. Ciclos de conducción. ....	88
4.3. Modelado del autobús.....	92
5. Conclusiones obtenidas y trabajos relacionados. ....	105
5.1. Conclusiones. ....	105
5.2. Trabajos relacionados. ....	106
Índice de figuras.....	107
Índice de tablas.....	111
Bibliografía .....	113



### 1. Introducción

Actualmente uno de los temas que más preocupan a la sociedad es el cambio climático. Esta preocupación social ha derivado en multitud de cambios políticos y empresariales, llevando entre otras cosas a empezar a limitar el uso de vehículos de combustión en determinadas ocasiones y motivando a los fabricantes a crear nuevos modelos híbridos y eléctricos 100%.

En el mundo del transporte de viajeros, este cambio también ha llegado. Desde hace una década han comenzado a incorporarse en los autobuses sistemas para reducir los óxidos de nitrógeno, las partículas, etc. Pero para acabar con toda esta contaminación, la principal solución es el autobús 100% eléctrico, que los principales fabricantes ya tienen disponible para versiones urbanas. Otras alternativas que también se han tomado, aunque más a corto plazo, es el empleo del gas natural en sus versiones de licuado (GNL) y comprimido (GNC) como combustible.

En el caso de este TFG vamos a valorar las ventajas que tienen los modelos de autobuses híbridos y eléctricos que podemos encontrar ya por nuestras ciudades y los novedosos modelos 100% eléctricos. También simularemos uno de estos vehículos para conocer su comportamiento en determinadas situaciones.

#### 1.1. Objetivos:

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado es conocer de una forma más cercana los autobuses eléctricos e híbridos que están en el mercado actualmente, estudiando las baterías, los motores que emplean y como mejorar la autonomía del autobús.

Entre los fines a los que queremos llegar, destacan:

- Evolución de los sistemas de tracción en los autobuses.
- Detallado de los principales autobuses híbridos y eléctricos.
- Conocer el funcionamiento de una celda de Ion – Litio de manera que podamos probar distintos tipos de descargas de esta.
- Simular la aceleración de arranque de un autobús 100% eléctrico.
- Ensayar un autobús 100% eléctrico con el objetivo de conocer la influencia que tienen en su autonomía el tipo de ciclo de conducción que se utilice, la masa del vehículo y los servicios auxiliares eléctricos que estén conectados.

## 1.2. Estructura:

Este Trabajo Fin de Grado se ha estructurado de la siguiente manera:

- Capítulo 1: Se realiza una breve introducción acerca de lo que se tratará después, se establecen los objetivos de partida del trabajo y finalmente se explica la manera en la que se ha estructurado el trabajo.
- Capítulo 2: Está dividido en tres partes, la primera cuenta la historia de la evolución de los autobuses, comentando algunos proyectos eléctricos e híbridos que fueron apareciendo a pesar de luego perderse. En la segunda parte del capítulo se tratan las mejoras que se han incorporado a los autobuses actuales y ya en la tercera parte, se habla de los modelos de autobuses eléctricos e híbridos que hay disponibles actualmente, además de alguna novedad en la electromovilidad.
- Capítulo 3: En este capítulo se trata de manera detallada los modelos eléctricos Irizar ie bus e Irizar ie tram, exponiendo sus tablas de características técnicas. También se detallan los principales tipos de baterías empleadas, los motores eléctricos más utilizados y los modos de carga de los autobuses.
- Capítulo 4: Se realiza la simulación del funcionamiento de la batería de Ion – Litio, se explican los principales ciclos de conducción que se van a utilizar y por último, se realiza el ensayo del autobús eléctrico Irizar ie bus 12 m.
- Capítulo 5: En este capítulo final se exponen las conclusiones a las que se ha llegado una vez terminado el trabajo y otros posibles trabajos que pueden surgir.
- A continuación de estos capítulos se añade el índice de figuras y tablas utilizadas y la bibliografía del trabajo.

## 2. Transporte de viajeros

Se puede definir<sup>1</sup> el transporte de viajeros por carretera como una actividad basada en el desplazamiento de viajeros y sus equipajes tanto en un autobús como en un vehículo turismo. Se puede llevar a cabo por cuenta ajena mediante retribución económica, en cuyo caso tendrá el carácter de público, o bien de manera complementaria a otra actividad principal distinta de la del transporte, en cuyo caso tendrá el carácter de privado complementario.

Dependiendo del tipo de transporte que se pretenda realizar y del vehículo utilizado, será necesario un tipo de licencia u otra, entre las que encontramos:

- Autorización de transporte público de viajeros en autobús (VD): habilita para poder realizar transporte de viajeros en autobús por todo el territorio nacional, llevándolo a cabo por cuenta ajena mediante retribución económica.
- Autorización de arrendamiento de vehículo con conductor (VTC): habilita para realizar, previa contratación, una modalidad de transporte discrecional de viajeros en turismo por todo el territorio nacional.
- Autorización de transporte privado complementario de viajeros en autobús (VPC): habilita para realizar transporte de viajeros por todo el territorio nacional como complemento necesario o adecuado para el correcto desarrollo de tu actividad principal.
- Autorización de transporte público de viajeros en vehículo turismo auto-taxi (VT): habilita para realizar transporte público de viajeros tanto de carácter urbano como interurbano por todo el territorio nacional.
- Autorización de transporte público sanitario (VS): habilita para realizar transporte sanitario en ambulancia por todo el territorio nacional, llevándolo a cabo por cuenta ajena mediante retribución económica.
- Autorización de transporte privado complementario sanitario (VSPC): habilita para realizar transporte sanitario en ambulancia por todo el territorio nacional como complemento necesario o adecuado para el correcto desarrollo de tu actividad principal.

### 2.1. Orígenes:

El origen del transporte de viajeros por carretera se remonta a mediados del siglo XVII, cuando en 1662 aparece en París el primer autobús con una finalidad similar a la que entendemos ahora, aunque se trataba de un carruaje de madera que iba tirado por caballos. Este primer intento de crear un servicio de transporte de viajeros fracasaría a los pocos años, ya que el servicio era bastante incomodo y el coste del billete elevado.

---

<sup>1</sup> (Comunidad de Madrid)

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

Posteriormente, durante el siglo XIX se comienza a desarrollar y popularizar el “Ómnibus” (Figura 1), un vehículo inspirado en las viejas diligencias, con capacidad para quince personas. Aparece en Francia, cuando el coronel Stanislas Baudry comienza a popularizarlo en 1825 con el objetivo de acercar a su establecimiento (unos baños termales) a todas las personas que desearan acudir. Con el paso del tiempo, el ómnibus comienza a popularizarse y llega a ser un éxito, de tal manera que el coronel se dio cuenta que había gente que utilizaba únicamente el transporte para desplazarse por otros asuntos diferentes a su negocio y por ello decidió crear la compañía “*Enterprise Générale des Omnibus*” para ampliar el servicio.

En la parada de autobuses que inauguró, podía leerse en un cartel “Omnes Omnibus” – hay de todo para todos, con lo que pretendía que este servicio fuera para todo tipo de clientes, no únicamente los que iban a las termas. De ahí surge el nombre de ómnibus.



*Figura 1: Un ómnibus en Madrid atravesando la Cibeles. (Consorcio Regional de Transportes de Madrid)*

El éxito pronto se extendería por el resto de las grandes ciudades a nivel mundial.

En el caso de España, se comienza a hablar de este tipo de servicio hacia 1792, pero no sería hasta 1843 cuando aparece en Madrid la primera línea urbana de ómnibus. Comienza dando servicio para acercar a los vecinos de la ciudad a las fiestas, verbenas o a los toros. Inicialmente, estos servicios no funcionaban con regularidad y el alto precio del billete hace que sea solamente utilizado por las clases más altas. Con los años, en torno a 1871, aparecen los primeros tranvías de tracción animal y con ellos se empiezan a desarrollar los transportes urbanos en el interior de las grandes ciudades.

Aunque todo esto ya supuso una gran revolución en las comunicaciones urbanas, o en algunos casos, incluso entre ciudades, otro gran hito tuvo lugar en 1831, cuando Walter Hancock presenta en Inglaterra el primer autobús con motor de vapor (Figura 2), apodado “Infant”. Consistía en un vehículo

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

experimental de 10 plazas y la principal diferencia que tenía con el ómnibus es que, al tener un motor de vapor el Infant podía desplazarse solo, es decir, sin necesidad de tracción animal.



*Figura 2: El "Infant", primer autobús de vapor. (CurioSfera)*

Pero tendrían que pasar aun seis décadas desde que Hancock presentara el autobús de vapor, hasta que la firma alemana Benz (propiedad de Karl Benz) creara el primer autobús con motor de gasolina (Figura 3).

Este nuevo medio de transporte se presenta en Alemania en 1895, teniendo una capacidad para transportar entre seis y ocho pasajeros, dos conductores y un cobrador. La velocidad máxima que le permitía alcanzar el motor de 15 CV era de 15 km/h.



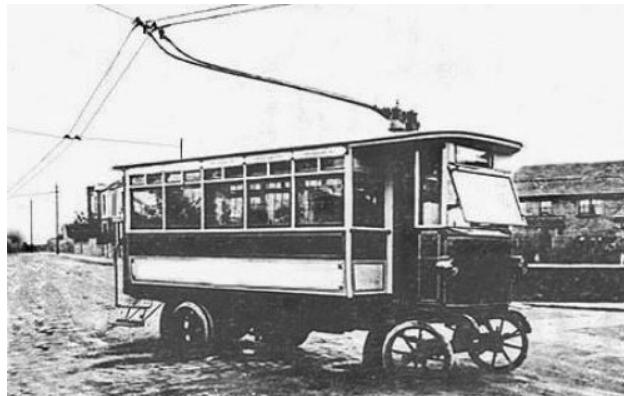
*Figura 3: Primer autobús de gasolina de Karl Benz. (CurioSfera)*

El vehículo era muy primitivo, los viajes tenían gran dificultad y dependían mucho de la orografía del terreno. Estaba basado en el modelo Benz Victoria e incorporaba un motor monocilindro de cuatro tiempos en la parte trasera, que movía las ruedas con una cadena.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

Todavía habría que esperar hasta 1920 para que se comenzaran a realizar mejoras en los autobuses que les permitieran poder ser más útiles e incorporar avances como el motor de cuatro cilindros.

Durante este tiempo, a finales del siglo XIX, comienzan a desarrollarse algunos modelos de autobús en versiones eléctricas, pero únicamente el trolebús (Figura 4), que se empieza a extender por las capitales europeas, tuvo éxito debido a que siempre va conectado a la red eléctrica y no requiere de acumuladores o baterías.



*Figura 4: El trolebús, un autobús eléctrico. (CurioSfera)*

Se comienza a experimentar con los autobuses eléctricos en 1898 en varias ciudades. Por ejemplo, en Barcelona trató este proyecto el teniente Emilio de la Cuadra y su Compañía General de Coches. Emilio de la Cuadra consigue crear un primer prototipo, pero finalmente fracasa debido a algunos problemas que aún persisten en la actualidad, como el elevado peso de las baterías, el reducido tiempo de utilización y el escaso almacenaje que éstas tienen. Todos estos problemas, sumados al gran desarrollo que estaba empezando a tener el motor de explosión y la abundancia de los combustibles hicieron que se desechara la idea del autobús eléctrico.

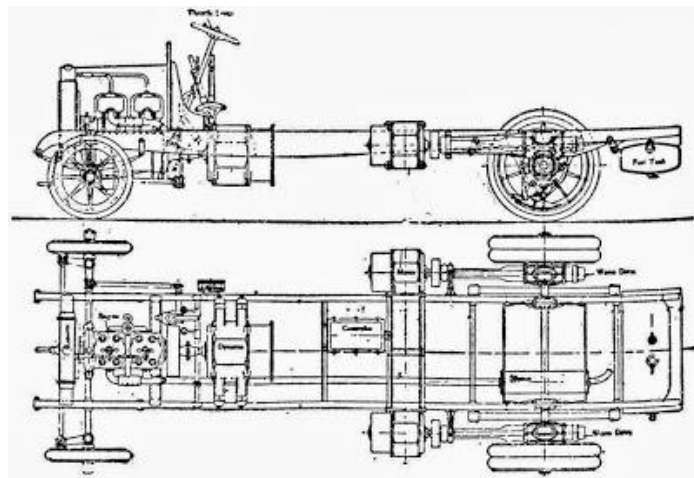
Otra opción que se planteó en aquellos momentos era la de crear un autobús híbrido, incluso en Barcelona surgió el proyecto para crear un autobús que desplazara a los huéspedes del Hotel Oriente de las Ramblas. El ingeniero suizo Carlos Vellino, en colaboración con otras personas, crean un ómnibus que incorpora un grupo electrógeno de 15 KW movido por un motor de explosión, que generaba la electricidad para recargar las baterías. El autobús era para 20 personas, contaba con dos motores eléctricos de 15 KW cada uno y con una potencia total de 45 CV, alimentado con una batería de acumuladores que suministraba 450 Ah a 110 V. Con este sistema, conseguían alcanzar velocidades de 20 Km/h y subir desniveles de hasta un 12% a pesar de ser el peso total del vehículo de 7000 kilogramos. Finalmente, el proyecto terminó fracasando al no hacer más que aumentar los gastos, el mal funcionamiento



## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

del grupo electrógeno y de los acumuladores, que tuvieron que ser sustituidos por baterías, que pesaban aún más. El día de la inauguración, este lujoso y moderno ómnibus híbrido, arrancó y consiguió recorrer unos cuantos metros, pero finalmente se paró y tuvo que ser remolcado. Los integrantes de este novedoso proyecto terminaron abandonándolo y optando por continuar con sus anteriores trabajos.

En Maidstone, Inglaterra, William Arthur Stevens establece su propia compañía y construye en 1906 el primer vehículo de transmisión eléctrica (Figura 5), basado en un diseño patentado por Percival Frost-Smith. Consiguieron crear de esta manera, un autobús capaz de ser manejado fácilmente, ya que no era necesario que se incorporara la caja de cambios.



*Figura 5: Chasis Halford Stevens con un motor para cada rueda posterior. (Railsferraduras, 2013)*

En estos momentos, cuando las compañías de ómnibus estaban en pleno proceso de mecanización, el empresario Thomas Tilling decide hacerse con la compañía Halford-Stevens, empresa productora de chasis para autobuses híbridos y comenzará a llamarse Tilling-Stevens.

Esta nueva compañía, lanza en 1911 su primer prototipo, el TT1 (puede verse en la Tabla 1), un modelo con transmisión eléctrica a partir de un motor de gasolina de cuatro cilindros, el cual sería mejorado en una versión posterior en 1913, que contaba ya con un motor de 40 CV.

Este tipo de tecnología híbrida, muy similar a lo que hoy se conoce como vehículo híbrido serie, fue la empleada por esta compañía para la fabricación de los autobuses de Londres en 1923, o incluso también en España, como es el caso de Barcelona que en 1922 la compañía Tilling-Stevens fabricó los autobuses urbanos de esta ciudad (Figura 6).



*Figura 6: Autobús Tilling-Stevens utilizado para el transporte urbano en Barcelona. (Railsferraduras, 2013)*

No obstante, la evolución de la transmisión mecánica avanzó más rápidamente que la eléctrica, llegando a hacerla desaparecer, al surgir sistemas mecánicos más simples, fiables y fáciles de conducir. No sería hasta los años 90 cuando se volverían a retomar este tipo de proyectos para fabricar autobuses híbridos por lo que solamente los trolebuses y los tranvías serían la única movilidad eléctrica durante este período de tiempo.

Otro tipo de vehículos desarrollados por Tilling-Stevens fueron los trolebuses híbridos, de modo que cuando llegaban a zonas fuera de la ciudad estaban preparados para circular con un motor híbrido diésel.

Por otra parte, el motor diésel para autobuses ya se había empleado alguna vez, en torno a 1900, por parte de los hermanos Mack en Estados Unidos. Fueron estos quienes consiguieron popularizarle y que comenzara a ser utilizado a partir de 1938 y a partir de aquí los autobuses ya no volverían a emplear motores de gasolina.

En Europa y en especial en España, durante esta época tuvo lugar la Guerra Civil y posteriormente la II Guerra Mundial, que originó una escasez de combustibles líquidos, causando esto a su vez la imposibilidad de utilizar motores de combustible líquido. Para evitar este problema y poder utilizar combustibles sólidos, se comienza a emplear el “gasógeno” (Figura 7). Este sistema ya había sido inventado en 1870 y consistía en gasificar un combustible sólido, bien podía ser leña o carbón. El poder calorífico de este gas, que se producía de la combustión del carbón o la leña, era muy bajo y, por tanto, el rendimiento de los motores era ínfimo, causando que los autobuses no pudieran enfrentarse a grandes dificultades.



## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS



*Figura 7: Autobús español convertido a gasógeno. (Fernandez Valentí, 2012)*

Cuando el periodo de autarquía terminó en España y Europa se recuperó de la guerra los combustibles volvieron a estar disponibles sin ningún tipo de racionamiento y los motores de todos los vehículos volvieron a ser de combustible líquido por lo que este sistema desapareció.

Mientras tanto, los autobuses continuaron incorporando mejoras, pero no sería hasta 1951 cuando Mercedes presenta el O 6600 H, el primer autobús sin morro y con motor trasero. Con esto se conseguía disminuir el ruido en el interior del vehículo. Además, también fue el primer autobús creado a partir de un chasis diseñado para él, no adaptado a partir de uno de camión como había sucedido hasta ahora.



*Figura 8: Modelo Mercedes O 6600 H de 1951. (Gomez Guzmán, 2010)*

En España se van a desarrollar a lo largo de la segunda mitad del siglo XX dos marcas de autobuses, una de capital público, Pegaso (Figura 9) y otra de capital privado, Barreiros (Figura 10), que terminarían integrándose en el grupo Iveco y en el grupo Renault - Volvo respectivamente. La mayoría de los autobuses en nuestro país, a diferencia de lo que sucedía en Europa, son carrozados, es decir, que la carrocería será fabricada por un carrocerero como es el caso de Irizar, que llevaba carrozando desde 1889 y destaca por la buena calidad de sus vehículos y el chasis está fabricado por las marcas (Mercedes, Scania, Volvo, ...).

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS



Figura 9: Autobús Pegaso de 1966.



Figura 10: Autobús Barreiros de 1963.

Con el paso del tiempo, comienzan a llegar otras marcas, como es el caso de Setra-Seida, que fabricará vehículos autoportantes (vehículo sin chasis) con licencia Kässbohrer-Setra (actualmente perteneciente a Mercedes), utilizando en Alemania motores Mercedes, pero en España se limitará a utilizar en mayor cantidad motores Pegaso y de forma menos habitual Man y Cummins.

En el año 1952 la marca Pegaso, debido a la ausencia que aún había de combustibles en España, decide probar con la tecnología eléctrica, pero solo consiguió crear un prototipo para camión. Este, el prototipo Pegaso Eléctrico Z-106 (Figura 11) estaba basado en su modelo homólogo con motor diésel, el Pegaso Diesel Z-203. Contaba con unos acumuladores de batería franceses de la “Societé de Vehiculés Eléctriques Industriels” que le proporcionaban una autonomía de 75 km y una velocidad máxima a plena carga de 28 km/h. El principal problema que tenía el camión era el excesivo peso de las baterías que le limitaba la carga que podía transportar. Debido a estos problemas y a la tecnología tan básica que existía en aquel momento no se llegó a extrapolar al modelo de autobús.



PEGASO ELÉCTRICO		
(Empresa Nacional de Autocamiones, S. A.)		
<p><b>MOTOR:</b> De 14 C.V. de potencia permanente o fiscal, tipo especial de tracción fabricado en serie, calculado para fuertes sobrecargas.</p> <p><b>CONTROLER:</b> 5 velocidades adelante y atrás, inversor de marcha y posición de carga de baterías y reposo.</p> <p><b>CONTACTOR PRINCIPAL:</b> Intercalado en el circuito de tracción suprimiendo las chispas en el controler e inversor.</p> <p><b>CONTACTOR AUXILIAR:</b> Para cortar la corriente al frenar.</p> <p><b>AMPERHORÁMETRO:</b> Indicador de la capacidad disponible en todo momento en la batería, automáticamente termina la carga de la batería al fin de esta operación.</p> <p><b>BATERÍA:</b> De 48 elementos de plomo, tipo acorazado de 600 A. H. de capacidad en 7 horas de descarga. Duración garantizada, 900 ciclos completos de carga-descarga.</p>	<p><b>INSTALACIONES DE FUERZA Y ALUMBRADO:</b> De cable extensible de 90 mm. de la fuerza, y de doble línea la de alumbrado y señales. Enchufe de carga diferencial. Interruptores y fusibles de seguridad.</p> <p><b>AUTOINSTRUMENTOS:</b> «Pegaso» normal, de la serie «Pegaso-Diesel».</p> <p>Paso (distancia entre ejes) ... .. 3.800 mm.</p> <p>Largo máximo del bastidor ... .. 7.070 "</p> <p>Neumáticos ... .. 12.00 X 20"</p> <p>Ancho máximo sobre neumáticos posteriores 2.260 mm.</p> <p><b>EJE POSTERIOR:</b> De doble reducción.</p> <p><b>TRANSMISIÓN:</b> Desde el motor eléctrico de tracción al eje posterior, por cardanes, con interposición de un limitador de par.</p>	<p><b>FRENOS:</b> Accionados por aire comprimido del mismo sistema de reconocida eficacia del camión Pegaso-Diesel. El compresor de aire está accionado por un motor eléctrico de 2,5 C.V. a 80 voltios, con interruptor automático.</p> <p><b>INSTALACIÓN ELÉCTRICA:</b> De alumbrado, bocinas, etc., 24 voltios.</p> <p><b>UTILIZACIÓN</b></p> <p>Peso del camión «Pegaso Eléctrico» en orden de marcha con carrocería en serie ... .. 9.170 kg.</p> <p>Autonomía ... .. 75 km.</p> <p>Carga útil ... .. 6.000 kg.</p> <p>Velocidad máxima a plena carga ... .. 28 km./h.</p>

Figura 11: Prototipo Pegaso Eléctrico Z-106 de 1952 y su ficha técnica. (Garaje 22, 2011)

Este prototipo, además de ser un gran avance para su época, lo sigue siendo hoy en día pues, aunque en autobuses o camiones van apareciendo nuevos modelos, todos son en el ámbito urbano y este Pegaso pretendía poder ser utilizado a cualquier escala.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

Una característica habitual de los motores Pegaso era la gran cantidad de humo que echaban hasta que posteriormente se empiezan a importar chasis de vehículos Mercedes y Scania, que ya tenían una gran fiabilidad y no emitían humo.



*Figura 12: Autobús con chasis Scania y carrocería Irizar modelo Everest de 1983. (Elaboración propia)*

Aprovechando su primer centenario, Irizar presentó en 1989 el modelo Century (Figura 13), un vehículo que marcó un hito en la construcción de carrocerías de autocares. A partir de aquí se puede decir que comienza la edad moderna de los autobuses.



*Figura 13: Irizar Century de 1995 con chasis Scania. (Elaboración propia)*

A principios de los años 90 algunas compañías japonesas como Hino, Nissan, Mitsubishi, Isuzu o Toyota comienzan a crear algunos modelos de autobuses híbridos destinados al transporte urbano. En la Tabla 1, a continuación, se puede ver como aparece un salto en esta tecnología híbrida eléctrica desde 1911 hasta 1991 y como a partir de esta fecha se retoma definitivamente esta tecnología de propulsión y todas las marcas comienzan a desarrollar sus primeros prototipos.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

Año	Compañía	Nombre	Tipo	Comentarios
<b>Pre-1960</b>				
1911		Tilling-Stevens TTA1 gasóleo-eléctrico (en servicio en rutas de Thomas Tilling)	Bus	Transmisión a gasolina-eléctrico, pero no con batería de almacenaje y tampoco de propulsión, excepto con el motor de gasolina en ejecución
<b>1990s</b>				
1991	Hino	Hino Blue Ribbon HIMR	Bus	
1993	Mitsubishi	Mitsubishi Fuso Aero Star MBECS, 1ª generación	Bus	
1995	Nissan	Nissan Diesel UA ERIP	Bus	
1996	Isuzu	Isuzu Cubic CHASSE	Bus	
1996		Híbrido Gillig Phantom	Bus	
1997	Toyota	Toyota Coaster híbrido EV	Bus	primeras series de buses japoneses híbridos
1998		New Flyer H40LF (bus híbrido transmisión diesel-eléctrica), 'H' y más tarde cambiado a 'DE'	Bus	
1999		Orion VI híbrido	Bus	
<b>2000s</b>				
2002	Mitsubishi	Mitsubishi Fuso Aero Star bus Nonstep HEV, 2ª generación	Bus	

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

2002		Nova Bus RTS HEV bus (4 unidades hechas)	Bus	
2002		MCI D4000 HEV (4 unidades hechas)	Bus	
2002		Wright Electrocicity	Bus	
2002		New Flyer DE60LF	Bus	
2003		Orion VII bus híbrido <sup>5</sup>	Bus	
2003		TransBus Enviro200H	Bus	
2004		New Flyer GE40LF (bus híbrido gasolina- eléctrico)	Bus	
2004	Hino	Hino S'elega R híbrido	Bus	
2004	Hino	Hino Blue Ribbon City híbrido	Bus	
2004		Gillig Low Floor híbrido	Bus	
2006		IC Corporation bus escolar híbrido	Bus	
2006		Nova Bus LFS HEV	Bus	
2006	Wrightbus	Wright Pulsar Gemini HEV	Bus	
2006		New Flyer DE40LFR	Bus	
2007		New Flyer DE60LFR	Bus	
2008	Alexander Dennis	Alexander Dennis Enviro200H	Bus	
2008	Alexander Dennis	Alexander Dennis Enviro400H	Bus	
2008	Alexander Dennis	Alexander Dennis Enviro500H	Bus	
2008		Beiqi Foton en Guangzhou, China con	Bus	

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

		Eaton Corp. sistemas de propulsión híbrida diesel-eléctricos ferroviarios <sup>9</sup>		
2008	Hino	Hino S'elega híbrido (2ª generación)	Bus	
2008	Optare	Optare Tempo	Bus	
2008	Volvo	Volvo B5L híbrido	Bus	
2008	Wrightbus	Wright Gemini 2 HEV	Bus	
2009	Wuzhoulong	FDG6111HEVG	Bus	
<b>2010s</b>				
2010	Alexander Dennis	Alexander Dennis Enviro350H	Bus	
2010	Optare	Optare Versa	Bus	
2010	Wuzhoulong	FDG6112HEVG, FDG6111HEVG2	Bus	

*Tabla 1: Fabricación de autobuses híbridos eléctricos desde 1911 hasta 2010. (Wikipedia, 2018)*

### 2.2. Actualidad:

En las últimas décadas del siglo XX comienza a surgir la preocupación social por la contaminación atmosférica, por ello, la Unión Europea decide empezar en 1988 con la primera de las normas Euro, en este caso, la Euro 0, que era una normativa que fijaba el límite máximo de emisiones contaminantes que podían salir por el tubo de escape de un vehículo. Estos límites varían dependiendo del tipo de combustible y de motor que se utilice.

El objetivo era reducir el CO<sub>2</sub>, al quemar menos carburante, por ello, se exige a los fabricantes que reduzcan el consumo de carburante. Con la aplicación de estas normas se han limitado las emisiones de cuatro contaminantes potencialmente peligrosos para la salud (óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, la parte de los combustibles que no se quema completamente en la combustión y las partículas que dan el color negro al gas del escape). Las normas han ido evolucionando con el tiempo, siendo cada vez más severas como podemos ver en la Figura 14. Por ello desde 1988 hemos pasado por las



## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

normas EURO 1, 2, 3, 4, 5 y la actual, EURO 6. La norma EURO 6 empezó a aplicarse en enero de 2014, tanto en vehículo pesado como ligero.

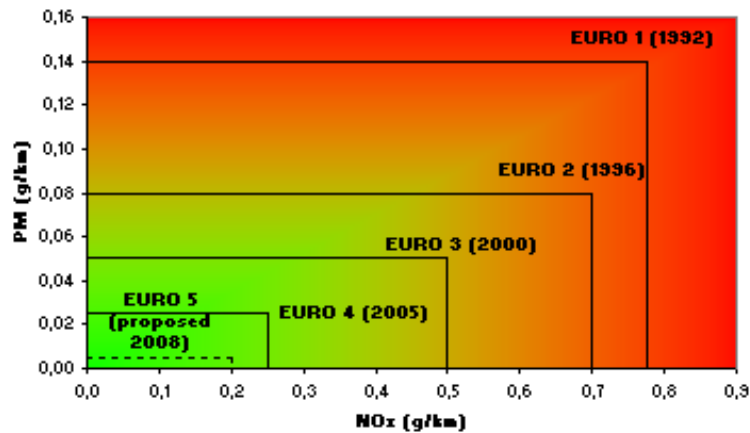


Figura 14: Emisiones máximas de NOx y PM para motores diésel (Wikipedia, 2019)

Para reducir las emisiones contaminantes se han incorporado a los motores diversos sistemas, cada vez más complejos, que les permiten cumplir con los límites de emisiones establecidos, como son:

- Catalizador: actúa principalmente sobre el monóxido de carbono y los hidrocarburos inquemados.
- Filtros de partículas: eliminan partículas sólidas, que son las que provocan el color negro del humo de escape en los motores diésel.
- Sistemas SCR: se encarga de eliminar los óxidos de nitrógeno mediante el catalizador y la urea.

En las Figuras 15 y 16 podemos ver como se integran algunos de estos sistemas en el motor de un autobús.



Figura 15 y Figura 16: Catalizador incorporado en el escape (i) y uno de los inyectores del sistema de AdBlue (d) en un motor Volvo Euro 6 (Elaboración propia)

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

Las últimas normativas aplicadas han sido la Euro 6 en 2014, la Euro 6c en 2018 y actualmente la Euro 6d en 2019. Con las elevadas restricciones que han ido incrementando dichas normativas, los fabricantes de autobuses han vuelto a reabrir el mercado de autobuses eléctricos, híbridos o incluso la utilización de otros combustibles como el GNC (Gas Natural Comprimido) y GLP (Gas Natural Licuado), con lo que se consigue reducir la contaminación.

