

Grado de innovación del Grupo BMW en 2010.

La movilidad del futuro.

Índice

1.	¿Por qué electromovilidad?	2
2.	Project i.	12
3.	El tren de propulsión eléctrico.	20
4.	Construcción ligera y concepto LifeDrive.	30
5.	El PRFC: un material para el futuro.	38



1. ¿Por qué electromovilidad?

En los tiempos que corren, nuestra sociedad, y con ella todo lo relacionado con la movilidad individual, se enfrenta a retos cada vez mayores. Cada vez son más los factores que influyen en la trascendencia de nuestros actos individuales y nuestras actividades empresariales. El mundo está sometido a grandes cambios desde el punto de vista ecológico, económico y social. Pero, ¿a cuáles de estos cambios debemos estar atentos y cómo se pueden prevenir?

Cambio climático y calentamiento global.

El cambio climático y, como consecuencia de éste, el cada vez mayor calentamiento global son un hecho. La década entre los años 2000 y 2009 fue la más calurosa jamás medida, aunque los esfuerzos realizados en todo el mundo para contrarrestar sus efectos fueron también los mayores de la historia. Un nuevo aumento de la temperatura media tendría como resultado numerosas y trascendentales consecuencias, entre ellas un mayor derretimiento de los glaciales, el constante aumento del nivel del mar, cambios en las precipitaciones y un clima cada vez más extremo. Una de las causas del constante aumento de la temperatura media es el agravamiento del efecto invernadero natural por la acción del hombre. En concreto, debido al consumo de combustibles fósiles se genera CO₂, el cual resulta muy dañino para el clima porque favorece el efecto invernadero y por tanto el calentamiento de la tierra. Para ralentizar el cambio climático e incluso poder detenerlo es necesario, sobre todo, reducir de forma drástica y rápida las emisiones de CO₂ a la atmósfera. La solución pasaría también por sustituir el consumo de combustibles fósiles por el de energías renovables, así como por mejorar la eficiencia energética de todos los aparatos.

Escasez de recursos.

Además de los cambios climáticos, la preocupante escasez de recursos también influye de forma determinante en el mundo global. Importantes materias primas como el petróleo o los metales preciosos no son inagotables y sin embargo su demanda diaria aumenta. La razón del agotamiento de los recursos reside por un lado en la cada vez mayor



industrialización de los países en vías de desarrollo. También contribuyen a este proceso el aumento de la población, un cada vez mayor nivel de vida y un uso irresponsable de las materias primas. La consecuencia es el incremento de los precios en casi todos los sectores de materias primas. Aunque el momento exacto no se sabe, en un futuro no muy lejano se alcanzará el punto máximo de demanda de petróleo a nivel global (peak oil o pico petrolero). A partir de ese momento, la oferta y la demanda seguirán caminos diferentes y ya no será posible satisfacer todas las necesidades. Por este motivo, la búsqueda de alternativas al petróleo se ha puesto en marcha a toda velocidad.

La sostenibilidad como tendencia social.

Debido a la cada vez mayor gravedad del desarrollo climático y de la escasez de los recursos, el hombre se toma cada día más en serio su papel dentro del sistema ecológico. Muchas personas ya están sensibilizadas: se consideran parte de un sistema global y desean actuar ya ahora de forma consciente y responsable en favor de las generaciones venideras, llevar un estilo de vida sostenible. Pero sostenible significa mucho más que "ecológico". En general, el término "sostenibilidad" hace referencia a tres aspectos: uno ecológico, otro económico y otro social. La sostenibilidad ecológica tiene como objetivo conservar la naturaleza y el medio ambiente para las generaciones futuras, es decir, utilizar los recursos de forma responsable. La sostenibilidad económica fomenta una forma de actuar rentable que ofrezca una base duradera y sólida para el beneficio y la prosperidad. Por sostenibilidad social se entiende el desarrollo de la sociedad como una vía que permita la participación de todos los miembros de una comunidad. El Grupo BMW se comprometió muy pronto con el tema de la sostenibilidad en sus tres facetas para conseguir un valor añadido a nivel empresarial, medioambiental y social.

El hecho de que la sostenibilidad también tiene un significado cada vez mayor en la economía queda patente en instrumentos como el Dow Jones Sustainability Index. Este tipo de índices bursátiles no solo valoran las empresas desde el punto de vista económico, sino que también consideran aspectos ecológicos y sociales. En este sentido, el Grupo BMW es líder de su sector desde hace cinco años.

Mayor urbanización: la ciudad necesita nuevas formas de movilidad.

Otra tendencia que se puede observar es la cada vez mayor urbanización. Cada vez son más las personas que cambian el medio rural por el urbano,



los pueblos se convierten en ciudades, los límites entre la ciudad y el campo se difuminan y se crean grandes urbes. Desde el año 2007, más de la mitad de la población mundial vive ya en ciudades. Según previsiones de la ONU, el porcentaje mundial de la población urbana superará hasta el año 2030 el 60% y en el año 2050 se situará en torno al 70%. Hoy en día ya hay en todo el mundo más de 130 ciudades con más de tres millones de habitantes.

Una manifestación especial de esta urbanización son las denominadas “megaciudades”. Según su definición se entiende por megaciudades o megaspacios urbanos las ciudades con al menos ocho millones de habitantes. En todo el mundo hay por el momento más de 30 de estas gigantescas ciudades, donde viven en total alrededor de 280 millones de personas. Al igual que el ritmo de crecimiento de estas ciudades sigue acelerándose, los desafíos como la falta de sitio y la contaminación también crecen. Y es que no todas las megaciudades son iguales: por definición, Shanghai, Londres, Los Ángeles o Tokio son en efecto megaciudades, pero son muy diferentes entre sí tanto en lo relativo a su infraestructura viaria como a las necesidades de sus habitantes respecto a movilidad individual. Las consecuencias del crecimiento en la infraestructura urbana son muy distintas de una ciudad a otra.

Las legislaciones reflejan un mundo en continuo cambio.

Incluso los gobiernos de diferentes países han tomado medidas a raíz del cambio climático y de la escasez de recursos. Con la entrada en vigor de certificados para vehículos no contaminantes, restricciones de acceso y ambiciosas leyes relativas a las flotas de vehículos intentan impedir el aumento de las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Así, Estados Unidos, Europa, China y Japón exigen hasta el año 2020 una reducción de las emisiones generadas por los vehículos de hasta el 30% con respecto a 2008.

La respuesta del Grupo BMW.

La movilidad del futuro requiere un reequilibrio de las necesidades globales e individuales. En el espacio urbano se exigen nuevas soluciones de movilidad individual. Éstas deben ser decididamente sostenibles y suponer las mínimas restricciones posibles, pero deben dejar espacio a la diferenciación. En este sentido, la reducción del consumo de combustible y de las emisiones adquiere una importancia cada vez mayor. El Grupo BMW se ha percatado de estas necesidades y se ha fijado como objetivo hacer de la



movilidad sin emisiones una realidad. En este contexto, BMW está desarrollando un vehículo que abre nuevas posibilidades en este campo y que se ajusta a las nuevas preferencias de los clientes.

“En el futuro, la movilidad individual también será necesaria. Los clientes seguirán queriendo poder decidir por sí mismos cuándo, a dónde y cómo viajar. Sin embargo querrán hacerlo de la forma más ecológica posible. Pero también seguirán queriendo diferenciarse, querrán destacar por encima de los demás por ejemplo mediante productos premium”. (Peter Ratz)

La electromovilidad como solución sostenible y desarrollo estable.

BMW ha visto en la electromovilidad una posibilidad para satisfacer las necesidades futuras en relación a la movilidad individual. Una de sus mayores ventajas radica principalmente en la supresión de las emisiones a nivel local. Dado que con la electromovilidad es corriente y no combustible lo que se transforma en fuerza motriz, durante la conducción no se emiten a la atmósfera gases perjudiciales para el clima. Si la energía necesaria para que un vehículo funcione se obtiene mediante regeneración a partir de energías renovables como, por ejemplo, la eólica o la hidráulica, resulta que la electromovilidad no tiene ningún efecto sobre el clima y cuida los recursos naturales ya que ni siquiera durante la generación de la energía necesaria se emite CO₂ al medio ambiente. Así, los vehículos eléctricos contribuyen por una parte a reducir las emisiones y a aumentar la calidad de vida en las grandes ciudades. Por otra, la electromovilidad satisface de este modo la cada vez mayor necesidad de los clientes de actuar de una forma global, ecológicamente sostenible y respetando el medio ambiente.

“La electromovilidad permite desplazarse de forma individual sin perjudicar el medio ambiente con dañinas emisiones.” (Martin Arlt)

Dinámica, par y confort: la electromovilidad es sinónimo de satisfacción.

Pero la electromovilidad no solo no es contaminante. Además proporciona un incomparable placer al volante. No solo porque los vehículos eléctricos circulan prácticamente sin ruido. Pero también porque, en los motores eléctricos, todo el par está disponible ya desde el momento en que el vehículo



está parado, lo que proporciona una gran agilidad y por tanto una gran sensación de diversión. Asimismo, los vehículos eléctricos aceleran sin interrupción hasta la velocidad punta.

“Todos los clientes que la han probado nos confirman que la electromovilidad es sencillamente divertida.” (Ulrich Kranz)

Conducir con un motor eléctrico supone además otra particularidad. Si se levanta el pie del acelerador, el vehículo no sigue simplemente rodando, sino que la velocidad se reduce de forma drástica. El pedal del acelerador se convierte así en el pedal de conducción y permite, sobre todo a un ritmo medio y ligeramente variable, una conducción extremadamente cómoda. De este modo, en el tráfico en ciudad, alrededor del 75% de las operaciones de reducción de velocidad se pueden realizar sin tocar el freno. El momento de deceleración se utiliza también para la recuperación de energía. Tan pronto como el conductor levanta el pie del acelerador, el motor eléctrico se convierte en un generador que convierte la energía motriz en corriente y la almacena en la batería del vehículo. Así es posible recuperar hasta el 20% de la energía consumida.

¿Cuáles son los límites de la electromovilidad?

La electromovilidad está dando sus primeros pasos y por tanto, en algunos aspectos, aún queda mucho por innovar. El mayor reto es, sin duda, el perfeccionamiento del acumulador de energía. Debido a sus características específicas relativas a la densidad de energía y al peso, éste es actualmente el aspecto que más trabas pone a la electromovilidad.

Densidad de energía y peso del acumulador de energía.

De momento, en una batería tan solo se puede acumular una cantidad limitada de energía y la densidad de energía del conjunto de células es relativamente baja. Hoy por hoy, un acumulador de un vehículo eléctrico contiene aproximadamente la energía equivalente a entre dos y tres litros de combustible. Sin embargo, esto es compensado en parte por el elevado rendimiento de un motor eléctrico. Y es que, mientras un motor de combustión puede aprovechar como máximo un 40% de la energía del combustible, el motor eléctrico aprovecha hasta el 96% de la energía disponible. Esto significa por tanto que, con menos energía, un motor eléctrico llega mucho más lejos. En verdad, actualmente la autonomía de



un vehículo eléctrico aún no es comparable con la de un vehículo de combustión, pero el desarrollo del acumulador de energía para uso automovilístico aún está dando sus primeros pasos. Por este motivo es posible suponer que, gracias al considerable incremento de los recursos destinados a la investigación, en los próximos años se seguirán consiguiendo avances tecnológicos. De este modo, los acumuladores de energía no solo podrán ser en el futuro mucho más baratos, sino también más ligeros y compactos, al mismo tiempo que la densidad de energía será mayor.

