

---

# TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

## NOMBRE DEL PROYECTO

FUENTES DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN AUTOS ELÉCTRICOS

## OPCIÓN QUE CORRESPONDA

TITULACIÓN INTEGRAL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

## PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERÍA EN SISTEMAS AUTOMOTRICES

## PRESENTA:

GUSTAVO ERIK VAZQUEZ SANCHEZ

## NOMBRE DEL ASESOR:

DR. RAFAEL ORDOÑEZ FLORES



APIZACO, TLAX., (Octubre, 2025)



**Educación**  
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco  
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Tzompantepec, Tlaxcala, 05/junio/2025  
Departamento: Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
No. De oficio: I.E.E. /314/2025

Asunto: Liberación de Proyecto  
para la Titulación Integral

ISRAEL JORGE SÁNCHEZ SÁNCHEZ  
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
PRESENTE

Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación Integral:

|                      |                                                            |
|----------------------|------------------------------------------------------------|
| Nombre del egresado: | GUSTAVO ERIK VÁZQUEZ SÁNCHEZ                               |
| Carrera:             | INGENIERÍA EN SISTEMAS AUTOMOTRICES                        |
| No. De Control:      | 17371255                                                   |
| Nombre del proyecto: | "FUENTES DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN AUTOS ELÉCTRICOS" |
| Producto             | TITULACIÓN INTEGRAL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN              |

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

**ATENTAMENTE**  
*Excelencia en Educación Tecnológica*  
*Pensar para Servir, Servir para Triunfar®*



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
TECNOLÓGICO NACIONAL  
DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO  
DEPARTAMENTO DE  
INGENIERÍA ELÉCTRICA  
Y ELECTRÓNICA

JAIME ALBERTO ELIZALDE OLIN  
JEFE DEL DEPTO. DE INGENIERÍA  
ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

RAFAEL ORDOÑEZ FLORES  
Nombre y firma del asesor

JAEO/isa\*  
C.p. Archivo



**2025**  
Año de  
La Mujer  
Indígena

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,  
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel. (241)  
4172010 Ext. 145, e-mail: electronica@apizaco.tecnm.mx | tecnm.mx  
apizaco.tecnm.mx





**Educación**  
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco  
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala, 10/junio/2025

VAZQUEZ SANCHEZ GUSTAVO ERIK  
EGRESADO(A) DE LA CARRERA INGENIERÍA  
EN SISTEMAS AUTOMOTRICES.  
CON NÚMERO DE CONTROL 17371255.  
PRESENTE.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción TITULACIÓN INTEGRAL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN y cuyo tema es: FUENTES DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN AUTOS ELÉCTRICOS, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

#### AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar 2 USB del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE

*Excelencia en Educación Tecnológica  
Pensar para Servir, Servir para Triunfar*



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
TECNOLÓGICO NACIONAL  
DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

DIVISIÓN DE  
ESTUDIOS PROFESIONALES

ISRAEL JORGE SÁNCHEZ SÁNCHEZ  
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ccp. Archivo  
IJSS/rcc



**2025**  
Año de  
La Mujer  
Indígena

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,  
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel. (241) 4172010  
Ext. 304, e-mail: dep\_titulacion@apizaco.tecnm.mx | apizaco.tecnm.mx



## Agradecimientos:

Bueno como saben este es un gran logro para mí personalmente pero también para todas las personas que me rodean y me quieren de una forma inigualable, agradezco principalmente a mis padres que sin ellos, sin su apoyo y educación pude lograr un avance sumamente importante en este proceso de ingeniería, ellos son los motores de mi vida para seguir creciendo, despues están mis hermanos, que también me han dado la fortaleza para seguir construyendo este gran camino de profesión dándome el ejemplo y el apoyo para cumplir este compromiso tan importante para todos, agradezco a las personas que me han dado un consejo para crecer y demostrar lo mucho de mi esfuerzo y lo que se puede construir, a su vez a los docentes que participaron en mi preparación y ver la funcionalidad de lo que ahora es el propósito de esta profesión, a las amistades que me dejo esta gran institución y que llevo en el corazón los grandes momentos que pase para lograr cada uno de los objetivos planteados antes de empezar este gran proyecto y ahora voy con toda la fe y preparación para demostrar lo que este campus me dejo y llevar a la vida profesional lo que pude aprender y ejercer para tener mejores proyectos en los ámbitos de resolución y dejar en grande que este campus fue un día un hogar para mí.

# Índice

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Índice de Tablas .....                                                         | 10 |
| Índice de Ilustraciones.....                                                   | 10 |
| Resumen .....                                                                  | 13 |
| CAPÍTULO 1 Planteamiento de problema.....                                      | 14 |
| 1.1 Objetivo principal .....                                                   | 14 |
| 1.1.2Objetivos específicos .....                                               | 14 |
| 1.2 Justificación .....                                                        | 15 |
| 1.3 Metodología .....                                                          | 15 |
| 1.4 Antecedentes .....                                                         | 16 |
| CAPÍTULO 2 Marco Teórico.....                                                  | 17 |
| CAPÍTULO 3 Historia Automotriz .....                                           | 18 |
| 3.1 Los primeros prototipos modernos.....                                      | 18 |
| 3.2 Los híbridos vuelven al mercado .....                                      | 19 |
| CAPÍTULO 4 Contaminación Ambiental Automotriz .....                            | 21 |
| 4.1 Coches convencionales y sus Emisiones de CO2.....                          | 21 |
| 4.2 Emisiones de CO2 debidas a la circulación.....                             | 21 |
| 4.3 Partículas Contaminantes .....                                             | 22 |
| 4.4 La contaminación del Aire en Latinoamérica .....                           | 22 |
| CAPÍTULO 5 Funcionamiento de Autos Convencionales, Híbridos y Eléctricos ..... | 23 |
| 5.1 Auto Convencional (motor de combustión interna) .....                      | 23 |
| 5.2 Auto Hibrido (combustión interna y motor eléctrico) .....                  | 25 |
| 5.3 Auto Eléctrico .....                                                       | 28 |
| 5.3.1 Elementos con los que funciona un coche eléctrico (ilustración 5) .....  | 28 |
| CAPÍTULO 6 Tipos de Baterías de Almacenamiento .....                           | 31 |
| 6.1 Introducción.....                                                          | 31 |

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 6.2 Baterías .....                                          | 33 |
| 6.2.1 Plomo-Ácido.....                                      | 35 |
| 6.2.2 Níquel-Cadmio .....                                   | 37 |
| 6.2.3 Níquel-Metal Hidruro.....                             | 39 |
| 6.2.4 Ion de Litio.....                                     | 41 |
| 6.2.5 Polímero de litio .....                               | 44 |
| 6.2.6 Sal fundida-Zebra .....                               | 46 |
| 6.2.7 Pilas de Combustible .....                            | 47 |
| 6.2.8 Centros de Recarga.....                               | 50 |
| 6.3 Supercondensadores .....                                | 65 |
| CAPÍTULO 7 Celdas de hidrógeno .....                        | 67 |
| 7.1 Introducción.....                                       | 67 |
| 7.2 Características del hidrógeno .....                     | 68 |
| 7.3 Almacenamiento del Hidrógeno .....                      | 69 |
| 7.3.1 Hidrógeno Comprimido .....                            | 71 |
| 7.3.2 Hidrógeno Líquido.....                                | 72 |
| 7.3.3 Hidroduros Metalicos .....                            | 75 |
| 7.3.4 Absorción en Solidos Porosos .....                    | 77 |
| 7.2.5 Almacenamiento Subterráneo de Hidrógeno Gaseoso ..... | 78 |
| CAPÍTULO 8 Diseño de un Automóvil Eléctrico.....            | 80 |
| Conclusión .....                                            | 84 |
| Bibliografía.....                                           | 85 |



**PROYECTO DE TITULACIÓN  
“FUENTES DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN AUTOS  
ELÉCTRICOS”**

**AUTOR: VAZQUEZ SANCHEZ GUSTAVO ERIK**

**Instituto Tecnológico Nacional de México  
Instituto Tecnológico de Apizaco**

**ASESOR: Dr. ORDOÑEZ FLORES RAFAEL**

## Tabla de contenido

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| Índice de Tablas .....                                                   | 10 |
| Índice de Ilustraciones.....                                             | 10 |
| Resumen.....                                                             | 13 |
| CAPÍTULO 1 Planteamiento de problema .....                               | 14 |
| 1.1 Objetivo principal.....                                              | 14 |
| 1.1.2Objetivos específicos.....                                          | 14 |
| 1.2 Justificación .....                                                  | 15 |
| 1.3 Metodología .....                                                    | 15 |
| 1.4 Antecedentes .....                                                   | 16 |
| CAPÍTULO 2 Marco Teórico .....                                           | 17 |
| CAPÍTULO 3 Historia Automotriz .....                                     | 18 |
| 3.1 Los primeros prototipos modernos .....                               | 18 |
| 3.2 Los híbridos vuelven al mercado .....                                | 19 |
| CAPÍTULO 4 Contaminación Ambiental Automotriz .....                      | 21 |
| 4.1 Coches convencionales y sus Emisiones de CO2.....                    | 21 |
| 4.2 Emisiones de CO2 debidas a la circulación .....                      | 21 |
| 4.3 Partículas Contaminantes .....                                       | 22 |
| 4.4 La contaminación del Aire en Latinoamérica.....                      | 22 |
| CAPÍTULO 5 Funcionamiento de Autos Convencionales, Híbridos y Eléctricos | 23 |

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1 Auto Convencional (motor de combustión interna).....                  | 23 |
| 5.2 Auto Hibrido (combustión interna y motor eléctrico) .....             | 25 |
| 5.3 Auto Eléctrico .....                                                  | 28 |
| 5.3.1 Elementos con los que funciona un coche eléctrico (ilustración 5)28 |    |
| CAPÍTULO 6 Tipos de Baterías de Almacenamiento .....                      | 31 |
| 6.1 Introducción.....                                                     | 31 |
| 6.2 Baterías .....                                                        | 33 |
| 6.2.1 Plomo-Ácido.....                                                    | 35 |
| 6.2.2 Níquel-Cadmio .....                                                 | 37 |
| 6.2.3 Níquel-Metal Hidruro .....                                          | 39 |
| 6.2.4 Ion de Litio .....                                                  | 41 |
| 6.2.5 Polímero de litio .....                                             | 44 |
| 6.2.6 Sal fundida-Zebra .....                                             | 46 |
| 6.2.7 Pilas de Combustible .....                                          | 47 |
| 6.2.8 Centros de Recarga.....                                             | 50 |
| 6.3 Supercondensadores .....                                              | 65 |
| CAPÍTULO 7 Celdas de hidrógeno .....                                      | 67 |
| 7.1 Introducción.....                                                     | 67 |
| 7.2 Características del hidrógeno .....                                   | 68 |
| 7.3 Almacenamiento del Hidrógeno.....                                     | 69 |
| 7.3.1 Hidrógeno Comprimido .....                                          | 71 |
| 7.3.2 Hidrógeno Líquido.....                                              | 72 |

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| 7.3.3 Hidroduros Metalicos .....                            | 75 |
| 7.3.4 Absorción en Solidos Porosos .....                    | 77 |
| 7.2.5 Almacenamiento Subterráneo de Hidrógeno Gaseoso ..... | 78 |
| CAPÍTULO 8 Diseño de un Automóvil Eléctrico .....           | 80 |
| Conclusión .....                                            | 84 |
| Bibliografía .....                                          | 85 |

### Índice de Tablas

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 Proceso de Gestación Sobre la Contaminación de acuerdo con el Consumo ..... | 21 |
| Tabla 2 Elementos Básicos del MCIA .....                                            | 24 |
| Tabla 3 Comparativa de Parámetros de las Distintas Baterías .....                   | 47 |
| Tabla 4 Ventajas e Inconvenientes de las Ubicaciones de los Puntos de Recarga ..... | 64 |