Motivado por el compromiso de reducción de contaminantes, el fabricante Irizar, en el año 2014 con la aparición de la norma Euro 6, realiza la primera entrega de sus modelos 100% eléctricos.

En España la DGT (Dirección General de Tráfico) ha decidido etiquetar, cumpliendo con las normativas europeas, a todos los vehículos con una pegatina (Figura 17) en la que se indica la norma que cumple el motor, la matrícula y el tipo de combustible.

Dependiendo de las emisiones del motor pueden ser:

- La etiqueta C: corresponde con los vehículos de gasolina matriculados a partir del 2006 y vehículos Diesel a partir del 2014, así como aquellos de gasolina con capacidad para ocho personas y de Diesel con matriculación a partir del 2014.
- La etiqueta B: corresponde a aquellos matriculados a partir del año 2000 de gasolina y a partir del 2006 de Diesel. Además, vehículos pesados y de ocho plazas de gasolina y con matriculación de 2005 de Diesel.
- La etiqueta ECO: estas etiquetas las pueden utilizar aquellos turismos, furgonetas ligeras, vehículos de más de ocho plazas y vehículos de transporte de mercancías clasificados como vehículos híbridos enchufables con autonomía <40 km, vehículo híbrido no enchufable (HEV), vehículos propulsados por gas natural (GNC y GNL) o gas licuado del petróleo (GLP).
- La etiqueta Cero emisiones: estas etiquetas las pueden utilizar los ciclomotores, triciclos, cuadríciclos y motocicletas; turismos; furgonetas ligeras y vehículos de más de ocho plazas. Además de aquellos vehículos de transporte de mercancías clasificados como vehículos eléctricos de batería (BEV), vehículo eléctrico de autonomía extendida (REEV), vehículo eléctrico híbrido enchufable (PHEV) con una autonomía mínima de 40 kilómetros o vehículos de pila de combustible.



## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS



Figura 17: Distintivo ambiental DGT. (Dirección General de Tráfico)

### 2.3. Nuevos modelos:

El aumento de autobuses basados en las tecnologías híbridas y eléctricas está teniendo en los últimos años un crecimiento exponencial como se puede ver en la Figura 18 en la que, aunque no se incluyen los autobuses híbridos, sí que contiene los datos de autobuses eléctricos y otro tipo de tecnología, que son los trolebuses con baterías con más de un kilómetro de operación. Este crecimiento se debe a los avances en las tecnologías y a una mayor implicación por parte de las administraciones públicas, los empresarios del sector y las marcas de autobuses.

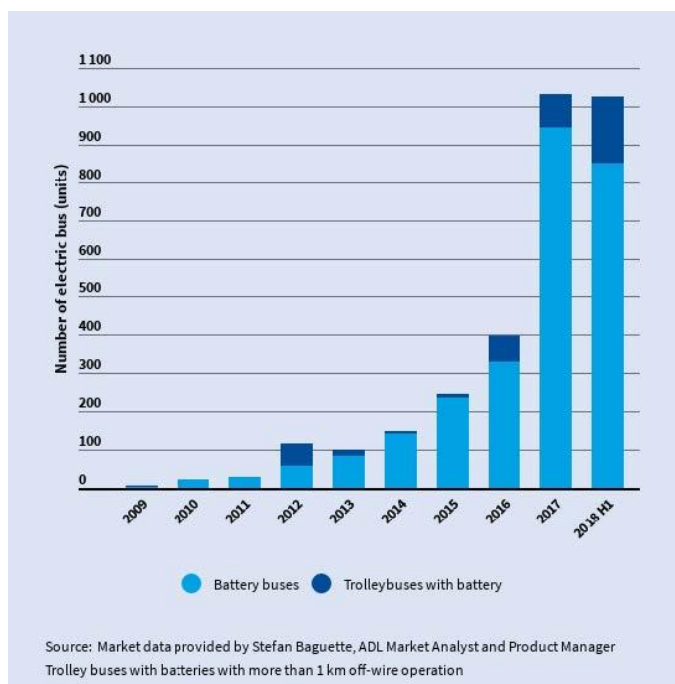


Figura 18: Número de autobuses eléctricos por año. (Transport & Environment, 2018)

La mayoría de las ciudades españolas ya cuenta con autobuses híbridos o eléctricos para el servicio de transporte urbano, algunos de los cuales analizaremos posteriormente.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

Según un estudio realizado por Transport & Environment, llevando a cabo un estudio del coste total del autobús, al incluir los costes sobre la salud y el clima (aportaciones de CE Delft) se llega al resultado de que el autobús eléctrico tiene un coste en €/km inferior al de los autobuses con motor diésel como se puede ver en la Figura 19.

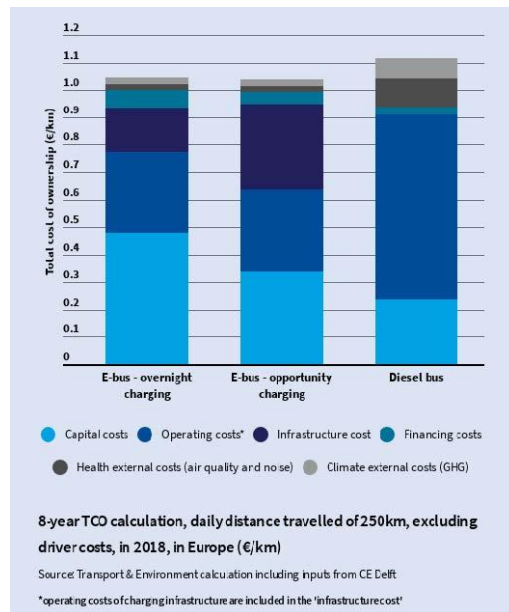


Figura 19: Comparación de TCO de autobuses eléctricos y diésel. (Transport & Environment, 2018)

Si la tendencia, como parece ser, es continuar con este tipo de tecnología, el propio estudio, estima que en 2020 el coste del autobús eléctrico sería incluso menor que indica la Figura 19.

### 2.3.1. Magnus Hybrid Scania Castrosua.

Se trata de un autobús urbano híbrido con chasis Scania y carrocería Castrosua (Figura 20) con propulsión híbrida, homologado en la Clase II y con el cumplimiento de la normativa escolar. La tecnología de funcionamiento en la que se basa es en la híbrida paralela, por lo que en cualquier momento podrá emplear tanto su motor diésel como el eléctrico.



Figura 20: Magnus Hybrid Scania Castrosua. (Castrosua, 2018)

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

El motor térmico es un Scania DC09 108 320 Euro 6, con tecnología SCR, 5 cilindros y 4 válvulas por cilindro, con 320 CV y un par máximo de 1690 Nm y el motor/generador eléctrico es también de Scania con 177 CV y proporciona un par de 1030 Nm.

La caja de cambios es una Scania GRS895 de 12 velocidades + 2 marcha atrás con accionamiento Scania Opticruise completamente automatizado.

La carrocería está compuesta por una estructura de acero galvanizado ST-52 que la hace bastante ligera.

El módulo de baterías híbridas está formado por celdas de Li-ion con un voltaje total de 650 V y una energía acumulable de 4.5 kWh. Dicho módulo va refrigerado y calentado por agua.

Dispone de cuatro modos de conducción híbrida:

- Automatic: El motor térmico se apaga o permanece a ralentí, de manera automática, en función de las necesidades de potencia en cada situación.
- Silent: El conductor puede apagar el motor térmico y circular en modo eléctrico hasta alcanzar velocidades de 45km/h.
- Charge: El conductor puede forzar la carga de la batería híbrida para preparar el modo Silent.
- Circulación maximizada en modo eléctrico y controlada automáticamente por el sistema, con un alcance de hasta 6 km en modo EV con la batería completamente cargada.

En el puesto del conductor se incorpora un indicador de nivel de carga de la batería híbrida, la función Start/Stop que le permite apagar el motor térmico cuando la necesidad de potencia es baja y también la función de diving tips, que son mensajes dirigidos al conductor que van a aparecer en una pantalla colocada en el salpicadero con el objetivo de poder optimizar la conducción ecológica.

Además del sistema de baterías híbrido, para el sistema eléctrico del autobús cuenta con baterías de 24 V y 230 Ah y protección mediante fusibles magnetotérmicos.

Respecto al frenado, este modelo cuenta con frenos de disco con gestión electrónica y control de desgaste de pastillas. Lleva circuitos independientes: delantero, trasero y parking. Incorpora EBS, ABS, ESP y control de tracción (TC). Además, permite una actuación combinada del freno de escape y freno eléctrico regenerativo, accionable mediante palanca retardador en columna de dirección o automático con pedal, con un par de frenado de 1000 Nm.

### 2.3.2. Iveco Urbanway Full Hybrid.

El modelo Urbanway Full Hybrid (Figura 21) es la evolución a un modelo con tecnología híbrida de los modelos de autobuses urbanos Urbanway de la marca Iveco. Este vehículo tiene la homologación de la Clase I y cuenta con una tecnología híbrida serie. Su uso está orientado para ciudades en las que el tráfico es lento y pesado, ya que gracias a las baterías en serie híbridas permite reducir el consumo hasta en un 40% en comparación con un autobús convencional.



*Figura 21: Iveco Urbanway Full Hybrid. (Iveco, 2017)*

La tecnología utilizada por la marca Iveco para este modelo es la híbrida serie, por lo que el autobús va a contar por una parte con un motor de combustión acoplado a un generador eléctrico, mediante el cual recargará las baterías con las que alimentará al motor eléctrico, que es el responsable de la tracción del vehículo. Por lo tanto, se puede decir que no hay conexión mecánica entre la tracción y la producción de energía eléctrica.

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema híbrido se incorporan dos unidades para realizar las operaciones de gestión de potencia (IGBT) que se ubican en el techo del autobús.

En cuanto al conjunto motor-generador y motor de tracción eléctrico, podemos distinguir un moderno y eficiente motor diésel, el Tector 7 Euro VI. Cuenta con seis cilindros en línea que proporcionan una potencia de 286 CV (210KW) y un par de 1000 Nm. Además, incorpora sistemas HI-SCR de tratamiento: catalizador de oxidación diésel, filtro de partículas, reducción catalítica selectiva de NOx mediante urea y limpieza del catalizador. Este moderno y ligero motor va a combinar la suavidad y las bajas emisiones gracias a la tecnología HI-SCR, que garantiza un comportamiento ambiental excelente, sin la necesidad de utilizar la tecnología EGR y sus problemas asociados.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

Acoplado (en línea) al motor diésel, tenemos un generador eléctrico con una potencia de 140 KW que a su vez sirve para realizar la función de encendido del motor térmico. Este generador no posee escobillas, lo que facilita su mantenimiento y para evitar los sobrecalentamientos va refrigerado por agua. El conjunto motor diésel - generador eléctrico va situado en la parte trasera izquierda del autobús.

El motor eléctrico, va a ser el responsable de la tracción del vehículo, con una potencia nominal de 120 KW y una potencia pico de 175 KW, aportando un par nominal de 2360 Nm que incluso en un momento pico puede llegar a dar 3300 Nm. Este motor, al igual que el generador, también va refrigerado por agua para evitar sobrecalentamientos.

El autobús está preparado para la recuperación de energía por medio del motor eléctrico durante las frenadas con ralentizador y ASR. Gracias a esto, el Urbanway híbrido ahorra combustible en cada aceleración por medio de la recuperación de energía eléctrica durante el frenado y el descenso.

Las baterías que utiliza el Urbanway son de Ion-Litio con nanofosfatos. El pack final tiene una tensión de 635 V (DC) y una potencia pico de 200 KW (11KWh). Van colocadas en el techo del autobús.

El Iveco Urbanway híbrido tiene un funcionamiento suave y silencioso, porque al acercarse o alejarse de las paradas funciona únicamente en modo eléctrico. Al mantener en estas zonas el motor térmico parado, consigue eliminar vibraciones y reducir los niveles de ruido a la mitad. Este modo de funcionamiento llamado "Arrive & Go" representado de manera esquemática en la Figura 22 es una función eléctrica que se activa automáticamente cuando la velocidad del autobús es menor de 20 Km/h, lo que permite también al vehículo operar en modo eléctrico a bajas velocidades, incluso sin parar.



Figura 22: Funcionamiento del sistema "Arrive & Go". (Iveco, 2017)

Además de las baterías híbridas el autobús también cuenta con su propia batería de 24 V y 225 Ah para activar los sistemas eléctricos, con protección en los circuitos mediante disyuntores térmicos o magnetotérmicos.

### 2.3.3. Volvo 7900 Híbrido.

El modelo Volvo 7900 Híbrido que vemos en la Figura 23 es uno de los modelos híbridos más recientes que existen, que permite ahorrar a los transportistas hasta un 39% con respecto a los modelos diésel. Este autobús cuenta con el exclusivo modelo híbrido paralelo de Volvo.



Figura 23: Volvo7900 Híbrido. (Volvo, 2016)

Este modelo cuenta con un motor térmico, el Volvo D5K 240 con cuatro cilindros en línea, inyección diésel common rail que proporciona una potencia de 240 CV y aporta un par de 918 Nm. Cumple con la normativa Euro 6 y para ello incorpora en el escape la regeneración automática del filtro de partículas diésel.

El motor eléctrico es el Volvo I-SAM con una potencia nominal de 120 KW y un par nominal de 800 Nm, que en momentos pico de demanda puede aportar hasta una potencia máxima de 150 KW y un par máximo de 1200 Nm.

Como estamos hablando de una tecnología híbrida paralela, en algunos momentos trabajan de manera conjunta ambos motores, lo que hace que aumenten las prestaciones de la tracción del vehículo como se ve en la curva par-rpm de la Figura 24.

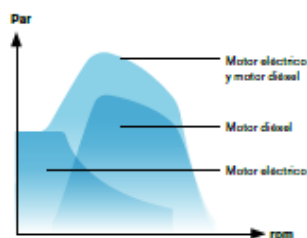


Figura 24: Curva Par – RPM del conjunto de tracción del Volvo 7900 Híbrido. (Volvo, 2016)

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

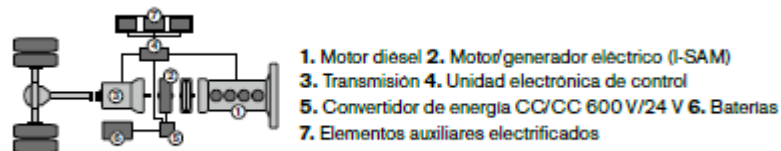
El autobús cuenta con una transmisión Volvo, que es el sistema de cambio automático de marchas Volvo I-Shift.

El sistema de almacenamiento de energía son baterías de ion-litio. También cuenta con el sistema Volvo I-Start que incluye dos conjuntos de baterías para aumentar el tiempo de actividad y aumentar el tiempo de la vida útil de la batería. Uno de los conjuntos se reserva exclusivamente para el arranque del motor y asegurar una batería totalmente cargada en todo momento, mientras que el otro conjunto se reserva para los demás sistemas eléctricos.

La tecnología híbrida de este autobús permite reducir los ruidos, sobre todo en las paradas, ya que cuando el vehículo baje la velocidad de 20 km/h, desconectará el motor térmico y operará únicamente en modo eléctrico. Esto permite que en las paradas no haya ni ruidos ni emisiones contaminantes. Finalmente, cuando el vehículo arranca de la parada, lo hace en modo eléctrico, hasta alcanzar una velocidad de 20 km/h a partir de la que encenderá de nuevo el motor diésel.

El sistema de frenos permite que el motor eléctrico funcione como ralentizador y recupere la energía de las frenadas.

El esquema de los principales componentes del sistema híbrido del Volvo 7900 H sería el representado en la Figura 25.



*Figura 25: principales componentes del sistema híbrido de Volvo. (Volvo, 2016)*

En este modelo, Volvo ha tratado de reducir el consumo de combustible, pues cuanto menos se consuma, menor será la contaminación que produzca el motor. Para ello, se ha reducido el peso de la carrocería, combinando acero y aluminio, lo que le aporta al vehículo un equilibrio perfecto de solidez y bajo peso. También se han instalado diversos sistemas auxiliares eléctricos, como las puertas, el aire acondicionado, la dirección asistida y los frenos. La electrificación de estos sistemas no solo permite un ahorro de combustible, si no que hace del Volvo 7900 Híbrido un autobús perfectamente operativo incluso en los momentos en los que solo funcione el motor eléctrico.



### 2.3.4. Volvo 7900 Híbrido Eléctrico.

El modelo Volvo 7900 Híbrido Eléctrico (Figura 26) consiste en avanzar un paso más en la electrificación de los autobuses, por ello, este modelo cuenta con una mayor autonomía eléctrica y para ello utiliza mejores baterías que se pueden recargar mediante un sistema de carga de oportunidad en la cabecera y el final de la línea urbana. Este híbrido paralelo de Volvo tiene una conducción igual de sencilla que cualquier otro modelo, ya que el conductor no tiene que ocuparse ni de la carga, ni de la gestión de la potencia híbrida. Además, cuenta con uno de los mejores entornos para el conductor, con una ergonomía de primer nivel.



Figura 26: Volvo 7900 Híbrido Eléctrico. (Volvo, 2016)

La línea motriz que emplea este modelo es una ampliación de la línea motriz probada y utilizada para el Volvo 7900 Híbrido. En este caso emplea un motor eléctrico más potente, un mayor almacenamiento de energía y el equipamiento necesario para la carga rápida en parada. Este sistema le permite al autobús recorrer en modo eléctrico una distancia de hasta 7 kilómetros entre cargas o el 70% de una ruta. Esto ofrece una experiencia cómoda y silenciosa tanto a los pasajeros que vayan a bordo del autobús, a las personas que estén esperando en las paradas, como a las personas que residan junto a esa ruta.

Este autobús cuenta con un motor Volvo con el cumplimiento de la norma Euro 6, el motor Volvo D5K 240 de cuatro cilindros en línea, inyección diésel common rail que proporciona una potencia de 240 CV y aporta un par de 918 Nm. Es el mismo motor empleado en el modelo Volvo 7900 Híbrido. La poca utilización del motor térmico de este vehículo, le convierte en uno de los autobuses más involucrado en la protección medioambiental, pues reduce el



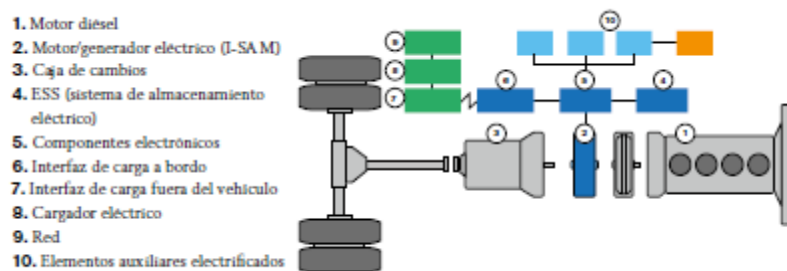
## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

consumo energético en un 60%, las emisiones de CO<sub>2</sub> una media de un 75% y las partículas en una proporción aún superior.

En cuanto al motor eléctrico, también es de Volvo, es el Volvo I-SAM que tiene una potencia máxima de 150 KW y un par máximo de 1200 Nm.

La transmisión del vehículo es el sistema de cambio de marchas automático Volvo I-Shift.

La distribución de los principales componentes del sistema híbrido eléctrico de Volvo los podemos ver detallados en la Figura 27.



*Figura 27: Principales componentes del sistema híbrido eléctrico de Volvo. (Volvo, 2016)*

En cuanto a las baterías, este modelo posee unas de Ion-Litio de gran capacidad. La recarga se realiza mediante una carga rápida en parada. El sistema está diseñado para formar parte de las paradas de autobús normales e incluye la interfaz completa entre la red eléctrica y el vehículo. El proceso de carga se inicia de manera automática cuando el autobús se detiene en la posición adecuada. Los contactos de carga se conectan al autobús en la parte superior, lo cual ofrece una óptima seguridad. Todos los contactos móviles están integrados en la columna del cargador, de manera que el autobús solo tiene unos contactos fijos, con lo que se consigue reducir al mínimo la necesidad de mantenimiento adicional y de paso, disminuir el peso de los autobuses. El proceso de carga en las cabeceras de la línea tardará tan solo seis minutos, por lo que podrá seguir cumpliendo sus horarios.

Al igual que otros modelos, el Volvo 7900 Híbrido Eléctrico es capaz de cargar la batería a partir de la recuperación de energía al frenar y al bajar pendientes. Para ello, el motor eléctrico viene preparado para funcionar en las frenadas como ralentizador.

En la Figura 28 podemos ver el principio híbrido eléctrico en el que se basa el Volvo 7900 HE además, podemos apreciar en qué momentos va a emplear únicamente el autobús su motor térmico.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

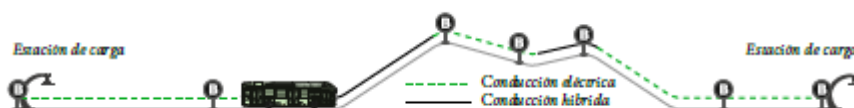


Figura 28: Principio Híbrido Eléctrico de Volvo. (Volvo, 2016)

Por último, en este modelo se ha implementado una nueva función de gestión de zonas, que se emplea sobre todo para aquellas ciudades en las que se han impuesto restricciones de tráfico por contaminación. La función de Gestión de Zonas ayuda al conductor a cumplir las normas, enviándole un recordatorio al aproximarse a una zona restringida. De este modo, se podrá incluso imponer la conducción eléctrica dentro de esas zonas.

### 2.3.5. Volvo 7900 Eléctrico.

El Volvo 7900 Eléctrico (Figura 29), es el primer modelo comercial 100% eléctrico que produce la marca Volvo. Este autobús, es una herramienta que ofrece la posibilidad de desarrollar su sistema de transporte público en ciudad con una amplia gama de innovadoras soluciones medioambientales. Puede circular por cualquier sitio, ya que en todo momento es limpio y silencioso, sin emisiones, lo que le permite atravesar zonas residenciales o la posibilidad de nuevas rutas nocturnas sin tener que preocuparse por despertar a los vecinos.



Figura 29: Modelo Volvo 7900 Eléctrico. (Volvo, 2016)

Puesto que este modelo es eléctrico, no tiene un motor térmico y es por ello, por lo que en ningún momento va a contaminar, ya que el único motor que lleva es el eléctrico, alimentado por las baterías.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

El motor eléctrico es de Volvo, con una potencia máxima de 160 KW y un par máximo de 400 Nm. Este vehículo también lleva una transmisión automática de marca Volvo, de dos velocidades.

En cuanto a las baterías, en este caso, se van a utilizar unas de Ion-Litio de alta capacidad (150, 200 y 250 KWh), con una tensión de 600 V.

El sistema de carga (Figura 30) se basa en realizar una carga rápida en parada, ya que ofrece mayores ventajas respecto a la carga nocturna. Al emplear este sistema, el tamaño del pack de baterías puede ser menor y más ligero, lo que se traduce en una mayor capacidad de transporte de pasajeros y, además al no tener que realizar una carga nocturna, el autobús puede alargar las horas de operación.

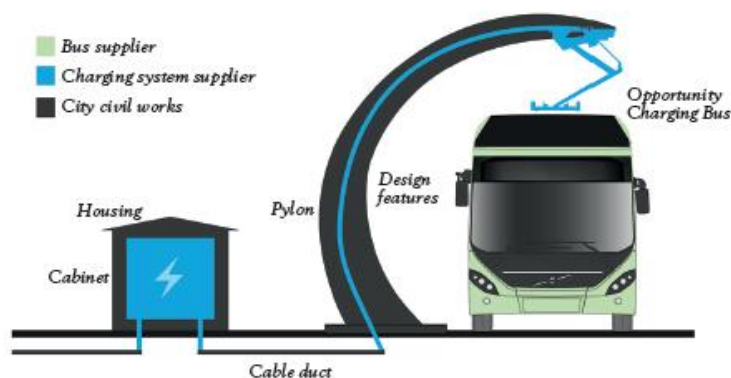


Figura 30: Cargador Volvo situado en una parada. (Volvo, 2016)

La carga se realiza de forma completamente automática. Cuando el autobús está situado en la posición adecuada, los conectores del cargador (el pantógrafo que se ve en la Figura 30) se unen al autobús por la parte superior, lo que ofrece una máxima seguridad. Todos los autobuses de una línea van a compartir las unidades de carga, lo que supone un mejor uso de las infraestructuras y una reducción en las inversiones.

En cuanto a la carga, para este modelo, se emplea un cargador con una potencia máxima de 300 KW, que permite al autobús hacer una recarga de baterías en un tiempo de 6 minutos.

Al igual que en el modelo anterior, todas las piezas móviles del sistema de carga están integradas en la propia estación, mientras que los contactos del autobús son fijos. De esta manera, se consigue reducir al mínimo las necesidades de mantenimiento en el autobús y disminuir el peso de este.

En cuanto al frenado, el motor eléctrico funciona como retarder, recuperando energía tanto en las frenadas como en las bajadas.

### 2.3.6. Irizar i3h e Irizar i4h

Irizar ofrece una amplia gama de productos y soluciones, entre lo que destaca la tecnología híbrida en autocares de clase II, la empleada en el i3h e i4h, para la realización de servicios urbanos e interurbanos.

En el caso de estos dos vehículos, la tecnología de hibridación desarrollada por Irizar es la tecnología híbrida paralela. Combina un motor de propulsión diésel o HVO (biodiesel) con un motor eléctrico que, en función de los requerimientos, pueden traccionar a la vez o por separado, consiguiendo de este modo una óptima eficiencia y rendimiento.

Tanto para los modelos Irizar i4h como para los i3h, el motor es un Cummins de 6,7 litros, con una potencia de 300 CV que cumple con la normativa Euro 6-OBDC, en vigor desde el primero de enero de 2017. El paquete de hibridación es el modelo Eaton, con una caja de cambios robotizada Eaton Fuller de seis velocidades, con motor eléctrico Edrive que suministra una potencia entre 44 y 65 KW y va refrigerado por agua para evitar sobrecalentamiento. Las baterías de estos modelos son de Ion-Litio de MGL.

El Irizar i4h (Figura 31) es el primer autocar híbrido paralelo de la clase II. Está disponible en versiones de 10,7m hasta 13m en dos ejes. Es un autocar de cercanías y suburbano de corto recorrido que también es apto para el transporte escolar.



*Figura 31: Irizar i4h Híbrido. (Irizar, 2017)*

Este modelo se convierte en el primer vehículo híbrido de cercanías, para líneas de corto y medio recorrido. Además, también cuenta con piso alto y maletero, lo que le convierte en un vehículo muy útil.

El Irizar i3h low entry, como el que podemos ver en la Figura 32, es un vehículo suburbano que permite ajustar la capacidad de pasajeros a las necesidades del cliente.



Figura 32: Irizar i3h Híbrido. (Irizar, 2017)

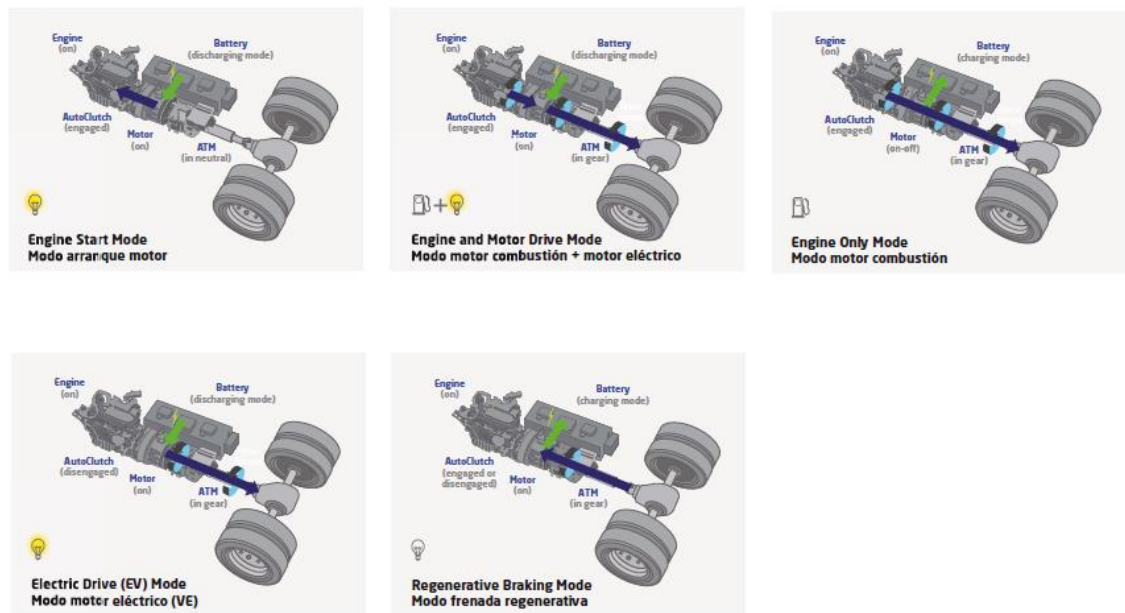
El paquete híbrido de estos autobuses dispone de 5 modos diferentes de funcionamiento, dependiendo de qué motor sea el que está activo:

- Motor de arranque: el motor eléctrico entra en funcionamiento para hacer de motor de arranque del motor térmico.
- Modo motor de combustión y motor eléctrico: se activa en caso de gran demanda de potencia
- Modo motor de combustión solo: permite recargar las baterías del autobús.
- Modo eléctrico: solamente funciona el motor eléctrico y el motor de combustión está apagado. En estos casos, el vehículo al funcionar de manera eléctrica no emite nada de contaminación.
- Frenado regenerativo: permite recuperar energía en las bajadas o las frenadas y gracias al motor, la convertirá en electricidad que vuelve a ser almacenada en las baterías.