Además de la densidad de energía, el peso del acumulador de energía es el segundo aspecto que supone una limitación a la autonomía. En principio, a igual capacidad de la batería, cuanto menos pesa un vehículo, mayor es la autonomía. Debido a la menor densidad de energía, la batería que se utiliza para el funcionamiento de un automóvil tiene unas dimensiones similares a las de una maleta grande y su peso es por tanto altísimo. Si bien la autonomía podría ser mayor si se aumentara la capacidad de la batería, esto haría que la batería pesara aún más, lo cual contrarrestaría a su vez una parte de la autonomía ganada. Se trata por tanto de encontrar el equilibrio perfecto entre el peso y la capacidad del acumulador de energía y seguir incrementando la autonomía mediante la adopción de medidas como la construcción ligera consecuente y la implementación de estrategias de carga y aprovechamiento inteligentes. Además, el trabajo se centra también en reducir considerablemente los tiempos de carga mediante lo que se conoce como "carga rápida", ya que para cargar completamente un vehículo electrónico aún se necesitan varias horas, durante las cuales no es posible utilizar el automóvil.

"Somos muy conscientes de los límites de la electromovilidad. Sin embargo ello no nos impide seguir trabajando diariamente, poco a poco, para ampliarlos". (Martin Artl)

Los desarrolladores del Grupo BMW han identificado los campos de trabajo de la electromovilidad que aún quedan por explorar y trabajan intensamente en soluciones óptimas con valor para los clientes. En este sentido, el Grupo BMW lleva a cabo importantes proyectos piloto en Alemania, Gran Bretaña y Estados Unidos para recabar valiosísima información sobre la utilización y el funcionamiento de vehículos eléctricos y poder orientarse así aún mejor hacia las necesidades de los clientes. Y, tal y como demuestran los primeros



resultados de las pruebas del MINI E, el Grupo BMW se encuentra en el camino correcto.

El Grupo BMW persigue un enfoque global de futuro.

La electromovilidad es una parte fundamental de la estrategia EfficientDynamics, en el marco de la cual el Grupo BMW lleva mucho tiempo reduciendo con gran éxito el consumo y las emisiones gracias a nuevas generaciones de motores muy eficientes, a medidas aerodinámicas, a la implementación de una innovadora construcción ligera y una inteligente gestión de la energía en el vehículo, obteniendo al mismo tiempo mejores prestaciones durante la conducción. Así, entre los años 1995 y 2005, las emisiones de CO₂ de toda la flota de vehículos se redujeron en casi una tercera parte. Hoy en día, gracias a la estrategia EfficientDynamics, la empresa consigue ventajas adicionales en relación al consumo mediante la mayor electrificación del tren de propulsión hasta llegar a la hibridación. A largo plazo, EfficientDynamics significa la transición a una movilidad no contaminante mediante baterías eléctricas e hidrógeno obtenido por regeneración.

“A largo plazo nos moveremos exclusivamente mediante energías obtenidas mediante regeneración. Los recursos son demasiado valiosos como para gastarlos.” (Peter Ratz)

Sostenibilidad en el Grupo BMW.

Pero tener en cuenta solo el producto no es suficiente para el Grupo BMW. En el futuro, BMW quiere mantener la capacidad de liderazgo demostrada con la estrategia EfficientDynamics también en el tema de la sostenibilidad a lo largo de toda la cadena de valor añadido. Por este motivo, la estrategia de sostenibilidad del Grupo BMW no solo establece la necesidad de continuar con la expansión de las tecnologías de accionamiento energéticamente eficientes y de desarrollar conceptos para conseguir una movilidad sostenible en grandes urbes. Además, en el marco de la filosofía Clean Production, en el proceso de producción deben seguir reduciéndose los recursos utilizados y los daños al medio ambiente. Y como parte de la sociedad que es, la empresa asume el compromiso de dar solución a desafíos sociales con el fin de contribuir activamente al establecimiento de las condiciones marco para la conducta personal dentro y fuera de la empresa.



“En toda la empresa estamos convencidos de que, en el futuro, será precisamente la movilidad premium la que se definirá con mayor énfasis que hasta ahora en términos de sostenibilidad. Es evidente que quien dice premium en el futuro también querrá decir sostenibilidad.” (Martin Artl)

BMW orienta sus procesos y estructuras de forma consecuente hacia la electromovilidad.

Para dar también a los vehículos eléctricos el carácter de la empresa, el Grupo BMW confiere un importante valor al desarrollo y al diseño de los elementos que forjan la identidad de un coche eléctrico. En el caso del acumulador de energía, los desarrolladores intentan sacar de las células de la batería el máximo rendimiento en cuanto a potencia y autonomía mediante una gestión efectiva del acumulador, inteligentes estrategias de servicio y una regulación óptima de la temperatura. La extremadamente eficaz propulsión también es un desarrollo propio. Y es que el Grupo BMW también se plantea para el futuro el reto de construir los mejores sistemas de propulsión para automóviles. Sistemas que se desmarquen de los de la competencia por su eficiencia y sus mayores prestaciones, aunque sea corriente y no combustible lo que se transforme en movimiento.

“Decir BMW es decir competencia en motores. Y así será también en el futuro.” (Patrick Müller)

En otros ámbitos, el Grupo BMW mejora su know-how colaborando con competentes socios. Tanto con SB LiMotive, en el campo del desarrollo de células para baterías, como con SGL Automotive Carbon Fibers (SGL Group), en el desarrollo y la producción de fibras de carbono y esteras de fibra de carbono, los desarrolladores asumen conjuntamente valiosísimas competencias para poder seguir impulsando la movilidad individual también en el futuro. Así, en el marco del programa de empresa conjunta con SGL Automotive Carbon Fibers (SGL Group), se ha construido una fábrica de fibra de carbono de última generación que funciona con energía renovable en Moses Lake (EE. UU.) con el fin de fabricar el mejor material posible y poder procesarlo de forma rentable.

El Megacity Vehicle: movilidad sostenible en la ciudad.

El Megacity Vehicle (MCV) es una muestra de cómo concibe BMW la movilidad del futuro en las zonas urbanas. Como vehículo en Purpose



Design, el MCV se ha orientado de forma consecuente en lo que a la construcción se refiere a las necesidades y requisitos de la electromovilidad. Y es que, como demuestra el trabajo de desarrollo realizado hasta ahora en el MINI E y en el BMW Concept ActiveE, la adaptación de un vehículo diseñado originalmente para funcionar con un motor de combustión (Conversion Vehicle) no agota todo el potencial de la electromovilidad. Por ello, el MCV integra los componentes motrices eléctricos recién desarrollados en una arquitectura totalmente nueva. La consecuente construcción ligera y la innovadora utilización de plástico reforzado con fibra de carbono completan este concepto de vehículo pensado hasta el más mínimo detalle.

BMW ya dio sus primeros pasos en la propulsión eléctrica en el año 1969 con un BMW 1602 electrificado. A lo largo de los últimos 40 años, el Grupo BMW ha acumulado con la fabricación de numerosos prototipos y montajes experimentales un valiosísimo know-how en tecnología de propulsión alternativa y ensaya constantemente potenciales posibilidades de implementación. Entre otros con el BMW E1, un vehículo experimental que ya en el año 1991 reunía numerosas características de los coches eléctricos actuales y con el cual se pretendían descubrir en el terreno práctico las ventajas y desventajas de esta forma de propulsión. Pero fue en primer lugar con la tecnología de iones de litio cuando se abrieron perspectivas concretas para el desarrollo en serie, ya que ésta reunía los requisitos necesarios relativos a la estabilidad de ciclo y potencia y ya se había puesto a prueba varias veces en diferentes aplicaciones. El Grupo BMW actuó rápidamente y pronto fue capaz de plasmar su know-how en un resultado con valor para el cliente: el MINI E. Este importante hito del Grupo BMW en el camino hacia la electromovilidad ya recorre las carreteras desde mediados del año 2009. Y con más de 600 MINI E, BMW dispone ya hoy de una de las mayores flotas de coches eléctricos en manos de clientes. Los primeros resultados de las pruebas constatan que la electromovilidad ya es, sin duda, un hecho cotidiano.

“Ha llegado el momento de los vehículos eléctricos”. (Patrick Müller)

BMW piensa más allá del producto.

La electromovilidad abre posibilidades completamente nuevas en torno a la automoción. Es posible imaginar diferentes servicios relacionados con la carga del vehículo eléctrico. Así pues, BMW colabora ya con proveedores



de energía para hacer posible un acceso rápido y flexible a una energía “verde”. Otras posibilidades para conseguir que la electromovilidad tenga un valor de cliente aún mayor son los reguladores de carga inteligentes y la carga por control remoto. Así, el Grupo BMW experimenta con sus socios la denominada carga controlada. Con esta estrategia de carga anticíclica, el automóvil eléctrico no se carga hasta que la demanda global de electricidad desciende o se dispone de energía renovable, por ejemplo durante la noche. Para ello simplemente se indica la hora tope a la que se desea cargar el vehículo. En función de las preferencias del usuario, el vehículo puede cargarse de una forma especialmente rápida o especialmente ecológica. A largo plazo se barajan ideas para convertir estos vehículos en una parte del suministro eléctrico y utilizarlos por ejemplo como acumuladores intermedios.

En el futuro, el Grupo BMW concebirá la movilidad individual para espacios aún mayores. Puesto que la cada vez mayor urbanización hace que las necesidades de movilidad cambien día a día, el Grupo BMW también contempla la prestación de servicios de movilidad en los que la intermodalidad de los medios de transporte desempeña un papel fundamental.



2. Project i

Con la vista puesta en los cambios que experimentan actualmente la sociedad y el medio ambiente (Cap. 1), el Grupo BMW dio a conocer a mediados de 2007 la nueva orientación de la empresa: la estrategia Number One, en la que el beneficio consecuente, la sostenibilidad del valor añadido y el aseguramiento de la independencia de la empresa ocupan un lugar principal. Pero, además del crecimiento en la actividad principal, para ello también es deseable abrir nuevos campos de actuación rentables dentro del ciclo de vida del automóvil y a lo largo de la cadena de valor añadido. Al mismo tiempo, el Grupo BMW invierte de forma sustancial en tecnologías de futuro, nuevos conceptos de automóvil y sistemas de propulsión pioneros. El objetivo está claro: el Grupo BMW seguirá siendo en el futuro el mayor proveedor de productos y servicios premium para movilidad individual.

En el marco de la nueva estrategia empresarial se realizó un amplio y minucioso análisis de la situación para averiguar qué es lo que mueve a la sociedad y cuáles podrían ser las posibles tecnologías, tendencias y desafíos para la movilidad del futuro, especialmente en el contexto de los cambios climáticos y demográficos. Una respuesta a esas preguntas es Project i.

“Con Project i, el Grupo BMW se prepara para satisfacer las necesidades futuras de la movilidad individual.” (Martin Artl)

La orden.

Con Project i, a finales de 2007 se puso en marcha una iniciativa cuyo objetivo consiste en desarrollar conceptos de movilidad sostenibles y con visión de futuro, siempre con la premisa de que de este proyecto debe tener lugar una transferencia de know-how a la empresa y a futuros proyectos de vehículos. El objetivo a largo plazo de Project i es proporcionar nuevos estímulos a tecnologías, procesos y conceptos de vehículos en las áreas de producción, desarrollo y comercialización. La orden concreta es desarrollar nuevos productos que respondan de forma específica a los desafíos y necesidades de los clientes en el terreno urbano.