### Índice de Ilustraciones

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1 Prototipo de automóvil eléctrico .....    | 19 |
| Ilustración 2 Componentes Principales del MCIA .....    | 23 |
| Ilustración 3 Funcionamiento del Vehículo Híbrido ..... | 25 |
| Ilustración 4 Estructura de los Sistemas Híbridos ..... | 27 |
| Ilustración 5 Componentes del Auto Híbrido .....        | 29 |
| Ilustración 6 Estructura de un Vehículo Eléctrico ..... | 30 |
| Ilustración 7 Diagrama de Ragone .....                  | 32 |
| Ilustración 8 Estructura de una Batería .....           | 34 |
| Ilustración 9 Batería Plomo-Acido .....                 | 37 |
| Ilustración 10 Batería Níquel-Cadmio .....              | 39 |
| Ilustración 11 Batería de Níquel Hidruro Metálico ..... | 40 |

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 12 Batería de Ion de Litio.....                                                  | 42 |
| Ilustración 13 Batería de Polímero de Litio (Hecha por la Nasa) .....                        | 45 |
| Ilustración 14 Principio de Funcionamiento de la Pila de Hidrógeno. ....                     | 48 |
| Ilustración 15 Comparativa Entre las Distintas Tipologías de la Combustible.....             | 49 |
| Ilustración 16 Arquitectura del Sistema de Recarga Eléctrica.....                            | 52 |
| Ilustración 17 Componentes de un Punto de Recarga Tipo poste. ....                           | 54 |
| Ilustración 18 Modo de Recarga 1 .....                                                       | 57 |
| Ilustración 19 Modo de Recarga 2 .....                                                       | 58 |
| Ilustración 20 Modo de Recarga 3 .....                                                       | 58 |
| Ilustración 21 Modo de Recarga 4 .....                                                       | 59 |
| Ilustración 22 Conector Schuko .....                                                         | 60 |
| Ilustración 23 Conector Tipo 1 .....                                                         | 60 |
| Ilustración 24 Conector Tipo 2 .....                                                         | 61 |
| Ilustración 25 Conector Tipo 3 .....                                                         | 62 |
| Ilustración 26 Conector CHAdeMO.....                                                         | 63 |
| Ilustración 27 4 Esquema de un Supercondensador con Electrodo Apilados.                      | 65 |
| Ilustración 28 Esquema de una Celda de Combustible.....                                      | 68 |
| Ilustración 29 Propiedades del Hidrogeno .....                                               | 69 |
| Ilustración 30 Diagrama de Fases del Hidrogeno .....                                         | 69 |
| Ilustración 31 Comparación de Hidrogeno y Otros Combustibles .....                           | 70 |
| Ilustración 32 Criterios Establecidos por el DOE "Para Sistemas de Almacenamiento de H2..... | 71 |
| Ilustración 33 Sistema de Almacenamiento de Hidrogeno Comprimido a 700 bar. ....             | 71 |
| Ilustración 34 Ciclo de Linde .....                                                          | 73 |
| Ilustración 35 Diagrama de Flujo de una Licuación con Preenfriamiento ...                    | 74 |
| Ilustración 36 Esquema de un Contenedor de Hidrogeno Líquido.....                            | 75 |
| Ilustración 37 Composición Para la Absorción de Hidrogeno Liquido en LaNi5                   | 76 |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 38 Camioneta Audi Q4 .....                           | 80 |
| Ilustración 39 Motores y Panel de Baterías.....                  | 80 |
| Ilustración 40 Auto Eléctrico y Auto de Combustión Interna ..... | 81 |
| Ilustración 41 Comparación de Espacios .....                     | 82 |
| Ilustración 42 Almacenado y Conexión de Baterías.....            | 83 |

## Resumen

Nos relacionamos con la industria automotriz verificando muchos parámetros de avances tecnológicos y de sus principios, se habla de que la mejor manera de la implementación del automóvil en la vida cotidiana a inicios de su desarrollo, hablando así mismo de la historia que representa estos tipos de industrias, ahora sabremos distinguir los tres tipos de mecanismos que utilizan los automóviles, es decir, se entiende que es un auto eléctrico o de combustión interna. Será posible combinar ambos sistemas y producir algo que en su momento era imaginable, pues realmente es lo que se trata este tipo de documentos, dar entender en su mayoría las dudas que uno tiene en el desarrollo, pero principalmente enfocado en sistemas de almacenamiento y los componentes que hasta la fecha existen y cómo funcionan de acuerdo con una tecnología. Mencionamos sobre el amplio avance tecnológico que puede existir en este tipo de tecnologías automotrices llegando al grado de poder manipular motores de automóviles inducidos por energía almacenada en ciertos estándares de baterías para su amplio desarrollo en el ámbito de la conducción, ampliando estadísticas sobre la disminución del consumo de combustibles y hacer conversiones de estos.

Vemos una amplia variación en la actualidad de dispositivos de almacenamiento de energía para la industria, valorando los mejores y como han incrementado en el desarrollo para tener un mejor rendimiento de los automóviles eléctricos en comparación con los de combustión.

En la actualidad se sigue desarrollando ambas versiones, pero con una demanda más alta en los desarrolladores de los autos eléctricos o a su vez autos híbridos, que se relaciona al conjunto de los dos sistemas de automóviles eléctricos y de combustión.

En este tipo de tecnologías vemos muchos materiales en los cuales se enfoca la energía, producirla y darle ese estatuto de potencializar su uso, el saber manejar este tipo de componentes para desarrollar mejor el sistema de almacenamiento o como almacenarlos, se entiende cómo se va construyendo, pero de acuerdo con lo investigado es más complejo de lo que se puede entender y solo para poder dar una eficiencia absoluta en el desarrollo de estas energías,

## CAPÍTULO 1 Planteamiento de problema

Basado en las nuevas tecnologías de la industria automotriz de autos eléctricos e híbridos trataremos de ver el funcionamiento, característica, desempeño y lo que conlleve con las fuentes de almacenamiento de energía y algunos elementos, incluso ver si hay otras alternativas de fuentes de energía todavía no registradas o llevadas al ámbito automotriz, nos preguntaremos sobre las consideraciones que se trabajan en los distintos mecanismos de la automatización para la fabricación de los elementos, que se analizaran, saber de qué están conformados o como se utilizan, sus principales funcionamientos en la vida diaria, como garantizan el desempeño y sus cualidades en base a la información que se recabe a través de distintos medios, pero de igual forma ver que defectos tienen y en qué sentido puede mejorar para poder llegar a tener un desempeño optimo, veremos tal proyección para analizar y ver la relación en el ámbito estructural de un pronto o largo proceso de producción de estos vehículos y su llegada a la forma central de utilidad en el mundo, pensando en las variaciones y centros de dichos elementos para su uso cotidiano y ver las distintas maneras de los fabricantes en su forma de recargar la energía en estas fuentes que se utilizara en las distintas formas de transformación de energía directa a energía mecánica.

### 1.1 Objetivo principal

Analizar los sistemas de las fuentes de almacenamiento de energía en autos eléctricos e híbridos desde su inicio, así como demostrar el cómo está construido y la forma en que hay ese cambio de energía cinética a fuerza motriz para la movilidad del vehículo, se tratara de planificar en que tiempo estas tecnologías ya podrán estar para el público en general y cuando se podrá hablar de que se elimine en su mayoría el motor de combustión interna.

#### 1.1.2Objetivos específicos

- Ver el comportamiento de las diferentes fuentes de almacenamiento de energía y sus diferentes tipos que hay en existencia.
- A base de los elementos que maneja una fuente de alimentación basada en su carga, que tan eficientes son para el futuro.
- Ver el funcionamiento del almacenamiento en fuentes de energía en su optimo desempeño de acuerdo a sus materiales.
- Aclarar como es el funcionamiento de un almacenamiento de fuente de energía en la industria automotriz.
- Ratificar ventajas y desventajas de las fuentes de almacenamiento basadas en los distintos materiales de su fabricación.

- De acuerdo con su uso diario (fuentes de almacenamiento de energía en automóviles) en que tiempo podrían estar en la vida cotidiana de la población.
- Si estas son las nuevas tecnologías de fuentes de almacenamiento en desarrollo que otros potenciales podremos alcanzar con lo que ya se tiene registrado en acuerdo a los materiales.

## 1.2 Justificación

Como bien sabemos en la industria en general se está avanzando de manera enorme en el ámbito de la tecnología, la industria automotriz no puede quedarse atrás, se habla de componentes eléctricos que generan la suficiente energía para poder mover el vehículo a velocidades establecidas pero si veloces, se tratara de demostrar el comportamiento y estructuración de esta tecnología de almacenamiento para los vehículos, ver su comportamiento y regeneración de esta energía, se habla de que existen muchos tipos de fuentes de almacenamiento aplicadas en grandes componentes eléctricos, por ejemplo : coches, cuatriciclos, motos, bicicletas o incluso patinetes, cada vez más presentes en las áreas metropolitanas y en entornos turísticos.

Podemos mencionar que en este ámbito social automovilístico llegara el momento en que en su mayoría de esta tecnología llegara a reemplazar al motor de combustión interna, aunque por el momento se analiza que el porcentaje de población que conduce o tiene este tipo de vehículos es poca a comparación del motor de combustión interna, hablamos que este puede ser un alcance muy grande en la industria, una de las principales características de las que hablaremos es la forma en que esta tecnología puede ayudar al medio ambiente y como es que puede influir en el sistemas de recarga en la vida social basadas en esta tecnología.

## 1.3 Metodología

Uno de los principales incognitos sobre este tipo de tecnología es la falta de información basada en las fuentes de almacenamiento y como es que funciona el vehículo en general, así que podemos remarcar que nuestro propósito es demostrar el cómo funciona e ir aclarando cada una de las dudas que se podrían llegar a tener, se habla de que es una tecnología muy buena para el futuro de nuestro planeta.

Los alcances que se trataran de demostrar es el funcionamiento y algunas comparativas de cómo es el desempeño, calidad, precio, durabilidad etc. En las fuentes de almacenamiento.

Esta investigación es de forma experimental y confirmatoria ya que a base de los datos recabados se explicarán de una manera muy versátil para el entendimiento de toda persona que en su momento tenga dudas de los automóviles híbridos y eléctricos.

La estrategia es el análisis de datos que podamos encontrar de manera eficiente y de calidad para tener el mejor entendimiento de lo que se está hablando y poder tener datos totalmente verificables, así demostramos de lo que estamos hablando de manera eficaz.

Nuestra metodología de investigación será mixta, se estará trabajando de manera social el desempeño de cada uno de los elementos a investigar y si en dado caso hay nuevas innovaciones o que es lo que nos depara el futuro y por otro lado veremos de manera numérica datos reales que nos generaran un amplio aspecto de visibilidad de lo que nos mencionas las marcas.

De acuerdo con que es una investigación de algo innovador podemos mencionar que el tiempo que tenemos para esto puede ser una incógnita ya que siempre hay algo que se está innovando, podremos mencionar que cuando cumplamos con el porcentaje deseado de información se llevara la contabilidad del tiempo para así después aclarar y remarcarlo.

## 1.4 Antecedentes

El coche híbrido es una evolución del automóvil para el futuro. Debido a la demanda de autos que consuman menos combustible y no contribuyan a la contaminación del aire, el automóvil híbrido fue creado para tal fin. Debido a los rápidos avances en la tecnología, el coche híbrido es muy popular. El auto híbrido es una concepción de transportación que usa dos fuentes de poder y un sistema de almacenamiento de energía recargable que se encuentra abordo más una fuente de energía de combustible para el motor. Consume menos combustible y contamina menos.

En 1989, Ferdinand Porsche desarrolló y dio paso al primer vehículo híbrido eléctrico. Otras personas siguieron con desarrollos a la invención de Ferdinand Porche. Muchas que se interesaron en el concepto del vehículo híbrido, siguen haciendo desarrollos.

Sin embargo, no hubo fabricantes de automóviles importantes que hallan invertido en el concepto del auto híbrido y su producción en masa hasta finales del siglo XX. La tecnología híbrida se utilizaba principalmente en el desarrollo de submarinos diésel eléctricos durante el período intermedio.