En la Figura 33 podemos ver la representación gráfica de todos estos modos de funcionamiento de los dos motores y, además, por medio de flechas se indica hacia dónde va la dirección del flujo de energía que hay en cada momento.

Con la flecha azul se representa la energía mecánica que va de los motores a las ruedas y con la flecha verde la energía eléctrica que sale de las baterías al motor eléctrico o la que en algunos momentos recupera el motor y devuelve a las baterías.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS



*Figura 33: Modos de funcionamiento del paquete híbrido. (Irizar, 2017)*

La cadena cinemática de ambos autobuses es la misma, únicamente hay una variación dependiendo del tamaño del autobús. Esto lo podemos ver en la Figura 34, en la que se distingue entre el tamaño de 10,7 m a 13 m con el tamaño de 15 m, que tendrá unos motores más potentes y un tercer eje.

	De 10,7 m a 13m	/	15m
Motor de combustión	Cummins ISB6.7L 300H (300 cv /1166 Nm versión híbrida)	/	Cummins 8.9L OBD C (370 cv /1600 Nm versión híbrida)
Motor eléctrico + Inversor	Edrive (65 kW)	/	Irizar (110 kW)
Caja de cambios	Caja robotizada de seis velocidades Eaton Fuller	/	-
Embrague	Eaton, disco seco	/	-
Baterías	Capacidad de almacenaje de 5,5 kWh (346 V /16 Ah)	/	Capacidad de almacenaje de 5 kWh (346 V /16 Ah)
Tecnología de Ion litio			
Radiadores	Equipo Nissens (radiadores Nissens/electroventiladores EMP)		
Eje delantero	ZF RL82 (2+2 amortiguadores y balonas)		
Eje trasero	ZF A132 (4+4 amortiguadores y balonas)		
Tercer eje	-	/	ZF RL82 (2+2 amortiguadores y balonas)
Frenos	Sistema neumático Wabco Discos ventilados Knorr-Bremse		
Control electrónico del sistema de frenos	EBS3		
Suspensión	Amortiguadores Konil + Bombonas neumáticas Vibracoustic		
Control electrónico de la suspensión	ECAS IV		
Llantas y neumáticos	Llantas de aluminio Alcoa 8,25x22,5 Neumáticos 295/80 R22,5		

*Figura 34: Cadena cinemática. (Irizar, 2017)*

Estos autobuses híbridos, están diseñados para ser capaces de disminuir el consumo de carburante en un 20% a lo largo de un año, con lo que ahorran en torno a 6000 litros de gasoil. Esta reducción en el gasto de combustible afecta



## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

también de manera directa a las emisiones de CO<sub>2</sub> que se emiten, llegando a reducir incluso cerca de 170000 gr/año de CO<sub>2</sub>.

La gama híbrida de Irizar también pone el acento en la reducción de consumo mediante el empleo de tecnologías energéticas más novedosas, como el sistema EcoAssist de Datik.

Gracias a toda esta información inteligente se puede planear mejor la formación de los conductores, la compra de vehículos y las rutas a operar, reduciendo así la energía utilizada y mejorando la competitividad del servicio.

La función de EcoAssist se basa en almacenar datos del sistema que permiten reducir energía, ayudando a identificar tramos de rutas y proporcionando más consignas a los conductores. Para la tarea del control de energía, se toman datos concretos del gasto exacto de energía por trayecto que permiten hacer una valoración a futuro, creando informes automáticos que identifican las áreas de mejora para la reducción de consumos. El gestor incluye una solución para el seguimiento de las horas de conducción que evite riesgos de fatiga y penalizaciones por infracciones. Además, el iPanel permite configurar la velocidad por zonas.

### 2.3.7. Modelos Irizar ie bus.

Los modelos ie bus de Irizar son los autobuses 100% eléctricos de esta marca. El detalle de dichos modelos en profundidad se va a realizar en el capítulo 3 titulado “Autobuses eléctricos 100%”.

### 2.3.8. Mercedes Citaro Híbrido.

El Citaro hybrid (Figura 35) es un autobús desarrollado por Mercedes especialmente para las exigencias del servicio de línea en aglomeraciones urbanas con el objetivo de reducir el consumo de combustible. El motor de combustión está asistido por la fuerza de propulsión adicional de un módulo híbrido compacto y de alta eficiencia. Para este modelo Mercedes ha apostado por la tecnología híbrida en paralelo.



Figura 35: Mercedes Citaro Híbrido. (Mercedes-Benz, 2018)

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

El motor de combustión que emplean gran parte de los autobuses Citaro es uno de la serie 936 de 7,7 litros de cilindrada. Cumple con la normativa Euro 6 y este tipo de vehículo suele emplear como combustible el diésel o también en una versión más ecológica aún se emplea un motor de gas.

En el funcionamiento del sistema motor del autobús podemos distinguir principalmente la máquina eléctrica, que se inserta entre el motor de combustión y la entrada de la caja de cambios automática ZF Ecolife de seis desarrollos. Con forma de disco robusto, proporciona un par máximo de 220 Nm y una potencia de 14 kW que sirven de apoyo al propulsor principal, sobre todo en las fases de aceleración y ralentí.

El rendimiento total que se consigue con este motor no difiere del que se obtiene en la versión que solamente emplea motor de combustión ya que el motor eléctrico solamente es un complemento del motor de combustión. Es decir, se consigue el mismo rendimiento final, pero de manera más ecológica y económica cuando se emplea el modo híbrido.



Figura 36: Esquema Mercedes Citaro Híbrido. (Mercedes-Benz, 2018)

Analizando la Figura 36 en la que se muestra un esquema de colocación de todos los sistemas híbridos del autobús, tenemos:

- **Motor Eléctrico (3):** La combinación de un motor de combustión para la carga básica y un motor eléctrico para cargas máximas permite una alta eficiencia energética de la propulsión durante la marcha. Los componentes diseñados para cargas muy cambiantes son de construcción muy robusta. Su larga vida útil es comparable a la de los motores de combustión normales.
- **Eje de baja fricción (4):** Otro factor de la rentabilidad superior del Citaro hybrid es el nuevo eje de baja fricción y eficacia optimizada: por una parte,



## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

por el ahorro de combustible que aporta su baja resistencia de giro, pero también por otra parte, por sus bajas necesidades de servicio y un intervalo de mantenimiento prolongado de los 180 000 a los 240 000 km.

- Intelligent eco steering (5): La nueva dirección electrohidráulica intelligent eco steering del nuevo Citaro hybrid de serie contribuye a una mayor eficiencia energética. Funciona de forma optimizada a demanda y contribuye también a reducir el consumo de combustible en la línea urbana.

Otro elemento fundamental para el control del motor eléctrico es el inversor (Figura 37), en el que la electrónica es capaz de transformar la energía eléctrica almacenada en la batería como corriente continua en corriente alterna para mover el motor eléctrico. Para garantizar una alta seguridad en el servicio el inversor tiene una refrigeración separada por agua.



Figura 37: Inversor de corriente del Mercedes Citaro Híbrido. (Mercedes-Benz, 2018)

Este modelo también emplea para almacenar energía los supercaps o supercondensadores como los de la Figura 38. Gracias a la alta densidad de potencia que poseen estos condensadores permiten almacenar la energía eléctrica consumida y generada por el motor, de forma muy compacta y segura. Su diseño se ha concebido para realizar un cambio rápido y continuo entre carga y descarga típico del ciclo del autobús urbano. Una ventaja de este sistema es que poseen una larga vida útil.

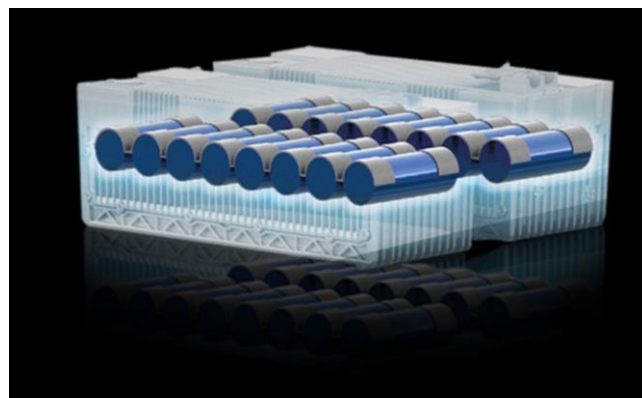


Figura 38: Supercaps del Mercedes Citaro Híbrido. (Mercedes-Benz, 2018)

### 2.3.9. Mercedes eCitaro Eléctrico.

El Mercedes eCitaro (Figura 39) es modelo es el primer autobús 100% eléctrico fabricado por la marca Mercedes.



*Figura 39: Autobus Mercedes eCitaro 100% eléctrico. (Mercedes-Benz, 2018)*

En este modelo, a diferencia del modelo tradicional que emplea un motor de combustión, utiliza dos motores eléctricos que se pueden ubicar con una amplia libertad en el vehículo. Mercedes-Benz para este modelo ha vuelto a utilizar el eje propulsor ZF AVE 130 con los motores eléctricos situados cerca de los cubos de rueda. En este eje eléctrico de pórtico, cada rueda cuenta con un motor asíncrono refrigerado por agua. Cada motor tiene una potencia de 125 KW, lo que hace una potencia total de 250 KW. El par motor que se obtiene es de  $2 \times 485 \text{ Nm}$ , mientras que la relación de desmultiplicación que se emplea para este vehículo hace que el par obtenido sea de  $2 \times 11000 \text{ Nm}$  en las ruedas.

En el espacio constructivo liberado por el motor de combustión interna y la caja de cambios se aprovecha para alojar los módulos de baterías.

En la Figura 40 podemos ver la colocación de los de los distintos componentes del autobús.

- 1- Módulo de baterías en el techo.
- 2- Eje delantero de 8 toneladas.
- 3- Sistema de refrigeración de baterías.
- 4- Sistema de refrigeración de alta temperatura.
- 5- Módulo de baterías en la parte trasera.
- 6- Eje de pórtico con propulsión trasera.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

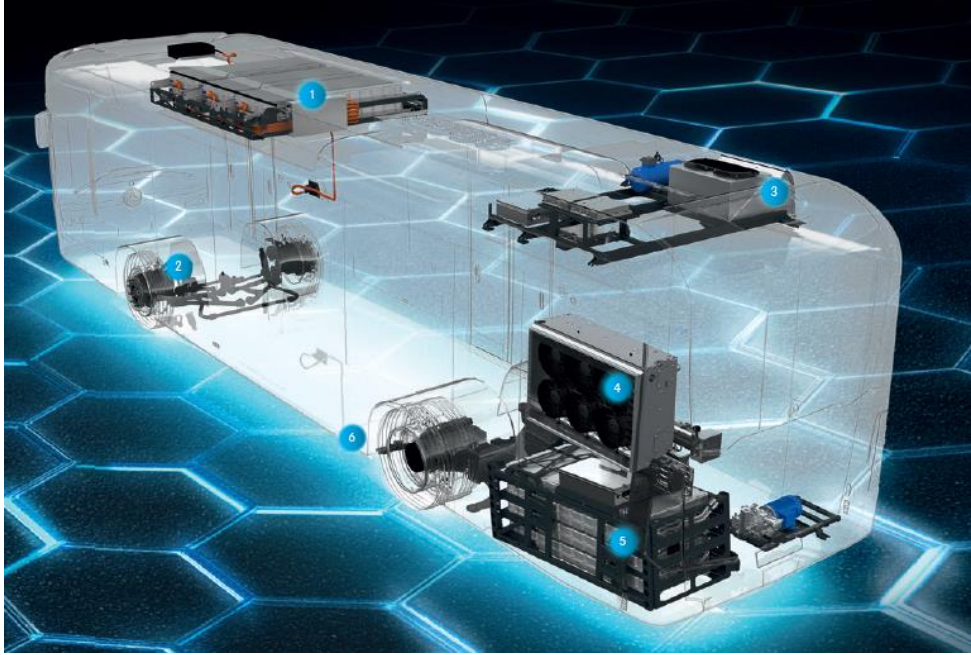


Figura 40: Disposición de los componentes del autobús. (Mercedes-Benz, 2018)

En cuanto al módulo de baterías, está dividido en dos partes, una colocada en el techo del autobús (1) que se puede ver más en detalle en la Figura 41 y otro módulo colocado en el hueco en el que iba el motor de combustión y la caja de cambios (5). La tecnología de las baterías es de Ion-Litio. Cada módulo de celdas está compuesto por 12 células de batería prismáticas con una capacidad de 37 Ah cada una. Los módulos de batería están a su vez conformados por 15 módulos de celda con una unidad de control para supervisar y equilibrar la carga.

En la parte trasera el autobús lleva 4 módulos de batería y en el techo puede llevar colocados hasta 6 módulos.

La capacidad de cada módulo de batería es de 25 KWh, lo que hace una capacidad total aproximadamente de 243 KWh.

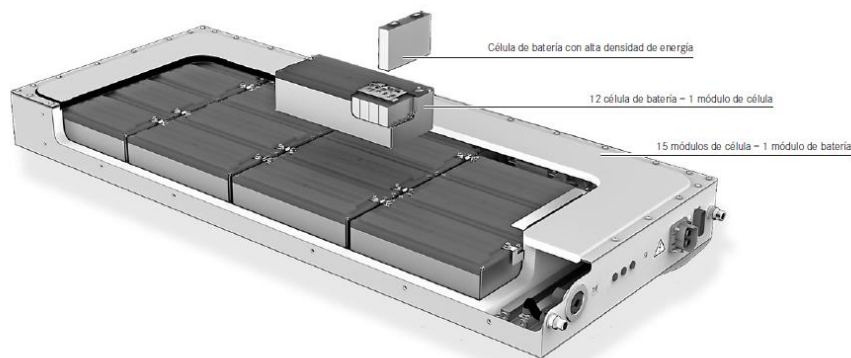


Figura 41: Módulos de baterías. (Mercedes-Benz)

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

Para la carga de las baterías, existen dos posibilidades que son el conector de carga (Figura 42), en este caso el conector empleado es el Combo-2 que permite potencias de carga de hasta 150 KW e intensidades de 400 A. Va colocado en el lateral derecho, encima de la rueda delantera.



*Figura 42: Conector de carga Combo-2. (Mercedes-Benz, 2018)*

La otra posibilidad de carga que se incluye es la carga por pantógrafo, cuyo principal objetivo es prolongar la autonomía del vehículo, por medio de las cargas de oportunidad que el autobús recibe en las paradas.

Mercedes también ha incorporado a este autobús el sistema Eco Driver Feedback (EDF) que permite informar al conductor en todo momento de la forma en que conduce. El objetivo es aprovechar todo el potencial de ahorro de combustible que ofrece el vehículo. Para ello, también permite la recuperación de energía mientras el autobús está frenando.

Un problema muy común en los autobuses 100% eléctricos es el de la climatización del vehículo, ya que los motores eléctricos no emiten el suficiente calor aprovechable para calentar. Por ello es necesario emplear bombas de calor y calefactores eléctricos que hacen que el consumo de energía en estos momentos se pueda llegar a duplicar, afectando directamente a la autonomía del vehículo. Para ello Mercedes ha empleado para la climatización interior bombas de calor de bajo consumo. Esto, sumado a que también es posible preacondicionar el espacio interior a la temperatura deseada durante la carga nocturna del autobús, hace que la demanda de energía para calefacción, ventilación y climatización sea en el eCitaro un 40 por ciento menor que en los actuales Mercedes Citaro con motor de combustión.



### 2.3.10. MAN Lion's City Híbrido.

El nuevo autobús Man Lion's City Híbrido que podemos ver en la Figura 43 es uno de los últimos avances tecnológicos de la compañía alemana.



*Figura 43: MAN Lions's City Híbrido. (MAN Truck & Bus SE, 2018)*

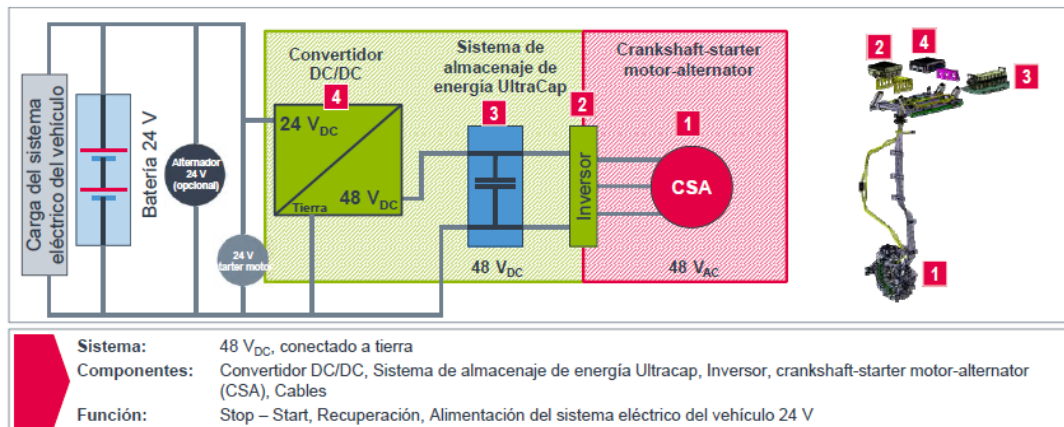
La solución que ha propuesto Man para el conflicto interno del motor se basa en disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> a cambio de aumentar las de NO<sub>x</sub>. Para ello se conduce al motor a un rango de combustión óptima con el que se consigue un consumo más bajo y una eficiencia más elevada. El gas del escape contiene de esta manera cantidades más pequeñas de partículas y dióxido de carbono, pero mayores proporciones de óxidos de nitrógeno en bruto. Para resolver este conflicto y garantizar el cumplimiento de la normativa Euro 6d, Man ha equipado el motor D156 con un postratamiento de gases de escape altamente eficiente, en el que las emisiones de NO<sub>x</sub> son neutralizadas por el catalizador SCR (Reducción Catalítica Selectiva) y las partículas se eliminan casi por completo con filtro de regeneración continua MAN CTR.

Además de estas mejoras en el motor para reducir la contaminación, Man también ofrece la posibilidad del pack MAN Efficient Hybrid que consiste en añadir un motor/alternador (CSA) en el cigüeñal del motor. El CSA (Crankshaft-starter motor-alternador) es una máquina eléctrica que convierte la energía mecánica proveniente de la recuperación de energía en las frenadas en energía eléctrica y el mismo CSA también convierte la energía eléctrica almacenada en energía mecánica.

El motor-alternador (CSA) empleado por MAN es una máquina de reluctancia (con un rotor compuesto de láminas apiladas) refrigerada por aire, de conmutación trifásica. Es capaz de proporcionar una potencia nominal de 8 KW, pudiendo llegar en los momentos pico hasta 12 KW. El par que entrega el motor en el arranque es de 520 Nm.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

En la Figura 44 podemos ver de manera detallada el sistema MAN Efficient Hybrid que incorpora de manera opcional el nuevo Man Lion's City.

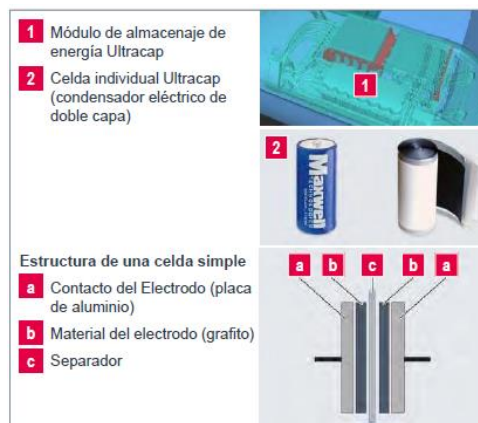


*Figura 44: Sistema MAN Efficient Hybrid. (MAN Truck & Bus SE, 2018)*

Este sistema, emplea también un modo de almacenamiento por medio de Ultracap (supercondensadores, Figura 45) con una tensión de 48 V<sub>DC</sub>. El módulo de Ultracap contiene múltiples celdas individuales (condensadores de alta capacidad) como sistema de almacenaje de energía. Este almacenamiento se hace electrostáticamente, es decir, sin procesos químicos. El funcionamiento consiste en recoger una gran cantidad de energía rápidamente y después volverla a liberar de manera más rápida que las baterías.

Las ventajas de este tipo de almacenamiento consisten en ser más ligeros y compactos que las baterías con una entrega de energía parecida, una vida útil más larga y la posibilidad de emplear el sistema stop-start (con la energía almacenada en ellos se emplea para arrancar el motor).

Los supercondensadores que emplea este vehículo tienen una capacidad de acumulación de energía de 40 Wh. La energía que se recupera durante la fase de deceleración se acumula en los Ultracap.



*Figura 45: Módulo de Ultracap. (MAN Truck & Bus SE, 2018)*

El funcionamiento del sistema MAN Efficient Hybrid con función stop-start y recuperación de energía consiste en:

- Durante la deceleración, el CSA actúa como alternador para generar electricidad que se almacena en el módulo Ultracap (48 V<sub>DC</sub>).
- Cuando el vehículo está en la parada, se para el motor de combustión interna y se arranca inmediatamente antes de que el vehículo inicie la marcha de nuevo. Durante la parada, la alimentación del sistema eléctrico del vehículo es provista por el módulo de Ultracap a través del convertidor DC/DC (48 V<sub>DC</sub>/24 V<sub>DC</sub>). La energía para arrancar el motor de combustión interna, el cual se arranca mediante el CSA funcionando como motor (48 V<sub>AC</sub>), también es suministrada por el sistema de almacenaje Ultracap mediante el inversor (48 V<sub>DC</sub>/48 V<sub>AC</sub>).
- No se genera energía eléctrica para el sistema de 24 V<sub>DC</sub> del vehículo cuando se acelera o se circula a velocidad constante, reduciendo así la carga en el motor de combustión interna. La energía almacenada en el sistema de Ultracap se utiliza para alimentar el sistema eléctrico del vehículo.

En la Figura 46 se muestra un ejemplo del funcionamiento del sistema híbrido del autobús mientras se le somete a un ciclo de conducción urbano.

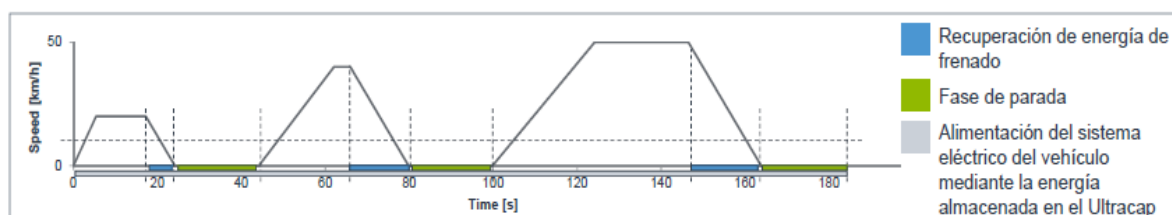


Figura 46: Ejemplo de conducción en tráfico urbano (SORT 2). (MAN Truck & Bus SE, 2018)

### 2.3.11. MAN Lion's City Eléctrico.

Este autobús, que podemos ver en la Figura 47, es el primer modelo 100% eléctrico de la compañía alemana. El principal objetivo de este modelo es conseguir un vehículo con cero emisiones.

La propulsión eléctrica está compuesta por dos motores síncronos colocados lo más cerca posible de las ruedas. Cada motor es capaz de proporcionar 160 KW de potencia, pudiendo dar hasta 270 KW de potencia máxima.

El sistema de almacenamiento de energía está compuesto por baterías de ion-litio. Es un sistema de batería modular compuesto con 6 (autobús rígido) u 8 baterías (autobús articulado). Cada módulo de batería está a su vez compuesto por 30 celdas. El sistema de batería va colocado en el techo del autobús, lo que implica una mayor seguridad frente a impactos y más espacio en el compartimento interior. La tecnología que se emplea en la construcción de las

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

celdas garantiza que tengan una autonomía fiable durante toda la vida útil de las baterías.

La capacidad de la batería en el autobús de 12 m es de 480 KWh (6 baterías) y en el de 18 m de 640 KWh (8 baterías). Se consigue una autonomía del vehículo de 200 km, pudiendo llegar en condiciones favorables a los 270 km.



*Figura 47: MAN Lion's City Eléctrico. (MAN Truck & Bus AG)*

La carga del sistema se realiza mediante un conector Combo 2 (CCS) con una capacidad de carga de hasta 150 kW. Gracias a la carga nocturna y a la carga en estación, el autobús no está ligado a ninguna estación de carga intermedia. De esta manera se obtiene la máxima autonomía gracias a un proceso de carga inteligente.

Por otra parte, en cuanto a la climatización y calefacción del autobús, está equipado con un radiador de alto voltaje con potencia de calefacción de 30 KW, aunque de manera opcional también se puede incluir un radiador adicional de diésel o etanol. En cuanto al sistema de aire acondicionado se emplea una bomba de calor.

### **2.3.12. Scania Citywide Suburban Hybrid.**

Este modelo, el Scania Citywide Hybrid (Figura 48), cuenta con un chasis híbrido (Chasis LE Híbrido) y pertenece a los vehículos de clase II. Está fabricado por Scania.

Se trata de un modelo de autobús con sistema de hibridación en paralelo, es decir, que el motor eléctrico en este caso va a estar colocado entre el motor de combustión y la caja de cambios, como se puede ver en la Figura 50.

En cuanto al motor de combustión, se trata de un motor Scania que puede variar entre los 250 y los 320 caballos, dependiendo el modelo elegido. Respectivamente, el par que aporta dicho motor está en torno a los 1600 Nm. El motor de combustión cuenta con un sistema de SCR (reducción catalítica



selectiva) gracias al cual cumple con la normativa europea de contaminación, Euro 6.



*Figura 48: Scania Citywide Híbrido. (Scania, 2017)*

Por la parte híbrida, este Scania cuenta con una máquina eléctrica síncrona, de magnetización permanente y con alimentación trifásica que es capaz de proporcionar una potencia máxima de 130 KW (177CV) y aporta un par de 1030 Nm.

El almacenamiento de energía se realiza en un módulo de baterías ubicado en el techo del vehículo. Se trata de baterías basadas en la tecnología de iones de litio. La tensión nominal de módulo es de 650 V aproximadamente, la potencia máxima de 90 KW y la capacidad de estas de 4,8 KWh. El módulo está compuesto por dos unidades de 198 celdas unidas en paralelo. La temperatura estable de las baterías está en torno a los 30°C – 45°C, lo que va a hacer necesario que se instale un circuito de refrigeración del módulo completo.

La vida media de estas baterías va a estar en torno a los 5 – 7 años y la carga óptima para las mismas estará entre el 25% y el 50%, es decir, que se utilicen con una capacidad de aproximadamente 1,2 KWh.

Como el almacenamiento de la batería se realiza en corriente continua, es necesario un inversor para transformarla en alterna. En este caso, el inversor empleado es capaz de transformar de CC a 650 V a corriente alterna (AC) trifásica de 400 V, que es la necesaria para la alimentación del motor. El inversor, está preparado para hacer la transformación contraria, es decir, de 400 V AC a 650 V CC, en el caso de la recuperación de energía mediante la frenada.

El propio inversor, también va a estar refrigerado por agua y además de la función de invertir la corriente, va a ser el encargado de realizar el control y diagnóstico de la máquina eléctrica.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

Para evitar tener que llevar baterías de 24 V y la necesidad de un alternador acoplado al motor, Scania ha decidido dotar a este modelo de un convertidor de corriente continua, que convierte de 650 V CC a 24 V CC. La salida de la corriente puede alcanzar un máximo de 190 A.

Al igual que el inversor, el convertidor también necesita un sistema de refrigeración/ calefacción para que pueda trabajar en su zona de temperaturas estables.

En la Figura 49, podemos ver cómo están distribuidos todos los elementos que conforman la cadena cinemática del autobús.



*Figura 49: Cadena Cinemática Scania Citywide Híbrido. (Scania, 2017)*

El Scania Citywide Híbrido, está equipado con un sistema start-stop, que tiene una importante influencia en la disminución del ruido en ralentí. Este sistema está combinado con el Modo 0 Emisiones en Circulación (EV), que se puede activar mediante una tecla.

Cuando el autobús está trabajando en el modo eléctrico (EV), necesita tener la batería cargada, 4.5 KW, que le conceden una autonomía de aproximadamente 6 kilómetros. La velocidad máxima que puede alcanzar en este momento el autobús es de 45 km/h. Una vez acabada la carga de la batería, se desactiva la tecla del modo eléctrico y las baterías comienzan a cargarse, en un tiempo medio entre 5 y 15 minutos, aunque el tiempo medio de carga de la batería completamente descargada es de 15 a 30 minutos.

Al llegar a las paradas, el frenado eléctrico regenerativo, aporta una mayor suavidad en la frenada, además de disminuir las revoluciones del motor. Por

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

otra parte, el arranque del autobús en las paradas también se realiza en modo eléctrico.

En la Figura 50 se visualiza el flujo de energía en el módulo híbrido, cuando se combina una aceleración gracias a los dos motores (térmico y eléctrico).

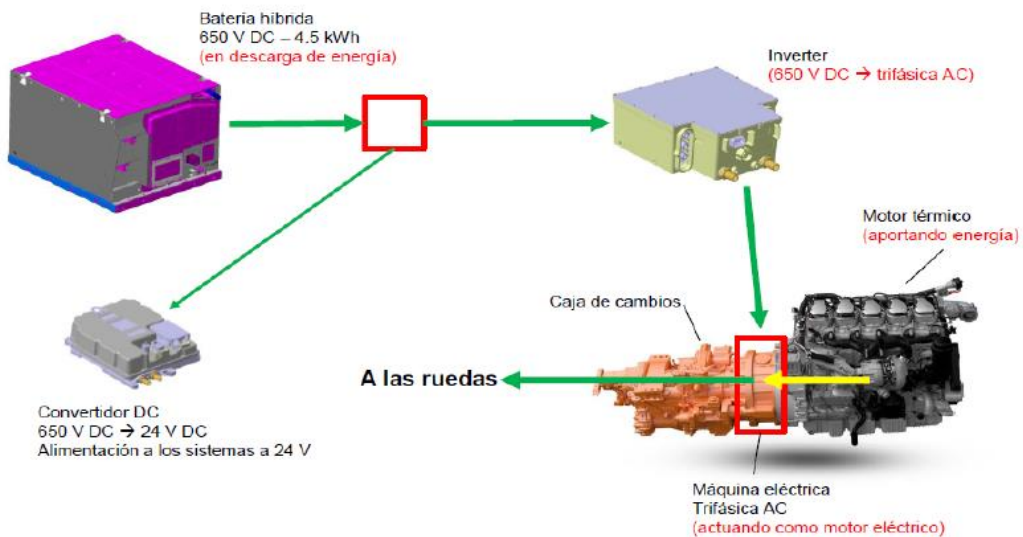


Figura 50: Flujo de energía en el módulo híbrido. (Scania, 2017)

### 2.3.13. Autobús Proterra Catalyst.

El Catalyst E2 max (Figura 51), se trata de un autobús 100% eléctrico de la marca estadounidense Proterra, que actualmente destaca por haber sido el primer modelo 100% eléctrico capaz de recorrer una distancia de 1770 kilómetros con una única carga.