El método.

Pero, ¿cuál es la mejor forma de llevar a cabo esta tarea? Para poder alcanzar estos objetivos no solo se necesitan nuevos procesos y tecnologías, sino que es preciso hacer una exhaustiva revisión de la fabricación de automóvil tal y como se conoce hasta ahora. Por este motivo, Project i rompe con las estructuras existentes y reúne en un solo lugar a expertos y pensadores de toda la empresa. En el marco de esta pequeña pero eficiente y decisiva unidad de organización se definen los objetivos y requisitos para futuras soluciones de movilidad sostenibles y se adaptan a las necesidades futuras de los clientes. Para que el equipo pudiera empezar a trabajar desde el principio con la máxima libertad posible y al margen de los problemas planteados, el proyecto se ha concebido independientemente de las marcas. Así pues, este grupo de pensadores puede trabajar de una forma tan poco convencional como independiente, pero siempre contando con el total apoyo de los expertos de toda la empresa. En un contexto de intercambio abierto y transparente, Project i aprovecha el know-how de todas las áreas de la empresa.

“Para mí es una experiencia maravillosa poder colaborar en un proyecto de este tipo con compañeros con los que hay muy buena sintonía. Desde el principio tuvimos realmente toda la libertad que necesitamos. El ambiente reinante era más propio de una nueva empresa.” (Peter Ratz)

Los inicios con nuevas premisas.

Los desarrolladores del Grupo BMW no comenzaron a trabajar en Project i hace dos años y medio sobre un folio en blanco. La base de este trabajo de desarrollo fue una profunda investigación relativa a cuestiones de movilidad y a las necesidades de los clientes para el futuro cuyo objetivo era sacar a la luz posibles potenciales de desarrollo para el Grupo BMW. En efecto, Project i no se centra únicamente en vehículos, sino que investiga también en el campo de soluciones de movilidad integrales. Sin embargo, pronto quedó claro que el primer nivel de desarrollo sería un automóvil que pudiera desplazarse de la forma más ecológica posible, es decir sin generar emisiones, y que al mismo tiempo satisficiera las necesidades de la movilidad urbana actual: el Megacity Vehicle (MCV).

El objetivo que se ha fijado la empresa a sí misma y en el que se basa todo el proyecto es alcanzar el más alto nivel posible de sostenibilidad.



Desde el primer proveedor hasta el reciclado de los componentes una vez finalizada la vida útil del automóvil, pasando por la producción, la sostenibilidad en sus tres aspectos (ecológico, económico y social) debe ser determinante a la hora de diseñar los procesos. Por este motivo, en primer lugar, los investigadores examinaron detenidamente todos los procesos y elementos de la cadena de valor añadido. Comprobaron si el procedimiento seguido hasta ahora satisfacía los exigentes criterios auto fijados en materia de sostenibilidad o, si por el contrario, debía optimizarse en determinados aspectos o incluso diseñarse de nuevo. Los resultados obtenidos se convirtieron al mismo tiempo en las premisas para la concepción del Megacity Vehicle.

"Queríamos ver cómo es la movilidad del futuro con el fin de, a partir de los datos obtenidos, desarrollar conceptos de movilidad sostenibles, especialmente para zonas urbanas, pero actuando de forma sostenible a lo largo de todo el proceso: comenzando por la concepción del producto, pasando por su uso, hasta llegar hasta la posible reutilización de diferentes componentes y al reciclado." (Peter Ratz)

El resultado.

El proyecto ha aprovechado intensamente todas las libertades y posibilidades disponibles. El resultado es un concepto de movilidad integral y sostenible: el Mega City Vehicle (MCV). El MCV representa una opción de cómo el Grupo BMW se imagina un utilitario urbano sostenible. Se ha concebido principalmente para ser usado en ciudad y aúna dinámica, confort y sostenibilidad. Con el tren de propulsión eléctrico de nueva generación (Cap. 3), el revolucionario concepto LifeDrive para la carrocería y la innovadora utilización de plástico reforzado con fibra de carbono en el habitáculo interior (Cap. 4), este vehículo permite desplazarse de forma autónoma, segura y cómoda por la ciudad sin generar emisiones.

Dado que el desarrollo del producto se consideró de forma integral, el MCV ha venido acompañado de trascendentales cambios en el proceso. Debido a las nuevas características de la propulsión y de la arquitectura del vehículo, así como a la utilización de nuevos materiales, en la producción han tenido que introducirse en parte procesos completamente diferentes. Junto con sólidos socios como SB LiMotive (desarrollo de células para baterías) y SGL Automotive Carbon Fibers (fabricante de fibra de carbono y de esteras de



fibra de carbono), el Grupo BMW asume nuevos y valiosísimos campos de competencia para ello.

“Las tecnologías que el Grupo BMW ha desarrollado en el marco de Project i esconden un impresionante potencial para actuar de forma ecológica y económicamente sostenible.” (Martin Arlt)

El principio de la sostenibilidad está presente por tanto en cada etapa de proceso, pero los productos ecológicamente sostenibles y fabricados por tanto utilizando los recursos de forma racional no son para el Grupo BMW un objetivo en sí mismos. Deben haberse analizado a fondo desde el punto de vista económico empresarial y además ser rentables.

El MINI E: un trabajo pionero para la electromovilidad.

En la primavera del año 2008 comenzó con el MINI E la historia del éxito de Project i. Al mismo tiempo, el proyecto fue expuesto así por primera vez a los ojos de la opinión pública. Como primer proyecto de idoneidad del Grupo BMW, con una autonomía media de 150 kilómetros en modo de servicio cotidiano y 204 CV, el MINI E no solo estableció los primeros valores de referencia técnicos. También constituyó un valiosísimo trabajo pionero para el Grupo BMW en el marco del desarrollo de conceptos de propulsión alternativos en el camino hacia una movilidad sin emisiones de CO₂.

El objetivo del desarrollo era poner el MINI E en manos de los clientes lo más rápidamente posible con el fin de recabar de los usuarios reveladoras experiencias relativas al uso cotidiano de un coche electrónico. Por este motivo, desde mediados de 2009, clientes seleccionados prueban los vehículos en ensayos de campo a gran escala en Alemania, Estados Unidos y Gran Bretaña. A lo largo de dos intensas fases de prueba, toda la pequeña serie proporcionó importantes datos sobre el uso y la respuesta de los vehículos eléctricos, lo que supuso una gran ayuda para el posterior desarrollo del MCV. Con más de 600 MINI E, BMW dispone así de una de las mayores flotas de coches eléctricos en manos de clientes de todo el mundo.

El MINI E en la carretera.

En los tres países de prueba, el Grupo BMW colabora en parte estrechamente con proveedores de energía, universidades y gobiernos de turno locales. Y es que en el marco del Proyecto MINI E, el Grupo BMW no solo da a los usuarios la posibilidad de experimentar una movilidad individual



totalmente nueva, sino que diseña junto con los socios una parte de la infraestructura. Los proveedores de energía permiten a los usuarios, si lo desean, acceder a una electricidad “verde”, renovable.

Estudio de utilización del MINI E en Berlín: la electromovilidad es apta para el día a día.

Aunque los ensayos todavía se están llevando a cabo, los primeros resultados que nos llegan de Berlín son gratificantes. Tal y como ya lo indicaron en una encuesta, los usuarios esperaban limitaciones en cuestiones de autonomía y tiempos de carga, pero en muy pocos casos llegaron a percibir las como tales. Así pues, el estudio de Berlín demuestra que más del 90% de los participantes no se ven limitados en su movilidad habitual por la autonomía media de 150 kilómetros. Tampoco los tiempos de carga suponen ningún inconveniente.

Tal y como pone de manifiesto el estudio, el uso que dan a su vehículo los conductores del MINI E se diferencia muy poco del de los usuarios del MINI Cooper y del BMW 116i. La longitud media de un recorrido simple difiere en tan solo dos kilómetros entre el BMW 116i, el MINI Cooper y el MINI E, y en los tres casos el recorrido diario total es similar. Si en el MINI E es de 37,8 kilómetros, un valor algo superior a la media urbana de toda Alemania, un BMW 116i recorre de media 42 kilómetros al día y un MINI Cooper, 43,5 kilómetros. El recorrido simple más largo realizado hasta ahora por un cliente con un MINI E es de 158 kilómetros. No obstante, la comparación con el uso típico de un BMW Serie 5 pone de manifiesto que la electromovilidad no es apta en igual medida para los distintos requisitos de movilidad. Aunque tampoco lo ha pretendido nunca. Con todo, un 66% de los usuarios de Berlín valoran la flexibilidad de su MINI E tanto como la de un vehículo convencional.

En materia de infraestructuras de carga de acceso público destaca que los usuarios buscan principalmente estaciones de carga cerca de su puesto de trabajo, en aparcamientos públicos, en nudos de comunicaciones como estaciones y aeropuertos y en los centros comerciales. Sin embargo, la mayor parte de la corriente se carga en casa y de esta forma los usuarios de prueba disponen ya de una movilidad apta para el día a día. También tuvo muy buena acogida la posibilidad de cargar el vehículo con energía procedente de fuentes renovables gracias a la colaboración de Vattenfall Europe. Esto indica que los usuarios ven la conducción eléctrica como un sistema



global compuesto por vehículo, infraestructura y generación de energía y que quieren asumir un papel responsable en dicho sistema.

MINI E en EE. UU.: más diversión al volante con cero emisiones.

También en EE. UU. hay clientes de prueba que conducen un MINI E. En vistas de la considerable flota de 450 vehículos MINI E en EE. UU., el Grupo BMW puso en marcha un programa especial de colaboración en investigación con la University of California en Davis (UC Davis). Aquí se probó de forma consecuente la idoneidad para el uso cotidiano de los MINI E con el objetivo de obtener aún más información sobre su utilización.

Los resultados de estos estudios confirman la aceptación vista en Berlín: el MINI E también cubre todas las necesidades de movilidad de los clientes de prueba estadounidenses. La autonomía de 100 millas (aprox. 160 km) es del todo suficiente para los desplazamientos cotidianos. De hecho, los conductores del MINI E en EE. UU. indicaron que recorrían al día una media de unas 30 millas (aprox. 48 km), mientras que los ciudadanos estadounidenses recorren de media 40 millas (aprox. 64 km) al día con el coche.

Tampoco la carga en casa supone ningún inconveniente para los usuarios norteamericanos. La mitad de los usuarios cargaba el vehículo de forma rutinaria incluso diariamente aun sin ser necesario, de modo que apenas necesitaron realizar cargas adicionales fuera del propio garaje.

Tampoco se quedó atrás el placer al volante: todos los usuarios coincidieron en que conducir un MINI E es una experiencia divertida que no implica ninguna renuncia. Los clientes de prueba se acostumbraron pronto a las nuevas sensaciones y muchos usuarios llegaron a decir que, después de pasar del MINI E a su propio vehículo, conducir les divertía menos. Esto quedó patente en la frecuencia de uso: una tercera parte de los usuarios indicó haber usado más el MINI E que el vehículo sustituido.

Conclusiones finales de los estudios.

Los resultados obtenidos en Berlín y California demuestran que el Grupo BMW está en el camino correcto. Solo un pequeño número de trayectos no pudieron realizarse con el MINI E. La mayoría de las razones esgrimidas para ello fueron, tanto en Estados Unidos como en Alemania, la falta de maletero y el limitado número de viajeros. De los datos recopilados



puede deducirse que, con una autonomía algo mayor y más espacio, un Megacity Vehicle satisfaría casi al 100% las necesidades de movilidad en las grandes ciudades. BMW trabaja ya intensamente en ello.