En la década de 1990, el Toyota Prius y el Honda Insight fueron los primeros coches híbridos con éxito en el mercado. Han sido dos de los pioneros en el concepto del automóvil híbrido que prácticamente cambió la manera en que el mundo piensa a los coches. Un inventor idealista, Víctor Wouk, fabricó un vehículo híbrido eléctrico y a gasolina que saloneaba gasolina a la mitad del monto de prácticamente todos los coches construidos hasta entonces. Construyó el auto híbrido 30 años antes que el Toyota Prius obtenga la atención de los Estados Unidos, una nación ansiosa por energía. (Quito, 2011)

## CAPÍTULO 2 Marco Teórico

En la vida actual estamos en un proceso de crisis sobre el cambio climático y las consecuencias que pueden suceder si no hay un cambio radical en la vida diaria, es por ende que la evolución de la tecnología principalmente en la industria automotriz ha avanzado a grandes cantidades generalizando todo ámbito de un automóvil.

Si bien en la actualidad se ha manejado ampliamente sobre el sistema eléctrico y la forma en cómo se pueden generar ciertos tipos de baterías o celdas de hidrogeno para la propulsión de motores eléctricos montados en automóviles, ver su duración y características que desempeñan cada uno de los elementos que van componiendo a las diferentes fuentes de almacenamiento.

Podemos encontrar como esto forma la estructura para el futuro de la industria automotriz y el amplio panorama de dar un cambio muy grande y dejar de quemar combustibles fósiles que provocan cierto daño al sistema ambiental, se trata de desarrollar una forma de almacenamiento de energía para cumplir ciertas características de empresas automotrices para sus automóviles y ver cuál es la más eficiente. así mismo fomentar esta forma para el gran cambio que se propicia cada vez más a la vida cotidiana.

## CAPÍTULO 3 Historia Automotriz

Desde mediados de los años 20 del siglo pasado los coches híbridos estuvieron fuera de la palestra durante muchos años. **Hay que esperar hasta mediados de los años 60**, cuando empieza la humanidad a darse cuenta de las consecuencias de la contaminación y que esta se está volviendo incontrolable.

En 1966 el congreso de Estados Unidos recomienda el uso de coches eléctricos para reducir la contaminación ambiental. **La industria empieza a moverse tímidamente**. Más o menos por entonces, el ingeniero Víctor Wok dijo que el futuro no estaba en el motor eléctrico, sino en el híbrido gasolina/eléctrico, lo que le valió bastantes críticas.

### 3.1 Los primeros prototipos modernos

En 1969 la todopoderosa General Motors muestra tres prototipos de micro coché, uno eléctrico, otro híbrido y otro sólo a gasolina, los **XP512**. Las prestaciones eran anecdóticas, así como sus cifras en general, no fueron más que demostradores tecnológicos. En el mismo año sacaron un prototipo de coche normal, el Opel Kadett Stir-Lec I (ilustración 1).

Los modelos 100% eléctricos demostraban que quedaba mucho por hacer, las baterías daban prestaciones muy pobres y muy poca autonomía, así que los híbridos eran la alternativa más viable (ilustración 1). En 1970 se emite la Clean Air Act en Estados Unidos, que pide reducir las emisiones un 95% para 1976.

Poco después se produce un incentivo muy grande para la investigación de la propulsión alternativa, la **crisis del petróleo de 1973**. Las imágenes de colas kilométricas para repostar gasolina dieron la vuelta al Mundo y dieron un aviso a Occidente: dependían demasiado del petróleo y debían buscar las formas de ser más autosuficientes y reducir su inmenso gasto.

Entre 1968 y 1971 tres científicos investigaron sobre combinaciones de sistemas híbridos. **Baruch Berman, George H. Gelb y Neal A. Richardson** desarrollaron y patentaron un sistema de transmisión electromecánica que conseguía más eficiencia utilizando un motor pequeño de combustión interna. Muchas de sus ideas se han utilizado en híbridos modernos.

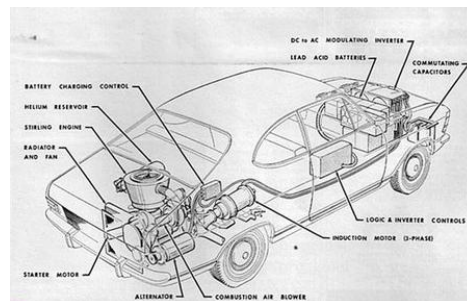
La alemana Volkswagen desarrolló en 1973 el **Volkswagen Taxi**, que se mostró en salones de Estados Unidos principalmente. El Taxi tenía la habilidad de funcionar tanto con gasolina como con motor eléctrico alternativamente o a la vez, logrando más eficiencia que ningún híbrido hasta la fecha. Recorrió casi 13.000 kilómetros en pruebas.

En 1973 Víctor Wouk y Charlie Rosen construyen un prototipo de híbrido sobre un **1972 Buick Skylark** cedido por General Motors. Se eligió ese modelo por el volumen que tenía su vano motor, dentro alojaron un motor eléctrico de 20 CV y un motor rotativo del Mazda RX-2. No llegó a superar los 136 km/h en las pruebas debido a unos traqueteos estructurales.

El coche se probó en la Environmental Protection Agency (EPA), pero alguien desde arriba, Eric Stork, canceló el proyecto y no se consideraron los resultados. Wouk consiguió la mitad de consumo que el modelo convencional y una reducción de emisiones del 9%, nada mal para la época. **Stork dijo que la tecnología híbrida no era práctica.**

Mientras Víctor Wouk intentó mostrar las bondades de la tecnología durante años, en General Motors el desarrollo continuó a pequeños pasos. En Japón Toyota empieza el desarrollo de coches híbridos también, mostrando en 1976 un prototipo de deportivo híbrido en serie movido por turbina de gas (GT) y motor eléctrico. Se llamaba **Toyota GT Hybrid Concept**, basado en el Toyota Sports 800 de 1969 (ilustración 1) .

En 1979 Dave Arthurs transformó su **Opel GT** para crear un híbrido mixto, utilizando el motor de un cortacésped y un motor eléctrico de 400 amperios con baterías de 6 voltios. Se gastó 1.500 dólares en dicho montaje, pero logró un consumo de sólo 2.81-3,14 l/100 km (depende de la fuente). Entre sus soluciones técnicas estaba la frenada regenerativa, que no es nueva por entonces.



*Ilustración 1 Prototipo de automóvil eléctrico*

En el año siguiente, 1980, la compañía de cortacéspedes **Briggs & Stratton** desarrollaron un coche híbrido utilizando un bicilíndrico de 16 CV con gasolina y un motor eléctrico, con una potencia combinada de 26 CV. El vehículo era de diseño propio, con dos puertas y seis ruedas. Mientras tanto General Motors invirtió mucho dinero en investigación, creyendo que los eléctricos e híbridos se impondrían a corto plazo.

A finales de la década de los 80 se presenta el **Audi Duo**, basado en el Audi 100 Avant quattro. Tenía un motor eléctrico de 12,6 CV para el eje trasero y un motor 2.3 de cinco cilindros para el eje delantero, con baterías de níquel-cadmio (NiCD). En 1991 se presenta otro prototipo, **Audi Duo II**, basado en el mismo coche. La carrocería familiar era idónea por su espacio para las baterías.

Más al norte, la sueca Volvo muestra en 1993 un prototipo denominado **Environmental Concept Car**, equipado con 349 kilogramos de baterías NiCD. Es un anticipo del Re-Charge Concept mostrado en 2007, pues un motor térmico se usaba para recargar la energía de las baterías, pero no tenía conexión física con las ruedas (híbrido en serie y de rango extendido, REHEV).

### 3.2 Los híbridos vuelven al mercado

En 1997 Audi lanza al mercado el **Audi Duo III**, con un motor 1.9 TDI de 90 CV y un motor eléctrico de 29 CV, en configuración paralela y tracción delantera. Fue el primer híbrido europeo moderno de producción, pero sólo se vendieron 60 unidades y fue un fracaso comercial por su elevado precio. Hay que esperar a 2009 para ver otro híbrido europeo, el Mercedes-Benz S 400 BlueHYBRID.

Es finalmente Toyota la que se *moja* y lanza al mercado japonés el **Toyota Prius** (en latín, “pionero”) en diciembre de 1997, es el primer híbrido de producción masiva del Mundo. Es un

híbrido puro, con una cantidad muy elevada de soluciones técnicas innovadoras e incluso un problema de patentes que los jueces fallaron en contra de Toyota. El primer año de ventas fue un éxito, 18.000 unidades. A finales de 2000 se vendió en otros mercados con algunos cambios. Honda se apunta a la carrera en 1999 con el **Honda Insight**, un semi-híbrido con cambio manual o CVT, de reducido tamaño y peso, aerodinámica optimizada y un consumo de combustible realmente bajo. Se vendió en EEUU, en España no llegamos a verlo. Entre 2003 y 2005 se vende el **Honda Civic IMA** como respuesta al Prius, con cambio manual. Gracias a la buena acogida de estos modelos, aparecen sus sucesores, **Toyota Prius II** y **Honda Civic Hybrid**, que son modelos totalmente nuevos y con cambio CVT. Mientras Honda apuesta por el esquema semi-híbrido, Toyota apuesta por el híbrido puro y lo traslada al segmento de lujo por primera vez con la gama de híbridos Lexus: Lexus RX 400h, Lexus GS 450h y Lexus LS 600h.

La justificación de la hibridación con lujo fue como demostración tecnológica y para aumentar el placer de conducción, no pensando en un gasto más bajo, aunque eso estaba como efecto secundario. La tecnología Toyota se ha vendido a fabricantes como Ford a cambio de sus conocimientos en otras áreas, como motores diésel. En 2004 aparece el primer híbrido de comercialización masiva americano, también el primer SUV híbrido del Mundo, **Ford Escape Hybrid** (4×4). En su día fue el SUV más eficiente del mercado americano.

En Estados Unidos los híbridos aparecen como transformación de modelos existentes, no son diseños pensados desde cero para conseguir consumos bajos, al igual que los Lexus. Los Prius e Insight son modelos diseñados desde cero, no tienen versiones convencionales a la venta. **Hoy día donde más variedad hay de híbridos es en el mercado estadounidense.** Japoneses y americanos piensan únicamente en híbridos a gasolina, pero en Europa se están investigando soluciones híbridas con motor diésel en Citroën, Opel y Peugeot principalmente. Estos modelos aparecerán a medio plazo en el mercado. (Costas, 2009).

## CAPÍTULO 4 Contaminación Ambiental Automotriz

Un vehículo para desplazarse debe adquirir energía de alguna fuente y transformarla mediante el motor en energía cinética para que las ruedas giren y se produzca el desplazamiento. Las emisiones de CO<sub>2</sub> dependen del tipo de energía consumida y por ello distinguimos entre coches convencionales, eléctricos, e híbridos.

### 4.1 Coches convencionales y sus Emisiones de CO<sub>2</sub>

Un vehículo convencional adquiere la energía que se encuentra almacenada en un combustible fósil, que se libera mediante la combustión en el interior de un motor térmico convencional. Estos combustibles fósiles son primordialmente derivados del petróleo: gasolina y diésel; aunque también podrían ser biocombustibles, de los que hablaremos más adelante.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> se producen por la quema del combustible y son expulsadas a través del tubo de escape. La cantidad de CO<sub>2</sub> emitida, si atendemos únicamente al tipo del vehículo y no a la forma de conducción, depende de la cantidad de energía necesaria para circular y de la eficiencia del motor. La cantidad de energía necesaria depende del peso del vehículo y de su potencia. Por tanto, a mayor potencia y mayor peso, mayor consumo de combustible y mayores emisiones de CO<sub>2</sub>.

### 4.2 Emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a la circulación

Son las emisiones procedentes del consumo de energía para la circulación del vehículo. La mejor forma para saber las emisiones de un automóvil es fijarnos en la información de emisiones de CO<sub>2</sub> que da el fabricante.