Figura 51: Autobús Proterra Catalyst E2 max. (hibridosyelectricos.com, 2017)

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

La ficha de características de correspondiente al modelo Catalyst E2 max se muestra en la Figura 52, y en concreto el modelo con mayores prestaciones (E2 max) es la última columna de la derecha.

Description	FC Series		XR Series		E2 Series			
	FC	FC+	XR	XR+	E2	E2+	E2 max	
<b>CATALYST VEHICLE WITH DUOPOWER™ DRIVETRAIN</b>								
Total Energy	kWh	94	126	220	330	440	550	660
Operating Efficiency*	kWh/mile	1.21-2.02	1.28-2.08	1.15-1.95	1.21-2.02	1.28-2.08	1.29-2.10	1.35-2.16
	MPGe	18.7-31.0	18.1-29.5	19.3-32.7	18.7-31.0	18.1-29.5	18.0-29.1	17.5-27.8
Nominal Range	Miles; Total energy/ projected Altoona efficiency	68	87	164	238	305	367	426
Operating Range*	Miles; Usable energy/ Operating efficiency	37-62	49-79	90-153	131-218	169-276	210-341	245-390
Top Speed (Proterra-governed)	mph (per tire rating)	65	65	65	65	65	65	65
Acceleration (at SLW, seconds)	0 to 20 mph	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
	20 to 50 mph	15.5	15.5	24.1	15.5	15.5	15.5	15.5
Gradability (top speed at % grade, at SLW, mph)	5%	54	59	41	54	59	57	56
	10%	34	40	24	34	40	37	34
	15%	23	27	16	23	27	26	25
Max Grade (at SLW)		27%	26%	28%	27%	26%	25%	23%
Horsepower	Peak	360	510	240	360	510	510	510
	Intermediate	360	426	240	360	426	426	426
	Continuous	225	257	150	225	257	257	257
Motor	Dual independent 190 kW motors	•	•	•	•	•	•	•
Gearbox	2-speed auto-shift EV gearbox	•	•	•	•	•	•	•
Curb Weight	lbs	28,324	29,900	26,750	28,324	29,900	31,574	33,150
Max Gross Vehicle Weight Rating	lbs	43,650	43,650	43,650	43,650	43,650	43,650	43,650

Figura 52: Tabla de características del Proterra Catalyst. (Proterra)

El autobús, cuenta con dos motores independientes, de 190 KW cada uno. Alcanza una velocidad máxima de 65 mph (104.61 Km/h) y tiene una autonomía de 426 millas (685.58 Km), aunque como se ha citado anteriormente, este modelo ha sido capaz de alcanzar una autonomía de 1770 kilómetros.

Respecto a las baterías, tienen una capacidad total de 660 kWh y para la recarga de estas, existen distintos tipos de cargadores que se pueden ver en la Figura 53. El tiempo medio de carga completa es de aproximadamente 4.5 horas.

Description	FC Series		XR Series		E2 Series			
	FC	FC+	XR	XR+	E2	E2+	E2 max	
<b>CHARGING</b>								
Max Plug-in Charge Rate at 200A (kW)	Standard J1772-CCS plug-in chargers	70	130	70	130	130	130	130
Max Overhead Charge Rate at 500A (kW)	Standard J3105 overhead fast-chargers	163	325	163	325	325	325	325
Overhead Charging	Miles replenished per 10 min**	19	38	9	13	17	20	24
	Fastest time Empty to Full***	2.4 hrs.	2.4 hrs.	2.4 hrs.	2.4 hrs.	2.4 hrs.	2.4 hrs.	2.4 hrs.
Plug-in Charging	Est. time Empty to Full***	<1 hr.	<1 hr.	< 2.5 hrs.	< 2.5 hrs.	< 3 hrs.	< 3.5 hrs.	< 4.5 hrs.

Figura 53: Carga del autobús Proterra. (Proterra)



### 2.4. Últimas novedades.

Uno de los últimos avances en la movilidad eléctrica ha tenido lugar en Alemania, con la puesta en funcionamiento de la primera autopista eléctrica para camiones (Figura 54).



*Figura 54: Primera autopista eléctrica en Alemania. (El País, 2019)*

La instalación se ha llevado a cabo en un tramo de 10 kilómetros de la autopista A5, en la zona que transcurre al sur de la ciudad de Frankfurt.

El sistema ha sido diseñado entre la Universidad de Darmstadt y Siemens. Consiste en electrificar un carril, por medio de una doble catenaria que permite a los camiones alimentarse a través de ella por medio de un pantógrafo, de manera muy similar a la alimentación de un tren.

Actualmente solo pueden utilizar esta infraestructura los camiones fabricados por la marca Scania, ya que son los únicos que cuentan con esta tecnología en pruebas.

En cuanto al camión, llevan un sistema de tracción híbrido, que emplea un motor diésel y un motor eléctrico. El motor eléctrico está alimentado por unas baterías, cuya recarga pretende hacerse gracias a la red electrificada que discurre por la carretera, de tal manera, que el camión al conectarse a la red apague el motor de combustión y comience a circular en modo eléctrico.

Con este avance, se pretende reducir gran parte de las emisiones de CO<sub>2</sub> que se producen por parte del sector del transporte.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

Además de este proyecto, anteriormente ya ha existido alguno similar en Suecia.

En la Figura 55 se muestra un detalle del pantógrafo rozando en la catenaria. Como se puede observar, a diferencia de la catenaria del tren, ésta necesita ser doble, ya que el retorno de corriente no se puede realizar por tierra.



*Figura 55: Detalle pantógrafo. (El País, 2019)*

### 3. Autobuses eléctricos 100%.

Las nuevas generaciones de autobuses urbanos incorporan innovadoras tecnologías 100% eléctricas con cero emisiones y ofrecen una solución de movilidad urbana sostenible y eficiente, a la vez que se da respuesta a las necesidades actuales y futuras del transporte en la ciudad y los problemas asociados al tráfico y los atascos en grandes ciudades, como la contaminación. Estos vehículos están diseñados para conseguir la mayor eficiencia energética, es decir, el menor consumo y la mayor autonomía posible del vehículo.

#### 3.1. Modelos eléctricos.

En este apartado vamos a describir dos autobuses eléctricos similares que son el Irizar ie bus y el Irizar ie tram, dos vehículos 100% eléctricos, con las mejores prestaciones del mercado. Ambos autobuses están fabricados en Guipúzcoa por el grupo Irizar.

La gama de modalidades disponibles incluye autobuses que van desde los 10,8m y los 12m hasta los 18m, con capacidades de hasta 155 pasajeros.

La tecnología de los vehículos eléctricos permite eliminar las emisiones directas de gases de efecto invernadero (GEI) y de sustancias tóxicas como NOx y partículas nocivas, durante su funcionamiento en el núcleo urbano, lo que permitirá que las ciudades puedan ser lugares más saludables y sostenibles, de forma que no sea necesario seguir haciendo restricciones de tráfico en determinados momentos.

Estos autobuses, al emplear una tecnología eléctrica, permiten eliminar el ruido del motor, haciendo que el ruido sea nulo durante la parada y el arranque y cuando el vehículo esté en movimiento el único ruido existente es el producido por la rodadura del mismo.

#### Irizar ie bus.

El autobús Irizar ie bus (Figura 56), se trata de un modelo totalmente seguro, fiable, rentable, con autonomía, eficiencia y fiabilidad constatadas que ofrece, además, grandes posibilidades de adaptación a los operadores, con la garantía de un servicio integral y de mantenimiento para toda la vida útil del vehículo.

Este modelo de autobús comenzó a circular por las ciudades europeas en 2014 y está disponibles en varias versiones, que van desde los 10,8 m y los 12 m hasta el modelo articulado de 18 m. Todos ellos, equipados con motorización 100% eléctrica.

En el modelo de 18 m está disponible también la carga por pantógrafo, ya que es una forma útil de aprovechar la carga de oportunidad del vehículo reduciendo peso.



Figura 56: Irizar ie bus de 18 m. (Irizar Group, 2018)

### Irizar ie tram.

El Irizar ie tram (Figura 57) se trata de un autobús articulado de 18 metros, con atributos estéticos de tranvía, desarrollado sobre la idea de que el diseño participe en el atractivo de la ciudad y en el desarrollo del confort para el ciudadano. La combinación de la gran capacidad, la facilidad de acceso y la circulación interior de un tranvía y la flexibilidad de un autobús urbano, junto a la condición de cero emisiones, definen el ADN de este nuevo vehículo.

Una de las características más relevantes de su diseño es el arco perimetral cromado que fluye rodeando el volumen del vehículo. Permite una identificación visual inmediata y genera una diferenciación con respecto a otros vehículos similares. Esta forma perimetral, a modo de icono, es un rasgo identificativo asociado a la marca.

El frontal refleja la fluidez y la elegancia, con una gran superficie acristalada, evoca la herencia del tranvía, que junto a las ópticas full led integradas en los anillos perimetrales, confiere un conjunto de vanguardia, tecnológico y racional a la vez. Y en el diseño de la parte trasera, también se ha roto con el diseño cubista del autobús.



Figura 57: Irizar ie tram. (Irizar Group, 2018)



### Análisis técnico:

La tecnología desarrollada y aplicada por el Grupo Irizar se sustenta en la experiencia y el vasto conocimiento de cada una de las áreas que intervienen en cada instalación y en la colaboración con los centros de investigación y desarrollo más prestigiosos de Europa. Se trata de una tecnología testada en los laboratorios y bancos de pruebas de Irizar y en el propio vehículo. Una tecnología que optimiza el flujo de energía entre los diferentes sistemas implícitos en la electrificación, como pueden ser el sistema de propulsión, el almacenamiento en baterías, el EBS Wabco y el equipamiento auxiliar.

En cuanto al sistema de almacenamiento de energía, se emplean baterías de alta densidad de potencia y larga vida útil que son de litio Ion, de la familia LTO (Lithium Titanate Oxide). Irizar utiliza la tecnología SCiB™ de Toshiba, 23 Ah por célula. Las células están dispuestas en módulos que componen la batería definitiva. La tecnología LTO de Toshiba es capaz de gestionar altas intensidades de carga con una larga vida útil, superior a los 15.000 ciclos. En la Figura 58 podemos ver un detalle de las celdas que conforman la batería.



Figura 58: Celdas de batería. (Toshiba)

El sistema de baterías de Irizar responde a un concepto modular, diseñado para adaptarse a las necesidades de cualquier operador. Además, permite un fácil aislamiento y sustitución rápida en caso de producirse un error en uno de los módulos, sin afectar al funcionamiento del resto. La estimación de vida útil de las baterías depende en gran medida de las condiciones operativas y de consumo, en especial del kilometraje, las horas de funcionamiento, los ciclos de recarga, la ocupación del autobús y del clima. Irizar ofrece la solución optimizada para la máxima duración.

Para conseguir una seguridad en su uso, la estabilización de la temperatura de las baterías se efectúa de forma independiente y su sistema de gestión está integrado en los circuitos del vehículo, por lo que nunca existe el riesgo de incendio o explosión. Además, no necesitan de un mantenimiento preventivo.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

El sistema es tan sólido y seguro como exigen los últimos reglamentos europeos: R100, R10 y UN38.3.

Respecto al reciclaje de la batería, una vez llegado el final de su vida útil, cuando la batería llega a un 80% de su capacidad de carga útil, Irizar cambiará la batería y le dará una segunda vida utilizándola en estático hasta el 50% de su capacidad de carga útil. A continuación, se llevará a cabo el proceso de reciclaje.

En la Figura 59 se aprecia a un operario montando el pack de baterías que posteriormente se instalará en el autobús.



*Figura 59: Construcción del pack de baterías. (Irizar Group, 2019)*

El motor eléctrico (Figura 60) está fabricado por Alconza (perteneciente al Grupo Irizar), es un motor síncrono a imanes permanentes con una potencia de 180 KW a 230 KW, dependiendo del modelo de autobús, suficiente para responder a las operaciones demandadas.



*Figura 60: Motor síncrono de imanes permanentes Alconza. (Irizar Group, 2019)*

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

El sistema de climatización Hispacold está diseñado específicamente para vehículos eléctricos de cero emisiones. Es el equilibrio perfecto entre la comodidad térmica de los viajeros y la optimización energética que ha obtenido Irizar para su vehículo eléctrico.

Las puertas con las que se han equipado los vehículos de 18 metros son puertas eléctricas desarrolladas por Masats; la delantera basculante con sensor de seguridad y el resto, deslizantes, tipo metro con sensor. Incluye un sistema de control de gestión con modos manual, automático y lanzadera.

La rampa eléctrica y manual es modelo Masats RT1 1300.

Respecto a la autonomía de los vehículos, con una sola carga de seis o siete horas, el Irizar ie bus de 10 y 12 metros ofrece una autonomía entre 200 y 220 km a una velocidad media de 15-17 km/h, garantizando entre 14 y 16 horas de conducción en condiciones de tráfico denso, urbano e interurbano.

Con una potencia nominal de 180 kW, la energía total embarcada en el vehículo es de 376 kWh, lo que permite alcanzar, dependiendo del ciclo de conducción y de las condiciones climatológicas, una autonomía superior a los 200 kilómetros.

El autobús dispone de un sistema de almacenamiento capaz de identificar y gestionar de manera eficiente los flujos y picos de energía. Además, en esa búsqueda de la máxima rentabilidad, los autobuses de Irizar e-mobility ponen el acento en la reducción del consumo eléctrico con la incorporación de las tecnologías energéticas más novedosas, como son el sistema EcoAssist de Datik y el sistema de gestión de almacenamiento energético, desarrollado por Jema Energy. Y todo ello, con la cobertura de garantía Irizar.

Las unidades actualmente en circulación, así como las diferentes pruebas que se están llevando a cabo por operadores y responsables de transporte urbano de diversas ciudades europeas, avalan estos niveles de autonomía.

En cuanto a los modelos articulados de 18 metros, Irizar dimensiona las baterías una vez realizado un análisis de las necesidades planteadas por el operador con el único fin de garantizar la máxima autonomía posible. La potencia nominal instalada es de 230 kW y la energía embarcada de 150 kWh. Para la carga de estos vehículos se ha desarrollado el pantógrafo de carga rápida durante el recorrido.

En los aspectos de seguridad en el trayecto, los autobuses de Irizar e-mobility cumplen con las normativas europeas más exigentes en seguridad. Su estructura rígida y robusta está concebida para soportar con garantía situaciones de choque lateral o frontal, así como para evitar el vuelco lateral.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

Incluye sistemas hill holder y control antideslizamiento. El Irizar ie bus (10 y 12 m) es el primer autobús eléctrico urbano del mercado que cumple con la normativa antivuelco R/66.01.

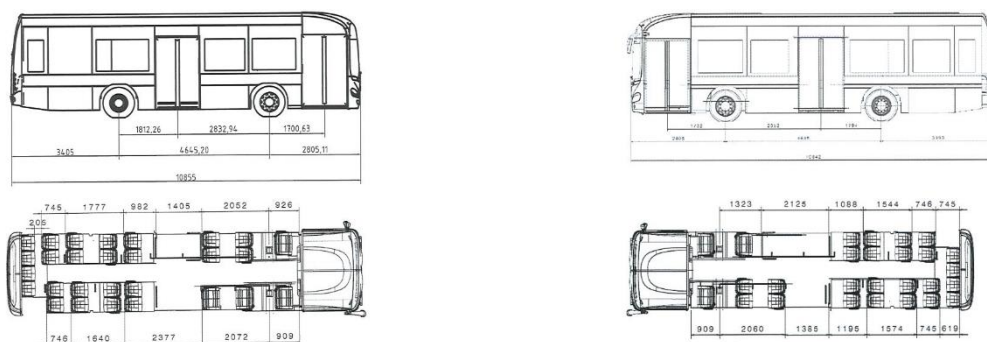
Antes de poner en circulación, la gama de vehículos eléctricos se somete a duras pruebas de fatiga y durabilidad para demostrar su fiabilidad. Por un lado, se supervisa en exhaustivas inspecciones el proceso de fabricación del autobús y, por otro, el vehículo realiza tests de fiabilidad equivalentes a la vida del vehículo (600.000 km y 12 años) bajo la supervisión de institutos ajenos a Irizar, en el circuito de Idiada.

Irizar e-mobility ofrece un sistema de tele diagnóstico back-office para gestionar la totalidad de los procedimientos de la línea de los autobuses. Permite la monitorización de una manera centralizada y recibir diferentes alarmas en tiempo real, estudios históricos, etc.

El sistema que se proporciona es capaz de monitorizar el vehículo (puertas, baterías, régimen de climatización y calefacción, pantógrafo, cadena de tracción...), la infraestructura de carga en línea y las infraestructuras de carga en cocheras, con lo que permite a su vez obtener estadísticas de las incidencias que puedan tener los diferentes vehículos, los consumos en las diferentes líneas de explotación y, prácticamente, la totalidad de la información sobre la explotación global.

A continuación, se va a mostrar toda la información técnica del catálogo de dichos modelos.

### ❖ Irizar ie bus 10.8 m:



Nº de puertas :	2
Zona silla de ruedas :	1
Nº de butacas :	28
Nº de personas de pie*	35
Nº total de pasajeros :	76

#### Conducción derecha

Nº de puertas :	2
Zona silla de ruedas :	1
Nº de butacas :	27
Nº de personas de pie*	
Nº total de pasajeros :	61

Figura 61: Distribución de butacas para acceso de dos puertas Irizar ie bus 10.8 m. (Irizar Group, 2018)

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

Longitud (ejes)	10.850 mm (2 ejes)
Altura máxima	3.209 mm
Anchura	2.550 mm
Batalla	4.645 mm
Voladizo del. / tras.	2.805 mm / 3.405 mm
Altura interior	2.400 mm
Altura del suelo	340 mm
Ángulo ataque	6,5°
Ángulo de salida	7°
Low – floor	
Nº de pasajeros	76
Una zona de silla de ruedas	
Cuatro asientos para PMR	
Materiales antigraffiti	
Puesto conductor	
Dos puertas dobles	
Estructura lateral y techo de aluminio	
Emparrillado / suelo	Acero inoxidable
Rampa eléctrica para minusválidos	
Posibilidad de montar butacas cantilever en zona delantera	
Iluminación LED en interior y exterior	

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

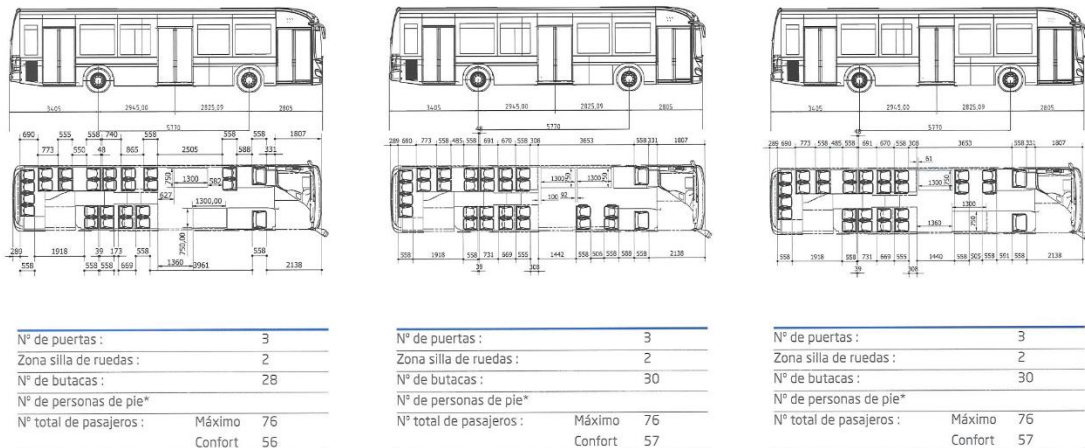
Frontal dividido en cinco partes para un fácil y económico intercambio de pieles exteriores	
Lunas dobles	
Aislamiento acústico de techo y costados	
Creepage function	Ayuda en la salida
Hillholder function	Mantiene el bus parado cuando está en cuesta unos segundos para que no se vaya hacia atrás.
Compatibilidad electromagnética reglamento R10	
EcoAssist	Ayuda a la conducción eficiente
Eco-mode	Gestión inteligente del clima una vez apagado el vehículo
Cumplimiento de resistencia ante el fuego reglamento 118R	
Anchura puerta	(Puerta I): 1.100 mm (Puerta II): 1.200 mm
Diámetro de giro	18.600 mm
Peso máximo en eje delantero	7.500 Kg
Peso máximo en eje trasero	12.600 Kg
Propulsión	<b>Fabricante:</b> Siemens <b>Tipo:</b> Sincrono <b>Potencia nominal:</b> 180 kW <b>Par nominal:</b> 1.500 Nm Capacidad de tracción incluso con pendientes máximas de un 18%
Sistema de almacenamiento de energía	

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

<b>Especificación baterías:</b>	Tecnología Litio Ion <b>Voltaje nominal:</b> 700 V <b>Capacidad total:</b> 300-370 kWh en función de las necesidades del cliente
<b>Carga:</b>	<b>Enchufe (Combo standard 2):</b> 125 - 200 A <b>Tiempo de carga:</b> 4 - 5h Gestión de almacenamiento energético a medida
<b>Sistema de climatización</b>	<b>Conductor - Sistema de climatización</b> Hispacold Cero Emisiones (frío: 3,5 kW, calor: 13 kW) <b>Pasajeros - Sistema de climatización</b> Hispacold Cero Emisiones (frío: 28 kW, calor: 32 kW)

*Tabla 2: Datos técnicos Irizar ie bus 10.8m.c (Irizar Group, 2018)*

### ❖ Irizar ie bus 12 m:



*Figura 62: Distribución de butacas para acceso de tres puertas Irizar ie bus 12 m. (Irizar Group, 2018)*



## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

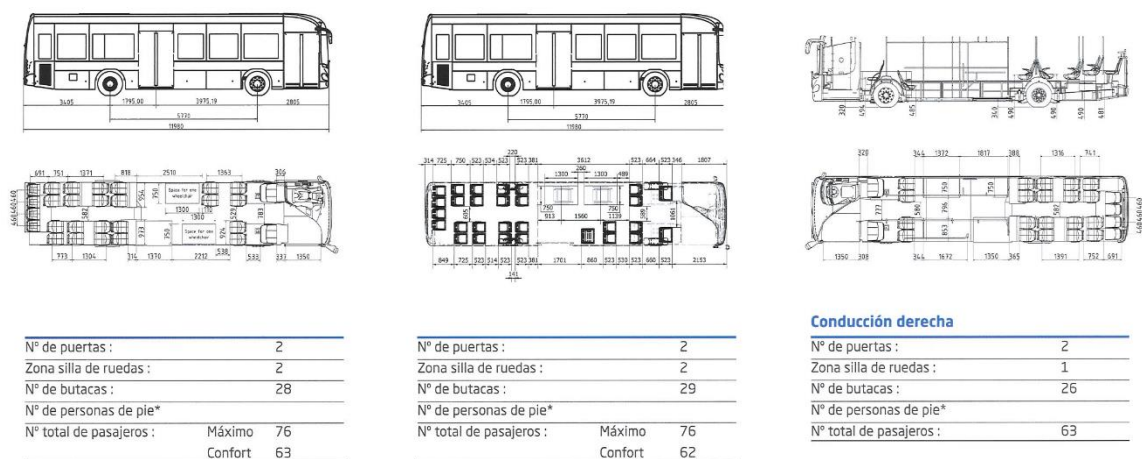


Figura 63: Distribución de butacas para acceso de dos puertas Irizar ie bus 12 m. (Irizar Group, 2018)

<b>Longitud (ejes)</b>	11.980 mm (2 ejes)
<b>Altura máxima</b>	3.209 mm
<b>Anchura</b>	2.550 mm
<b>Batalla</b>	5.770 mm
<b>Voladizo del. / tras.</b>	2.805 mm / 3.405 mm
<b>Altura interior</b>	2.400 mm
<b>Altura del suelo</b>	340 mm
<b>Ángulo ataque</b>	6,5°
<b>Ángulo de salida</b>	7°
<b>Altura en peldaño</b>	<b>Puerta 1:</b> 250 mm (320 mm sin arrodillamiento) <b>Puertas 2 y 3:</b> 270 mm (340 mm sin arrodillamiento)
<b>Low – floor</b>	
<b>Nº de pasajeros</b>	76
<b>Una o dos zonas de silla de ruedas</b>	
<b>Cuatro asientos para PMR</b>	

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

<b>Materiales antigraffiti</b>	
<b>Puesto conductor</b>	
<b>De dos a tres puertas dobles</b>	
<b>Estructura lateral y techo de aluminio</b>	
<b>Emparrillado / suelo</b>	Acero inoxidable
<b>Rampa eléctrica para minusválidos</b>	
<b>Posibilidad de montar butacas cantilever en zona delantera</b>	
<b>Iluminación LED en interior y exterior</b>	
<b>Frontal dividido en cinco partes para un fácil y económico intercambio de pieles exteriores</b>	
<b>Lunas dobles</b>	
<b>Aislamiento acústico de techo y costados</b>	
<b>Creepage function</b>	Ayuda en la salida
<b>Hillholder function</b>	Mantiene el bus parado cuando está en cuesta unos segundos para que no se vaya hacia atrás.
<b>Compatibilidad electromagnética reglamento R10</b>	
<b>EcoAssist</b>	Ayuda a la conducción eficiente
<b>Eco-mode</b>	Gestión inteligente del clima una vez apagado el vehículo
<b>Cumplimiento de resistencia ante el fuego reglamento 118R</b>	

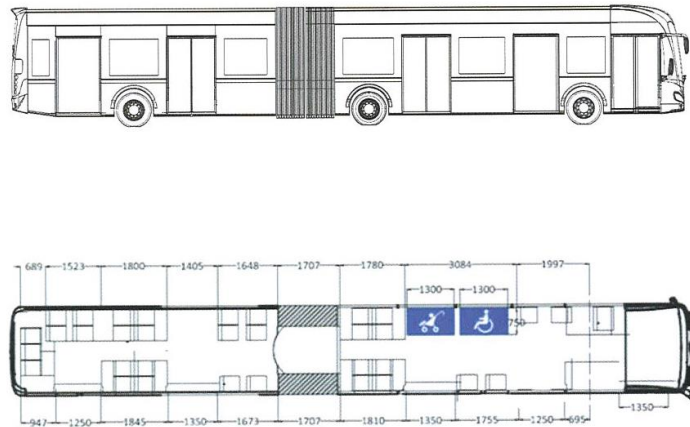
## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

<b>Anchura puerta</b>	(Puerta I): 1.100 mm (Puerta II): 1.200 mm (Puerta III): 1.050 mm
<b>Diámetro de giro</b>	20.870 mm
<b>Peso máximo en eje delantero</b>	7.500 Kg
<b>Peso máximo en eje trasero</b>	12.600 Kg
<b>Propulsión</b>	<b>Fabricante:</b> Siemens <b>Tipo:</b> Sincrono <b>Potencia nominal:</b> 180 kW <b>Par nominal:</b> 1.500 Nm Capacidad de tracción incluso con pendientes máximas de un 18%
<b>Sistema de almacenamiento de energía</b>	
<b>Especificación baterías:</b>	Tecnología Litio Ion <b>Voltaje nominal:</b> 700 V <b>Capacidad total:</b> 300-450 kWh en función de las necesidades del cliente
<b>Carga:</b>	<b>Enchufe (Combo standard 2):</b> 125 - 200 A <b>Tiempo de carga:</b> 4 - 5h Gestión de almacenamiento energético a medida
<b>Sistema de climatización</b>	<b>Conductor</b> - Sistema de climatización Hispacold Cero Emisiones (frío: 3,5 kW, calor: 13 kW) <b>Pasajeros</b> - Sistema de climatización Hispacold Cero Emisiones (frío: 28 kW, calor: 32 kW)

*Tabla 3: Datos técnicos Irizar ie bus 12m. (Irizar Group, 2018)*

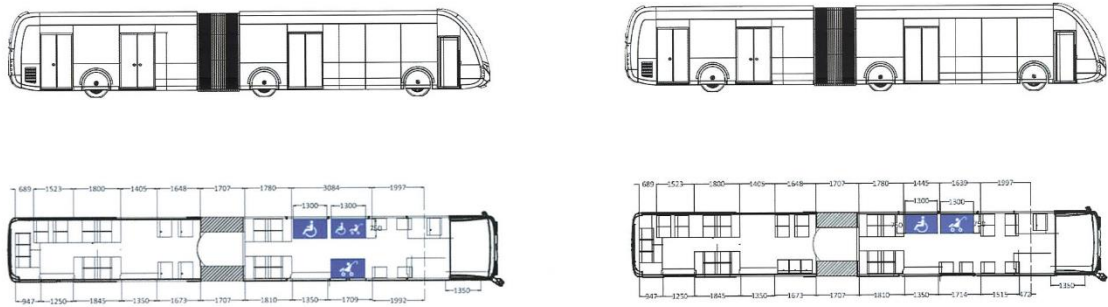
## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

### ❖ Irizar ie bus / ie tram 18 m:



Nº de puertas :	5
Zona silla de ruedas/cochecito :	2
Nº de butacas :	34
Nº de personas de pie*	118

Figura 64: Distribución de butacas Irizar ie bus 18 m. (Irizar Group, 2018)



Nº de puertas :	4
Zona silla de ruedas/cochecito :	3
Nº de butacas :	32
Nº de personas de pie*	119

Nº de puertas :	4
Zona silla de ruedas/cochecito :	2
Nº de butacas :	39
Nº de personas de pie*	116

Figura 65: Distribución de butacas Irizar ie tram 18 m. (Irizar Group, 2018)

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

Longitud (ejes)	18.730 mm (3 ejes)
Altura máxima	3.400 mm
Anchura	2.550 mm
Batalla 1	5.980 mm
Batalla 2	6.540 mm
Voladizo del. / tras.	2.805 mm / 3.405 mm
Altura interior	2.400 mm
Altura del suelo	350 mm
Ángulo ataque	7,5°
Ángulo de salida	7,5°
Altura en peldaño	<b>Puerta 1, 2, 3:</b> 250 mm (320 mm sin arrodillamiento) <b>Puertas 4, 5:</b> 270 mm (340 mm sin arrodillamiento)
Low - floor	
Nº de pasajeros	155
Hasta 3 zonas de silla de ruedas / cochecito	
Cuatro asientos para PMR	
Materiales antigraffiti	
Zona conductor según VDV y EBSF	
Hasta 8 puertas disponibles (simples o dobles)	
Estructura lateral y techo de aluminio	
Emparrillado / suelo	Acero inoxidable

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

Rampa eléctrica para minusválidos	
Posibilidad de montar butacas cantilever en zona delantera y después de la articulación	
Iluminación LED en interior y exterior	
Frontal dividido en cinco partes para un fácil y económico intercambio de pieles exteriores	
Lunas simples	
Aislamiento acústico de techo y costados	
Creepage function	Ayuda en la salida
Hillholder function	Mantiene el bus parado cuando está en cuesta unos segundos para que no se vaya hacia atrás.
Compatibilidad electromagnética reglamento R10	
EcoAssist	Ayuda a la conducción eficiente
Eco-mode	Gestión inteligente del clima una vez apagado el vehículo
Cumplimiento de resistencia ante el fuego reglamento 118R	
Anchura puertas ie bus	<b>Puertas 1, 5:</b> 1.100 mm <b>Puertas 2, 3, 4:</b> 1.200 mm
Anchura puertas ie tram	<b>Puerta 1:</b> 800 mm <b>Puertas 2, 3, 4:</b> 1.200 mm <b>Puerta 5:</b> 1.100 mm
Diámetro de giro	23.700 mm
Peso máximo en eje delantero	7.500 Kg

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

<b>Peso máximo en eje 2</b>	10.500 Kg
<b>Peso máximo en eje 3</b>	13.000 Kg
<b>Propulsión</b>	<b>Fabricante:</b> Alconza, Irizar Group <b>Tipo:</b> Sincrono <b>Potencia nominal:</b> 235 kW <b>Par nominal:</b> 2.300 Nm Capacidad de tracción incluso con pendientes máximas de un 18%
<b>Sistema de almacenamiento de energía</b>	
<b>Especificación baterías:</b>	Tecnología Litio Ion <b>Voltaje nominal:</b> 600 V / 650 V <b>Capacidad total:</b> 90-150 kWh en función de las necesidades del cliente
<b>Carga:</b>	<b>Enchufe (Combo standard 2):</b> 125 - 200 A <b>Tiempo de carga:</b> 4 - 5h Gestión de almacenamiento energético a medida
<b>Carga rápida por pantógrafo:</b>	<b>Tiempo de carga:</b> 5 min aprox. Potencia máxima de carga 500 KW Gestión de almacenamiento energético a medida
<b>Sistema de climatización</b>	<b>Conductor</b> - Sistema de climatización Hispacold Cero Emisiones (frío: 3,5 kW, calor: 13 kW) <b>Pasajeros</b> - Sistema de climatización Hispacold Cero Emisiones (frío: 49 kW, calor: 55 kW)

*Tabla 4: Datos técnicos Irizar ie bus / ie tram 18 m. (Irizar Group, 2018)*

La información, las tablas y las figuras que aparecen en este capítulo están citadas a partir del catálogo Irizar e-mobility (Irizar Group, 2018).