BMW Concept ActiveE: el siguiente paso.

El BMW Concept ActiveE supone la consecuente continuación del trabajo de investigación y desarrollo del Grupo BMW en el campo de la electromovilidad llevado a cabo en el marco de Project i. Sobre la base de este estudio conceptual presentado en diciembre de 2009, el Grupo BMW pondrá en el año 2011 en manos de los clientes una segunda flota de prueba de vehículos eléctricos. Esta prueba servirá para profundizar en los conocimientos ya acumulados relativos a la utilización cotidiana de vehículos con propulsión eléctrica y proporcionará así más datos sobre las preferencias de los clientes.

Si con el MINI E el espacio en el habitáculo interior era realmente reducido, gracias a la mejorada integración de los componentes eléctricos de propulsión, el BMW Concept ActiveE dispone de cuatro cómodos asientos y de un maletero de alrededor de 200 litros. Su motor, especialmente desarrollado para este BMW exclusivamente eléctrico, desarrolla una potencia de 125 kW/170 CV y alcanza un par máximo de 250 Nm. Su energía alimenta la propulsión eléctrica a partir de acumuladores de iones de litio que también se han concebido totalmente nuevos. Así se consigue una autonomía de alrededor de 160 kilómetros (100 millas) en el funcionamiento cotidiano. Los componentes del tren de propulsión eléctrico se han concebido con la vista puesta en los requisitos del MCV y en este caso se ensayan en un estado preserie.

En el BMW Concept ActiveE se presentan además nuevos servicios de BMW Connected Drive desarrollados exclusivamente para su aplicación en un vehículo eléctrico. Entre éstos se encuentran funciones que permiten comprobar a través del teléfono móvil el nivel de carga del acumulador, buscar estaciones de carga públicas o activar la función auxiliar de calefacción o de climatización del vehículo.

El Megacity Vehicle: el primer vehículo de serie del Grupo BMW con propulsión eléctrica.

Con el Megacity Vehicle (MCV), el Grupo BMW ofrecerá una novedosa solución para la movilidad sostenible en zonas urbanas que no obstante



saldrá al mercado en el año 2013 bajo una segunda marca de BMW. Tal y como demuestra el trabajo de desarrollo realizado en el MINI E y en el BMW Concept ActiveE, la adaptación de un vehículo diseñado originalmente para funcionar con un motor de combustión (Conversion Vehicle) no agota todo el potencial de la electromovilidad. En consecuencia, en lo que a la construcción se refiere, el MCV se ha orientado sin reservas a satisfacer las necesidades y requisitos de la electromovilidad. El MCV dispone de una propulsión de nueva generación (Cap. 3), así como de una revolucionaria arquitectura (LifeDrive) (Cap. 4) que aúna una consecuente construcción ligera, una óptima funcionalidad del espacio y la máxima seguridad en caso de impacto. De esta forma se aborda un nuevo campo de cliente, ya que el compacto tren de propulsión eléctrico abre nuevas posibilidades para concebir el habitáculo interior con nuevas funcionalidades, así como nuevos niveles de libertad en lo que al diseño se refiere.



3. El tren de propulsión eléctrico

Hasta ahora conducir un coche significaba en todos los casos viajar con un motor de combustión. Sin embargo, la evolución actual del medioambiente y de la sociedad demuestra que la utilización de combustibles fósiles en todos los ámbitos de la vida cotidiana trae consigo un grave perjuicio ecológico y que tan solo dispondremos de este tipo de combustibles durante un tiempo limitado. El Grupo BMW ve en el enérgico impulso del desarrollo de la electromovilidad una posibilidad de evitar esta situación. Porque, ¿qué se esconde detrás del término electromovilidad?, ¿cuáles son las diferencias con respecto a un motor de combustión?, ¿qué potenciales tiene y a qué retos se enfrentan los desarrolladores?

Sin emisiones y dinámica: la locomoción de nueva generación.

La posibilidad de mover vehículos exclusivamente con energía eléctrica abre perspectivas de movilidad totalmente nuevas. Gracias a que durante el funcionamiento de un motor eléctrico no se producen gases perjudiciales para el clima, el uso de la energía eléctrica permite una movilidad sin emisiones a escala local y, por tanto, más respetuosa con el medio ambiente. Si además se usan fuentes de energía renovables, la obtención de la electricidad está incluso exenta de emisiones. Además la electromovilidad viene acompañada de sensaciones de conducción completamente nuevas y muy ágiles. La curva de potencia de un moderno motor eléctrico del Grupo BMW es impresionante y hace que se olvide enseguida la asociación de ideas con los vehículos eléctricos conocidos hasta ahora. Como mucho el bajo nivel de ruidos del motor recuerda al usuario que se va a bordo de un automóvil eléctrico.

"El desarrollo de potencia de un vehículo eléctrico es casi como el de un interruptor de la luz: con tan solo pulsarlo ya se dispone de toda la potencia."
(Hans-Jürgen Branz)

Un motor eléctrico moderno del Grupo BMW, por ejemplo el que incorpora el Megacity Vehicle, tiene un rendimiento muy superior a los 100 kW. Sin embargo, la particularidad reside en que se dispone de toda la potencia



del motor desde el momento del arranque y no, como ocurre con los motores de combustión, cuando el motor alcanza el régimen de revoluciones necesario. Los diferenciales, el control automático de la estabilidad y una sola etapa de cambio se encargan de transmitir todo el par a la calzada. El par motor máximo ya disponible con el vehículo parado proporciona a los vehículos eléctricos una agilidad excepcional y sorprendentes valores de aceleración. La tracción trasera complementa a la perfección el comportamiento de los motores eléctricos en el Megacity Vehicle: gracias al desplazamiento dinámico de la carga de rueda, al arrancar se dispone de mayor peso sobre las ruedas motrices y se logra así una mejor tracción y transmisión de la fuerza. De este modo, el elevado par de los motores eléctricos combinado con la tracción trasera se encarga de proporcionar la dinámica de conducción típica de BMW.

El Grupo BMW pretende seguir fabricando también en el futuro los mejores sistemas de propulsión. Sistemas que se desmarquen de los de la competencia por su eficiencia, su desarrollo de potencia y su suavidad de marcha, aunque sea electricidad y no combustible lo que transformen en movimiento. Ese mismo énfasis pone el Grupo BMW en el desarrollo técnico de la electromovilidad. En la “e-Wer” (Planta e), el centro de competencia del Grupo BMW para sistemas de propulsión eléctricos, se reúnen bajo un mismo techo los expertos en desarrollo, fabricación y compras. Todos ellos trabajan en el desarrollo y la puesta en práctica de la nueva generación de sistemas de propulsión.

Acelerar sin cambiar de marcha.

Los motores eléctricos aprovechan una gama de revoluciones notablemente mayor que los motores de combustión. Pueden darse sin problemas regímenes superiores a las 12.000 rpm. En consecuencia, también es diferente la forma en que se alcanza la velocidad máxima. Gracias al elevado par motor, los vehículos eléctricos aceleran con mayor rapidez que un motor de combustión de potencia comparable. Además, el elevado par útil permite también un suministro de par sin interrupciones en todo el rango de velocidad. La potencia del motor se transmite directamente a las ruedas a través de una sola etapa de cambio, sin necesidad de una caja de cambio de varias marchas. Esto significa que el vehículo eléctrico acelera de cero a la velocidad máxima con una sola marcha. Esta propulsión continua, sin



interrupciones, a un régimen del motor cada vez mayor, es una sensación muy especial que hasta ahora solo se podía "experimentar" en los motores de combustión con soluciones constructivas muy complejas como, por ejemplo, las cajas de cambio de embrague doble.

"La electromovilidad no supone ningún tipo de renuncia. Conducir un vehículo eléctrico es realmente divertido." (Patrick Müller)

Únicamente en lo que a velocidad máxima teórica se refiere es donde el Megacity Vehicle (MCV) no agota todas las posibilidades. Debido a que el uso predominante del MCV se da en ciudad y su entorno, se considera que la velocidad máxima de 150 km/h actual es más que suficiente. Y si bien serían posibles velocidades superiores, no serían del todo razonables. Por un lado, por el elevado consumo energético que suponen los recorridos a gran velocidad: a medida que aumenta la velocidad, también aumenta la resistencia aerodinámica, pero además exponencialmente. En consonancia, el consumo energético también aumenta. Sin embargo, dado que la energía disponible está limitada por la capacidad de carga de la batería, las velocidades demasiado elevadas supondrían también una gran reducción de la autonomía. Por otro lado, para alcanzar esta velocidad final mayor se necesitaría otra transmisión, lo que reduciría en gran medida la agilidad del vehículo en el tráfico urbano. Otra posibilidad de aumentar la velocidad máxima sería usar una caja de cambios de varias marchas, pero esto supondría una mayor complejidad, mayores necesidades de espacio y más peso.

Frenar con el acelerador.

Otra diferencia que confiere al vehículo eléctrico sus particulares sensaciones al volante es la posibilidad de frenar mediante el pedal acelerador. De este modo, el acelerador se convierte en un "pedal de conducción". Si se levanta el pie del pedal, el vehículo no prosigue al ralentí, sino que decelera de forma activa. Este momento de deceleración se utiliza para la recuperación de la energía. Al frenar, el motor eléctrico se convierte así en un generador de energía y carga la batería. El principio de funcionamiento del sistema es similar al de la recuperación de la fuerza de frenado conocida del paquete EfficientDynamics, con la diferencia de que la energía recuperada puede utilizarse de inmediato para la propulsión. Si se aprovecha la recuperación de energía del motor de forma intensiva, la autonomía puede llegar a aumentar hasta un 20%. Adicionalmente, la conducción mediante el



acelerador es más relajada, con menos cambios de pie, permite reacciones más rápidas y es especialmente apropiada para "navegar en la corriente" del tráfico urbano. Hasta un 75% de las frenadas pueden llegar a realizarse sin necesidad de utilizar el pedal de freno.

Potentes y compactos: los componentes de la propulsión.

Un vehículo con propulsión eléctrica no solo ofrece una atractiva respuesta en marcha. El motor eléctrico dispone además de una densidad de potencia mayor que la de un motor de combustión. Esto significa que con un motor eléctrico es posible alcanzar y utilizar la misma potencia en un recorrido menor. La propulsión completa del BMW Concept ActiveE (y más tarde del MCV), por ejemplo, ocupa el espacio de dos packs de botellas de agua sin contar los acumuladores. El compacto motor puede por tanto integrarse a la perfección en la arquitectura del vehículo y además se suprime el conjunto de escape y la compleja canalización del aire de aspiración. Las menores dimensiones y la masa notablemente inferior de la propulsión eléctrica permiten un ahorro de espacio de hasta el 50% respecto a un motor de combustión, incluyendo el cambio, algo que favorecerá en los futuros vehículos sobre todo a los ocupantes en el habitáculo.

En total, la propulsión eléctrica consta de varios componentes cuya interacción mueve finalmente el vehículo: el motor eléctrico, la electrónica de potencia, una etapa de cambio y un acumulador de energía eléctrica.

Un corazón eléctrico: el motor eléctrico.