Hay que tener en cuenta que el rango de emisiones es muy amplio y va desde coches que emiten por debajo de los 100 gramos de CO<sub>2</sub> por kilómetro hasta los que emiten más de 400 g/km. La media en los automóviles españoles en 2008 fue de 148 g/km.

g CO<sub>2</sub> / km

|                    |                            |
|--------------------|----------------------------|
| más de 200         | excesivamente contaminante |
| 200-160            | muy contaminante           |
| 140-160            | bastante contaminante      |
| 120-140            | contaminante               |
| 100-120            | poco contaminante          |
| menos de 100 gr/km | los menos contaminantes    |

*Tabla 1 Proceso de Gestación Sobre la Contaminación de acuerdo con el Consumo*

Se debe tener presente que al automóvil es el medio de transporte con mayores emisiones por viajero transportado (g CO<sub>2</sub> / km = gramos de dióxido de carbono por kilómetro). Es decir, que el automóvil es el medio de transporte menos eficiente, y que cualquier viaje realizado en transporte

público supondrá unas emisiones de CO<sub>2</sub> inferiores que si se realizaran en coche. Asimismo, cuanto menos ocupado vaya el automóvil más ineficiente resultará (Gomez, 2009).

#### 4.3 Partículas Contaminantes

Monóxido de carbono (CO): Se trata de un gas que no tiene color, insípido e inodoro, que tiene moléculas homogéneas y baja densidad, mucho menor que el aire, el cual se genera por la combustión incompleta de los combustibles carbónicos, a causa de insuficiente tiempo para que el oxígeno se convierta completamente en dióxido de carbono, haciendo que las emisiones vehiculares las responsables del 98,5% del CO presente en la atmósfera. Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>): La principal fuente de emisiones de dióxido de nitrógeno es los procesos de combustión tanto de fuentes móviles como estacionarias. Es considerado uno de los principales precursores de la precipitación ácida en las zonas urbanas e industrializadas. Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>): El dióxido de azufre es un gas muy soluble que reacciona con el agua para formar ácido sulfuroso. La principal fuente es la combustión de materiales fósiles, que al ser quemados se libera el dióxido de azufre. Los efectos de los óxidos de azufre se manifiestan en presencia de material particulado. Material particulado (TPS y PM<sub>10</sub>): Las partículas en la atmósfera son formadas por una mezcla de partículas orgánicas e inorgánicas, su impacto en el medio ambiente está relacionado con su composición química de la cual está formado.

#### 4.4 La contaminación del Aire en Latinoamérica

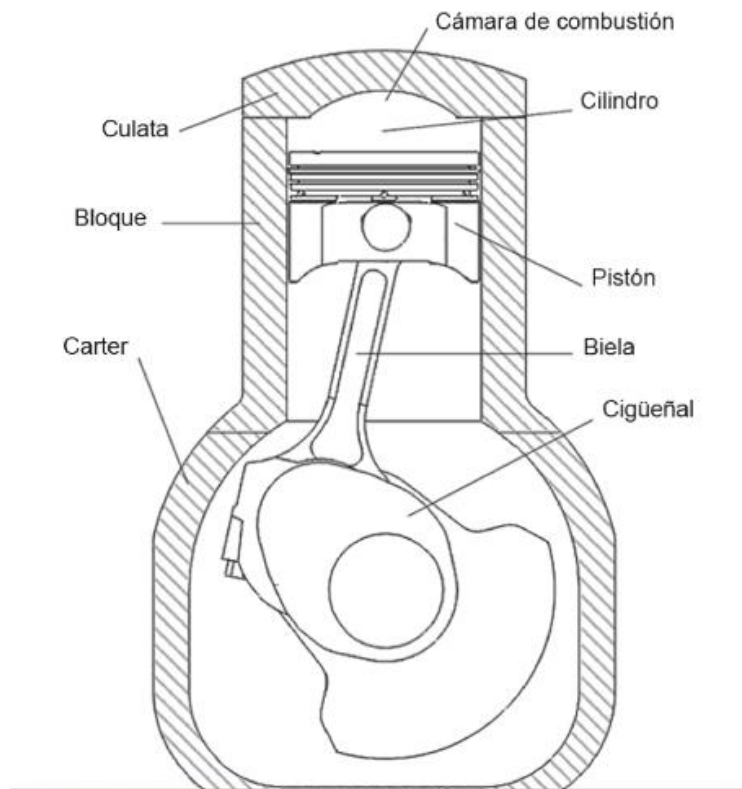
Según el estudio de la OMS más del 80% de las personas que habitan en zonas urbanas respiran un aire que les podría causar infartos cerebrales o enfermedades respiratorias crónicas. Esta información se dio después de haber reunido datos de 3 000 ciudades en el mundo. Aunque todas las regiones están afectadas, quienes más sufren este problema son los habitantes que viven en países en vías de desarrollo. La ciudad más contaminada del mundo es Onitsh, un puerto en rápido crecimiento y muy transitado, en el sureste de Nigeria, que supera en 600 veces el nivel de contaminación recomendado por la OMS. Los resultados del informe-publicado en mayo de 2016- muestran que más de una cuarta parte de las ciudades en América Latina y el Caribe triplican los límites que la entidad internacional establece como perjudiciales (Paredes, 2006).

## CAPÍTULO 5 Funcionamiento de Autos Convencionales, Híbridos y Eléctricos

### 5.1 Auto Convencional (motor de combustión interna)

En el auto convencional encontramos un sistema de propulsión por medio de un motor de combustión interna, los motores de combustión interna alternativos (MCIA (ilustración 2) (motor de combustión interna alternativos)) son motores térmicos de desplazamiento positivo, en los que el trabajo se obtiene mediante el desplazamiento lineal del embolo de un mecanismo biela-manivela. Se denominan motores de combustión interna porque el estado térmico se genera en el propio fluido que evoluciona en el motor.

El motor de combustión interna es un tipo de motor que obtiene la energía mecánica a partir de la energía química con la que cuentan los combustibles. El proceso de combustión en este tipo de motores se produce en el interior de los propios cilindros. (Dominguez, 2015)



*Ilustración 2 Componentes Principales del MCIA*

|                      |                                                                                                                                         |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pistón               | Elemento con movimiento rectilíneo alternativo. Es el émbolo del mecanismo biela-manivela y aumenta o disminuye el volumen del cilindro |
| Biela                | Elemento que, junto con la manivela, convierte el movimiento lineal del pistón en el rotativo del cigüeñal                              |
| Cigüeñal             | Elemento rotativo del motor, en el se integra la manivela del mecanismo                                                                 |
| Cilindro             | Es el volumen que aloja el fluido de trabajo                                                                                            |
| Cámara de combustión | Es el volumen que queda por encima del piston al finalizar la compresión y donde básicamente tiene lugar la combustión de la mezcla     |
| Culata               | Elemento que constituye el cerramiento superior de los cilindros                                                                        |
| Bloque               | Elemento que contiene los cilindros                                                                                                     |
| Carter               | Cerre inferior del motor. Contiene el aceite para la lubricación                                                                        |

*Tabla 2 Elementos Básicos del MCIA*

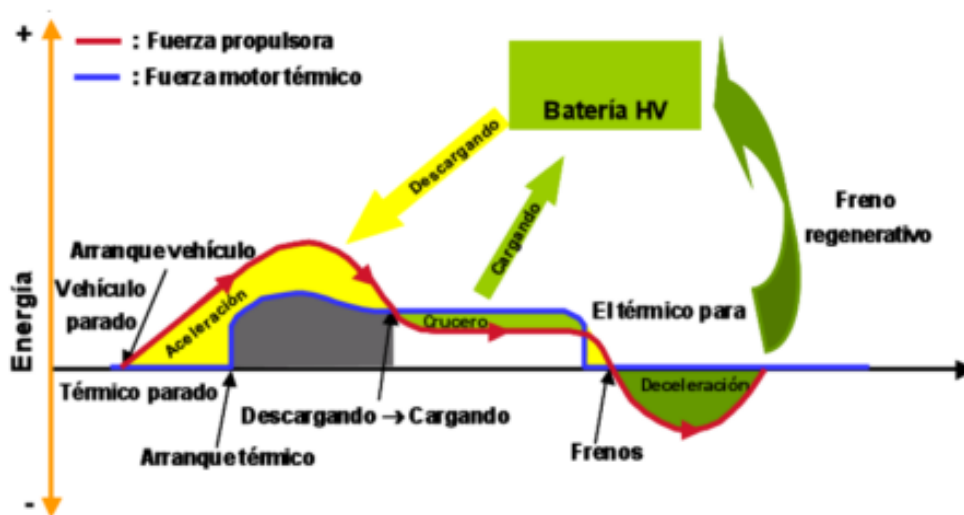
El motor durante su funcionamiento realiza una serie de procesos que se repiten periódicamente y constituyen un ciclo termodinámico abierto. Los cinco procesos básicos que tienen lugar en un MCIA son:

- Admisión: proceso en el que tiene lugar la entrada del fluido de trabajo (mezcla aire-combustible o aire, dependiendo del tipo de motor).
- Compresión: proceso fundamental para incrementar el rendimiento termodinámico del motor.
- Combustión: mecanismo de reacciones químicas globalmente muy exotérmicas mediante las cuales se genera el estado térmico del fluido de trabajo (alta compresión y temperatura).

- Expansión: proceso responsable de la producción de trabajo. En él, los gases producto de la combustión se expanden y desplazan al pistón, aumentando el volumen del cilindro. Dicha variación de volumen es la responsable de la producción de trabajo. La presión ejercida por los gases sobre el pistón se transforma por equilibrio de fuerzas, en el par motor en el eje del cigüeñal.
- Escape: proceso en el que se desalojan los gases producto de la combustión que para que se pueda procesar a un nuevo proceso de admisión.

## 5.2 Auto Híbrido (combustión interna y motor eléctrico)

A un auto se le denomina "híbrido" cuando es impulsado por dos motores que pueden ser de distinta naturaleza: por ejemplo, un motor de combustión interna y uno o varios motores eléctricos. Con esta configuración (ilustración 3), un auto híbrido puede aprovechar ambas fuentes para obtener energía y moverse de forma económica y con un excelente rendimiento. Cabe mencionar que los vehículos híbridos pueden circular tanto en combinación de ambos motores o en forma puramente



eléctrica.

Con el objetivo de aprovechar al máximo toda la energía que un coche genera, los autos híbridos utilizan diferentes componentes para incrementar su eficiencia. Entre ellos se encuentran:

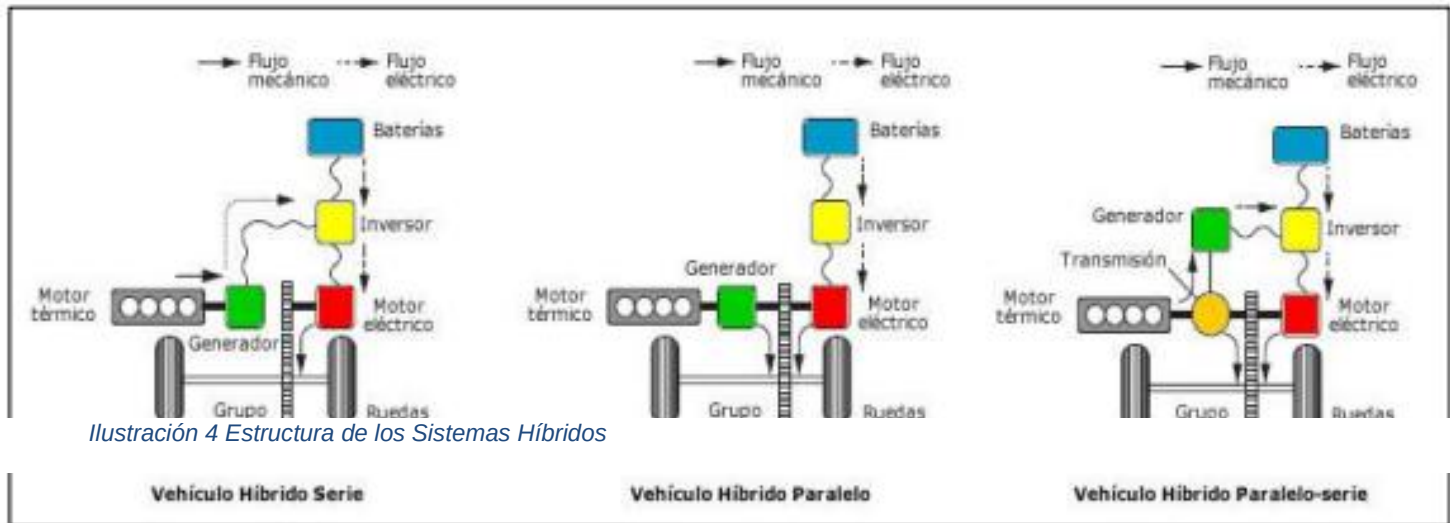
*Ilustración 3 Funcionamiento del Vehículo Híbrido*