### 3.2. Baterías.

En la actualidad, existen diferentes tecnologías de almacenamiento de energía que cada vez pretenden mejorar sus prestaciones. A continuación, se van a detallar los principales tipos de batería que se comercializan actualmente.

#### Plomo – ácido.

Este tipo de batería que todavía continúa estando en uso para muchas aplicaciones apareció en 1859 y es una de las tecnologías más antiguas. Contienen plomo en el electrodo positivo, óxido de plomo en el electrodo negativo y emplean ácido sulfúrico como electrolito. Se consigue una diferencia de potencial de 2 V de media por cada celda. Finalmente se suelen agrupar las celdas en serie formando baterías de 6 V o 12 V, o incluso alcanzar cualquier tensión que sea múltiplo de dos.

Actualmente se emplean en los vehículos para el arranque del motor eléctrico y se recargan por medio del alternador del propio coche.

Como ventajas de este tipo de baterías tenemos su bajo coste, que es una tecnología madura, aunque todavía mejorable, el poco efecto memoria, su reciclaje, porque, aunque el plomo es un material muy contaminante se puede llegar a reciclar hasta prácticamente el 100% y que se consigue un voltaje medio en cada celda de 2 V.

Como inconvenientes están su alto peso, debido a la baja densidad de energía que tienen, la baja durabilidad de este tipo de baterías, el elevado grado de autodescarga y que la eficiencia es inferior al 100% ya que no se llega a utilizar toda la materia activa de las células.

Debido a que existen tecnologías con mejores características, actualmente no se suelen emplear en vehículos eléctricos, aunque algún fabricante aún las utiliza debido a su bajo coste y fácil manipulación.

#### Níquel – Cadmio (Ni - Cd).

Las baterías de níquel-cadmio, también son una tecnología bastante probada. Una de las características de este tipo de baterías es la larga vida útil que tienen, ya que pueden llegar a completar entre 1000 y 1500 ciclos de carga.

Las principales ventajas que ofrece esta tecnología es la gran madurez que tiene, la densidad de energía y de potencia que es superior a la de plomo ácido, la buena durabilidad y la mejor eficiencia de esta.

Como aspectos negativos, el coste es superior a las de plomo ácido, tienen un voltaje por celda muy bajo, de en torno a 1,2 V, también existe una amplia dependencia de la temperatura ambiente, un notable efecto memoria, la alta autodescarga que sufren y, sobre todo, la alta peligrosidad que tiene para el

medio ambiente el uso de Cadmio. Este último inconveniente es el que las ha llevado a desaparecer, llevando a innovar hacia baterías libres de cadmio, como es el caso de las de níquel - hidruro metálico.

En su día fueron empleadas para los vehículos eléctricos, pero actualmente han sido sustituidas por las de níquel - hidruro metálico.

### Níquel – Hidruro Metálico (Ni - MH).

Las baterías de níquel - hidruro metálico son las sucesoras de las de níquel – cadmio. Para evitar la peligrosidad de sus predecesoras, se sustituyó el cadmio contaminante por una aleación metálica capaz de formar hidruros.

Entre las ventajas que nos ofrece esta tecnología, tenemos que la densidad de energía es superior que en el caso de níquel – cadmio, que es una tecnología bastante testada, no necesita mantenimiento y, además tienen menor efecto memoria.

Pero como inconvenientes vemos que tienen una alta autodescarga, que el coste es más elevado aún que en el caso de níquel cadmio, el voltaje por celda sigue siendo bajo, en torno a 1,2 V, tienen baja durabilidad y la potencia específica es inferior que en la de Ni – Cd.

Su principal utilidad ha sido para los coches eléctricos, aunque de un modo temporal, hasta que apareciera una solución que ofreciera mejores prestaciones. Se han implementado en algunos vehículos híbridos o eléctricos, pero consiguen una baja autonomía aun empleando un pack de baterías pesado.

### Ion – Litio (Li - ion).

Es la tecnología más usada actualmente, pues las ventajas que ofrece esta tecnología son bastante superiores a las que ofrecen las demás.

En el proceso de construcción de las células existen diferentes versiones, siendo las más comunes las cilíndricas y laminares. El ánodo suele ser de grafito, mientras que el cátodo es de óxido de cobalto, aunque actualmente se emplean otros materiales como óxidos mixtos de cobalto y otros elementos de transición, como el fosfato de litio y hierro u óxido de litio y manganeso, para tratar de evitar la toxicidad que tiene el cobalto. Por otra parte, el electrolito está compuesto de una mezcla de disolventes orgánicos en los que se encuentra disuelta una sal de litio.

Las ventajas que nos ofrecen son amplias a pesar de ser una tecnología nueva y poco contrastada. Destacan por el elevado voltaje por celda, que está en torno a los 3,7 V, el bajo peso que tienen, debido a la alta densidad de energía, la elevada eficiencia, una alta durabilidad, la inexistencia del efecto memoria y

una tasa de autodescarga muy baja. Son las baterías que más carga almacenan, pero tienen que incorporar un circuito electrónico de gestión de la batería para evitar que las celdas se carguen por encima de lo recomendable.

El principal problema es la sensibilidad que tienen a las temperaturas extremas, ya que provoca que disminuya su capacidad. Por ello, es recomendable que se coloque un sistema de refrigeración de la batería. Otros inconvenientes son el alto coste, la posibilidad de cortocircuitos con riesgo de explosión, que provocan problemas de seguridad y que la potencia específica es inferior a la de las baterías de níquel – cadmio.

Actualmente se están empezando a utilizar en automoción eléctrica, aunque debido al elevado coste que tienen, hace que los usuarios tengan miedo económico de tener que sustituirlas, lo que ha llevado a los fabricantes a ofrecer programas de mantenimiento y garantía.

### Zinc – Aire.

Las baterías de zinc también son otra alternativa viable. Contienen zinc en el electrodo negativo y un material poroso con un catalizador capaz de reducir el oxígeno del aire en el electrodo positivo. Una de las características de esta tecnología es que no se pueden recargar eléctricamente, únicamente cambiando mecánicamente los electrodos.

Las ventajas que se ofrecen son el bajo coste, la madurez de este tipo de tecnología, el bajo peso debido a la alta densidad de energía que posee y lo poco peligrosas que son para el medio ambiente.

Como inconveniente, tenemos que el voltaje por celda es bajo, de aproximadamente 1,2 V y que no son recargables como se ha comentado anteriormente.

Actualmente, a pesar del potencial que tiene esta tecnología no es una alternativa viable. También se están realizando investigaciones para tratar de utilizar ánodos de litio en lugar de zinc, con lo que se aumentaría aún más la densidad de energía y se podría llevar a cabo una recarga electroquímica.

### Baterías ZEBRA.

Las baterías ZEBRA están compuestas de sodio metálico en el electrodo negativo y cloruro de níquel en el positivo y, además, emplean cloroaluminato de sodio fundido y una membrana de betalúmina cerámica como electrolito.

Las ventajas son un elevado voltaje por celda, de aproximadamente 2,6 V, que es una tecnología contrastada, el bajo peso, debido a la densidad de energía y de potencia elevadas que poseen, la baja autodescarga y la elevada durabilidad que tienen, en torno a 10 años.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

Como inconvenientes destacan el elevado coste y los requerimientos de calentamiento necesarios para que funcione la batería, en torno a los 250 °C.

El elevado rango de temperaturas de trabajo hace muy complicada, pero no imposible, su implementación en los vehículos eléctricos. El fabricante gallego Castrosua las ha empleado en algunos prototipos eléctricos.

Otra característica de este tipo de almacenamiento de energía es que, si no se utilizan durante un tiempo largo, la batería se cristaliza y es necesario calentarla mediante resistencias eléctricas, con el consiguiente gasto, para poder volver a utilizarla. La batería tarda en torno a dos días en enfriarse por completo.

### Supercondensadores.

Los llamados supercondensadores o ultracap son otros dispositivos capaces de almacenar energía mediante procesos físicos y no electroquímicos.

El único inconveniente que tienen es la baja capacidad que poseen, aunque tampoco soportan las temperaturas elevadas, lo que hace necesario instalar un sistema de refrigeración.

Pero entre las ventajas tenemos que, poseen una elevada vida útil, en torno a 10 años, son capaces de soportar muchos ciclos de carga y descarga sin perder eficiencia, tienen un bajo coste, se pueden cargar y descargar con la misma potencia, la resistencia interna es pequeña y el calentamiento muy bajo, poseen una potencia máxima muy alta, del orden de KW, son componentes seguros para las personas y el medio ambiente, sin toxicidad, no tienen riesgos de sobrecarga y no necesitan mantenimiento.

Se suelen emplear sobre todo para los momentos en los que se demanda un pico de potencia o para absorber la energía que se recupera en las frenadas, ya que son capaces de descargarse y cargarse de forma muy rápida, casi instantánea.

Los supercondensadores, al igual que las baterías, se agrupan en módulos conectados en serie.

En algunos autobuses de los descritos en el apartado 2.3 se emplea este tipo de tecnología para el almacenamiento de energía.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> La información acerca de los tipos de baterías ha sido extraída del libro El vehículo eléctrico, Desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio. (Sociedad Técnica de Automoción, 2011)

### 3.3. Motores eléctricos.

Actualmente en el mercado existen gran cantidad de máquinas eléctricas, pero dependiendo la utilidad para la que se necesite, debemos escoger según sus características. Por ello, a continuación, se describen los tipos de motores eléctricos que mejores resultados tienen para la automoción.

#### Motor de corriente continua.

El motor de corriente continua, como bien indica su nombre, es una máquina eléctrica que se alimenta en corriente continua. El funcionamiento de la máquina de continua convencional se basa en crear un imán, es decir, un campo magnético fijo, por medio de la circulación de corriente continua en el bobinado del estator, y crear otro campo magnético en el rotor de la misma forma. Es necesario excitar ambas partes de la máquina en corriente continua para su funcionamiento.

Esta máquina necesita un sistema de escobillas, que contacten con diferentes electrodos según el giro, para que el campo creado por el bobinado del rotor cambie de polaridad. Así, cuando el polo del imán del rotor está a punto de atrapar al polo fijo opuesto del estator, el imán del rotor debe volver a girar un cierto ángulo atraído por el imán del estator. Esta sucesión de cambios de polaridad en la corriente inyectada al rotor se realiza de manera mecánica gracias a las escobillas y las delgas y así se consigue que el imán del rotor no llegue nunca a atrapar al imán del estator, consiguiendo de este modo un giro continuo del eje con cierto par.

Las ventajas que nos ofrece son la alta densidad de potencia que tiene, el elevado par de arranque, una amplia gama de velocidades fácilmente controlables, la posibilidad de operación de la máquina en los cuatro cuadrantes, un control sencillo, par constante y una buena robustez mecánica.

Como inconvenientes está la baja eficiencia de la máquina (cercana al 80%), los ruidos y vibraciones que produce, el tamaño y el peso de la misma, la difícil fabricación, el elevado coste y, sobre todo, la necesidad de mantenimiento tanto de las escobillas como del colector de delgas.

Este tipo de motor ya no se suele emplear actualmente para la automoción, únicamente continúa utilizando el motor brushless, es decir, sin escobillas, para algunas motocicletas de baja potencia.

### Motor síncrono.

El motor síncrono, es una máquina eléctrica que recibe su nombre debido a su funcionamiento interno, ya que la velocidad de los imanes del rotor y del estator es la misma, se dice que giran síncronamente.

Esta máquina emplea una alimentación en corriente alterna trifásica, aprovechando las propiedades de las ondas desfasadas para crear campos magnéticos giratorios. Si se coloca estratégicamente el bobinado del estator, se puede conseguir que la superposición de los campos magnéticos inducidos en el bobinado de cada fase forme el campo magnético giratorio del estator. La rotación del imán creado en el estator intentará ser copiada por el imán del rotor. Si la máquina funciona como motor el imán del rotor será el que siga al del estator, mientras que, si ésta trabaja como generador, el imán del estator será el que persiga al del rotor.

Podemos distinguir tres tipos de motores síncronos, según la forma constructiva del rotor:

- Rotor cilíndrico o liso: se trata de un rotor en el que el bobinado es enrollado en ranuras y se emplea sobre todo para máquinas de elevada velocidad.
- Rotor de polos salientes: en este caso, el bobinado se enrolla en una pieza de acero con los polos marcados. Se emplea para máquinas de menor velocidad.
- Imán permanente o también llamado brushless: en este caso el imán del rotor en lugar de ser creado por una corriente eléctrica es un imán de materiales provenientes de las tierras raras, como el neodimio. Se emplea en máquinas de potencias que no superan los 200 – 250 KW y es el motor más común actualmente para la tracción eléctrica e híbrida.

Las ventajas que ofrece este tipo de motor eléctrico son la alta densidad de potencia, el elevado par de arranque, la alta eficiencia, la posibilidad de operación en los cuatro cuadrantes, el control sencillo de la máquina, bajos niveles de ruidos y vibraciones, presenta un par constante con poca vibración, es una máquina bastante robusta térmica y mecánicamente, además la fabricación y el mantenimiento son bastante fáciles.

Como inconvenientes tiene la baja gama de velocidades y el coste de fabricación elevado.



### Motor asíncrono.

El motor asíncrono debe su nombre a que las velocidades a las que giran los campos magnéticos del rotor y del estator no son las mismas. También se le conoce como motor de inducción debido a que las corrientes que circulan por el rotor no son inyectadas, sino que son inducidas.

El estator del motor asíncrono es exactamente igual que el de la máquina síncrona, con los devanados desfasados  $120^\circ$ , mientras que el rotor en este caso está compuesto por multitud de chapas apiladas en forma de cilindro, entre las cuales hay unas ranuras que dan lugar a dos arquitecturas diferentes:

- Rotor bobinado: en las ranuras de la chapa se enrollan los conductores que forman el devanado. Éste es igual que el del estator, pero con más espiras debido a la utilización de conductores de menor sección, que aumentan la resistividad del conjunto. El bobinado del rotor acostumbra a ser también trifásico, con una conexión en estrella en un extremo de los conductores y salida al exterior del rotor a través de unos anillos rozantes y escobillas en el otro extremo. Las tres fases salientes a través de las escobillas se cortocircuitan en el exterior una vez se ha completado el procedimiento de arranque, mediante el cual se obtiene un par mayor acoplando una resistencia al bobinado.
- Rotor de jaula de ardilla: las ranuras se llenan de aluminio inyectado de manera que se formen barras de este material, que quedarán unidas por anillos transversales en los extremos del rotor, como en una jaula de ardilla. Cada una de estas barras, junto con la contigua y los anillos que la unen, forman una espira conductora. La variación del flujo de campo magnético que atraviese esta espira inducirá una corriente que recorrerá el conductor en sentido contrario.

Como ventajas de este motor eléctrico tenemos la amplia gama de velocidades, el buen par de arranque, la alta eficiencia, la posibilidad de operación en los cuatro cuadrantes, el control sencillo de la máquina, bajos niveles de ruidos y vibraciones, presenta un par constante con poca vibración, es una máquina bastante robusta térmica y mecánicamente, la fabricación y el mantenimiento son bastante fáciles y el coste es bajo.

El principal inconveniente es la baja densidad de potencia.

El uso de estos motores en automoción es para los vehículos de peso mediano, aunque también se emplea como motor auxiliar para numerosas aplicaciones.

### Motor de reluctancia conmutada.

El motor de reluctancia conmutada está formado por un rotor dentado de material ferromagnético que se orienta según el campo magnético creado en el estator. El polo del estator en el que se crea instantáneamente el campo magnético atrae al diente del rotor más próximo, de forma que entre el polo y el material ferromagnético del rotor haya la mínima distancia. Es decir, las líneas de campo magnético intentan ir por el camino más corto posible del estator al rotor para cerrar el circuito magnético.

La conmutación y la variación del campo creado en el estator se realiza mediante inversores y convertidores, gracias a los cuales es posible modificar la velocidad y el par de giro del motor.

Las ventajas que aporta son la alta densidad de potencia, la alta eficiencia, la amplia gama de velocidades, la posibilidad de operación en los cuatro cuadrantes, el control sencillo del motor, el tamaño y el peso bajo, la buena robustez térmica y mecánica que posee, la facilidad de fabricación y mantenimiento y el bajo coste.

Pero como inconvenientes está la baja capacidad de sobrecarga, el muy bajo par de arranque, los altos niveles de ruidos y vibraciones y, sobre todo, que este tipo de motores entregan un par fluctuante, lo cual no es nada bueno de cara a emplearle como motor de tracción, ya que da la sensación de avanzar a trompicones.

Actualmente se ha empleado para ensayos en algunos prototipos o incluso en alguno de los autobuses híbridos que se describen en el capítulo 2 que ya están en el mercado.

### Motor de flujo axial.

El motor de flujo axial es totalmente diferente a los motores anteriores ya que, en este caso, el flujo magnético que permite mover el eje va en la dirección axial.

El uso de este motor no es nuevo, debido a que en los orígenes del automóvil eléctrico ya se empleó en algún prototipo. El objetivo del uso de este tipo de motores es colocar uno en cada rueda, de manera que se ahorrarían muchas piezas del vehículo y se conseguiría una tracción total e independiente.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> La información acerca de los tipos de motores ha sido extraída del libro El vehículo eléctrico, Desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio. (Sociedad Técnica de Automoción, 2011)

### 3.4. Cargadores eléctricos.

En cuanto a la carga de los autobuses eléctricos, Irizar ofrece diferentes soluciones de carga diseñadas por Jema Energy, empresa del Grupo que cuenta con 60 años de experiencia y conocimiento en el sector de la electrónica de potencia industrial, ofreciendo soluciones robustas, fiables, seguras y de alto rendimiento. Soluciones que aportan las mejores opciones a los diferentes condicionantes que tienen los clientes, tanto a nivel de limitación de potencia, como restricciones de espacio y operacionales. Además, Irizar e-mobility asesora sobre las diferentes posibilidades de diseño de la estrategia de carga, dependiendo de cuatro factores clave: estado de carga del vehículo al entrar en cochera, tiempo de carga disponible, número de autobuses que se quieren cargar y la potencia que se dispone para la carga.

- Carga por pantógrafo:

Recomendado cuando el vehículo no tenga la autonomía suficiente para completar la jornada y sea necesario hacer cargas durante el recorrido, además de en la cochera. Las estaciones de carga se colocan en puntos estratégicos de las ciudades, al final o al inicio de cada línea, para poder cargar o abastecer a varios autobuses o líneas.

Este cargador es un sistema de conversión de la energía que proviene de una red trifásica – potencia nominal de 600 kW y ha sido aprobado por ENEDIS, empresa francesa que gestiona la red eléctrica estatal, así Irizar se convierte en el primer fabricante de sistemas en obtener esta validación.

El sistema permite la conexión automática o manual del cargador a las baterías del autobús. Se trata de un mecanismo articulado instalado en el techo del autobús y una bóveda conectada al cargador y situada en una estructura o poste adaptado. Cuando el bus requiere cargar las baterías, el brazo del pantógrafo se extiende y establece conexiones oportunas.

El operador puede escoger entre los distintos protocolos relativos al procedimiento de carga de oportunidad (modo automático o modo manual).

El nuevo pantógrafo Irizar permite cargar el vehículo en pocos minutos. Su diseño moderno y minimalista está pensado para ofrecer una fácil integración en el paisaje urbano.

Además del cargador por pantógrafo, se ofrece la posibilidad del desarrollo de la ingeniería civil asociada y la instalación en cada estación.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

- Pantógrafo en cocheras:

También se ofrece la posibilidad de automatización completa de la carga lenta en cocheras a través de la puesta en funcionamiento de estructuras con bóvedas de contacto instaladas por encima de los espacios de estacionamiento, remplazando la solución de toma de corriente que necesita de una conexión manual por parte de un operador.

La automatización del contacto entre la bóveda y el pantógrafo del autobús estacionado permite la carga instantánea. Esta solución alternativa reduce la presencia de cables en el suelo y mejora, así, la seguridad de los operarios.

Además, el sistema Smart Charging integra un sistema de telediagnóstico para monitorizar a distancia todos los sistemas y anticipar las posibles necesidades preventivas.

En la Figura 66 están las características técnicas de los cargadores por pantógrafo.

<b>Cargador 80 kW outdoor, 100 kW indoor y 500 kW indoor</b>			
<b>Potencia de salida (Pnom)</b>	80 kW	100 kW	500 kW
<b>Tensión AC</b>	400 V AC 3F + N + T		260 V AC 3F + N + T
<b>Corriente Máx. de salida</b>	125 A/195 A*	125 A/243 A*	1000 A
<b>Frecuencia</b>	50/60 Hz		
<b>Rango tensión salida (Vnom)</b>	410-900 Vdc		400-850 Vdc
<b>Temperatura de func.</b>	- 20° C - + 50° C	- 5° C + 45° C	- 10°C + 50° C a potencia nominal
<b>Humedad relativa</b>	10% - 95% sin condensación		5% - 95% sin condensación
<b>Dimensiones</b>	1850x1200x900 mm	1900x800x800 mm	2000x2800x750 mm
<b>Peso</b>	1000 kg	970 kg	1850 kg
<b>Aislamiento galvánico</b>	Sí	Sí	No
<b>IP</b>	54	20	20

*Figura 66: Características del cargador por pantógrafo. (Irizar Group, 2018)*

- Carga en cocheras:

Es el sistema más sencillo y tradicional forma de carga, en la que el operario conecta el cargador con una manguera tipo 2 al autobús. Está disponible tanto para exterior como interior.

El sistema de cargador tipo 2 es en el que el vehículo se conecta a la red principal de AC trifásica y protección a tierra. Este tipo de cargadores incluyen un complemento que proporciona el fabricante del vehículo, formado por una caja de control externa que realiza la función de control piloto, indicando la correcta conexión y protección a tierra del vehículo.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

En la Figura 67 se detallan las características técnicas de los cargadores modulares disponibles.

<b>Cargadores modulares</b>	<b>1x50 kW</b>	<b>2X50 kW</b>	<b>100 kW</b>
<b>Potencia de salida (Pnom)</b>	50 kW	2x50 kW	100 kW
<b>Tensión AC</b>	400 V AC 3F + N + T		
<b>Corriente Máx. de salida</b>	125A/200 A*		
<b>Frecuencia</b>	50/60 Hz		
<b>Rango tensión salida (Vnom)</b>	410-900 Vdc		
<b>Temperatura de func.</b>	- 20°C - +50°C		
<b>Humedad relativa</b>	10% - 95% sin condensación		
<b>Dimensiones</b>	800x600x1700 mm	800x800x1700 mm	800x800x1700 mm
<b>Peso</b>	600 kg	900 kg	900 kg
<b>Aislamiento galvánico</b>	Sí	Sí	Sí
<b>IP</b>	54	54	54
<b>Interoperabilidad (ISO15118/DIN70121)</b>	Sí	Sí	Sí
<b>OCCP 1.5 / 1.6</b>	Sí	Sí	Sí

\*La corriente máxima de salida está sujeta a la elección de manguera.

*Figura 67: Características técnicas de los cargadores modulares. (Irizar Group, 2018)*

El sistema de carga inteligente que incorporan los autobuses Irizar se trata de un centro de control que gestiona eficientemente todas las condiciones/restricciones de carga en la cochera. Identifica las diferentes necesidades de carga que tiene cada autobús para así optimizar la potencia total requerida.

Centraliza y registra todos los datos de los cargadores y buses conectados; visualiza el parque de vehículos y sus estados de carga; minimiza la potencia eléctrica de la red, dividiendo la potencia disponible entre los diferentes vehículos; limita la potencia de carga a la potencia máxima contratada por el cliente, configura los diferentes horarios de tarifa eléctrica para priorizar las cargas con un presupuesto menos caro; centraliza la información del sistema de telediagnóstico; vigila el procedimiento de carga de todos los vehículos conectados.

Por otro lado, Datik, otra empresa del grupo ha creado el sistema Datik Autodock, una ayuda al conductor en las maniobras de aproximación, en las paradas y en las salidas de las mismas. Es un sistema capaz de tomar el control de la dirección y los pedales y de guiar el vehículo hasta hacerlo parar, efectuando una maniobra de aproximación precisa, segura y muy eficiente.

Datik Autodock puede ser desconectado en cualquier momento de la maniobra de aproximación. Además, la cámara interior detecta el grado de atención del conductor y en caso de distracción o de ausencia, puede abortar la maniobra de aproximación finalizando la tarea de DA.

Datik Autodock contribuye, también, a la optimización del rendimiento, considerando que los intervalos de frenada y de arranque presentan la mayor variabilidad de consumo según los conductores y que el estilo de conducción

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

de cada uno de ellos, su nivel de estrés o la prisa por terminar el servicio puede provocar un aumento del consumo en las paradas. Mejora, además, los niveles de seguridad y confort y aquellos relacionados con la puntualidad.<sup>4</sup>



*Figura 68: Irizar ie tram conectado al pantógrafo. (Irizar Group, 2018)*

---

<sup>4</sup> La información acerca de los tipos de cargadores ha sido extraída del catálogo de Irizar e-mobility (Irizar Group, 2018).



#### 4. Simulación del autobús 100% eléctrico.

Para este apartado, se ha elegido para simular su autonomía, la aceleración en las salidas y las curvas del motor, el modelo Irizar ie bus 12m.