El corazón de la propulsión eléctrica es el motor eléctrico. Para explicarlo de una forma sencilla, la última generación de un motor eléctrico del Grupo BMW está formada por el estator con carcasa rígida y forma de tubo y por un cilindro giratorio dentro del estator, el rotor. El rotor va unido al tren de la transmisión y, de este modo, a las ruedas motrices. En el estator se colocan bobinas en las que puede crearse un campo magnético debido al flujo de corriente. Por el contrario, en el rotor hay uno o varios imanes de polaridad fija. Para poner el motor eléctrico en movimiento, mediante un campo magnético alternante (campo giratorio) se crea una atracción y una repulsión controladas entre el rotor y el estator. Para ello se aprovecha que los polos distintos de un imán se atraen y los polos iguales se repelen: el polo positivo y el polo negativo se atraen, mientras que dos polos positivos o negativos se repelen.



Cuando se activa la corriente, el polo positivo del campo magnético creado en el estator atrae el polo negativo del imán del rotor, pero antes de que el polo negativo del rotor alcance el polo positivo del estator, el polo positivo cambia a la fase siguiente. Como consecuencia, el rotor sigue girando y “persiguiendo” a los campos magnéticos nuevos que se van creando en el estator. Mediante su movimiento giratorio, el rotor transmite la energía mecánica necesaria para el avance. La velocidad del vehículo varía en función de la velocidad a la que el campo giratorio hace que rote el estator. Por el contrario, el par viene determinado por la cantidad de imanes y las intensidades de la corriente: cuantos más imanes hay en el rotor y mayor es la corriente que fluye, la propulsión electrónica puede generar un par mayor.

El principio de funcionamiento aquí descrito muestra un motor sincrónico trifásico permanentemente excitado, tal y como será el del Concept ActiveE y el del MCV. Por “motor sincrónico” se entiende que el rotor sigue de forma sincrónica el campo de excitación giratorio del estator. Además, el campo magnético del rotor está permanentemente excitado mediante imágenes y no es necesario inducirlo (excitarlo independientemente). La excitación independiente sería mucho más costosa ya que precisaría una segunda instancia de regulación para generar el campo magnético en el rotor. Los motores permanentemente excitados constituyen actualmente la solución óptima en cuanto a requisitos, complejidad y funcionamiento.

Más potencia gracias a la electrónica: la electrónica de potencia.

Lo fundamental para que un motor eléctrico funcione y desarrolle una potencia óptima es la correcta alternancia de los campos magnéticos en el estator. Para poder conseguir regímenes por encima de las 12.000 rpm, los campos magnéticos de las fases deben conectarse de una forma muy rápida y precisa. De esta importantísima tarea se encarga una unidad de control especial: la electrónica de potencia. Se ocupa de la constante conmutación del campo giratorio a la velocidad precisa y con la intensidad de campo necesaria para ello. De esta forma garantiza que el rotor gire al régimen requerido y desarrolle el par deseado.

La batería: el depósito de los vehículos eléctricos.

Para poner en funcionamiento el motor de un vehículo eléctrico se necesitan grandes corrientes de energía. Por cada fase se conectan intensidades de corriente de hasta 400 amperios, lo que equivale aproximadamente a



25 veces un enchufe doméstico. A su vez, con 400 V, las tensiones prácticamente doblan a las de las fuentes de alimentación habituales de los terminales. Para acumular esta energía y ponerla a disposición en caso de necesidad se utiliza un conjunto de células de almacenamiento de iones de litio de nueva generación. La tecnología de los iones de litio ha demostrado ya en muchos campos de aplicación, por ejemplo en los teléfonos móviles y los ordenadores portátiles, su gran capacidad de almacenamiento y su estabilidad de ciclo. Una única célula de iones de litio para el sector automovilístico tiene aproximadamente el mismo tamaño que un libro de bolsillo y su tensión nominal es de aprox. 3,7 voltios. Sin embargo, el rango de tensión útil de una célula se encuentra entre 2,7 y 4,1 voltios. Para conseguir un acumulador de alto voltaje con la tensión de 400 voltios necesaria, se conectan en línea aproximadamente 100 de estas células.

Sin embargo, la utilización de células de batería trae consigo algunas particularidades. Así, las células de iones de litio no trabajan igual a medida que varía la temperatura. Solo la temperatura óptima de servicio de aproximadamente 20° C garantiza la máxima autonomía. En consecuencia, la temperatura del acumulador de energía se regula mediante elementos de calefacción adicionales o mediante una refrigeración activa en función de la necesidad. El rango de temperatura útil de las células que se utilizan en el sector del automóvil es sin embargo mucho más flexible que el de otras células de batería. Así por ejemplo, algunas células de ordenadores portátiles no deben cargarse a partir de una temperatura por debajo de cero grados y en caso de hacerlo, el rendimiento sería muy limitado. Por el contrario, en el caso de las células del Grupo BMW, a bajas temperaturas es cierto que se produce una reducción del rendimiento pero, gracias a otra combinación de productos químicos en el interior de la batería, dicha reducción es mucho menos drástica. Debido al acondicionamiento previo de la batería ya durante la operación de carga y a la regulación de la temperatura durante la marcha en función de la necesidad, esta potencial merma se elimina.

Seguridad ante todo.

A la hora de desarrollar y dimensionar el acumulador de energía, una de las principales prioridades era también la de garantizar la seguridad de los ocupantes. El acumulador de energía, debido a las intensas corrientes y a los productos químicos utilizados, que de entrar en contacto podrían



reaccionar entre sí y llegar a inflamarse, entraña un cierto riesgo. Por ello, la probabilidad de que se produzca una descarga eléctrica o una deflagración se elimina mediante numerosas medidas. Por una parte, los elementos de las baterías de los vehículos contienen compuestos químicos notablemente "menos agresivos" que, por ejemplo, las baterías de los ordenadores portátiles. Además, los módulos de batería están bien protegidos por la carrocería, de modo que tampoco pueden sufrir daños en caso de colisión. Adicionalmente, el líquido refrigerante y complejos algoritmos y sensores de supervisión se encargan de que las baterías no se sobrecalienten ni durante la marcha ni al cargarse. Los mecanismos de desconexión previstos evitan una descarga total o una sobrecarga de los acumuladores e incluso se han dispuesto los medios de protección necesarios frente a la penetración de objetos metálicos en los acumuladores.

Durante toda la vida del vehículo.

En la actualidad, los ingenieros del Grupo BMW trabajan en garantizar la capacidad de los acumuladores durante el máximo tiempo posible. Para ello se deben tener en cuenta algunos factores que influyen sobre la vida útil de las baterías. El envejecimiento se produce en dos niveles: por un lado, el temporal. Es decir, a medida que aumenta la edad se reduce el rendimiento y el contenido de energía útil máximo. Pero también hay otros factores que influyen sobre la vida útil de una célula. La profundidad de descarga (depth of discharge) o la temperatura a la que se usa la batería constituyen criterios importantes para el envejecimiento. Las pruebas que realiza el Grupo BMW garantizan que los elementos responden a los requisitos de los clientes durante toda la vida útil del vehículo, tanto en lo referente a su longevidad como en la llamada capacidad cíclica. Y en aras de la sostenibilidad, las baterías que ya no se pueden usar en un vehículo pueden reutilizarse: incluso cuando la capacidad de la batería algún día ya no fuera suficiente para el funcionamiento de un vehículo, aún dispone de suficiente potencia para poder usarse como acumulador estacionario en numerosas aplicaciones.

Desafíos para el futuro.

El futuro de la electromovilidad reside en el perfeccionamiento del acumulador de energía. Por este motivo, los investigadores de BMW trabajan sin descanso para poder construir un acumulador de energía más compacto, más económico y más ligero. Sin embargo, lo fundamental es



que transmitan el máximo de energía posible para conseguir una gran autonomía. La densidad de energía del acumulador en el caso de un vehículo electrónico no puede compararse de momento con la de un depósito de combustible lleno: en una batería de alto voltaje con 22 kWh hay una energía equivalente a aproximadamente dos litros y medio de gasolina súper. Así pues, las autonomías que se pueden alcanzar de momento son también menores. Sin embargo, un motor eléctrico trabaja de una forma más eficiente: debido a su considerablemente mayor rendimiento de incluso el 96% (un motor de combustión llega en el mejor de los casos al 40%), con una cantidad de energía menor éste puede llegar mucho más lejos que un vehículo equivalente con motor de combustión. Debido a la extraordinaria eficiencia, la autonomía posible hoy por hoy ya es para muchos apropiada para el uso cotidiano. Tal y como demuestran los primeros resultados de los estudios de utilización del MINI E, el 90% de los usuarios de prueba no han visto alterada en ningún caso su movilidad con la autonomía alcanzada hasta ahora.

Medidas que incrementan la autonomía.

Pese a todo, la cuestión central sigue siendo cómo se puede aumentar aún más la economía. Una posibilidad sería aumentar la capacidad de la batería. Sin embargo, con una batería mayor el vehículo sería más pesado, lo que a su vez limita la autonomía. Por tanto no se puede aumentar el tamaño de la batería a discreción, ya que a partir de cierto punto el aumento de peso por la batería contrarrestaría el aumento de autonomía logrado. En consecuencia, los ingenieros del Grupo BMW intentan aprovechar al máximo posible la capacidad de la batería disponible. Para ello, la medida más importante es mantener el peso del vehículo lo más bajo posible con una construcción ligera y una elección inteligente de los materiales (ver también el cap. 4). Además, se intenta descargar las baterías el máximo posible. El rango útil de las células de las baterías del Grupo BMW es de entre 400 y 250 voltios, lo que corresponde aproximadamente al 85% de la energía de la batería existente. No es posible llevar a cabo una descarga mayor, ya que la llamada descarga total provoca procesos químicos y físicos que podrían dañar de forma irreparable las células de la batería.

"Escatimamos cada kilowatio-hora que sacamos de la batería. Queremos lograr un funcionamiento lo más eficiente posible." (Patrick Müller)



Además de la propulsión, también necesitan energía otras funciones como las luces, la climatización o el infotainment. Mientras que estos consumidores adicionales tienen poca importancia en un vehículo con motor de combustión, en un vehículo eléctrico se notan en la autonomía. Por ejemplo, un vehículo en ciudad necesita de media tan solo 2,5 kW para la locomoción, mientras que el aire acondicionado a plena carga necesita hasta 5 kW. Por eso se intenta reducir al máximo posible el consumo de energía con inteligentes patrones de carga y eficientes estrategias de uso. De este modo se puede climatizar el vehículo durante la carga y así la capacidad de la batería está disponible durante la marcha casi exclusivamente para el avance. Un grato efecto secundario de la estrategia de carga inteligente es el confort de poder entrar en el vehículo con una temperatura agradable tanto en verano como en invierno. Los medios para aumentar la autonomía durante la marcha serían la desconexión de los consumidores innecesarios o la posibilidad de dejar "planear" el vehículo de forma controlada. Para ello se usa la propia dinámica del vehículo y se deja rodar por inercia sin usar el motor. Sin embargo, a largo plazo los ingenieros deberán seguir desarrollando acumuladores con una mayor densidad de energía.

Range Extender: motor pequeño, gran autonomía.

Una medida especial para aumentar la autonomía es el denominado "Range Extender", donde un motor de combustión crea corriente a través de un generador para ir cargando la batería mientras el vehículo está en marcha y mantener así un nivel de carga constante. De esta forma se consigue una considerable autonomía adicional. Dado que el vehículo ya dispone de un completo motor eléctrico, este motor de combustión puede ser relativamente pequeño. Los estudios demuestran que una potencia media de entre 20 y 30 kW es absolutamente suficiente para el funcionamiento normal. A esta escala, el Range Extender proporciona energía suficiente como para poder mantener el perfil de conducción deseado sin consumir innecesariamente una gran cantidad de combustible. Gracias a la compacta construcción de los componentes de la propulsión eléctrica y las nuevas arquitecturas de los vehículos, el Range Extender se puede integrar muy fácilmente.