- Motor de combustión interna: En la mayoría de los coches híbridos, el motor de combustión interna, conocido también como motor térmico, es de gasolina, aunque también puede llegar a ser de diésel. Dicho motor está conectado al depósito de combustible y funciona con normalidad como cualquier otro vehículo, sin embargo, el consumo de un coche híbrido es inferior al de cualquier vehículo común de combustión.
- Motor eléctrico: Según el modelo de coche o camioneta híbrida, cabe la posibilidad de que existan uno o dos motores eléctricos en el vehículo. En cualquiera de los casos, el motor eléctrico va siempre conectado a la transmisión o de forma directa a un eje de las ruedas.
- Generador: Al frenar, acelerar o retener el vehículo, el motor de combustión interna ofrece energía sobrante que se acumula en la batería, el generador cumple la función de recuperar dicha energía.
- Baterías: Las baterías aportan la energía que el motor eléctrico requiere para funcionar. Suelen colocarse en la parte de atrás del coche o bien, en el suelo bajo los asientos traseros y se complementan con la batería de 12V que el automóvil lleva para su arranque. Dichas baterías pueden ser de diferentes materiales como plomo-ácido, níquel-metal hidruro, níquel-cadmio o ion litio.
- Sistema de gestión: Se trata de una computadora o sistema informático que, a través de sensores y con base en las preferencias preprogramadas del conductor, decide qué comportamiento es más adecuado en cada situación de manejo.

Las preferencias del conductor determinarán el trabajo de los motores, por ejemplo, si se requiere una máxima potencia, el motor de combustible entrará en funcionamiento, mientras que, para una velocidad media, el motor eléctrico puede ser más que suficiente acudiendo al excedente de energía almacenada. Algo muy interesante de los autos híbridos es que su tecnología también permite que la batería se vaya recargando en el camino a través del frenado regenerativo.

De acuerdo con el comportamiento de cada empresa automotriz se tiene distintas formas de colocación del sistema híbrido en el vehículo como se muestra en la ilustración 4. (Andres, 2018)

- Sistema híbrido en serie: En estos vehículos el motor de combustión proporciona



movimiento a un generador que o carga las baterías o suministra la potencia directamente al sistema de propulsión (motor eléctrico) y por lo tanto reduce la demanda a la batería. El motor térmico impulsa un generador eléctrico, normalmente un alterador trifásico, que recarga las baterías, una vez rectificada la corriente, y alimenta al motor o motores eléctricos y estos son los que impulsan al vehículo. La parte eléctrica genera tracción, el motor de combustión se utiliza para suministrar electricidad, es decir el motor a gasolina no mueve directamente al automóvil. La principal ventaja que ofrece este diseño frente al de en "paralelo" es la de un diseño mecánico simple. Se dispone de un motor térmico diseñado y optimizado para trabajar siempre en el mismo régimen de revoluciones.

- Sistema híbrido en paralelo: Este tipo de vehículo utiliza dos sistemas de tracción en paralelo. Según esta configuración ambos proveen de potencia a las ruedas de modo que los dos sistemas pueden ser utilizados independiente o simultáneamente para obtener una potencia máxima. El motor a gasolina entra en funcionamiento cuando el

vehículo necesita más energía, y al detenerse, el híbrido aprovecha la energía normalmente empleada en frenar para recargar su propia batería (frenado regenerativo). Tanto la parte eléctrica como el motor de combustión interna pueden hacer girar las ruedas.

- Sistema híbrido en paralelo: Tiene la ventaja que el generador al estar diseñado para funcionar sólo como generador, será más eficiente que el motor funcionando como generador. Usando el motor eléctrico como generador: se disminuye el número de componentes, pero puede disminuir el rendimiento.
- Sistema híbrido paralelo-serie: Este sistema combina las configuraciones serie y paralelo para aumentar al máximo los beneficios de ambos sistemas. Tiene dos motores, y dependiendo de las condiciones de manejo, usa sólo el motor eléctrico o el poder de ambos para lograr el nivel de eficacia más alto.

Mientras que los vehículos convencionales funcionan gracias al combustible, los coches y camionetas híbridos combinan la electricidad y el combustible para hacer funcionar su motor eléctrico y su motor de combustión interna propiciando un mayor ahorro de gasolina o diésel y generando una menor emisión de CO<sub>2</sub>. (S.N, 2022)

### 5.3 Auto Eléctrico

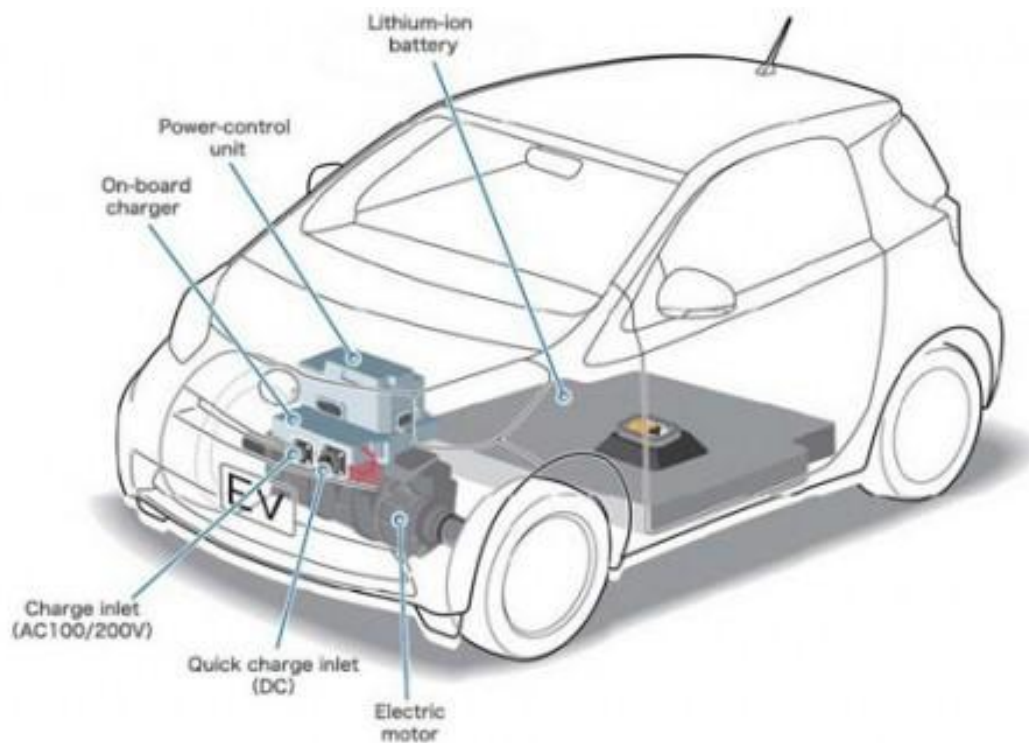
Los autos eléctricos son vehículos impulsados por uno o más motores eléctricos que se alimentan de la energía almacenada en una batería eléctrica.

Para entender cómo funcionan los autos eléctricos primero debemos saber cuáles son los elementos que los componen. Estas partes son las encargadas de transformar la energía eléctrica en la energía mecánica que se traduce en el movimiento que impulsa a las ruedas.

#### 5.3.1 Elementos con los que funciona un coche eléctrico (ilustración 5)

- Cargador: Transforma la corriente alterna de la toma de carga en corriente continua para cargar la batería de alto voltaje.
- Batería: Se trata de una batería de iones de litio montada en los bajos del vehículo y contribuye a la rigidez de la carrocería. Esto tiene dos ventajas: el bajo centro de gravedad y la distribución óptima del peso. La batería de alto voltaje entrega la energía eléctrica necesaria para la conducción.

- Transformador de tensión: Suministra tensión a la red de a bordo y se encarga de precargar el condensador en el módulo electrónico de potencia y control para propulsión eléctrica.
- Elemento calefactor: Calienta el líquido refrigerante para la batería de alto voltaje y sirve para el calentamiento activo.
- Modulo electrónico de potencia y control para propulsión eléctrica: Transforma la solicitud de potencia del conductor en señales eléctricas.
- Módulo de propulsión a corriente trifásica: Puede propulsar el vehículo como motor eléctrico o cargar la batería de alto voltaje como alternador.
- Motor eléctrico: Usa la energía para crear movimiento y transformar la energía cinética en eléctrica para recargar la batería. (S.N., 2022)



*Ilustración 5 Componentes del Auto Híbrido*

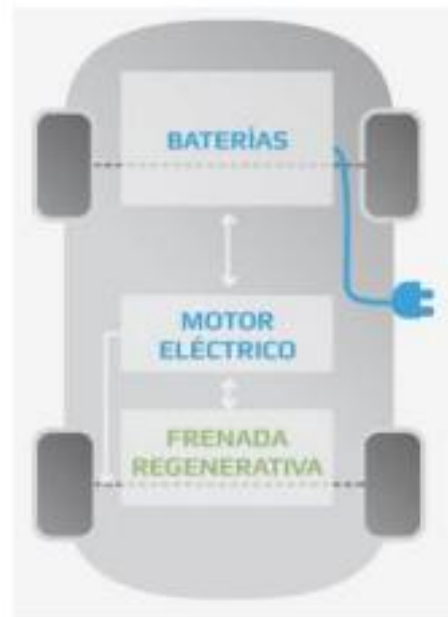
**Precio alto:** la producción de vehículos eléctricos aún no se realiza completamente de forma masiva. Por lo que estos vehículos, en su mayoría, son costosos en comparación con los automóviles convencionales que funcionan con gasolina o diésel.

**Autonomía:** la autonomía de un vehículo eléctrico es la distancia que puede cubrir con una sola carga. Ha habido avances recientes en la tecnología de la batería. Sin embargo, la mayoría de los vehículos eléctricos todavía no están a la par en autonomía con los vehículos convencionales.

Además, algunos modelos de estos vehículos son adecuados solo para aplicaciones de baja velocidad.

El vehículo totalmente eléctrico o vehículo eléctrico (ilustración 6) de baterías elimina el motor de combustión, por lo que las ruedas son impulsadas por un motor eléctrico. La energía para ello se almacena en las baterías que llega a través de los puntos de recarga a la red o mediante la frenada regenerativa. Estos vehículos permiten recorrer distancias de hasta 150 y 300 km debido a que están abastecidos con la tecnología más avanzada en baterías, como las de litio.