Para poder realizar las simulaciones, necesitamos unos datos técnicos del vehículo:

- **Motor:**  
Síncrono  
Potencia nominal: 180 KW  
Par nominal: 1500 Nm
- **Carrocería:**  
Anchura: 2.550 mm  
Altura máxima: 3.209 mm  
Altura del suelo: 340 mm  
Coeficiente de resistencia aerodinámica (Cd):  
Coeficiente de resistencia a la rodadura ( $\mu_{rr}$ ): 0.008
- **Chasis:**  
Radio de las ruedas: 45 cm  
Relación de transmisión (G): 7  
Tara del autobús: 14000 Kg  
Masa máxima autorizada: 20100 Kg
- **Sistema de almacenamiento de energía:**  
Tecnología Ion - litio  
Voltaje nominal: 700 V  
Capacidad total: 450 KWh
- **Sistema de climatización:**  
Conductor - Sistema Hispacold Cero emisiones  
(frío: 3.5 KW, calor: 13 KW)  
Pasajeros - Sistema Hispacold Cero emisiones  
(frío: 28 KW, calor: 32 KW)

##### 4.1. Baterías del autobús.

Para realizar la simulación del autobús, primero es necesario conocer la curva de descarga de la batería. En el caso de las de plomo ácido y las de níquel cadmio, al ser tecnologías bastante probadas, se puede encontrar fácilmente el modelado de estas, pero nuestro autobús, el Irizar ie bus 12 m, como podemos ver en su catálogo emplea baterías de la tecnología de Ion - Litio.

Para modelar la batería, necesitamos conocer la curva que relaciona la tensión de vacío en bornes de la batería con la tasa de descarga. Como esta curva solamente se puede obtener de manera experimental y no existía la posibilidad de realizar un ensayo con las baterías reales, suponiendo que el

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

comportamiento de todas las baterías de esta tecnología es similar, se procedió a realizar un experimento práctico con la batería de un ordenador portátil.

La batería utilizada es la que se ve en la Figura 69, cuyas características son:

Li - ion
10.8 V - 4400 mAh
48 Wh



*Figura 69: Batería de Ion - Litio utilizada para los ensayos. (Elaboración propia)*

El ensayo realizado consiste en cargar la batería al 100%, dejarla sin utilizar al menos 5 minutos una vez desconectado el cargador, para que ésta estabilizara su tensión.

Una vez hecho esto, se mide con un polímetro (como se ve en la Figura 70) la tensión que hay en los bornes de la batería, se enciende el ordenador portátil y se le deja únicamente con la pantalla encendida, es decir, sin utilizar nada en él, por lo que se supone que la corriente de descarga de la batería siempre va a ser la misma.

El propio ordenador va indicando el porcentaje de batería que le queda y así, cada vez que disminuye un 5%, podemos tomar una lectura de la tensión, sabiendo exactamente la tasa de descarga. El proceso consiste en conectar el cargador para evitar que al extraer la batería se apague el ordenador, extraer rápidamente la batería y realizar la lectura de la tensión.

Una vez que la batería llega al 6%, el ordenador se apaga automáticamente, así que no podemos conocer cómo se comporta ésta en el último tramo de descarga, pero tampoco es de especial relevancia, dado que en el uso del autobús no se va a permitir que se llegue a una descarga tan profunda debido al riesgo de que se estropee la batería.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS



Figura 70: Toma de datos de la batería. (Elaboración propia)

Para asegurarnos que los resultados del ensayo son reales, repetimos el ensayo cinco veces y tomamos valores medios. En la Figura 71, se muestran los resultados obtenidos de cada uno de los cinco ensayos y los asteriscos representan los valores medios de los resultados obtenidos en los ensayos 2, 3, 4 y 5. Se ha decidido desechar los datos del primer ensayo porque son algo diferentes del resto debido al procedimiento empleado para hacer el estudio.

La tasa de descarga representa el porcentaje de descarga que tiene la batería en cada momento, estando la batería cargada completamente al 0% y descargada completamente al 100%.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

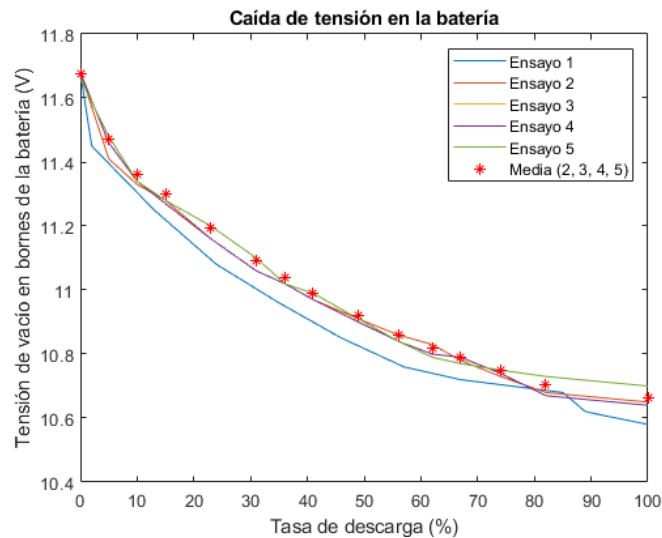


Figura 71: Resultados del ensayo de la batería de Ion – Litio. (Elaboración propia)

Una vez obtenidos los resultados del ensayo, por medio de Matlab, utilizando la función “polyfit()”, somos capaces de obtener la función que aproxima a los puntos obtenidos. Probamos primero con un polinomio de grado uno, luego con uno de grado dos y finalmente el que mejor aproxima es el de grado tres, como se ve en la Figura 72.

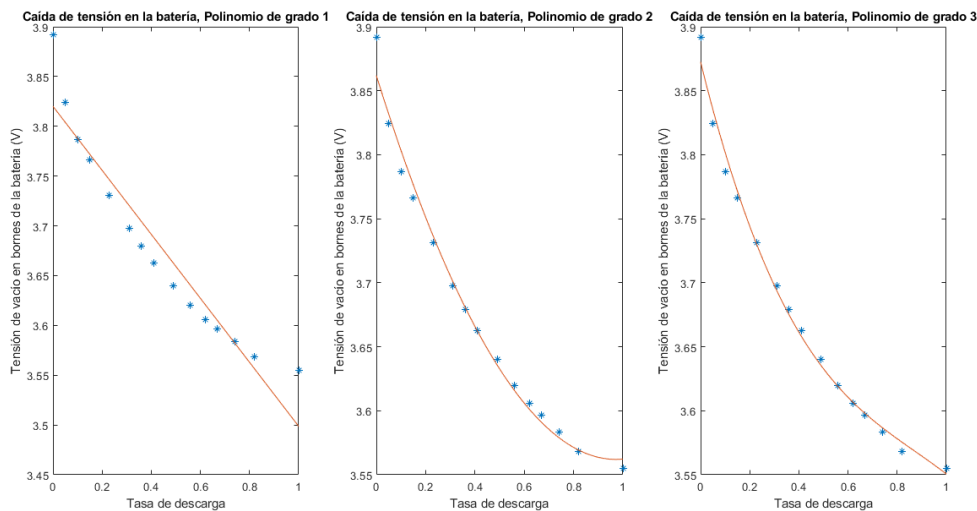


Figura 72: Polinomio aproximador de la caída de tensión de la batería. (Elaboración propia)

En los resultados de la Figura 72, la tensión referida ya es a la de una única celda, no como en el caso de la Figura 71 que es la tensión nominal de la batería de 10,8 V.

Si dividimos 10,8 V entre 3, el resultado es 3,6 V, lo que indica que la batería elegida para el ensayo estaba compuesta por tres celdas de 3,6 V unidas en serie. Por tanto, la función obtenida caracteriza la descarga de una celda de 3,6 V de Ion – Litio.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

Con la función obtenida podemos hacer simulaciones de distintos tipos de descarga de la batería.

En la Figura 73 se hace una descarga a una potencia constante de 5 KW de una batería de Ion - Litio de tensión nominal 216 V y capacidad nominal de 50 Ah.

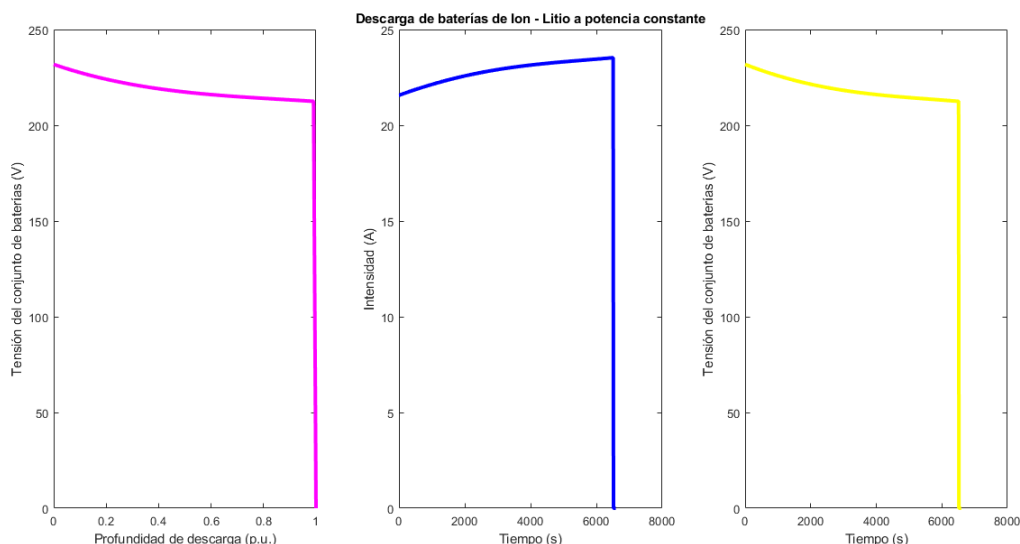


Figura 73: Descarga a potencia constante de una batería de Ion - Litio. (Elaboración propia)

El resultado que se obtiene podemos ver que se adapta a lo esperado ya que, al disminuir el porcentaje de batería, la tensión va cayendo también (Gráfica 1) y al ir transcurriendo el tiempo es cuando la batería se va descargando (Gráfica 3).

Al ser la descarga a potencia constante, y la potencia es:  $P = V * I$ , cuando la tensión comienza a disminuir, la corriente que sale de la batería tiene que ir aumentando para mantener la potencia de descarga constante (Gráfica 2).

Otra posibilidad de simulación es la descarga de la batería a una corriente constante, que es la representada en la Figura 74.

En este caso, la batería que se emplea es de Ion - Litio, con tensión nominal de 18 V y capacidad nominal 50 Ah.

La corriente de descarga para este caso va a ser de 30 A, de 50 A, y de 70 A, por lo que se puede ver la respuesta de la carga suministrada por la batería en cada uno de los tres casos. Cuanto mayor es la corriente de descarga, menor será la carga en Ah de la batería.

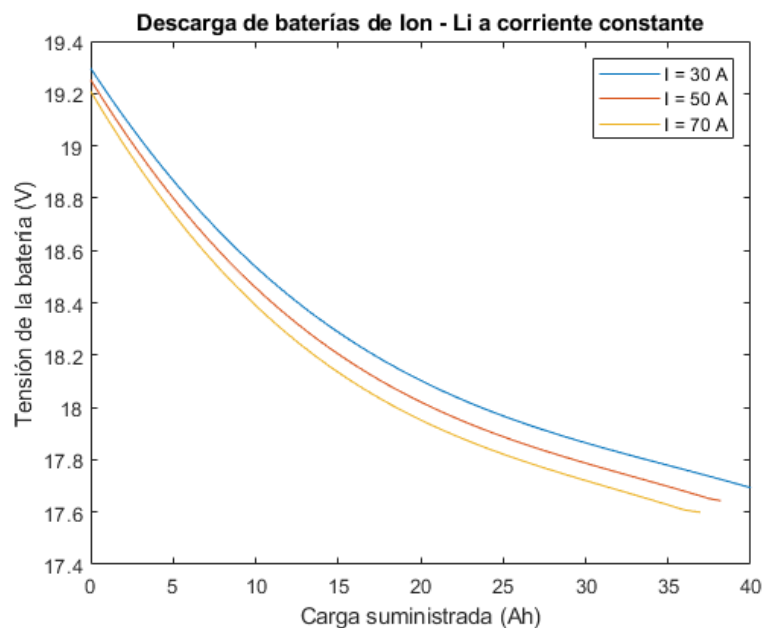


Figura 74: Descarga de la batería de Ion - Litio a corriente constante. (Elaboración propia)

### 4.2. Ciclos de conducción.

Un ciclo de conducción es la representación de la gráfica velocidad tiempo a la que se somete un vehículo.

Existen diferentes tipos de ciclos, según sea el modo de utilización que se pretenda simular, de esta manera, hay ciclos que se centran más en la conducción urbana, es decir, tienen más aceleraciones y frenadas como sucede al conducir por la ciudad, mientras que otros ciclos están creados para simular una conducción por carretera y por tanto una vez que alcanzan la velocidad máxima permitida las variaciones de esta son pequeñas.

También existen combinaciones de ambos tipos de ciclos, urbanos y extraurbanos.

Para nuestra simulación, hemos seleccionado seis ciclos, tres que son urbanos y otros tres que combinan partes urbanas y partes por carretera.

Aunque nuestro autobús va a circular siempre por una ciudad haciendo una ruta de transporte urbano, debido a la facilidad que nos permite el programa creado de cambiar un ciclo por otro, aprovechamos para ver el comportamiento que tiene en una conducción por carretera.



## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

- **Ciclo SFUDS:**

Este ciclo es una adaptación para la conducción urbana del ciclo “The Federal Urban Driving Schedule”, ciclo empleado en Estados Unidos por la Agencia de Protección Medioambiental para medir las emisiones de los vehículos.

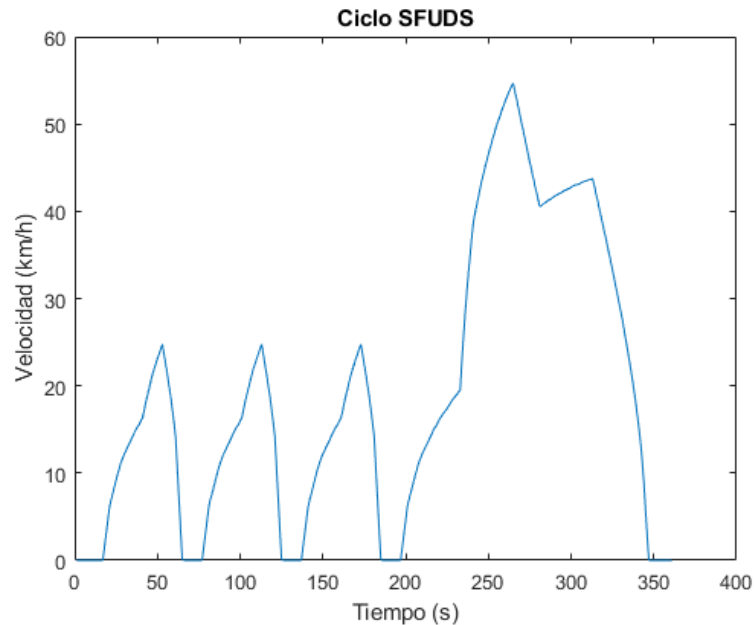


Figura 75: Ciclo SFUDS. (Elaboración propia)

- **Ciclo ECE 15:**

El ECE 15 es un ciclo de conducción empleado por la Unión Europea para la simulación de la conducción urbana.

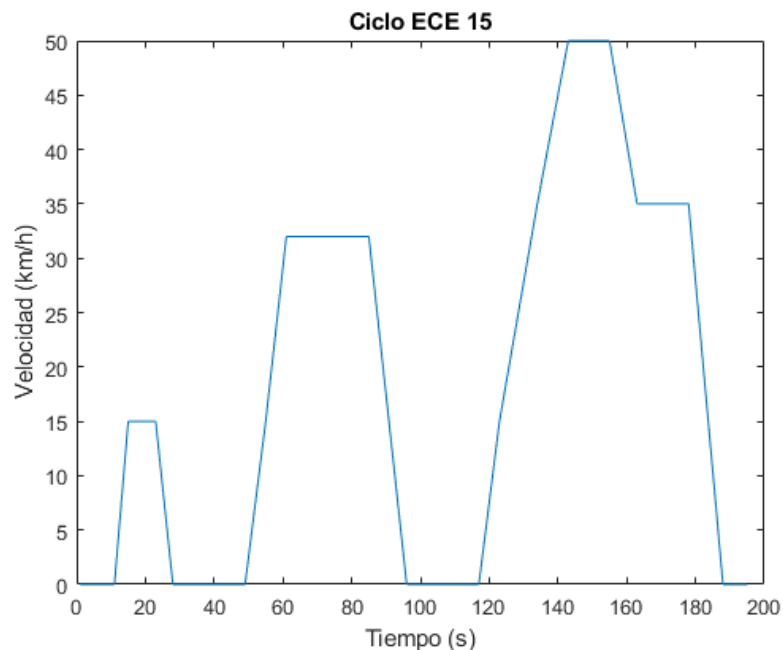


Figura 76: Ciclo ECE 15. (Elaboración propia)

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

- **Ciclo EUDC:**

El ciclo EUDC (Extra-Urban driving cycle) como su propio nombre indica, es el ciclo de conducción extraurbana que emplea la Unión Europea.

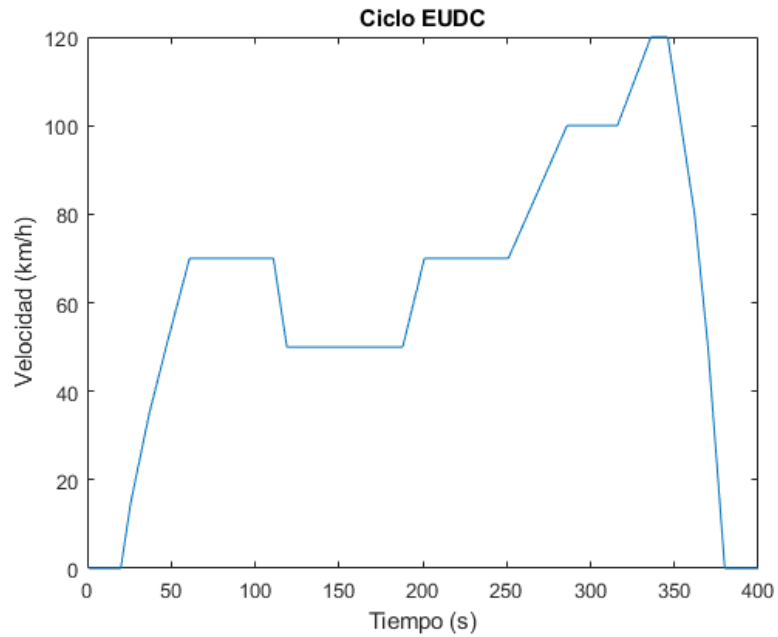


Figura 77: Ciclo EUDC. (Elaboración propia)

- **Ciclo NEDC:**

El New European Driving Cycle NEDC es un ciclo de conducción utilizado en la Unión Europea que consiste en la repetición de cuatro ciclos de conducción urbana ECE-15 repetidos y un ciclo de conducción extraurbano EUDC (Extra-Urban driving cycle). Esta prueba está diseñada para evaluar objetivamente el impacto medioambiental de los automóviles e informar sobre dicho impacto a los consumidores.

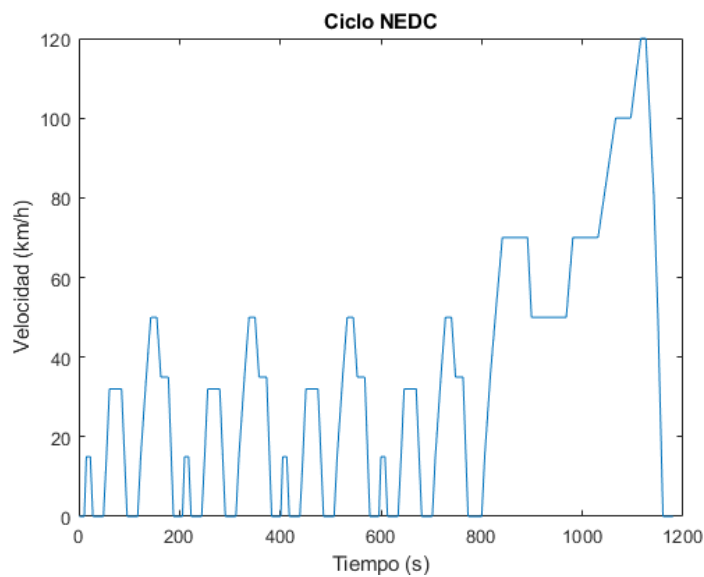


Figura 78: Ciclo NEDC. (Elaboración propia)

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

- **Ciclo WLTP:**

El ciclo WLTP (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedures) está diseñado sobre todo para vehículos ligeros, con el objetivo de determinar la autonomía y los niveles de contaminantes y emisiones de CO<sub>2</sub> y consumo de batería de los vehículos eléctricos. Actualmente es el sustituto del Ciclo NEDC, es un ciclo más estricto ya que emplea perfiles de conducción reales basados en los hábitos de los conductores.

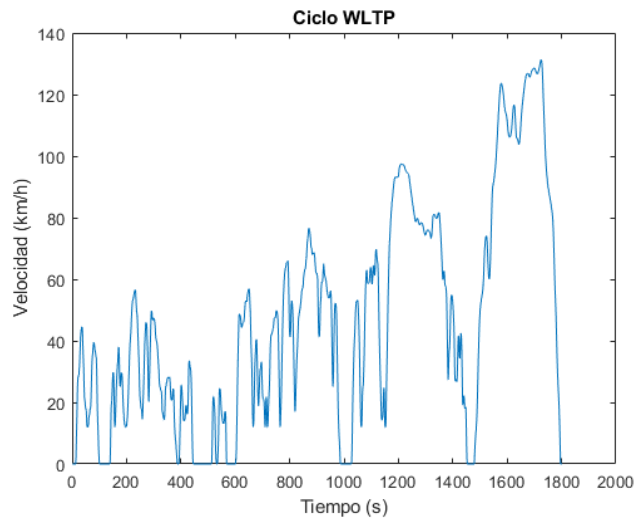


Figura 79: Ciclo WLTP. (Elaboración propia)

- **Ciclo Artemis Urbano:**

Los Ciclos de conducción Artemis (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems), son ciclos basados en el análisis de gran cantidad de patrones del mundo europeo. Hay distintos tipos de ciclo, pero en nuestro caso hemos elegido el de conducción urbana.

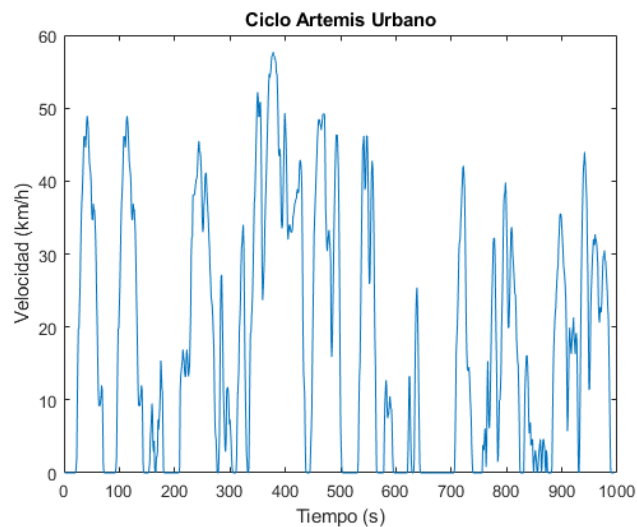


Figura 80: Ciclo Artemis Urbano. (Elaboración propia)

### 4.3. Modelado del autobús.

Para realizar la simulación del autobús, primero modelamos el motor eléctrico que utiliza. Para ello, con los datos de par máximo, potencia máxima y velocidad máxima obtenemos la curva de tracción ideal que tiene el motor (Figura 81).

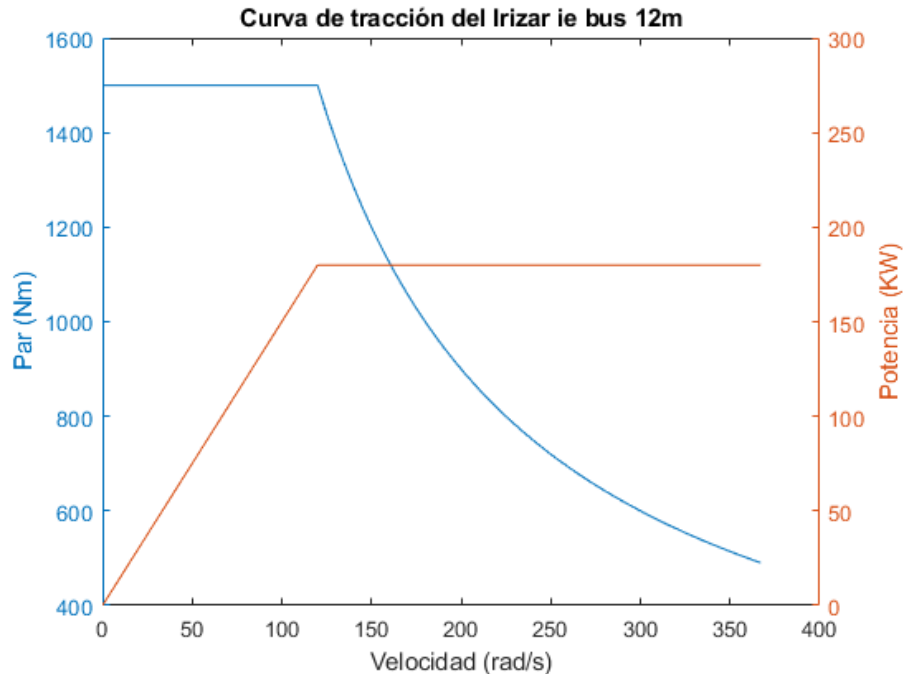


Figura 81: Curva de tracción del Irizar ie bus 12m. (Elaboración propia)

El inversor del autobús alimenta a tensión y frecuencia variable, de manera que la tensión puede tener un valor entre cero y el valor máximo impuesto por la batería. La variación de la tensión y de la frecuencia que alimentan el motor se realiza se traducirá en un desplazamiento y una modificación de la característica de par del motor (Figura 82).

El inversor va a mantener constante la relación tensión / frecuencia en la zona de arranque y bajas velocidades, es decir, a la izquierda, en la zona de par constante.

Ese par constante depende de las necesidades de aceleración del vehículo. Puede quedar limitado por la necesidad de limitar la corriente que circula por el motor y por la adherencia. Y, en cualquier caso, está limitado por la potencia máxima que es capaz de suministrar el motor.

Al llegar al valor máximo de la tensión también se llega al valor máximo de la potencia que puede suministrar el motor. Es lo que hemos llamado velocidad base, que separa dos zonas. A la derecha de la velocidad base, para aumentar la velocidad sólo se puede aumentar la frecuencia. La relación  $V/f$  disminuye y

el par disminuye hiperbólicamente porque la potencia se debe mantener constante a pesar del aumento de velocidad. Es la zona de potencia constante.

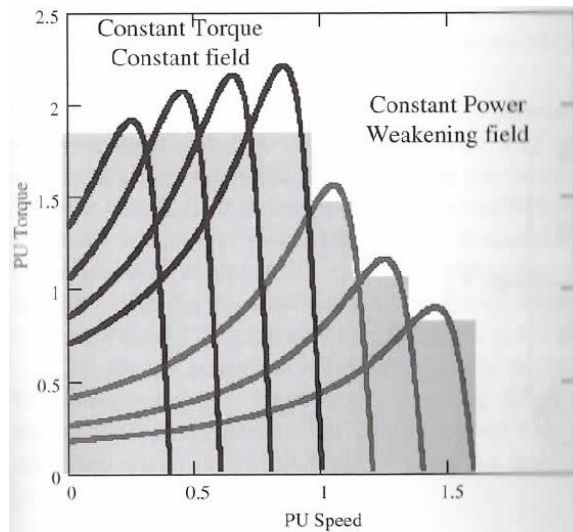


Figura 82: Variación de la característica de par del motor al variar la tensión y la frecuencia. (Alonso Ripoll, 2018)

En el caso del motor eléctrico vemos que quien acerca las curvas de par y de potencia al comportamiento ideal es el inversor. Esta es la función que hacía el cambio de marchas en el motor de combustión interna. Por tanto, se puede decir que en el motor eléctrico el inversor sustituye al cambio.

Para la simulación del funcionamiento del autobús, necesitamos utilizar la ecuación general de la propulsión de un vehículo, que nos dice que la fuerza de tracción total es:

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} + F_{\omega a}$$

Donde:

$$F_{te} = \frac{G}{r} * \eta_g * T$$

*Ecuación 1: Fuerza de tracción total.*

G: relación de transmisión, r: radio de las ruedas,  $\eta_g$ : rendimiento de la transmisión y T: par del motor.

$$F_{rr} = \mu_{rr} * m * g$$

*Ecuación 2: Fuerza de resistencia a la rodadura.*

$\mu_{rr}$ : coeficiente de resistencia a la rodadura, m: masa del vehículo y g: aceleración de la gravedad.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

$$F_{ad} = \frac{1}{2} * \rho * A * C_d * v^2$$

*Ecuación 3: Fuerza de resistencia aerodinámica.*

$\rho$ : densidad del aire,  $C_d$ : coeficiente de resistencia aerodinámica del vehículo,  $A$ : área frontal del autobús y  $v$ : velocidad del autobús.

$$F_{hc} = m * g * \text{sen}(\psi)$$

*Ecuación 4: Peso del vehículo en función de la pendiente.*

$m$ : masa del vehículo,  $g$ : aceleración de la gravedad y  $\psi$ : pendiente del terreno.

$$F_{la} = m * a$$

*Ecuación 5: Fuerza para la aceleración lineal del vehículo.*

$m$ : masa del vehículo y  $a$ : aceleración del autobús.

$$F_{\omega a} = \frac{G^2}{r^2} * I * a$$

*Ecuación 6: Fuerza para la aceleración angular.*

$G$ : relación de transmisión,  $r$ : radio de las ruedas,  $I$ : momento de inercia y  $a$ : aceleración del autobús.

Si en la fuerza para la aceleración ( $F_{la}$ ) lineal del vehículo se aumenta un 5% la masa del vehículo, podemos despreciar entonces la fuerza para la aceleración angular ( $F_{\omega a}$ ).