Como solución a corto plazo para aumentar la autonomía, el Range Extender es solamente una solución de compromiso para BMW. A largo plazo, los desarrolladores del Grupo BMW apuestan claramente por el



perfeccionamiento de la técnica de baterías. Sin embargo, debido a sus características tales como la reducida densidad de potencia y la consecuentemente menor autonomía con un peso relativamente elevado, actualmente el acumulador de energía sigue siendo el factor que limita la electromovilidad. No obstante, dado que la tecnología de los acumuladores de energía para automóviles interviene cada vez más en la conducción, en este campo cabe esperar nuevos impulsos al desarrollo.

“También es de suponer que en los próximos años se conseguirán nuevos avances tecnológicos. Pronto serán posibles mayores autonomías con baterías más pequeñas y ligeras. Estamos inmersos en un proceso de desarrollo que aún esconde un gran potencial.” (Patrick Müller)



4. Construcción ligera y concepto LifeDrive.

Nuevos conceptos de carrocerías para afrontar los desafíos de una nueva movilidad.

El funcionamiento de un vehículo eléctrico no solamente significa sustituir un motor de combustión por uno eléctrico. La electrificación de un vehículo supone exhaustivas revisiones de toda la carrocería, ya que los componentes de la propulsión eléctrica plantean requisitos completamente nuevos en lo que a los espacios de construcción de un vehículo se refiere. El trabajo de desarrollo llevado a cabo en los proyectos MINI E y BMW Concept ActiveE pronto dejó patente que, a largo plazo, los conversion cars, es decir vehículos concebidos para funcionar con un motor de combustión y que han sido modificados para funcionar con un motor eléctrico, no son la mejor solución para satisfacer los requisitos de la electromovilidad. Aunque estos vehículos han sido y son aún importantes para recavar información sobre la utilización y el funcionamiento de vehículos eléctricos, la integración de un motor eléctrico en un vehículo diseñado para funcionar bajo otro principio no saca el máximo partido al potencial que ofrece la electromovilidad. Los conversion cars son relativamente pesados y resulta complicado acomodar los grandes y pesados módulos de batería y la electrónica de propulsión específica ya que las particularidades constructivas de estos vehículos están basadas en criterios totalmente diferentes.

Se trataba, por tanto, de desarrollar un nuevo concepto de carrocería que tuviera en cuenta todas las particularidades técnicas de un sistema de propulsión eléctrico y además cumpliera de forma óptima todos los requisitos relevantes desde el punto de vista de la seguridad. Pero, ¿qué forma de carrocería es la más útil y funcional para un vehículo eléctrico?

Construcción ligera en vehículos eléctricos.

Hoy en día, una carrocería ya no solo debe ser estable. También debe ser sobre todo ligera. Precisamente en el caso de un vehículo con propulsión eléctrica, la construcción ligera es aún más importante, ya que, además de la capacidad de la batería, el peso del vehículo es el factor que limita la autonomía. Cuanto más ligero es un coche, mayor es la autonomía, por la



sencilla razón de que la propulsión eléctrica debe poner y mantener en movimiento una masa menor. Al acelerar, cada kilo de más supone claramente una menor autonomía. Y en la ciudad, el entorno de utilización principal de un vehículo eléctrico, debe acelerarse muy a menudo debido al denso tráfico.

Además de contribuir a incrementar la autonomía, un menor peso del vehículo significa también prestaciones notablemente mejores. Esto se debe a que un vehículo ligero acelera más rápidamente, supera más fácilmente las curvas y al frenar se detiene antes. La construcción ligera proporciona por tanto más satisfacción al volante, agilidad y seguridad. Por otra parte, debido a la menor masa acelerada, es posible reducir las estructuras para la absorción de energía en caso de impacto, lo cual reduce a su vez el peso del vehículo.

Se trata por tanto de mantener el peso total de un vehículo eléctrico lo más reducido posible desde el principio. Sin embargo, los condicionantes previos derivados de la forma de construcción no son favorables para ello: el tren de propulsión de un vehículo eléctrico pesa mucho más que el de un vehículo con motor de combustión incluso con el depósito lleno. De hecho, el motor eléctrico junto con la batería pesa aproximadamente 100 kg más. Esto se debe, sobre todo, al peso de la batería. Para compensarlo, BMW apuesta por la construcción ligera consecuente y el uso de innovadores materiales. En función de las necesidades y del área de aplicación, los ingenieros de BMW utilizan el material óptimo para cada componente. Y al final, los desarrolladores consiguen que el elevado peso de la batería apenas “se note”.

“La construcción con materiales ligeros es una importante apuesta para la electromovilidad, ya que puede compensar la desventaja que supone el peso del acumulador de energía.” (Bernhard Dressler)

Purpose Design – el concepto LifeDrive (orientado sin reservas a los objetivos).

No obstante, la construcción ligera es tan solo una faceta, aunque muy importante, del trabajo de desarrollo en la construcción moderna de carrocerías. Con la completa electrificación de un vehículo, los ingenieros del Grupo BMW aprovechan la oportunidad de diseñar de nuevo por completo toda la arquitectura de un automóvil y de ajustarla a los requisitos y particularidades de la movilidad del futuro. Con el concepto LifeDrive



consiguieron así un revolucionario concepto de carrocería en el Purpose Design orientado consecuentemente al destino y el ámbito de utilización posteriores del vehículo y con una innovadora utilización de materiales.

De forma similar a los vehículos con el chasis y la carrocería separados, el concepto LifeDrive está compuesto por dos módulos independientes separados horizontalmente. El módulo Drive, el chasis fabricado en aluminio, constituye la base estable e integra en una sola estructura la batería, el sistema de propulsión y las funciones en caso de impacto de la estructura y la base. La otra parte del automóvil, el módulo Life, está compuesta principalmente por un habitáculo interior altamente resistente y muy ligero fabricado en plástico reforzado con fibra de carbono (PRFC). Con este innovador concepto, los aspectos de construcción ligera, arquitectura del vehículo y seguridad en caso de impacto adquieren en BMW una dimensión totalmente nueva

“El concepto LifeDrive aúna todos los sistemas necesarios para la conducción con las particularidades y requisitos de la electromovilidad y los plasma de la forma acostumbrada en un nuevo producto del Grupo BMW.” (Uwe Gaedicke)

El módulo Drive: la base estable.

El módulo Drive reúne en la base de un chasis ligero y estable fabricado en aluminio varias funciones: es una carrocería básica con chasis, elementos anti impacto, acumulador de energía y unidad de propulsión en uno. Con aproximadamente 250 kg y unas dimensiones similares a las de un colchón para niños, el acumulador de energía es un elemento motriz para el diseño integrador y funcional del módulo Drive. En el momento de su concepción el objetivo principal era por tanto integrar la batería, como el factor constructivo más grande y más importante del vehículo eléctrico que es, en la estructura del vehículo de una forma segura tanto para el funcionamiento como en caso de impacto.

Para ello, el módulo Drive se divide en tres áreas. La parte central alberga la batería y la rodea de forma segura con sólidos perfiles de aluminio. Las dos estructuras activas en caso de impacto situadas en la parte delantera y trasera del vehículo proporcionan la zona deformable necesaria en caso de una colisión frontal o por alcance. En el módulo Drive se encuentran, además, los componentes de la unidad de propulsión electrónica, así como



numerosos componentes del chasis. Así pues, dado que el sistema de propulsión electrónico es, en conjunto, considerablemente más compacto que un motor de combustión equivalente, el motor eléctrico, el cambio, la electrónica de potencia y los ejes se pueden disponer aquí en un espacio muy pequeño gracias a mejoradas soluciones.

El módulo Life: PRFC en una nueva dimensión.

El concepto LifeDrive se completa con el módulo Life, el habitáculo interior, el cual se coloca sobre la estructura portante del módulo Drive. Su gran peculiaridad es que el módulo Life está fabricado principalmente en plástico reforzado con fibra de carbono (PRFC). La utilización de este material de alta tecnología a esta escala es única hasta la fecha para la producción en serie de un vehículo, ya que hasta ahora el uso en grandes superficies de PRFC resultaba demasiado caro y su procesamiento y fabricación no eran lo suficientemente flexibles. Pero tras más de diez años de un intenso trabajo de investigación y la optimización de los procesos, el Grupo BMW es el único fabricante de vehículos que dispone de la necesaria experiencia en fabricación como para utilizar el PRFC en la producción en serie a gran escala.

Comparado con el acero, el PRFC presenta muchas ventajas: es muy estable y al mismo tiempo extraordinariamente ligero. Así pues, con una resistencia como mínimo igual, el PRFC es aproximadamente un 50% más ligero que el acero. Por el contrario, el aluminio “sólo” supone un peso un 30% menor que el acero. Por tanto, el PRFC es el material más ligero que se puede utilizar para la construcción de carrocerías sin menoscabar la seguridad.

Gracias a la utilización a gran escala de este material de alta tecnología, el módulo Life es muy ligero y de este modo se consigue una mayor autonomía al mismo tiempo que se mejoran las prestaciones. Esto favorece considerablemente la conducción: la mayor rigidez del material hace que la sensación al volante sea más directa y los movimientos rápidos del volante se trasladan sin pérdidas. Al mismo tiempo, el PRFC proporciona un mayor confort durante la conducción ya que la rígida carrocería amortigua muy bien la energía. Así, durante el viaje no se producen molestias vibraciones, sacudidas ni oscilaciones.

Pero el módulo Life no solo es muy ligero. También permite concebir y diseñar de nuevo el habitáculo interior de un vehículo. Gracias a la integración de todos los componentes de la propulsión en el módulo



Drive, en espacio interior ya no debe alojarse el árbol cardan, un componente que ocupaba mucho espacio pero que hasta ahora se necesitaba para transmitir la fuerza del motor a las ruedas traseras. Así pues, el Megacity Vehicle (MCV) dispone de mucho más espacio para los ocupantes con la misma batalla. Esta nueva estructura permite además la integración de nuevas funcionalidades, permite un nuevo grado de libertad en la arquitectura y, por tanto, brinda la oportunidad de adaptar de forma óptima el habitáculo interior a las necesidades de la movilidad en la ciudad.

PRFC como material para carrocerías.

Como material para la fabricación de carrocerías para automóviles, el PRFC ofrece numerosas ventajas: es extremadamente resistente a la corrosión, no se oxida y, por tanto, su vida útil es considerablemente más larga que la del metal. No es necesario adoptar por tanto costosas medidas de protección contra la corrosión. Además, el PRFC mantiene su estabilidad bajo cualquier condición climática.

El secreto de este material altamente resistente es la fibra de carbono, la cual presenta a su vez un alto grado de resistencia a la rotura en sentido longitudinal. Este material compuesto por fibras y plástico se obtiene cosiendo las fibras en forma de esteras e integrándolas en un entorno de plástico (matriz de plástico). En estado seco y libre de resinas, el PRFC casi se puede procesar como si de un material textil se tratase, lo que permite una gran flexibilidad a la hora de darle forma. Cuando la resina inyectada en la estera se endurece, el compuesto alcanza su forma final rígida y es entonces cuando se convierte en un material como mínimo tan sólido como el acero pero con un peso considerablemente menor.