El motor eléctrico con el que trabajan es de elevada eficiencia, robustez y con la capacidad de controlar de forma flexible tanto la velocidad como el par. Suelen disponer normalmente de un solo motor acoplado directamente a la transmisión, pero existe la posibilidad de acoplar varios motores directamente a cada rueda, evitando así pérdidas de transmisión y eliminando el mecanismo diferencial. Durante su funcionamiento apenas ocasionan vibraciones o ruido, pudiendo llegar a



*Ilustración 6 Estructura de un Vehículo Eléctrico*

elevadas picos de giro. Al ser su curva de par más plana, su régimen óptimo se encuentra a bajas velocidades y son capaces de poner en marcha el vehículo desde velocidad cero, por lo que elimina

la necesidad del embrague. Respecto al vehículo convencional, se pueden prescindir de partes mecánicas que hacen del vehículo un mantenimiento menor, por lo que los costes de producción se ven reducidos. Aunque el precio de adquisición sea elevado, principalmente por las baterías, el precio por kilómetro recorrido es mucho menor que el del vehículo convencional, lo cual es un factor importante para tener en cuenta durante la vida útil del vehículo. Debido a la limitación en la autonomía de las baterías y a la escasa disponibilidad de una red de estaciones de recarga rápida, el mayor uso de los vehículos eléctricos sería para desplazamientos cortos, por lo que su uso idóneo sería urbano, donde se sacaría partido a la energía que se pierde en las deceleraciones y así mejorar su eficiencia. Desde el punto de vista del sistema eléctrico, al igual que ocurre con los PHEV, al tener la posibilidad de conexión a red, permite la opción de actuar como almacenamiento desde las baterías a la red en las horas valle (kWh más barato) para posteriormente devolverla a la red en las horas de mayor demanda (kWh más caro) en aquellos países donde esté ya regulado dicha práctica. Este concepto es conocido como V2G (Vehicle-to-Grid), y mediante su aplicación se conseguiría una mejor gestión de la red. Aparte, se conseguiría un considerable ahorro económico, pues suponiendo que un vehículo eléctrico recorra 17.000 km al año con recargas en el 80% de las veces con tarifa nocturna, el consumo anual de electricidad sería de 800€. Mientras que, con el vehículo convencional, recorrer esa misma distancia conllevaría un coste de 2.000-2.500€ en combustible. (López, 2015)

## CAPÍTULO 6 Tipos de Baterías de Almacenamiento

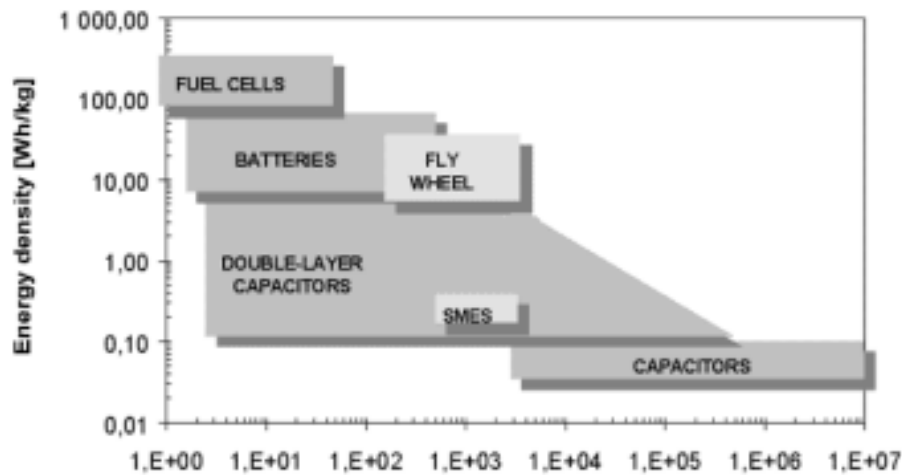
### 6.1 Introducción

Una de las grandes diferencias entre el vehículo eléctrico y el de combustión interna reside en la forma de almacenar la energía, de tal forma que los depósitos convencionales son reemplazados por diversas tecnologías. Los acumuladores de energía permiten almacenar energía para posteriormente ser utilizada en diversas operaciones, separando de esta manera la generación de energía de la demanda de esta. El aumento de la capacidad de almacenamiento energético se considera una solución para la mejora de la eficiencia, fiabilidad y coste del sistema eléctrico, conseguido gracias al aplanamiento de la curva de demanda y a una mayor integración de las energías renovables, evitando así el vertido de esta energía limpia en los periodos valle y haciendo más seguro al sistema eléctrico. La energía eléctrica se sustenta bajo tres pilares principales: generación, transporte y distribución. Sin embargo, el almacenamiento en grandes cantidades, aunque es dificultoso, se puede diferenciar tres formas de hacerlo durante el proceso de suministro.

- Almacenamiento a gran escala (GW)
- Almacenamiento en redes (MW)
- Almacenamiento a nivel usuario (kW)

Las tecnologías que hoy en día están más desarrolladas para almacenar energía son diversas como las baterías electroquímicas, los supercondensadores, las pilas de combustible o los condensadores, entre otros. Para comparar estos sistemas, se utilizan los conceptos de energía específica (Wh/kg) y densidad de potencia (W/kg) mostrados en el diagrama de Ragone (ilustración 7) que es un gráfico

usado para comparar la capacidad de diferentes medios de almacenamiento de energía, así evaluar la capacidad de almacenamiento y el rendimiento de cada tecnología. De la mano de estos sistemas, harán del almacenamiento eléctrico un aporte de valor en cada paso hacia el suministro de electricidad, convirtiéndose en primordiales en el funcionamiento del sistema eléctrico de la mano del vehículo eléctrico.



Cada tecnología tiene una serie de ventajas y desventajas según el uso de aplicación que se le dé, pero a pesar de ello, hay que tener claro que, para una mejor eficiencia durante la puesta en marcha del vehículo eléctrico y una mayor integración, se deben cumplir una serie de especificaciones para tener en cuenta, como las siguientes:

- Valores de energía específica y densidad de potencia elevados, para así conseguir mayores autonomías.
- Una larga vida útil para amortizar la inversión inicial.
- Baja tasa de autodescarga para evitar pérdidas.
- Alta capacidad de recarga en poco tiempo y de forma continua.
- Precios económicos para una mayor aceptación en el mercado.

*Ilustración 7 Diagrama de Ragone*

- Un diseño que cuente con materiales de bajo impacto medioambiental.
- Un mantenimiento escaso y económico.
- Poder hacer un uso reciclado de ellas.

- Funcionamiento seguro.

Actualmente, no existe ninguna tecnología que reúna por sí sola todas y cada una de las características anteriormente mencionadas, por lo que se busca aquella que ofrezca el mayor número de prestaciones en conjunto.

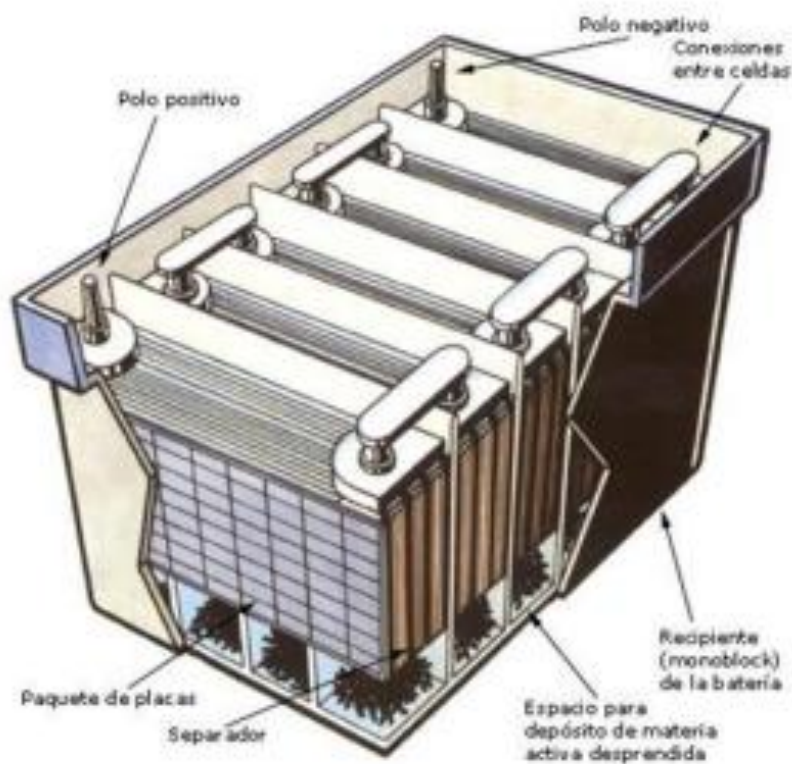
## 6.2 Baterías

Las baterías son una parte del vehículo eléctrico muy importante y su elección es primordial, ya que de su fiabilidad y de su autonomía depende el futuro del vehículo eléctrico. Se trata de un dispositivo que almacena energía eléctrica mediante procesos electroquímicos y que la devuelve posteriormente con ciertas pérdidas, pudiendo reiterarse este proceso de forma continua o no, diferenciándose así entre las baterías primarias o secundarias. Las primarias pueden ser utilizadas una sola vez hasta que se descargan y son sustituidas, por lo que están destinadas a aplicaciones que requieran de bajas potencias y dimensiones reducidas. Mientras que las secundarias, permiten un ciclo continuo de carga y descarga con aplicaciones desde pequeña a gran potencia. Debido a la facilidad de aplicación en los vehículos eléctricos, resultan las baterías recargables las que poseen mejores prestaciones al evitarse, principalmente, el inconveniente de sustituirlas durante cada descarga.

El principio de funcionamiento para el almacenamiento electroquímico se basa en un proceso reversible llamado redox (reducción-oxidación), bajo dos operaciones fundamentales: el proceso de carga y el de descarga. Durante la descarga, el ánodo pierde electrones al oxidarse, mientras que el cátodo se reduce al ganarlos, circulando estos electrones a través de un circuito externo y originando una corriente que suministra de energía a una carga. Mientras que, durante la carga, ocurre el proceso contrario, la oxidación se produce en el electrodo positivo y la reducción en el negativo. Estas reacciones no se pueden dar de manera infinita, pues con el paso del tiempo los electrodos terminan por debilitarse, perdiendo capacidad la batería de forma paulatina hasta que se estropean por completo.

En cuanto a su estructura, todas las baterías se componen de forma similar con un determinado número de celdas electroquímicas apiladas y conectadas entre sí formando módulos (Ilustración 8), a través de conexiones en serie o paralelo, para así conseguir las especificaciones necesarias en aplicaciones concretas de tensión y corriente. Estas celdas son la unidad más pequeña que las constituye y están formadas por un electrodo positivo (cátodo) y otro negativo (ánodo), sumergidos en un electrolito. Éste suele tratarse de un medio acuoso que presenta una elevada conductividad iónica y un comportamiento como aislante electrónico. Para confinar el electrolito en las celdas, éste se impregna en un separador, evitando de esta manera el contacto directo entre ambos electrodos.

La tecnología de las baterías es un tema que está en desarrollo continuo del que se prevé un futuro alentador, pues son una gran diversidad de aparatos tecnológicos los que se sustentan de esta tecnología y, por tanto, van surgiendo cada día innovaciones que se van incorporando al mercado. Las prestaciones de la batería van a depender en gran parte de las características de las celdas por las que están compuestas. Entre los parámetros más importantes para tener en cuenta para su elección, hay que destacar los siguientes:



*Ilustración 8 Estructura de una Batería*

- Tensión - Parámetro muy importante, pues a mayor potencial por cada celda, permitiría un menor número de celdas a conectar en serie para conseguir una tensión nominal mayor en la batería, mientras que en paralelo se consigue suministrar una mayor corriente. El voltaje por celda electroquímica viene determinado por los potenciales de cada electrodo.
- Capacidad específica - Determina la cantidad de carga eléctrica capaz de almacenar la batería. Para comparar las diferentes tipologías se suelen referir respecto a dos

importantes magnitudes, como la masa ( $Ah$ (amperio-hora) / kg (kilogramo)) o el volumen ( $Ah$  (amperio-hora) / l (litro)) de cada batería.

- Energía específica - Indica el volumen, y, por tanto, el peso necesario para almacenar una cantidad de energía. Este parámetro es importante en el diseño del vehículo, pues a mayor peso se requiere de un mayor consumo y, por tanto, una menor autonomía. Se puede distinguir entre la propia energía específica ( $Wh$  (vatios-hora) / kg (kilogramo)) si se refiere respecto a la masa, o densidad de energía si es respecto al volumen másico ( $Wh$  (vatios-hora) / l (litro)).
- Potencia específica - También llamado densidad de potencia, indica la potencia instantánea que puede suministrar la batería ( $W$ (vatios) / kg (kilogramo)).
- Tiempo de carga y descarga - Tiempo que tarda en cargarse y descargarse completamente la batería.
- Velocidad de autodescarga - Indica la pérdida de capacidad de una batería cuando el vehículo eléctrico no está en uso, es decir, en estado de circuito abierto, aumentando en proporcionalidad según la temperatura. La unidad de medida es la cantidad de carga disipada por unidad de tiempo en tanto por ciento.
- Rango de temperaturas - Aquel rango para el que la batería funcione de forma correcta y sin daños.
- Ciclos de vida - Representa la durabilidad de una batería determinada por el número de ciclos de carga/descarga que se pueden efectuar hasta alcanzar el 80% de la capacidad nominal de la batería. El valor medio es de 500 ciclos para ser empleadas en los vehículos eléctricos.