Para implementar esta ecuación en Matlab, antes tenemos que sustituir el término de la aceleración por:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{v(t+1) - v(t)}{\Delta t}$$

Una vez hecho esto, podemos simular el comportamiento del autobús, ya que los datos de la velocidad vamos a poder disponer siempre de ellos, porque son los extraídos del ciclo de conducción.

La primera simulación (Figura 83) se basa en conocer la aceleración de arranque del autobús, para ello hemos supuesto que el peso total del mismo es de 18000 kg. Se representa en la gráfica de la izquierda la curva velocidad – tiempo y en la de la derecha la curva distancia recorrida – tiempo.



## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

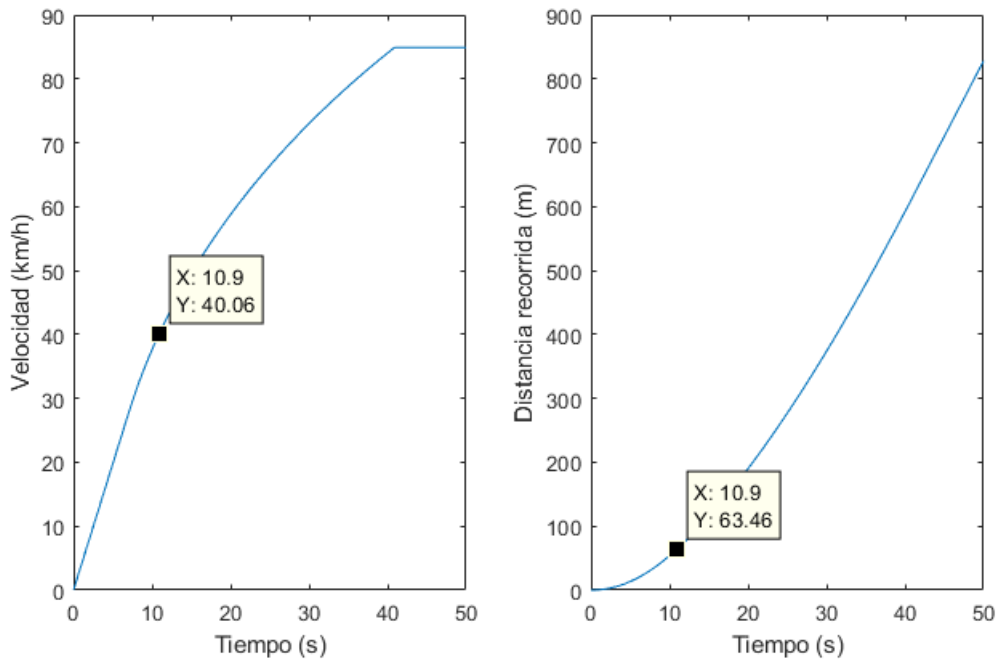


Figura 83: Arranque del autobús. (Elaboración propia)

Si nos fijamos en el punto seleccionado, podemos ver que el autobús es capaz de alcanzar casi 40 km/h en menos de 11 segundos, pesando 18000 Kg. Esto es gracias al elevado par de arranque que tienen los motores eléctricos, que se podía ver en la curva de tracción del autobús (Figura 81).

En el gráfico de la derecha si miramos para los 10,9 segundos que ha tardado en alcanzar el autobús los 40 km/h ha recorrido aproximadamente 63,46 m.

Por lo tanto, se puede concluir que, respecto a los arranques, el autobús escogido para la simulación (Irizar ie bus 12m) tiene una buena salida, a pesar de estar bastante cargado.

Otra simulación que podemos realizar es la autonomía de la batería del autobús en función de la distancia recorrida, Figura 84. Con este programa vamos a representar la tasa de descarga de la batería (fijaremos la profundidad máxima de descarga en un 90%) y la distancia que es capaz de recorrer el autobús en km.

Para este primer caso, vamos a simular que el autobús es una masa total de 18000 kg y la potencia de accesorios que se está consumiendo (climatización, radio, luces, puertas eléctricas, etc.) es de 25KW. A este mismo modelo de autobús le vamos a someter a los seis ciclos de conducción que hemos mencionado en el apartado 4.2 y analizaremos los resultados obtenidos.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

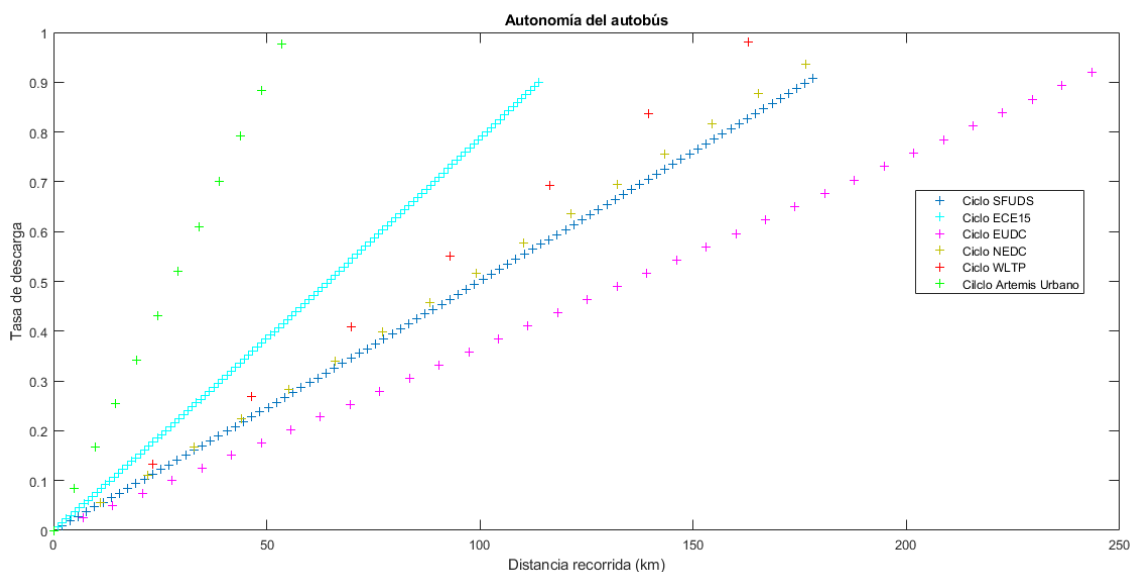


Figura 84: Autonomía del Irizar ie bus 12m (Elaboración propia)

Al analizar los resultados obtenidos, vemos que las dos líneas de puntos que están más hacia la izquierda (verde y cian) son las que corresponden a los ciclos Artemis urbano y ECE 15, es decir, a los ciclos de conducción urbana.

Las líneas de puntos roja, amarilla y azul, en la parte central del gráfico, son las correspondientes a los ciclos WLTP, NEDC y SFUDS, que son ciclos que principalmente combinan conducción urbana y extraurbana.

Por último, la línea de puntos que está más a la derecha es la del ciclo EUDC, el que representa la conducción extraurbana únicamente.

Los resultados obtenidos, son los esperados, ya que es normal que en una conducción urbana el consumo es mucho mayor que en la extraurbana, es decir, la autonomía de la batería del autobús para un modo de circulación urbana disminuye al estar continuamente arrancando y parando en las paradas.

Para el ciclo Artemis urbano la autonomía ha sido de 54 km, en el caso del ciclo ECE 15 de 114 km y en el del SFUDS de 178 km. Como el ciclo Artemis tiene más paradas y arranques rápidos es el motivo por el que la autonomía del vehículo ha disminuido más.

Si vemos el resultado del ciclo EUDC (cerca de 243 km) es el que mayor autonomía le ha dado al autobús debido a que estaría continuamente circulando por una carretera a una velocidad casi constante.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

Sin embargo, tanto el ciclo NEDC como el WLTP, que son ciclos de conducción que combinan tanto espacios urbanos y como extraurbanos, han dado como autonomía 176 km y 162 km respectivamente.

En la siguiente simulación, Figura 85, se utiliza únicamente el ciclo SFUDS y el propósito de la prueba es ir variando la potencia de accesorios, es decir, la potencia eléctrica que tiene el autobús conectada y ver como esto afecta a la autonomía del vehículo. Para esta simulación la masa del vehículo seguimos fijándola en 18000 kg.

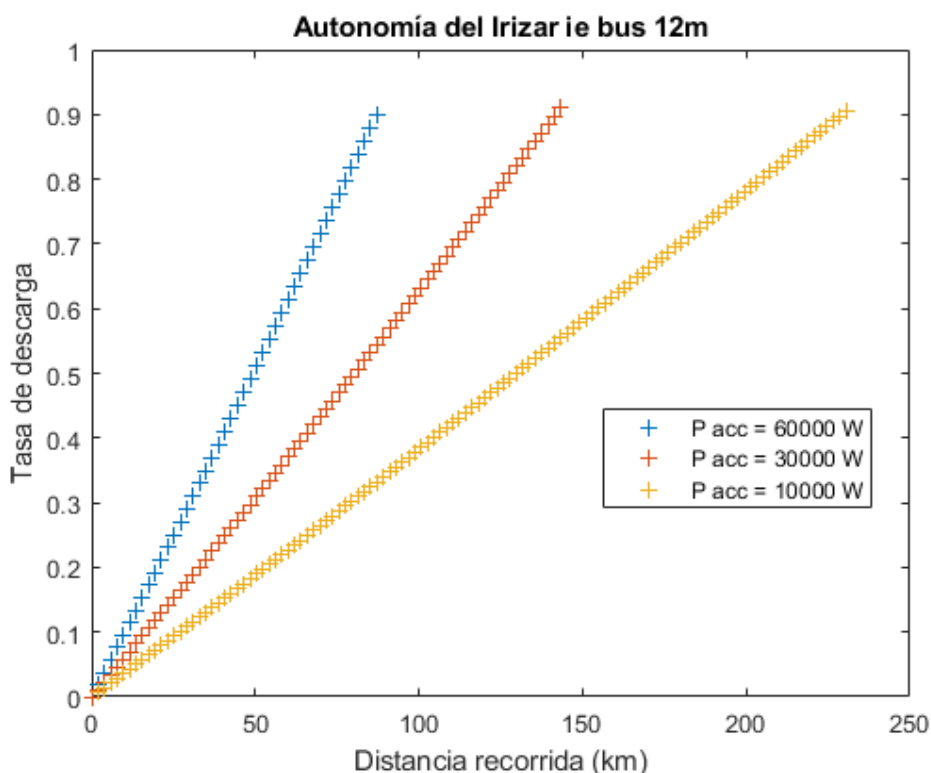


Figura 85: Autonomía del Irizar ie bus variando la potencia de accesorios. (Elaboración propia)

Analizando los resultados, vemos que la potencia de accesorios que tiene el autobús es uno de los factores más condicionantes de la autonomía del mismo. Para la  $P_{acc}$  de 60000 W la autonomía es de 87 km, para  $P_{acc}$  de 30000 W la autonomía es de 143 km y para  $P_{acc}$  de 10000 W la autonomía es de 230 km.

Conociendo los resultados obtenidos, una buena solución puede ser aplicar medidas de ahorro, como evitar consumos innecesarios, no abusar de la calefacción o del aire acondicionado, porque en una ruta de autobús urbano tampoco es mucha la pérdida por reducir a la mitad la climatización, teniendo en cuenta todos los beneficios que se obtienen con el empleo de autobuses 100% eléctrico.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

En el catálogo con los datos del Irizar ie bus 12 m se indica que el sistema de climatización está separado el del conductor y el de los pasajeros. Los datos de potencia utilizada en climatización son de:

Conductor – Sistema Hispacold Cero emisiones  
(frío: 3,5 KW, calor: 13 KW)

Pasajeros – Sistema Hispacold Cero emisiones  
(frío: 28 KW, calor: 32 KW)

Por tanto, el aire acondicionado tanto del conductor como de los pasajeros supone una potencia de  $3,5 + 28 = 31,5$  KW y la calefacción de ambas zonas será de  $13 + 32 = 45$  KW.

De esta manera probaremos la autonomía del autobús (Figura 86) para el caso de aire acondicionado al 100% (31,5 KW), calefacción al 100% (45 KW), aire acondicionado al 50% (15,75 KW) y calefacción al 50% (22,5 KW).

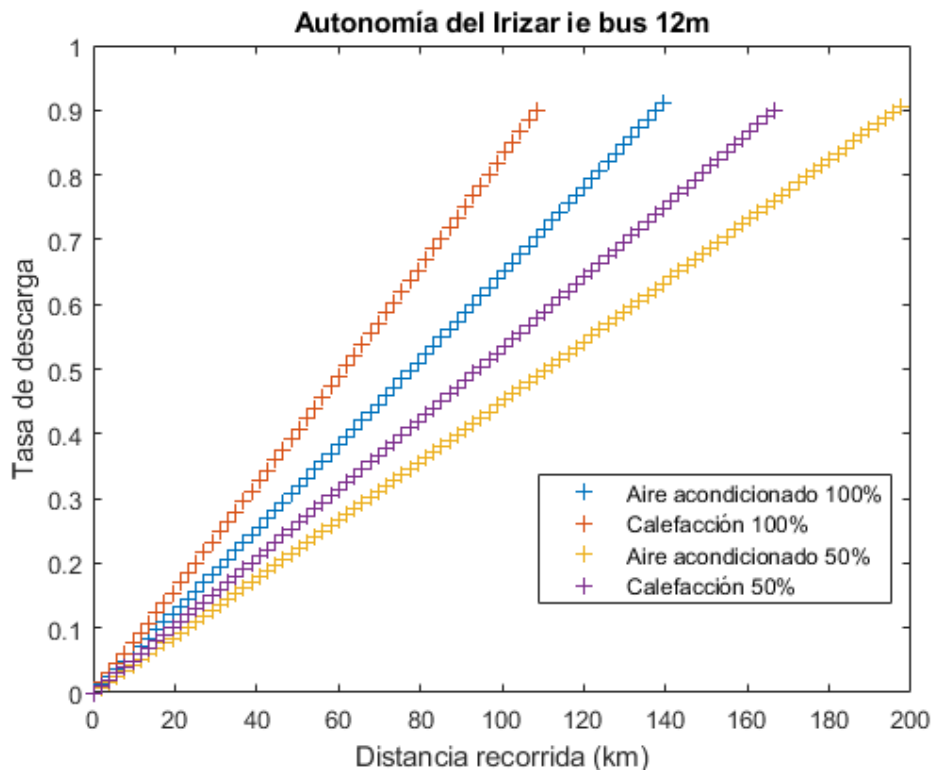


Figura 86: Autonomía del Irizar ie bus variando el consumo de la climatización. (Elaboración propia)

Los resultados de esta simulación refuerzan la recomendación que habíamos hecho en la conclusión de la simulación anterior, es decir, que al reducir tanto la calefacción como el aire acondicionado a la mitad de potencia, la autonomía del autobús ha aumentado casi en 60 km para cada uno de los dos casos.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

En el programa implementado en Matlab, también se ha incluido la posibilidad de cambiar el tipo de batería, es decir, además de las celdas de Ion - Litio que se han utilizado en estas simulaciones anteriores, probar qué sucedería en el caso de emplear celdas de plomo - ácido o de níquel - cadmio. En la Figura 87 se muestra el resultado de este cambio.

Como masa del vehículo mantenemos los 18000 kg, ciclo de conducción SFUDS y potencia de accesorios 25 KW.

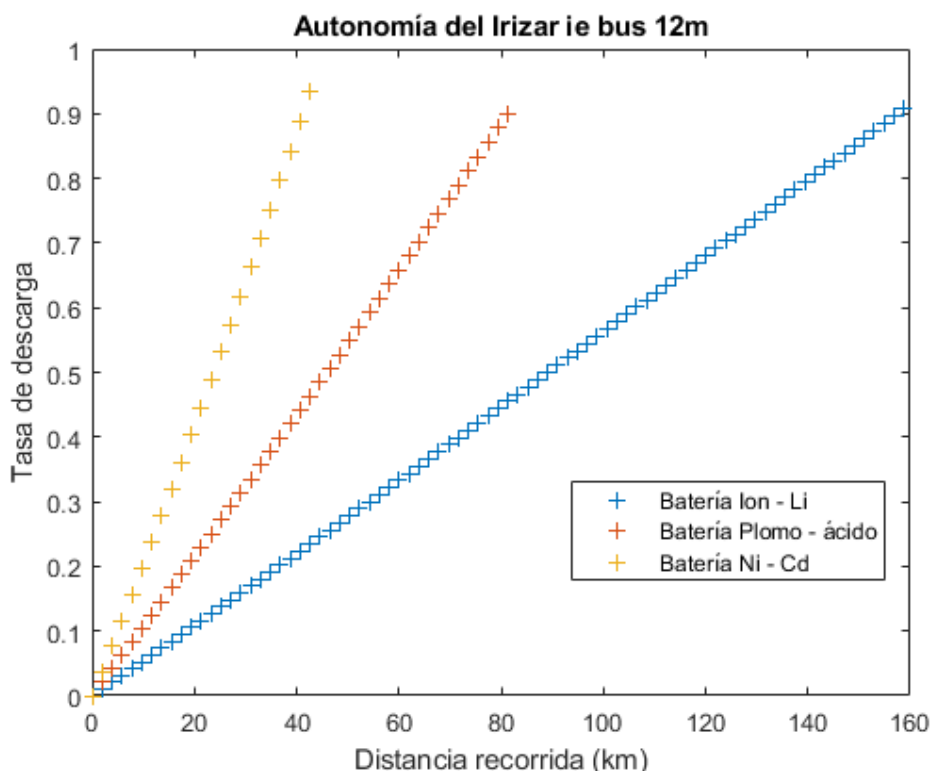


Figura 87: Autonomía del Irizar ie bus variando el tipo de batería. (Elaboración propia)

La variación de la autonomía según el tipo de batería se debe principalmente a que la tensión de cada celda es diferente, por ejemplo, para las de Ion - litio la tensión es de 3,6 V, mientras que para las de Plomo - ácido es de 2 V o en el caso de las de Ni - Cd es de tan solo 1,2 V.

Por tanto, la tensión final de pack de baterías es distinta, aunque el número de celdas sea el mismo en los tres casos. Si queremos que la tensión vuelva a ser la misma, necesitaríamos añadir más celdas en serie, que ocuparían más espacio y supondrían más peso para el autobús.

Para nuestro caso, la batería de Ion - Litio es la que mejor funciona en el autobús ya que le libera de un peso que le haría disminuir su autonomía.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

Al igual que la potencia de accesorios que tiene el autobús, otra variable que afecta a la autonomía es la masa total, es decir, cuanto más cargado esté, menor será la autonomía.

En este ensayo (Figura 88), la potencia de accesorios conectada será de 40 KW y se mantendrá constante, mientras que la masa del autobús va a variar entre la tara, cuando está completamente vacío, un peso intermedio entre la tara y la MMA y finalmente cuando el peso del autobús esté en la Masa Máxima Autorizada (MMA).

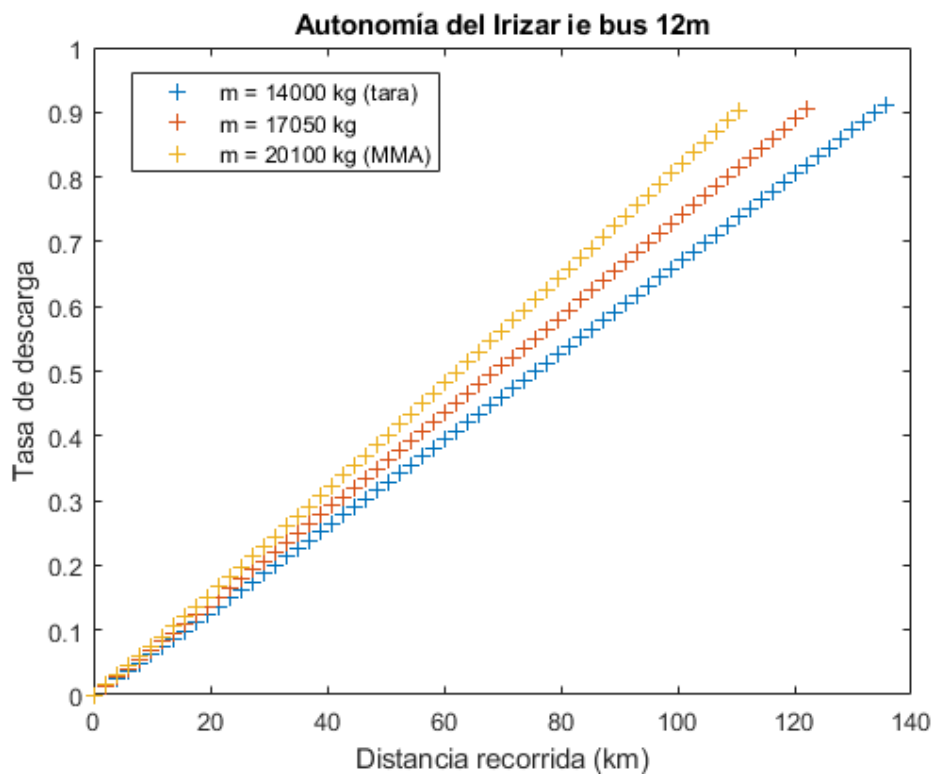


Figura 88: Autonomía del Irizar ie bus variando el peso del autobús. (Elaboración propia)

En el caso más favorable, cuando el peso es de 14000 kg, la autonomía de nuestro autobús se queda en 136 km, con una masa de 17050 kg la autonomía baja a 122 km y si el vehículo está con la Masa Máxima Autorizada, entonces su autonomía es de 110 km.

Analizando el resultado, vemos que el peso también es un factor importante porque al aumentar la masa del autobús, la autonomía ha bajado cerca de 26 km. No obstante, la mayor pérdida de autonomía del vehículo es debido a la potencia de accesorios conectados como vimos en las Figuras 85 y 86.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

En el ensayo de la Figura 89, se ha pretendido mostrar la mejor y la peor situación en las que se puede encontrar el autobús, es decir, el supuesto de la peor situación se da cuando la masa sea la Masa Máxima Autorizada y la calefacción esté puesta ( $P_{\text{accesorios}} = 45 \text{ KW}$ ) y la mejor situación cuando la masa sea únicamente la de la tara del autobús (sin pasajeros), con la climatización completamente desconectada ( $P_{\text{accesorios}} = 2 \text{ KW}$ ).

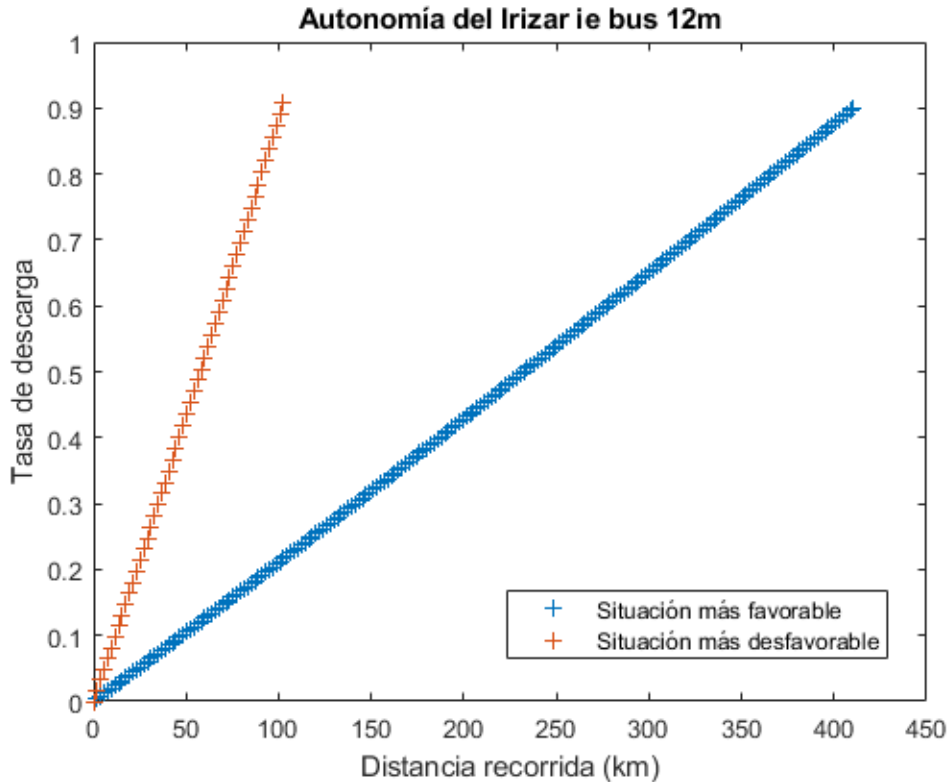


Figura 89: Autonomía del Irizar ie bus variando el peso y la potencia de accesorios del autobús. (Elaboración propia)

Analizando los resultados, vemos que en el primer caso (situación más desfavorable) se puede tratar de un día de invierno, pero en el caso de la situación más favorable es un supuesto algo lejano de la realidad de este tipo de autobuses ya que, al ser una ruta urbana por la ciudad, siempre va a estar montando y bajando gente y el vehículo no circulará en vacío.

En cuanto a la autonomía, el Irizar ie bus 12m tiene un buen alcance, es decir, es una alternativa útil a los autobuses que actualmente operan en las ciudades.



Pero además de la gráfica de la autonomía del autobús que relaciona la tasa de descarga de la batería con la distancia recorrida, el programa es capaz de mostrarnos más parámetros internos del motor, como la curva de potencia del motor / tiempo (Figura 90), aceleración / tiempo (Figura 91), eficiencia del motor / tiempo (Figura 92), tensión de la batería / tiempo (Figura 93) e intensidad / tiempo (Figura 94).

En este último ensayo, hemos empleado como ciclo de conducción el Ciclo SFUDS, como masa del vehículo 18000 kg y como potencia de accesorios se ha supuesto 25 KW.

En las figuras de los ensayos, en el eje derecho, se ha representado la gráfica velocidad / tiempo (Ciclo SFUDS) para poder comparar la variación de la velocidad con el parámetro que se analiza en el eje izquierdo y obtener de forma más clara conclusiones acerca de lo sucedido.

- Curva de potencia del motor / tiempo:

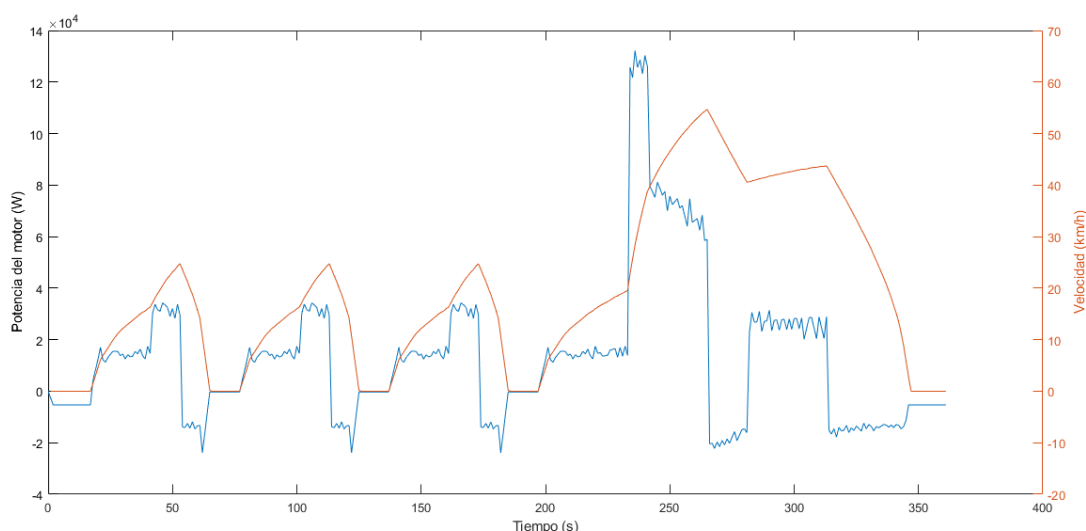


Figura 90: Curva P motor / Tiempo. (Elaboración propia)

En este caso, podemos ver como cuando el autobús está acelerando, la potencia es positiva, es decir, que sale de la batería hacia el motor, pero en el caso de las frenadas se ve muy claramente cómo actúa el frenado regenerativo recuperando energía.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

- Curva de aceleración / tiempo:

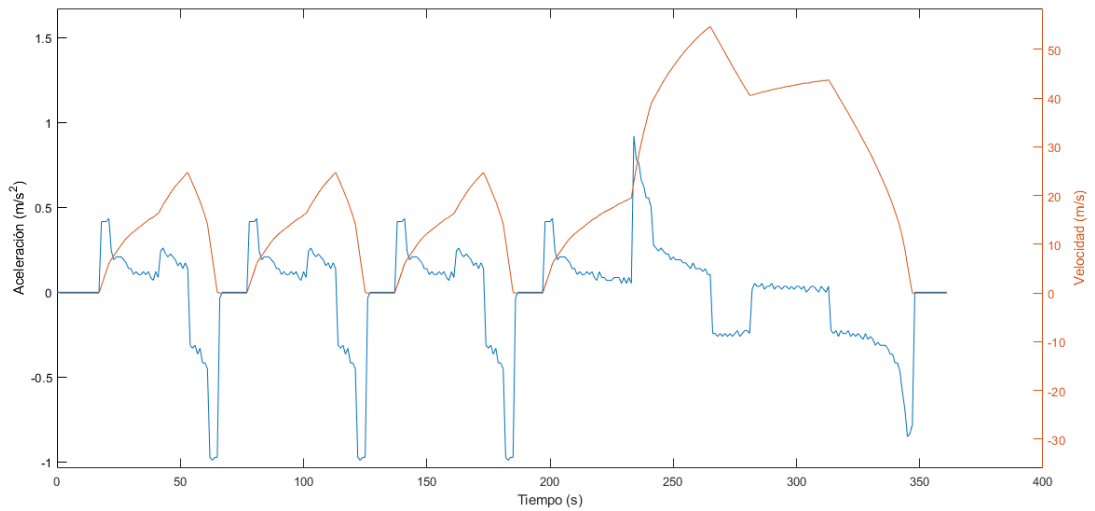


Figura 91: Curva Aceleración / Tiempo. (Elaboración propia)

Con esta curva podemos contrastar la aceleración que tiene el autobús en cada momento el autobús y con la ayuda de la gráfica velocidad / tiempo ver cuando éste comienza a frenar o acelerar.