La gran resistencia a la rotura a lo largo de las fibras también permite diseñar los componentes fabricados con PRFC en función de su dirección de carga para conseguir así una mayor rigidez. Para ello las fibras se disponen dentro del componente según los sentidos de la carga. Superponiendo varias capas con diferentes orientaciones de las fibras es posible conseguir que los componentes sean resistentes a la carga en varias direcciones. De esta forma, los componentes pueden diseñarse de una forma considerablemente más eficiente y efectiva que con cualquier otro material cuya resistencia es idéntica en todas las direcciones, como por ejemplo el metal. Esto permite reducir aún más la cantidad de material utilizado y el peso, lo que abre a su vez



nuevas posibilidades de ahorro: debido a que en caso de impacto la masa acelerada es menor, las estructuras que se encargan de absorber la energía pueden ser de menor envergadura, lo que da lugar a una nueva disminución del peso.

“El PRFC ofrece la posibilidad de construir una carrocería plástica sumamente ligera sin comprometer ni el confort ni la seguridad”. (Bernhard Dressler)

Construcción ligera y seguridad: el PRFC es más ligero y seguro.

Además de la construcción ligera, la seguridad de los viajeros se consideró de vital importancia a la hora de desarrollar el concepto LifeDrive. Los requisitos que actualmente se piden a una carrocería en caso de impacto son muy exigentes, ya que deben tenerse en consideración numerosos escenarios de choque. Normalmente esto plantea grandes retos a los desarrolladores precisamente en lo que a la utilización de nuevos materiales se refiere. Sin embargo, la combinación de materiales conseguida con el aluminio utilizado en el módulo “Drive” y el plástico reforzado con fibra de carbono con el que se fabrica el habitáculo interior en el módulo “Life” superó con creces todas las expectativas incluso durante los primeros ensayos y dejó claro que la construcción ligera y la seguridad no están reñidas.

“Construcción ligera no equivale a “menos seguridad”. Todo lo contrario. En pruebas de impacto, el concepto “LifeDrive” ha incluso superado en parte a las construcciones tradicionales”. (Nils Borchers)

Gracias a su capacidad para absorber una enorme cantidad de energía sin que ello afecte a su gran estabilidad, el PRFC es sumamente resistente a los daños. Apenas se deforma incluso a elevadas velocidades de choque. Así pues, este material extremadamente rígido proporciona un espacio vital (de supervivencia) extraordinariamente estable, similar al de una cabina de coche de Fórmula 1. Además, la carrocería permanece intacta en caso de colisión frontal o por alcance y las puertas pueden abrirse sin ningún problema tras el choque.

Máxima protección en caso de impacto lateral.

La capacidad de absorción de energía del PRFC es extraordinaria. La sorprendente respuesta de seguridad del PRFC queda especialmente patente en caso de choques contra postes y escenarios de impactos laterales. A pesar de las violentas fuerzas que en estos casos actúan en



parte de forma puntual, apenas se observan abolladuras en el material. Esto ofrece una protección óptima para los pasajeros, por lo que el PRFC está predestinado a ser utilizado en los laterales del vehículo, donde cada centímetro de espacio interior no dañado es valiosísimo.

“Para destruir el PRFC es necesario aplicar enormes fuerzas o aceleraciones extremas, mucho mayores de lo que cabe pensar a primera vista”. (Bernhard Dressler)

Sin embargo, la capacidad de carga del PRFC no es ilimitada. Cuando las fuerzas que actúan superan los límites de resistencia del material, el compuesto de fibras se descompone de forma controlada en cada uno de los elementos que lo forman.

Lo mejor de los dos mundos: la combinación de aluminio y PRFC.

El nuevo módulo Drive se ha concebido y diseñado específicamente para resistir a grandes impactos. Las activas estructuras en caso de impacto fabricadas en aluminio y colocadas en la parte frontal y trasera del vehículo proporcionan una seguridad adicional, ya que absorben una gran parte de la energía que actúa sobre el vehículo en caso de colisión frontal o por alcance. Para que la protección sea la máxima posible, la batería se ubica en los bajos del vehículo. Según las estadísticas, esta parte del vehículo es la que menos energía absorbe en caso de choque y, por lo tanto, apenas se deforma. Además, colocando la batería en los bajos del vehículo, los desarrolladores del Grupo BMW consiguen un punto de gravedad óptimamente bajo que aumenta la agilidad del vehículo y reduce el riesgo de vuelco.

En caso de impacto lateral, la batería se beneficia, además, de las características de choque del módulo Life, dado que toda la energía del choque se absorbe ya en él y no se propaga hasta el acumulador de energía. Gracias a la combinación del aluminio en el módulo Drive y del PRFC en el módulo Life, la batería goza de una protección óptima incluso en la zona de los apoyapiés.

“El módulo Drive es la forma más segura que una batería puede tener.”
(Hans-Jürgen Branz)

En conjunto, la gran resistencia del habitáculo interior fabricado en PRFC junto con la inteligente distribución de la fuerza establecen en el módulo



LifeDrive los requisitos necesarios para garantizar una protección óptima de los ocupantes del vehículo. La mezcla de materiales en el módulo LifeDrive es más segura que una carrocería de acero autoportante. Los ensayos demuestran el gran potencial que todavía alberga el PRFC y su combinación con otros materiales. En esta fase aún tan temprana, este material ya ha demostrado tener más cualidades que otros materiales en una fase más avanzada.

Ventajas del LifeDrive.

Gracias a su Purpose Design, el concepto LifeDrive incorpora todas las particularidades de la electromovilidad, tales como la batería grande y voluminosa y los compactos elementos motrices, en una estructura segura en caso de impacto. No obstante, las ventajas del LifeDrive no residen únicamente en la reducción del peso, en la por tanto mayor autonomía con mejores prestaciones durante la conducción y en la gran seguridad. Todo lo que se esconde tras el concepto LifeDrive se aprecia cuando, además del producto, se analizan también los procesos de producción asociados, ya que el principio LifeDrive permite cumplir todos los requisitos que se exigen a un producto sostenible dentro de una cadena de producción sostenible.

La construcción por separado del chasis y la carrocería es factible en la producción de hasta volúmenes medios y permite una gran flexibilidad gracias a la ejecución en paralelo de los procesos de trabajo. La nueva arquitectura del vehículo permite desarrollar procesos de producción completamente nuevos, más sencillos y con un menor consumo energético. Así por ejemplo, la separación horizontal de los módulos hace posible que los dos elementos se puedan fabricar por separado y que posteriormente puedan unirse en casi cualquier parte del mundo mediante un sencillo proceso de montaje.

“En mi opinión, gracias al trabajo de desarrollo de los últimos años, el concepto LifeDrive se ha alzado claramente como LA solución para dar respuesta hoy por hoy a todas las necesidades de la electromovilidad y, al mismo tiempo, para aprovechar su potencial intrínseco de la mejor forma posible.” (Uwe Gaedicke)



5. El PRFC: un material para el futuro.

La industria aeronáutica y espacial o el automovilismo son inconcebibles sin el plástico reforzado con fibra de carbono (PRFC). Los constructores aprovechan cada vez más las ventajas de PRFC, sobre todo allí donde se requiere un material extremadamente resistente pero ligero al mismo tiempo, con una gran rigidez y solidez. Por esta razón, los expertos del Centro Tecnológico y de Innovación de Landshut (LITZ por sus siglas en alemán) se dedican, desde hace más de diez años, a analizar detalladamente este material de alta tecnología. Gracias al trabajo de desarrollo de varios años y a su aplicación a la producción en serie, el Grupo BMW ha acumulado un know-how único en el sector automovilístico en lo que a procesos, herramientas y tratamiento se refiere, así como un elevado grado de industrialización en la producción con PRFC. Pero ¿qué es lo que hace de este material algo tan especial?

Increíblemente ligero y tan sólido como el acero.

El plástico reforzado con fibra de carbono (PRFC) es un material compuesto formado por una fibra de carbono envuelta por una matriz de plástico (resina). El PRFC apenas puede compararse con ningún otro material. Reúne en sí mismo numerosas propiedades positivas que son únicas en esta combinación. En primer lugar y sobre todo, el PRFC es sumamente rígido y sólido y su peso es extraordinariamente bajo. Con un función como mínimo igual, el PRFC es alrededor de un 50% más ligero que el acero e incluso un 30% más que el aluminio. Además, es resistente a la corrosión, a los ácidos y a disolventes orgánicos y por tanto tiene una vida útil considerablemente más larga que el metal. El PRFC resiste también todas las condiciones climáticas y apenas se deforma si se expone a grandes variaciones de temperatura.

Construcción ligera sin comprometer la seguridad.

La gran estabilidad de este material va acompañada de excelentes propiedades de amortiguación, así como de una alta resistencia en caso de impacto. El PRFC tiene una impresionante capacidad de absorción de energía y, por tanto, es muy resistente a los daños. Los componentes de carrocería fabricados con PRFC no solamente son muy ligeros, sino que



además su respuesta en caso de impacto es ejemplar. El PRFC es por tanto el material más ligero que se puede utilizar para fabricar carrocerías sin tener que renunciar a la seguridad. Sin embargo, la capacidad de carga de este material no es ilimitada. Cuando las fuerzas que actúan superan los límites de resistencia del material, el compuesto de fibras se descompone de forma controlada en cada uno de los elementos que lo forman.

“Para destruir el PRFC es necesario aplicar enormes fuerzas o aceleraciones extremas, mucho mayores de lo que cabe pensar a primera vista”. (Bernhard Dressler)

Fabricación a medida de componentes según la carga.

El secreto de este material extremadamente resistente es la fibra de carbono. A diferencia de los metales cuasi-isotrópicos, como el aluminio o el acero, que tienen la misma capacidad de carga en todas las direcciones espaciales, la fibra de carbono es anisotrópica. Al igual que una barra, la fibra es extremadamente resistente especialmente en una dirección, es decir a la tracción y a la presión, y esta es su ventaja decisiva: dado que en un componente nunca se producen cargas en todos los puntos y en todas las direcciones espaciales al mismo tiempo, esta característica especial del material permite fabricar a medida los elementos según la carga. Al igual que la Naturaleza, que acumula el material en huesos y plantas únicamente allí donde realmente se necesita, los expertos del Grupo BMW confeccionan los componentes de PRFC con la orientación y el grosor de material necesarios. Para ello disponen las fibras en la cantidad necesaria a lo largo de la dirección (o direcciones) en la que posteriormente se aplicará la carga. El componente se diseña por tanto según sus valores característicos y al mismo tiempo muy ligero.

“El PRFC permite una eficiente utilización de los materiales para una estabilidad y un funcionamiento óptimos con un peso mínimo”. (Bernhard Dressler)

La utilización del PRFC no significa simplemente la sustitución de materiales como pueden ser el acero o el aluminio. Gracias a sus características especiales, este material de alta tecnología permite adoptar enfoques totalmente nuevos y, en consecuencia, desarrollar nuevos conceptos constructivos”. Precisamente, en lo que respecta a la electromovilidad, el



PRFC brinda un gran potencial como material para la fabricación de carrocerías, ya que su reducido peso permite alcanzar un mayor rendimiento y por tanto una mayor autonomía. Con la utilización responsable del plástico reforzado con fibra de carbono es posible perfeccionar enormemente numerosos productos de construcción ligera, siempre y cuando se haya entendido realmente como actúa el material.

“Sola la correcta utilización del PRFC permite una construcción ligera”.
(Jochen Töpker)

Competencia tecnológica del Grupo BMW.