### **6.2.1 Plomo-Ácido**

Estas baterías son las más antiguas que podemos encontrar en el mercado, diseñadas por Gastón Planté en 1859. Compuestas por un conjunto de placas de plomo e introducidas en ácido sulfúrico, se trata de una tecnología que destaca por su madurez, una rápida disponibilidad y por sus bajos precios, dotándola de liderazgo en el mercado. Su gran uso se debe a que sus celdas disponen de una tensión por celda relativamente elevada, alrededor de 2 V, y tienen un comportamiento adecuado tanto a altas como bajas temperaturas (-40 a 50°C). Son fáciles de fabricar al no necesitar de un

material adicional entre cátodo-ánodo para mejorar la conductividad eléctrica, y a la vez están hechas de materiales reciclables. Suelen utilizarse comúnmente como batería de arranque en los vehículos tradicionales, ya que son capaces de suministrar corrientes elevadas debido a la rápida cinética de reacción de los electrodos, dotándoles de grandes potencias específicas con valores de 180 W/kg. Sin embargo, es una tecnología con un uso limitado en los vehículos eléctricos como baterías de tracción, debido a sus bajos valores de energía específica entre 30-50 Wh/kg. Esto hace que se necesiten grandes volúmenes para conseguir mayores autonomías, haciendo que gran parte del peso del vehículo sea debido a ellas. A la vez, disponen de bajos ciclos de vida (200-300 ciclos) y unos tiempos de recarga de 8 a 16 horas.

Ventajas:

- Tecnología totalmente establecida.
- Alta tensión por celda (2 V (volts) /celda) lo que permite obtener baterías de mayor tensión con un número menor de celdas conectadas en serie.
- Excelente capacidad para suministrar picos de corriente altos durante la descarga.
- Su tasa de autodescarga mensual es de las más bajas, aproximadamente un 5%.
- Alta eficiencia, por encima del 80 por ciento.
- Facilidad de reciclado.

Desventajas:

- Elevado peso debido a la utilización de plomo como material activo.
- Baja energía específica menor a un 30-50 Wh/kg. Se usa para cubrir las necesidades de arranque, iluminación e ignición, ya que no son lo suficientemente grandes como para mover un vehículo.
- Corta vida cíclica (500 a 600 ciclos de carga-descarga).
- No aceptan carga rápida, por lo que se necesitan largos periodos de tiempo para la recarga.
- Baja resistencia ante sobrecargas y descargas accidentales.
- Se ven afectadas seriamente por la corrosión de sus electrodos.
- Necesidad de mantenimiento periódico.

Las investigaciones actuales sobre estas baterías están dirigidas fundamentalmente a lograr una mejora de sus prestaciones en cuanto a reducción de la necesidad de mantenimiento, aumento de la vida útil, disminución del volumen, peso y reducción del tiempo de recarga. En este sentido, las baterías de plomo-ácido (ilustración 9) de válvula regulada ya son una realidad y abarcan una parte significativa de las aplicaciones donde se emplean baterías de plomo-ácido.

En cuanto a la reducción del tiempo de recarga, la aplicación de carga rápida presenta serias dificultades, ya que la velocidad del proceso de recombinación no garantiza la reducción del gas que



*Ilustración 9 Batería Plomo-Ácido*

se produce de forma temprana en el interior de la batería. En estos casos se fuerza la apertura de la válvula de seguridad y el exceso de gas se expulsa al exterior con la consiguiente pérdida de electrolito. Las razones fundamentales que mantienen a esta tecnología como una de las más empleadas, son su coste extremadamente bajo con respecto al resto de tecnologías y un proceso de reciclado fácil una vez que termina su vida útil.

### **6.2.2 Níquel-Cadmio**

Se tratan de baterías con un gran uso extendido a nivel industrial y doméstico, pudiendo encontrarlas en herramientas eléctricas, iluminación de emergencia, juguetes o dispositivos electrónicos. Su estructura básica se compone de un hidróxido de níquel como cátodo, un ánodo de cadmio y un electrolito alcalino (ilustración 10). Su uso cada vez está más encaminado a la extinción, debido a que el cadmio es un metal pesado y de un alto precio, a la vez que muy contaminante. De esta manera, resulta más costosa su fabricación al tener que llevar a cabo su reciclaje. Se caracterizan por sus celdas selladas con tensiones nominales de 1,2 V, mucho menores en comparación con las plomo-ácido; su masa es la mitad y soportan mayores temperaturas. Destacan de ellas su alta durabilidad con ciclos comprendidos entre los 1000 y 1500, y entre sus valores nominales tienen una energía específica entre 45-80 Wh/kg y una potencia específica de 150 W/kg.

Ventajas:

- Tecnología muy establecida.
- Buen comportamiento en un amplio margen de temperaturas ( $-40^{\circ}\text{C}$  ÷  $60^{\circ}\text{C}$ ).

- Admiten sobrecargas, se pueden seguir cargando cuando ya no admiten más carga, aunque no la almacenan.
- Vida cíclica larga (superior a los 1.500 ciclos, de dos a tres veces lo alcanzado por la tecnología de plomo-ácido).
- Gran robustez ante abusos eléctricos y mecánicos.
- Gran fiabilidad, no fallan de forma repentina como las baterías de plomo-ácido.

Desventajas:

- Precio elevado, en comparación con las baterías de plomo-ácido (por encima de los 300 €/kWh).
- Dentro de los componentes utilizados en la fabricación de estas baterías se encuentra el cadmio, elemento altamente contaminante y que obliga a aumentar la eficiencia en el reciclado de estas baterías, una vez que quedan fuera de servicio. En la actualidad existen técnicas para el reciclado total de este tipo de baterías y los esfuerzos encaminados en este sentido están apoyados de forma conjunta por los gobiernos y los grandes fabricantes de baterías.
- Actualmente ya no se fabrican en muchos de los países desarrollados.
- Autodescarga de un 10% mensual.
- La tensión nominal es de 1,2 V/celda, un valor bastante bajo por celda, lo que requiere la conexión en serie de un mayor número de celdas para alcanzar una determinada tensión.
- Efecto memoria muy alto.
- Sufren envejecimiento prematuro con el calor.

A pesar de las ventajas de esta tecnología de batería existen inconvenientes que han frenado su uso más generalizado.



*Ilustración 10 Batería Níquel-Cadmio*

Sin embargo, la desventaja principal de estas baterías reside en su efecto memoria que provoca una menor capacidad en las baterías debido a cargas incompletas, acelerándose su proceso de descarga. Este fenómeno ocurre cuando, sin haberse descargado del todo la batería, se carga de forma reiterada. Esto provoca que se formen unos cristales en el interior de la batería, en este caso de cadmio, que no se disuelven con el paso de la corriente al recargar la batería. Con el efecto memoria, las baterías siguen funcionando con normalidad, pero con cada recarga se va limitando su tiempo de uso. La solución a ello bastaría con realizar recargas completas cada cierto tiempo para que se así se descarguen completamente.

### **6.2.3 Níquel-Metal Hidruro**

Se tratan de una extensión de las baterías Ni (níquel) -Cd (cadmio) , y surgen de la necesidad de reducir su contaminación y abaratar el precio. Constructivamente hablando son iguales a las Ni-Cd, a diferencia del cátodo. Como ánodo utilizan oxihidróxido de níquel ( $\text{NiOOH}$ ) y el cátodo se trata de una aleación de hidruro metálico, eliminando así los problemas medioambientales del cadmio. La primera batería Ni-MH (hidruro) que se comercializó, ocurrió en 1989 de la mano de Dr. Masahiko Oshitani de la empresa GS Yuasa, representando estas baterías el paso intermedio entre las Ni-Cd y Níquel e Hidrógeno ( $\text{NiH}_2$ ). Las baterías Ni-MH también son susceptibles al efecto memoria, pero en menor medida, y poseen una mayor capacidad de carga de hasta el triple que las Ni-Cd. Cada célula puede proporcionar 1,2 V con una capacidad entre 0,8-2,9 Ah, operando en una amplia gama de temperaturas, entre  $-30$  y  $75^\circ\text{C}$ . Los ciclos de vida son algo moderados, entre 300-500, y poseen una energía específica de 60-120 Wh/kg, ligeramente mayor a las anteriores. Sin embargo, presentan tasas de auto descarga mayores, un 30% frente al 20% de las Ni-Cd, con una baja tolerancia a las sobrecargas. Su precio respecto a las de plomo-ácido se ve encarecido el doble, pero se prevé que irá disminuyendo según vaya aumentando la producción de vehículos eléctricos a gran escala. La tecnología de níquel-hidruro metálico tiene características eléctricas similares a la tecnología de níquel-cadmio (ilustración 11) . La tensión nominal por celda es 1,2V y las curvas de carga y

descarga son bastante parecidas. Al igual que en las baterías de NiCd es el efecto “delta peak” el utilizado para marcar el fin de carga en las baterías.

Ventajas:

- Una mayor densidad energética y mayor energía específica, que el NiCd.
- Tecnología libre de cadmio (menos contaminante).
- Pueden ser cargadas con un cargador convencional.
- Seguras.
- Fácil manejo comparado con la tecnología del litio.

Aunque se han conseguido avances importantes con la tecnología de níquel-hidruro metálico estas baterías presentan ciertas desventajas que han limitado su uso:

Desventajas:

- Alta razón de autodescarga, entre un 15 a un 20% por mes.
- Menor fiabilidad que las baterías Ni-Cd,
- No soportan fuertes descargas.
- Voltaje bajo de 1,2V por celda.
- Vida media de aproximadamente 300-500 ciclos de carga (en función del fabricante)
- Tiempos de carga superiores al Ni-Cd.



*Ilustración 11 Batería de Níquel Hidruro Metálico*

Podemos encontrar estas baterías equipadas en vehículos impulsados eléctricamente como el General Motors EV1, el Honda EV Plus, Ford Ranger EV, y en híbridos como el Toyota Prius o Honda Insignia, con recargas rápidas de hasta 1 a 3 horas y sin necesidad de realizarles un

mantenimiento a las baterías. Dada su tasa de autodescarga tan alta, en 2005 se diseñaron una gama de este tipo de baterías con bajas tasas de autodescarga, y empresas como Varta o Sanyo fueron las pioneras en introducirlas en el mercado.

#### **6.2.4 Ion de Litio**

Estas baterías surgieron en la década de los años 90 para competir con las más usadas hasta la fecha, las Ni-Cd. Las baterías de ion de litio es la tecnología que más rápidamente ha crecido hoy en día y que ha tenido una mayor aceptación, pues el litio se trata del metal más ligero capaz de proporcionar mayores densidades de energía con respecto a su peso. Los inicios en el desarrollo de esta tecnología fueron difíciles, pues no se conseguía dar con la solución para que la batería fuera recargable, debido a la inestabilidad del litio. Por ello, surgió la posibilidad de utilizar iones de litio, mucho más seguro y que utilizan sal de litio como electrolito, facilitando los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el cátodo y ánodo. En 1991 empresas como Sony, comercializaron la primera batería de iones de litio recargable.