- Curva de eficiencia del motor / tiempo:

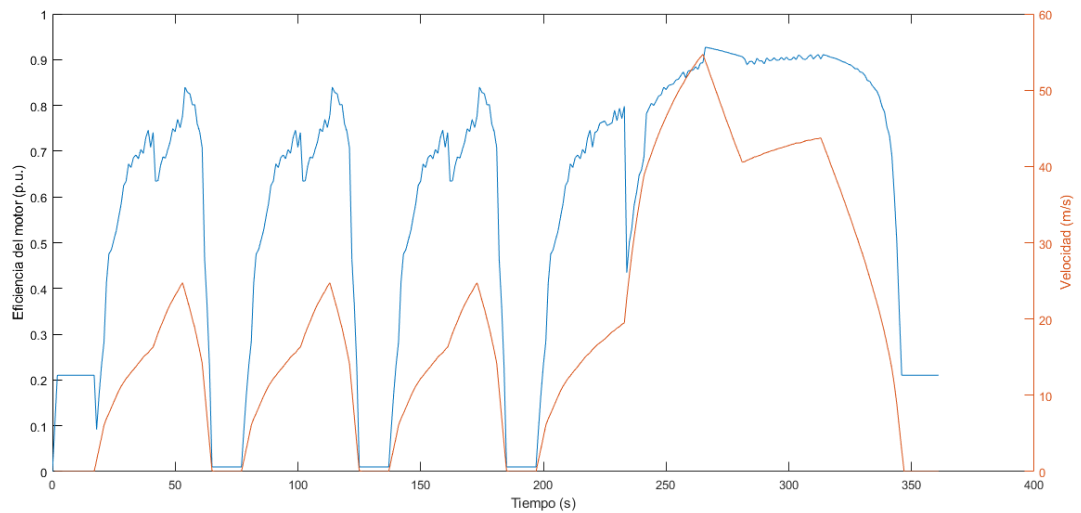


Figura 92: Curva Eficiencia del motor / Tiempo. (Elaboración propia)

Este gráfico permite ver cómo varía la eficiencia del motor a lo largo del ciclo. Cuando el motor comienza a adquirir velocidad, su eficiencia mejora, acercándose al 90%.

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

- Curva de tensión de la batería / tiempo:

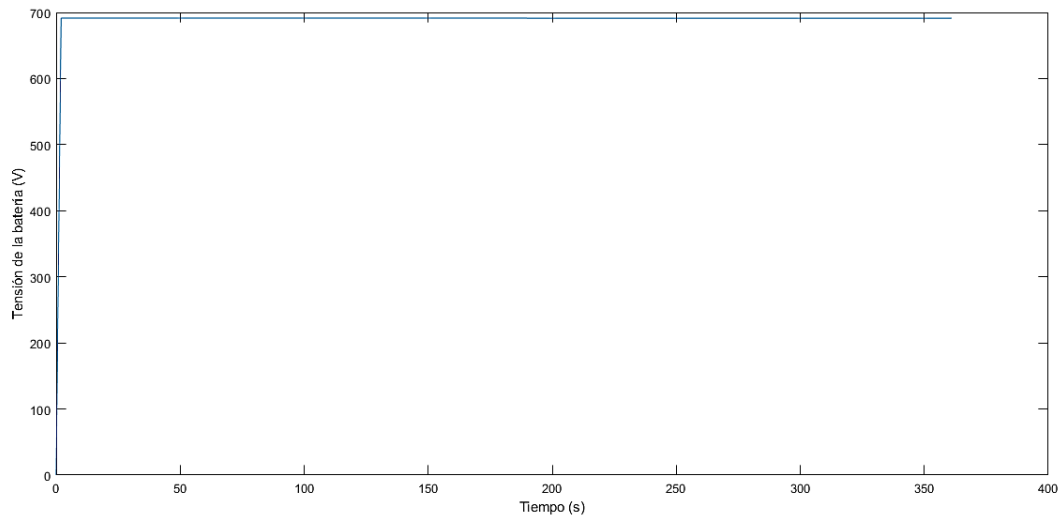


Figura 93: Curva Tensión de la batería / Tiempo. (Elaboración propia)

En este caso, no se ve mucho la gráfica, pero a pesar de parecer una línea recta, en realidad la gráfica es igual que la que aparece en la Figura 73. La tensión del conjunto de baterías va disminuyendo a medida que la carga de la misma se va gastando.

- Curva de intensidad / tiempo:

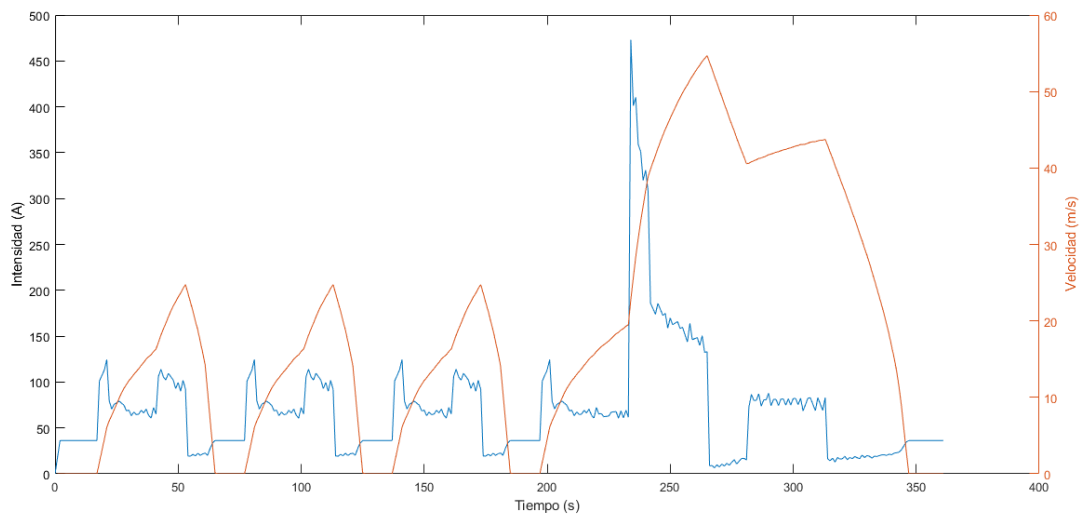


Figura 94: Curva Intensidad / Tiempo. (Elaboración propia)

Con esta representación podemos ver cómo varía la intensidad del motor dependiendo de las aceleraciones que realiza el autobús a lo largo del ciclo.

Como se puede ver, con el programa elaborado es posible conocer multitud de parámetros útiles a la hora de estudiar el comportamiento del autobús.

## 5. Conclusiones obtenidas y trabajos relacionados.

### 5.1. Conclusiones.

Una vez realizado este trabajo, las conclusiones a las que podemos llegar son:

- A lo largo de la historia los autobuses eléctricos o híbridos han aparecido varias veces, aunque en cada etapa con propósitos diferentes. Aparecieron en los primeros años del siglo XX con el fin de mejorar las transmisiones mecánicas, pero al mejorar estas, los autobuses eléctricos cayeron en el olvido, hasta que en los años 90 se comienzan a retomar proyectos para la hibridación de autobuses, pero esta vez, ya con el fin de construir vehículos que sean sostenibles con el medio ambiente.
- A pesar de la mejora de las tecnologías de las baterías, si hay una barrera que aún no se ha conseguido vencer es la de conseguir una buena autonomía con unas baterías que tengan menor peso y ocupen menos espacio. Como se ve en el apartado “2.1. Orígenes”, este problema le ocurrió en el autobús de Emilio de la Cuadra y al camión Pegaso 100% eléctrico y también les ocurre a los autobuses actuales, de ahí que algunas compañías han decidido apostar por el concepto de carga de oportunidad para así reducir el tamaño de la batería.
- Otra conclusión a la que se puede llegar es que los autobuses eléctricos tal y como están diseñados hoy en día solamente sirven para utilizarlos en rutas urbanas. Actualmente no existen alternativas eléctricas para el transporte de viajeros por carretera a media y larga distancia. Únicamente existe una solución a medio plazo para reducir la contaminación, que es sustituir los autobuses con motor diésel por autobuses con modernos motores de gas.
- En cuanto al autobús eléctrico simulado, hemos podido ver cómo responde la autonomía en los distintos tipos de ciclos, cómo afectan los sistemas de climatización eléctricos y la masa total del vehículo. También se ha podido analizar los parámetros internos del motor y las baterías, tales como la velocidad, la aceleración, la potencia, la tensión o la intensidad. Parámetros que en definitiva nos ayudan a comprender mejor cómo funciona el autobús.

## 5.2. Trabajos relacionados.

A partir de este trabajo, surgen diversos temas sobre los que se pueden aún seguir ampliando el estudio realizado:

- Simulación de otros autobuses eléctricos con distintas características.
- Prueba más con ciclos de conducción sobre todo centrados en el terreno urbano.
- Extraer las curvas de potencia del motor / tiempo, aceleración / tiempo, eficiencia del motor / tiempo, tensión de la batería / tiempo e intensidad / tiempo para otros tipos de condiciones, por ejemplo, cambiando la masa del vehículo o la potencia de accesorios.
- Simulación de más tipos de baterías para conocer cómo responde la autonomía del autobús.
- Análisis de autobuses con pila de combustible en lugar de baterías.



Figura 29: Modelo Volvo 7900 Eléctrico. (Volvo, 2016) .....	34
Figura 30: Cargador Volvo situado en una parada. (Volvo, 2016) .....	35
Figura 31: Irizar i4h Híbrido. (Irizar, 2017).....	36
Figura 32: Irizar i3h Híbrido. (Irizar, 2017).....	37
Figura 33: Modos de funcionamiento del paquete híbrido. (Irizar, 2017).....	38
Figura 34: Cadena cinemática. (Irizar, 2017) .....	38
Figura 35: Mercedes Citaro Híbrido. (Mercedes-Benz, 2018) .....	39
Figura 36: Esquema Mercedes Citaro Híbrido. (Mercedes-Benz, 2018) .....	40
Figura 37: Inversor de corriente del Mercedes Citaro Híbrido. (Mercedes-Benz, 2018).....	41
Figura 38: Supercaps del Mercedes Citaro Híbrido. (Mercedes-Benz, 2018).....	41
Figura 39: Autobus Mercedes eCitaro 100% eléctrico. (Mercedes-Benz, 2018) .....	42
Figura 40: Disposición de los componentes del autobús. (Mercedes-Benz, 2018).....	43
Figura 41: Módulos de baterías. (Mercedes-Benz).....	43
Figura 42: Conector de carga Combo-2. (Mercedes-Benz, 2018).....	44
Figura 43: MAN Lions’s City Híbrido. (MAN Truck & Bus SE, 2018).....	45
Figura 44: Sistema MAN Efficient Hybrid. (MAN Truck & Bus SE, 2018).....	46
Figura 45: Módulo de Ultracap. (MAN Truck & Bus SE, 2018).....	46
Figura 46: Ejemplo de conducción en tráfico urbano (SORT 2). (MAN Truck & Bus SE, 2018) .....	47
Figura 47: MAN Lion’s City Eléctrico. (MAN Truck & Bus AG ) .....	48
Figura 48: Scania Citywide Híbrido. (Scania, 2017).....	49
Figura 49: Cadena Cinemática Scania Citywide Híbrido. (Scania, 2017).....	50
Figura 50: Flujo de energía en el módulo híbrido. (Scania, 2017).....	51
Figura 51: Autobús Proterra Catalyst E2 max. (hibridosyelectricos.com, 2017) .....	51
Figura 52: Tabla de características del Proterra Catalyst. (Proterra) .....	52
Figura 53: Carga del autobús Proterra. (Proterra) .....	52
Figura 54: Primera autopista eléctrica en Alemania. (El País, 2019) .....	53
Figura 55: Detalle pantógrafo. (El País, 2019) .....	54
Figura 56: Irizar ie bus de 18 m. (Irizar Group, 2018) .....	56
Figura 57: Irizar ie tram. (Irizar Group, 2018).....	56
Figura 58: Celdas de batería. (Toshiba) .....	57
Figura 59: Construcción del pack de baterías. (Irizar Group, 2019).....	58
Figura 60: Motor síncrono de imanes permanentes Alconza. (Irizar Group, 2019).....	58
Figura 61: Distribución de butacas para acceso de dos puertas Irizar ie bus 10.8 m. (Irizar Group, 2018) .....	60
Figura 62: Distribución de butacas para acceso de tres puertas Irizar ie bus 12 m. (Irizar Group, 2018) .....	63



Figura 63: Distribución de butacas para acceso de dos puertas Irizar ie bus 12 m. (Irizar Group, 2018) .....	64
Figura 64: Distribución de butacas Irizar ie bus 18 m. (Irizar Group, 2018)...	67
Figura 65: Distribución de butacas Irizar ie tram 18 m. (Irizar Group, 2018) .	67
Figura 66: Características del cargador por pantógrafo. (Irizar Group, 2018)	80
Figura 67: Características técnicas de los cargadores modulares. (Irizar Group, 2018) .....	81
Figura 68: Irizar ie tram conectado al pantógrafo. (Irizar Group, 2018) .....	82
Figura 69: Batería de Ion – Litio utilizada para los ensayos. (Elaboración propia) .....	84
Figura 70: Toma de datos de la batería. (Elaboración propia) .....	85
Figura 71: Resultados del ensayo de la batería de Ion – Litio. (Elaboración propia).....	86
Figura 72: Polinomio aproximador de la caída de tensión de la batería. (Elaboración propia).....	86
Figura 73: Descarga a potencia constante de una batería de Ion – Litio. (Elaboración propia).....	87
Figura 74: Descarga de la batería de Ion – Litio a corriente constante. (Elaboración propia).....	88
Figura 75: Ciclo SFUDS. (Elaboración propia).....	89
Figura 76: Ciclo ECE 15. (Elaboración propia) .....	89
Figura 77: Ciclo EUDC. (Elaboración propia).....	90
Figura 78: Ciclo NEDC. (Elaboración propia).....	90
Figura 79: Ciclo WLTP. (Elaboración propia) .....	91
Figura 80: Ciclo Artemis Urbano. (Elaboración propia) .....	91
Figura 81: Curva de tracción del Irizar ie bus 12m. (Elaboración propia) .....	92
Figura 82: Variación de la característica de par del motor al variar la tensión y la frecuencia. (Alonso Ripoll, 2018).....	93
Figura 83: Arranque del autobús. (Elaboración propia) .....	95
Figura 84: Autonomía del Irizar ie bus 12m (Elaboración propia).....	96
Figura 85: Autonomía del Irizar ie bus variando la potencia de accesorios. (Elaboración propia).....	97
Figura 86: Autonomía del Irizar ie bus variando el consumo de la climatización. (Elaboración propia).....	98
Figura 87: Autonomía del Irizar ie bus variando el tipo de batería. (Elaboración propia).....	99
Figura 88: Autonomía del Irizar ie bus variando el peso del autobús. (Elaboración propia).....	100
Figura 89: Autonomía del Irizar ie bus variando el peso y la potencia de accesorios del autobús. (Elaboración propia).....	101
Figura 90: Curva P motor / Tiempo. (Elaboración propia) .....	102
Figura 91: Curva Aceleración / Tiempo. (Elaboración propia).....	103
Figura 92: Curva Eficiencia del motor / Tiempo. (Elaboración propia) .....	103

## MOVILIDAD ELÉCTRICA EN EL TRANSPORTE DE VIAJEROS

Figura 93: Curva Tensión de la batería / Tiempo. (Elaboración propia) .....	104
Figura 94: Curva Intensidad / Tiempo. (Elaboración propia).....	104

## Índice de tablas.

Tabla 1: Fabricación de autobuses híbridos eléctricos desde 1911 hasta 2010. (Wikipedia, 2018) .....	22
Tabla 2: Datos técnicos Irizar ie bus 10.8m.c (Irizar Group, 2018) .....	63
Tabla 3: Datos técnicos Irizar ie bus 12m. (Irizar Group, 2018) .....	66
Tabla 4: Datos técnicos Irizar ie bus / ie tram 18 m. (Irizar Group, 2018).....	70



## Bibliografía

**Alonso Ripoll, Franciso Javier. 2018.** Apuntes Sistemas de Transporte de Tracción Eléctrica. [En línea] 2018. [Citado el: 20 de Febrero de 2019.] <https://campusvirtual.uva.es/>.

**blog.directseguros.es. 2019.** Las pegatinas de la DGT: todo lo que debes conocer sobre las etiquetas ecológicas: [blog.directseguros.es](http://blog.directseguros.es). [En línea] 9 de Abril de 2019. [Citado el: 28 de Abril de 2019.] [https://blog.directseguros.es/coches\\_y\\_personas/pegatinas-dgt-debes-conocer-las-etiquetas-ecologicas/](https://blog.directseguros.es/coches_y_personas/pegatinas-dgt-debes-conocer-las-etiquetas-ecologicas/).

**Castrosua. 2018.** Magnus H: Castrosua. [En línea] Septiembre de 2018. [Citado el: 5 de Mayo de 2019.] [https://www.castrosua.com/wp-content/uploads/2018/09/Ficha\\_tecnica\\_Magnus\\_Hybrid\\_SCANIA\\_CASTROSUA.pdf](https://www.castrosua.com/wp-content/uploads/2018/09/Ficha_tecnica_Magnus_Hybrid_SCANIA_CASTROSUA.pdf).

**Cinco Días. 2019.** La autopista eléctrica alemana que de momento solo puede usar un camión: [cincodias.elpais.com](http://cincodias.elpais.com). [En línea] 13 de Mayo de 2019. [Citado el: 20 de Mayo de 2019.] [https://cincodias.elpais.com/cincodias/2019/05/13/companias/1557770070\\_182934.html](https://cincodias.elpais.com/cincodias/2019/05/13/companias/1557770070_182934.html).

**Comunidad de Madrid.** Servicios e información, Transporte: Comunidad de Madrid. [En línea] [Citado el: 10 de Abril de 2019.] <http://www.comunidad.madrid/servicios/transporte/autorizaciones-transporte-carretera>.

**Consortio Regional de Transportes de Madrid.** Club de amigos del transporte público: CRTM. [En línea] [Citado el: 13 de Abril de 2019.] <https://clubdeamigos.crtm.es/para-ti/info-util/historia-del-transporte-en-madrid.html>.

**CurioSfera.** Historia del Autobús: Curiosfera. [En línea] [Citado el: 13 de Abril de 2019.] <https://clubdeamigos.crtm.es/para-ti/info-util/historia-del-transporte-en-madrid.html>.

**Dirección General de Tráfico.** Distintivo Ambiental: DGT. [En línea] [Citado el: 28 de Abril de 2019.] <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/distintivo-ambiental/>.

**El País. 2019.** Alemania abre la primera autopista eléctrica para camiones: [elpais.com](http://elpais.com). [En línea] 8 de Mayo de 2019. [Citado el: 8 de Mayo de 2019.] [https://elpais.com/sociedad/2019/05/08/actualidad/1557326979\\_757811.html](https://elpais.com/sociedad/2019/05/08/actualidad/1557326979_757811.html).

**encamion.com. 2014.** Fondo histórico de autobuses clásicos de la EMT: encamion.com. [En línea] 14 de Mayo de 2014. [Citado el: 13 de Abril de 2019.] <https://www.encamion.com/bus/autobus/clasico/emt/fondo/historico/coche-ras/madrid/leyland/pegaso/guy/transporte/museo/camion/encamion>.

**Fernandez Valentí, Ricard. 2012.** Historia del autobús en Barcelona (III): de la posguerra a la municipalización: El tranvía 48 Blog. [En línea] 13 de Octubre de 2012. [Citado el: 13 de Abril de 2019.] <http://eltranvia48.blogspot.com/2012/10/historia-del-autobus-en-barcelona-iii.html>.

**Garaje 22. 2011.** El Pegaso Z-601, totalmente eléctrico: Garaje 22 Blog. [En línea] 29 de Noviembre de 2011. [Citado el: 6 de Mayo de 2019.] <http://garaje-22.blogspot.com/2011/11/el-pegaso-z-601-totalmente-electrico.html>.

**Gomez Guzmán, Juan Carlos. 2010.** El motor trasero: Autobuses Mercedes Benz (Blog). [En línea] 5 de Febrero de 2010. [Citado el: 18 de Abril de 2019.] <http://autobusesmercedesbenz.blogspot.com/2010/02/el-motor-trasero.html>.

**hibridosyelectricos.com. 2017.** Proterra, el autobús eléctrico capaz de recorrer 1.770 km con una sola carga: hibridosyelectricos.com. [En línea] 09 de Octubre de 2017. [Citado el: 03 de Mayo de 2019.] <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/mercado/proterra-autobus-capaz-recorrer-1770-km-carga/20171006165651015231.html>.

**Irizar. 2017.** Autobuses y autocares, Híbridos: irizar.com. [En línea] Septiembre de 2017. [Citado el: 6 de Mayo de 2019.] <https://www.irizar.com/descargas/catalogos/hibridos/>.

**Irizar Group. 2018.** Catálogo Irizar e-mobility: Irizar Group. [En línea] 2018. [Citado el: 16 de Febrero de 2019.] [https://issuu.com/irizar-buses/docs/irizar\\_20emobility\\_es?e=0](https://issuu.com/irizar-buses/docs/irizar_20emobility_es?e=0).

—. **2019.** Soluciones integrales de electromovilidad llave en mano: Irizar Group. [En línea] 2019. [Citado el: 6 de Mayo de 2019.] <https://www.irizar-emobility.com/>.

**Iveco.** Ficha técnica Urbanway Hybrid. [En línea] [Citado el: 5 de Mayo de 2019.] [https://www.iveco.com/ivecobus/es-es/collections/technical\\_sheets/Documents/Iveco\\_Bus\\_Update/Urbanway/Urbanway\\_Hibrido\\_12m.pdf](https://www.iveco.com/ivecobus/es-es/collections/technical_sheets/Documents/Iveco_Bus_Update/Urbanway/Urbanway_Hibrido_12m.pdf).

—. **2017.** Gama Full Hybrid: Iveco. [En línea] 2017. [Citado el: 5 de Mayo de 2019.] [https://www.iveco.com/ivecobus/es-es/Documents/IvecoBUS\\_Products/Iveco\\_BrochureUrbanwayFH\\_ES.PDF](https://www.iveco.com/ivecobus/es-es/Documents/IvecoBUS_Products/Iveco_BrochureUrbanwayFH_ES.PDF).

*La movilidad sostenible en la ciudad. autobuses & autocares. 2018. 318, 2018.*

**Larminie, James y Lowry, John. 2003.** *Electric Vehicle Technology Explained.* s.l. : John Wiley & Sons, Ltd, 2003. 0-470-85163-5.

**MAN Truck & Bus AG .** El nuevo MAN Lion's City E: bus.man.eu. [En línea] [Citado el: 10 de Mayo de 2019.] [https://www.bus.man.eu/es/es/autobuses-urbanos/lion\\_s-city-e/vista-general/vista-general.html](https://www.bus.man.eu/es/es/autobuses-urbanos/lion_s-city-e/vista-general/vista-general.html).

—. **2018.** Tecnología redefinida – El nuevo MAN Lion's City: bus.man.eu. [En línea] 2018. [Citado el: 09 de Mayo de 2019.] <https://www.bus.man.eu/es/es/autobuses-urbanos/lions-city-18/tecnologia/Tecnologia.html>.

**MAN Truck & Bus SE. 2018.** *El nuevo MAN Lion's City.* 2018.

**MartinCar.** ¿Sabías quién y dónde inventó el autobús?: Autocares Martín Car. [En línea] [Citado el: 13 de Abril de 2019.] <http://www.autocaresmartincar.com/blog/sabias-quien-y-donde-se-invento-el-autobus/>.

**Mercedes Benz. 2018.** Catalogo Técnico Mercedes eCitaro: mercedes-benz-bus.com. [En línea] 2018. [Citado el: 6 de Mayo de 2019.] [https://www.mercedes-benz-bus.com/es\\_ES/buy/services-online/download-technical-brochures.html#container\\_copy/content/element\\_385184368](https://www.mercedes-benz-bus.com/es_ES/buy/services-online/download-technical-brochures.html#container_copy/content/element_385184368).

**Mercedes-Benz. 2018.** Mercedes Citaro Híbrido: mercedes-benz-bus.com. [En línea] 2018. [Citado el: 6 de Mayo de 2019.] [https://www.mercedes-benz-bus.com/content/dam/mbo/markets/common/buy/services-online/download-product-brochures/images/content/regular-service-buses/citaro-hybrid/MB-CH-1-ES-08\\_18.pdf](https://www.mercedes-benz-bus.com/content/dam/mbo/markets/common/buy/services-online/download-product-brochures/images/content/regular-service-buses/citaro-hybrid/MB-CH-1-ES-08_18.pdf).

—. Mercedes Citaro: mercedes-benz-bus.com. [En línea] [Citado el: 6 de Mayo de 2019.] [https://www.mercedes-benz-bus.com/es\\_ES/models/citaro-hybrid/efficiency/hybrid-technology.html](https://www.mercedes-benz-bus.com/es_ES/models/citaro-hybrid/efficiency/hybrid-technology.html).

—. **2018.** Mercedes eCitaro: mercedes-. [En línea] Agosto de 2018. [Citado el: 6 de Mayo de 2019.] <https://www.mercedes-benz-bus.com/content/dam/mbo/markets/common/buy/services-online/download-product-brochures/images/content/regular-service-buses/ecitaro/MB-EC-1-ES-0818.pdf>.

**Ministerio de Transición Ecológica.** Transporte - Vehículos pesados: MITECO. [En línea] [Citado el: 28 de Abril de 2019.] <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion->



ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/act-emis/transportes\_pesados.aspx.

**Prieto Amaya, Álvaro. 2018.** La historia del autobús, de los carros de caballos a las energías alternativas: Autonocion. [En línea] 12 de Octubre de 2018. [Citado el: 12 de Abril de 2019.] <https://www.autonocion.com/historia-del-autobus/>.

**Proterra.** The Proterra Catalyst® 40-Foot Transit Vehicle: Proterra. [En línea] [Citado el: 08 de Mayo de 2019.] <https://www.proterra.com/products/40-foot-catalyst/>.

**Railsferradures. 2013.** Tillin Stevens, del ómnibus al trolebús: Railsferradures Blog. [En línea] 21 de Octubre de 2013. [Citado el: 12 de Abril de 2019.] <http://railsferradures.blogspot.com/2013/10/tilling-stevens-del-omnibus-al-trolebus.html>.

**Ramos Penabad, Luis. 2018.** Normas Euro 6c y Euro 6d-TEMP, qué son y cómo te afectan: noticias.coches.com. [En línea] 20 de Septiembre de 2018. [Citado el: 28 de Abril de 2019.] <https://noticias.coches.com/consejos/euro-6c-euro6d-temp/304107>.

**Scania. 2017.** *Scania Citywide Suburban Hybrid, Chasis Híbrido Clase II.* 2017.

**Serrano, Cesar. 2013.** La edad del gasógeno: alpoma.net. [En línea] 4 de Marzo de 2013. [Citado el: 13 de Abril de 2019.] <https://alpoma.net/tecob/?p=2309>.

**Sociedad Técnica de Automoción. 2011.** *El vehículo eléctrico. Desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio.* Barcelona: Librooks Barcelons, S.L.L., 2011. 978-84-938910-0-8.

**Tixce, Christian. 2016.** Una breve historia del autobús: Motor y Racing. [En línea] 22 de Octubre de 2016. [Citado el: 10 de Abril de 2019.] <https://www.motoryracing.com/coches/noticias/una-breve-historia-del-autobus/>.

**Toshiba.** Toshiba's SCiB™ Rechargeable Battery: Toshiba Corporation. [En línea] [Citado el: 2019 de Junio de 8.] <https://www.scib.jp/en/>.

**total.es.** Las normas Euro de control de emisiones contaminantes: Total.es. [En línea] [Citado el: 28 de Abril de 2019.] <https://www.total.es/nuestros-productos/tecnologia-e-innovacion/las-normas-euro-de-control-de-emisiones-contaminantes>.

**Transport & Environment. 2018.** Electric buses arrive on time. [En línea] Transport & Environment, Noviembre de 2018. [Citado el: 01 de Mayo de

2019.] <https://www.sustainable-bus.com/news/taking-into-account-external-costs-health-and-climate-electric-buses-already-offer-a-lower-tco-than-diesel/>.

**Volvo. 2016.** Volvo 7900 Eléctrico: [volvobuses.es](http://volvobuses.es). [En línea] 2016. [Citado el: 5 de Mayo de 2019.] <https://www.volvobuses.es/es-es/our-offering/buses/volvo-7900-electric.html>.

—. **2016.** Volvo 7900 Híbrido Eléctrico: [volvobuses.es](http://volvobuses.es). [En línea] 2016. [Citado el: 5 de Mayo de 2019.] <https://www.volvobuses.es/es-es/our-offering/buses/volvo-7900-electric-hybrid.html>.

—. **2016.** Volvo 7900 Híbrido: [volvobuses.es](http://volvobuses.es). [En línea] 21 de Marzo de 2016. [Citado el: 5 de Mayo de 2019.] <https://www.volvobuses.es/es-es/our-offering/buses/volvo-7900-hybrid/specifications.html>.

**Wikipedia. 2019.** Normativa europea sobre emisiones: Wikipedia. [En línea] 17 de Febrero de 2019. [Citado el: 01 de Mayo de 2019.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Normativa\\_europea\\_sobre\\_emisiones](https://es.wikipedia.org/wiki/Normativa_europea_sobre_emisiones).

—. **2018.** Vehículos híbridos: Wikipedia. [En línea] 17 de Marzo de 2018. [Citado el: 29 de Abril de 2019.] [https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Vehículos\\_híbridos](https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Vehículos_híbridos).