El hecho de que el PRFC se haya utilizado hasta ahora únicamente en series pequeñas o en prototipos se debe a varios motivos. Por lo general, los componentes hechos con este material relativamente nuevo se fabricaban hasta ahora sobre todo a mano, lo que requería mucho tiempo. Los costes que esto conllevaba, así como los largos ciclos de fabricación y acabado, suponían hasta la fecha un obstáculo para su producción en grandes series. Sin embargo, desde 2003, BMW produce componentes de PRFC en la producción en serie industrializada y el número de unidades aumenta de forma constante. Desde entonces, en Landshut se lleva a cabo incluso la producción a nivel industrial de los techos para los modelos M3 y M6 de BMW, así como los soportes para el parachoques del M6.

Gracias a un intensivo desarrollo de materiales y procedimientos, el Grupo BMW ha adquirido en los últimos diez años una gran competencia en los procesos de fabricación específicos del PRFC, ha conseguido una utilización de herramientas orientada a objetivos y ha optimizado los tiempos de los ciclos. De este modo, en la planta de Landshut, los especialistas en PRFC del Grupo BMW han logrado perfeccionar y automatizar el proceso de fabricación de los componentes hechos con PRFC de tal modo que hoy en día es posible, por primera vez, la fabricación rentable y de alta calidad de componentes de la carrocería en materiales de fibra de carbono para grandes series. Así, los especialistas en procedimientos del Centro Tecnológico y de Innovación de Landshut (LITZ por sus siglas en alemán) han conseguido fijar una de las bases principales para incrementar la aplicación de materiales de fibra de carbono en las carrocerías para automóviles. En este sentido, el Grupo BMW realiza un importante trabajo pionero con el fin de poder ampliar aún más el potencial de este material en el futuro.



Producción de vanguardia en el Grupo BMW.

El modo de producción aún muy utilizado hoy en día en el que los productos semiacabados de fibra previamente impregnados en resina (los denominados prepregs) son procesados primero y finalmente tratados en autoclave (un enorme horno) es inviable para la producción industrial de grandes series de automóviles. Por ello, en el Grupo BMW comenzó ya en el año 2003 una nueva era en la fabricación en serie con PRFC en la que es posible una producción en serie al más alto nivel: extremadamente avanzada y con ciclos muy cortos. La producción de PRFC no está en absoluto vinculada exclusivamente a la planta de Landshut, sino que, con unos pocos requisitos, teóricamente puede aplicarse en todos los centros de fabricación de BMW de todo el mundo. Pero, ¿cómo se crea un componente de PRFC en BMW?

De las fibras a la estera.

El punto de partida de la producción de PRFC es el denominado precursor. Esta fibra textil termoplástica de poliacrilonitrilo constituye la base para el proceso de producción. En un complejo proceso de varias etapas bajo diferentes condiciones de temperatura y presión, todos los elementos de la fibra se disocian en forma de gas hasta que solo queda una fibra compuesta por carbono casi puro con una estructura de grafito estable. La fibra de carbono obtenida tiene un diámetro de tan solo siete micrómetros (0,007 milímetros), frente a los 50 micrómetros que mide aproximadamente un cabello humano. Para su utilización en el sector de la automoción, posteriormente se unen unos 50.000 de estos filamentos para formar los denominados rovings o heavy tows, que se bobinan para su posterior procesamiento. Además de para aplicaciones en automoción, los compuestos de fibras de este grosor se utilizan, por ejemplo, en la fabricación de las grandes palas de los rotores de los aerogeneradores.

En la siguiente fase del proceso, los haces de fibras se procesan para formar esteras. A diferencia de un tejido, en la fabricación de esteras las fibras no se entrecruzan entre sí y se tejen, sino que se disponen unas junto a otras en un solo plano. Al tejerlas, las fibras se curvarían y esto reduciría en parte sus excelentes cualidades. Solo la orientación de las fibras en la estera garantiza las óptimas propiedades de un componente de PRFC.

Preformar y confeccionar: la forma óptima de moldear.

La estera, cortada a medida pero aún plana, adquiere en el denominado



proceso de preformado lo que será su forma definitiva. Un campo caliente proporciona al paquete de capas un estable contorno tridimensional. La futura forma del componente ya puede reconocerse con claridad. A continuación, varios de estos paquetes de capas preformados (piezas brutas preformadas) pueden juntarse para formar un componente más grande. Esto permite fabricar con PRFC, por ejemplo, componentes de la carrocería con un alto grado de integración y de gran superficie que, de otro modo, solo podrían realizarse con gran cantidad de aluminio o de chapa de acero. Esto supone notables ventajas para la construcción y la fabricación de la carrocería: diferentes funciones, como por ejemplo los elementos de fijación, pueden integrarse directamente en el componente. Incluso complejas piezas estructurales o componentes de la carrocería con paredes de diferentes grosores pueden fabricarse así en una herramienta.

En ambos pasos del proceso, el preformado y la confección, el gran reto consiste en conseguir que un material textil flexible sea tan manejable que la forma de la pieza bruta preformada permanezca estable y, además, que las piezas brutas se combinen con exactitud durante la confección. En este aspecto, el Grupo BMW también ha ido adquiriendo una valiosa experiencia a lo largo de los años.

Resinas bajo altas presiones con moldeo por transferencia de resina (RTM).

A continuación, las piezas brutas preformadas ya confeccionadas se someten al siguiente paso del proceso: la inyección de resina. Para que las estructuras a capas preformadas mantengan permanentemente su forma previamente configurada se necesita el segundo material más importante del compuesto: la resina. Mediante el moldeo por transferencia de resina (RTM) se inyecta resina a una elevada presión en la pieza bruta preformada. Es la unión de las fibras con la resina y su posterior endurecimiento lo que hace que el material alcance su rigidez y, con ella, sus excelentes propiedades.

La impregnación de las fibras con resina es un proceso muy complicado plagado de requisitos contradictorios. Así, por un lado, la resina debe penetrar por todas partes en el material en un espacio de tiempo muy corto y humedecer cada fibra hasta un nivel microscópico. Por este motivo, la resina debe poseer una viscosidad lo más baja posible, es decir, ser lo suficientemente líquida como para poder distribuirse con rapidez por toda



la estera. Por otro lado, la resina debe endurecerse lo más rápidamente posible, tan pronto como todo el material esté impregnado con ella. Asimismo, un agente desmoldeador debe garantizar que los componentes impregnados con resina puedan retirarse de las herramientas sin sufrir daños, pero sin afectar a la unión entre las fibras y la resina. Solucionar e llevar a cabo simultáneamente estas contradicciones resulta muy complejo. El Grupo BMW ha desarrollado para ello sus propios conceptos de procesos, herramientas e instalaciones que dan solución a este conflicto de intereses y permiten alcanzar una gran productividad y una gran calidad al mismo tiempo.

La impregnación de la estera con resina es un proceso en el que, por un lado, se unen aproximadamente diez materias primas y materiales y, por otro lado, éstos no deben reaccionar entre sí bajo ninguna circunstancia. Además, la unión de estera de fibras de carbono, resina, endurecedor, aglutinante, hilo, agente desmoldeador y otros materiales debe producirse tanto en una gran superficie como a un nivel microscópico. Aquí radica el principal reto en el trabajo con el compuesto de fibras, ya que el material es bueno en la medida que lo es la unión entre resina y fibras.

Tratamiento final: pulido fino con chorro de agua.

Tras la inyección de resina y el endurecimiento, el componente está prácticamente listo. Ya solo faltan los toques finales, como el corte limpio del contorno del componente y la realización de los orificios aún pendientes. En el Grupo BMW, este tratamiento final se lleva a cabo en una instalación de corte mediante chorro de agua. El componente de PRFC ya terminado presenta ya tras la impregnación con resina toda su estabilidad y por tanto también su resistencia por lo que, durante el tratamiento final, los cabezales de fresado convencionales alcanzarían rápidamente sus límites y deberían cambiarse con frecuencia debido al gran desgaste que sufrirían. Por el contrario, el corte con chorro de agua permite cortar y taladrar sin desgaste, pero es preciso modificarlo para el tratamiento de PRFC. Por ello, el Grupo BMW ha optimizado adecuadamente este procedimiento.

“Gracias a nuestro avanzado método de producción, estamos en condiciones de ofrecer el componente exactamente tal como el constructor lo desea y el producto lo precisa.” (Andreas Reinhardt)



Reciclado: un nuevo componente estructural a partir de los recortes.

El Grupo BMW piensa más allá del ciclo de producción y por eso, en el transcurso de los trabajos de desarrollo, ha elaborado y valorado diversos conceptos de reciclaje y recuperación. Hasta ahora, los restos de este valioso material no se aprovechaban de forma óptima. Pero ahora, el Grupo BMW ha desarrollado un concepto de reciclaje único en el mundo para residuos de producción de un solo tipo apto para la producción en serie. De este modo, una parte importante de las fibras puede devolverse a los procesos. Gracias a un proceso de preparación especial se obtiene de nuevo un material textil que puede incluso sustituir la necesidad de fibra virgen. La reutilización es doblemente rentable ya que una menor cantidad de residuos significa, por un lado, una menor contaminación y, por otro lado, una menor necesidad de material nuevo producido.

“Nos hemos propuesto reutilizar con gran calidad en nuestros propios productos los recortes que se obtienen en los procesos de producción.”
(Andreas Reinhardt)

En el Grupo BMW, la sostenibilidad ecológica no solo consigue en el área del PRFC mediante el reciclaje. Ya en la fase de producción de las fibras de carbono, el Grupo BMW, en el marco de su empresa conjunta con SGL ACF (Automotive Carbon Fibers), se preocupa de que la energía necesaria para la nueva planta de Moses Lake (EE. UU.) proceda exclusivamente de fuentes renovables. Esta planta también marcará las pautas en materia de eficiencia energética.

Enfoque global para un óptimo resultado.

En los últimos diez años, todos los procesos, materiales, instalaciones y herramientas han sido desarrollados por los investigadores y expertos en PRFC hasta tal punto que ahora es posible una producción a gran escala de componentes fabricados en PRFC. En este sentido, los especialistas en PRFC siempre han tenido en mente toda la cadena de procesos y de valor añadido. Desde la producción de las fibras hasta el reciclaje, el Grupo BMW influye como nunca antes en todos los procesos. Porque solo de este modo puede garantizarse que los avances puntuales también repercutan positivamente en el proceso global.



Orientado desde el principio a la producción en serie.

Debido al constante incremento del número de unidades y al desarrollo de innovadores procedimientos, en este tiempo el Grupo BMW ha acumulado una gran experiencia en forma de empleados, herramientas y know-how de procesos. Pero este alto grado de experiencia solo ha sido posible porque desde el principio de la utilización del PRFC se ha aspirado a una producción industrializada a gran escala. El Grupo BMW no solo entiende el PRFC como aplicación de nichos específica para vehículos, sino como una tecnología con visión de futuro en la fabricación de automóviles. Por ello, desde el principio se ha trabajado duro para llevar a cabo internamente tanto la formación de los empleados como el diseño de los procesos y para ir mejorando en ambos campos consecuentemente. Gracias al alto nivel de independencia y la gran cuota de trabajo interno a lo largo de todo el proceso de producción, el Grupo BMW apenas depende de factores externos. El alto grado de desarrollo alcanzado por el proceso de producción se refleja sobre todo en la gran calidad de los componentes producidos.

“La base para la industrialización del PRFC no se encuentra en poder comprobar su calidad a posteriori, sino en producirla.” (Jochen Töpker)

Para más información póngase en contacto con:

Tobias Hahn, Comunicación Tecnológica
Teléfono: +49-89-382-60816, Fax: +49-89-382-28567

Internet: www.press.bmwgroup.com

E-mail: presse@bmw.de