Las prestaciones nominales de las celdas son mayores respecto a las tecnologías ya comentadas. La tensión nominal de cada celda puede llegar a los 3,6 V, haciendo posible la reducción del número de celdas en cada batería y, por tanto, un menor peso. Poseen una alta energía específica entre 110-160 Wh/kg y una potencia específica de 250-340 W/kg. Sus ciclos de vida pueden llegar a los 1000 y tienen un bajo impacto medioambiental por parte del litio al ser menos contaminante. La fabricación de estas baterías es costosa, mayor a las de Ni-Cd e igual a las Ni-MH. Trabajan en un amplio rango de temperaturas (- 20 a 60°C), pero los fabricantes recomiendan temperaturas de funcionamiento alrededor de 15°C para reducir el efecto de envejecimiento que sufren durante su uso. Este envejecimiento es debido al calor generado en las celdas y se ve más acusado a temperaturas elevadas, afectando a la capacidad de recarga. Ante esto, se recomienda realizar un mantenimiento básico que comprende no descargarlas más de un 20%, y que, durante estacionamientos prolongados, la batería se conserve con un estado de carga del 40%.

Esta tecnología es la más usada en el sector de la telefonía móvil, con baterías de una sola célula, dado su alto potencial y su ligero peso, mientras que si utilizásemos las de NiCd se necesitaría una agrupación en serie. Además, estas baterías (ilustración 12) presentan la ventaja de carecer de efecto memoria, una baja tasa de autodescarga (menos de la mitad de las Ni-Cd y Ni-MH), una alta

resistencia a la descarga y, además, se pueden realizar ciclos de carga sin la necesidad de estar descargadas completamente, no afectando a la vida útil.



*Ilustración 12 Batería de Ion de Litio*

#### 6.2.4.1(con cátodo de $\text{LiCoO}_2$ ).

Las baterías de litio-ion con cátodo de  $\text{LiCoO}_2$  (óxido de litio y cobalto) , son comunes en la electrónica de consumo. Se trata de uno de los tipos más populares de baterías recargables para dispositivos electrónicos portátiles, con la mejor relación peso energía, sin efecto memoria y una lenta pérdida de la carga cuando no están en uso. Más allá de la electrónica de consumo, están creciendo en popularidad para usos militares, vehículos aeroespaciales y distintas aplicaciones debido a su alta densidad energética, Las investigaciones están introduciendo mejoras en la densidad energética, durabilidad, costo y seguridad de estas baterías.

Este tipo de baterías poseen la mayor “densidad energética” y “energía específica” del mercado, por el contrario, poseen una de las capacidades de descarga más bajas, razón por la cual suelen encontrarse en la mayoría de los aparatos electrónicos que no exigen bruscas descargas de corriente, como es el caso de portátiles, móviles etc.

Ventajas:

- Batería con la mayor densidad energética del mercado.
- Batería con la mayor energía específica del mercado.
- Alta tensión por celda 3.6-3.7v
- No posee efecto memoria.
- Tasas de autodescarga inferior al 10%.
- No está fabricada con productos tóxicos.

Desventajas:

- Problemas de ecualización y necesidad de circuitos electrónicos adicionales.
- Las altas temperaturas son bastante perjudiciales para su ciclo de vida.
- Sufren el efecto de pasivación.
- Capacidad de descarga muy pequeña.

#### 6.2.4.2 cátodo de $\text{LiFePO}_4$ .

Las baterías de ion de litio con cátodo de  $\text{LiFePO}_4$  (litio-ferrofosfato), son una variación de las baterías de ion de litio con cátodo de  $\text{LiCoO}_2$ . Son normalmente conocidas por las siglas “LIFE”. El fosfato de hierro litio ( $\text{LiFePO}_4$ ), posee un bajo costo, no es tóxico, tiene una alta abundancia de hierro, una excelente estabilidad térmica, buenas características de seguridad y un rendimiento electroquímico bueno.

La mejora de su conductividad respecto al ion de litio con ánodo  $\text{LiCoO}_2$  se debe a la presencia de nanotubos de carbono. Este tipo de baterías son utilizadas en productos industriales por grandes empresas como: Black and Decker 's, DeWalt, General Motors, Chevrolet Volt, Daimler, Cessna and BAE Systems, etc.

Una ventaja clave sobre las baterías de ion de litio es su mejor estabilidad química y térmica, la cual ofrece mejores características de seguridad que el resto de las baterías de litio. Comparando el fosfato de hierro litio, con su antecesor de mayor capacidad el ion de litio se aprecia que a partir del año la densidad energética en una batería de  $\text{LiCoO}_2$  será aproximadamente la misma que una de  $\text{LiFePO}_4$ . Después de dos años la densidad energética de batería  $\text{LiCoO}_2$  será inferior a una de  $\text{LiFePO}_4$ . Esto es debido, a una mayor vida útil por parte de  $\text{LiFePO}_4$ .

Una de las principales ventajas de  $\text{LiFePO}_4$  en comparación con  $\text{LiCoO}_2$  es mayor capacidad de descarga. La química del fosfato de hierro litio ofrece el ciclo de vida más largo de las baterías existentes en el mercado actual.

Ventajas:

- Alta tensión en circuito abierto, 3,3v
- $\text{LiFePO}_4$  es un cátodo de material intrínsecamente más seguro que  $\text{LiCoO}_2$ .
- No posee efecto memoria.
- No está fabricada con productos tóxicos.
- Es la batería perteneciente a la familia del litio que mejor tolera las altas temperaturas.
- Supera los 2000 ciclos de vida.
- Vida superior a los 10 años.
- Tiempo de carga entre 15- 30 minutos.

- Buena capacidad para soportar sobrecarga
- Buena energía específica y densidad energética.
- Buena potencia específica.

Desventajas:

- Problemas de ecualización y necesidad de circuitos electrónicos adicionales (menor tendencia al desequilibrio que el polímero de litio).
- La densidad energética en una batería  $\text{LiFePO}_4$ , es sensiblemente inferior su antecesora el ion de litio cátodo de  $\text{LiCoO}_2$ , aproximadamente en un 14%.
- Sufren el efecto de pasivación.

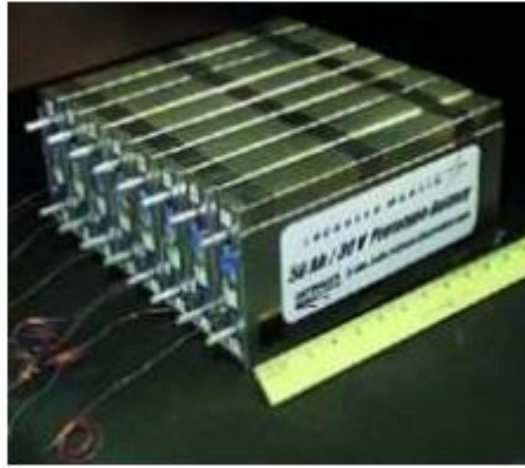
Sin embargo, a pesar de todo ello, presentan desventajas tales como su degradación o su sensibilidad a la temperatura, pudiendo sobrecalentarse hasta llegar al punto de explotar, por lo que, para un funcionamiento seguro, cada célula lleva incorporado un circuito de protección. Con este circuito se limita la tensión pico de cada célula durante la carga, evitando que no se reduzca demasiado durante la descarga, además de tener un control sobre las temperaturas que se alcanzan para no superar los extremos, lo que provocaría una pérdida de capacidad. Con las mejoras comprendidas en esta tecnología durante estos años, han hecho que la probabilidad de explosión se considere mínima. Empresas como General Motors, Hyundai o Toyota integraron rápidamente estas baterías en sus prototipos. En la actualidad siguen innovando en esta tecnología, con nuevas mejoras en el mercado que hacen posible una mayor integración de este tipo de baterías para conseguir una reducción en los precios de esta tecnología.

### **6.2.5 Polímero de litio**

En la década de los años 70, se diseñó el primer modelo de esta batería en el que se utilizaba como electrolito un polímero seco, con un comportamiento similar al de una fina lámina plástica que no conduce la electricidad, pero sí permite el intercambio de iones. La diferencia respecto al resto de tipologías reside en el electrolito que usa, el cual sustituye al antiguo separador de celdas que se encuentra bañado en los electrolitos de ácidos tradicionales.

El diseño de estas baterías ofrece simplificaciones a la hora de fabricarlas, pues las celdas poseen espesores de tan solo 1 mm que permite multitud de diseños, en cuanto a forma y tamaños más ligeros y flexibles. Además, cuentan con mayor seguridad que las de ion de litio al no necesitar de un recubrimiento metálico. Por el contrario, la conductividad interna que presenta el polímero es deficiente, ya que la resistencia interna es muy alta, no haciendo posible entregar toda la energía necesaria a suministrar. La forma de evitarlo es según aumenta la temperatura de funcionamiento, hasta los  $60^\circ\text{C}$ , lo cual limita su uso para aplicaciones portátiles, pero que con un adecuado aislamiento pueden aplicarse en los vehículos eléctricos. Para dar solución a ello, se les puede añadir un electrolito gelificado en las membranas de separación. (Ordoñez, 2011)

El polímero sólido ofrece ventajas de fabricación, permitiendo alcanzar grosores de 1 milímetro, lo que permite crear baterías (ilustración 13) con el espesor de una tarjeta de crédito. Desafortunadamente el polímero sólido sufre de baja conductividad debido a la alta resistencia interna, por lo que no puede ofrecer la suficiente capacidad de descarga, además de aumentar su temperatura hasta cerca de 60 grados, lo que la hace inviable para ciertas aplicaciones. Para



*Ilustración 13 Batería de Polímero de Litio  
(Hecha por la Nasa)*

solucionar este problema se añadió un gel al electrolito.

Las celdas de polímero de litio, utilizan una bolsa flexible de aluminio en lugar de fundas rígidas, esto conlleva un ahorro considerable en el peso y el tamaño que demanda cada celda, un 20% más ligero que el equivalente en pilas cilíndricas. Estas baterías pueden también impulsar la próxima generación de vehículos eléctricos de baterías. El coste de un coche eléctrico de este tipo es prohibitivo, pero los defensores argumentan que con el aumento de la producción, el costo de las baterías de Li-Po (polimero de litio) bajará. (López, 2015)

Ventajas:

- Pueden reducirse hasta grosores de 1 milímetro.
- Pueden empaquetarse de múltiples formas.
- Alta densidad de energía.
- Poco peso.
- No necesitan mantenimiento.
- Sin efecto memoria.
- Bajo porcentaje de autodescarga.

Desventajas:

- Requiere un circuito de seguridad para mantener los límites de voltaje.
- Almacenar en lugar frío al 40% de su carga.
- Limitaciones en su transporte (compañías aéreas).
- Tecnología en desarrollo.
- Pueden explotar si se perfora.

Dadas las mejores prestaciones que ofrecen respecto a otros sistemas de almacenamiento y a sus bajos costes de fabricación, no se ha alcanzado una alta penetración en el mercado tal y como se tenía previsto. Al tener unas prestaciones similares a las baterías ion de litio, con incluso capacidades inferiores a las de ésta, enfoca a estas baterías a un mercado con aplicaciones en las que se demanden diseños con geometrías delgadas. (Ordoñez, 2011)

### **6.2.6 Sal fundida-Zebra**

Su origen data de 1985 cuando fueron creadas por el grupo Zebra (Zeolite Battery Research África), de ahí que se conozcan comúnmente con tal denominación. Estas baterías utilizan sal fundida ( $\text{NaNiCl}$  (cloruro de sodio y níquel)) como electrolito y son altamente térmicas. Como electrodo negativo se usa sodio triturado, y como positivo, níquel cuando se encuentra descargada o cloruro de níquel si está cargada. Al ser insolubles el níquel y cloruro de níquel en soluciones básicas y neutras, existe muy poca resistencia en la transferencia de cargas. Debido a que trabajan a temperaturas elevadas, tanto el electrolito como los electrodos se encuentran en estado líquido, necesitando un separador de tipo cerámico. Las celdas por las que está compuesta ofrecen tensiones de 2,6 V y densidades energéticas mucho mayores a las de plomo-ácido, con valores de hasta 5 veces mayor, pero trabajan a temperaturas con rangos de 270-350°C, haciendo necesario un buen aislamiento. Presentan una energía y potencia específica de 90 Wh/kg y 155 W/kg. En cuanto a su durabilidad, pueden llegar a los 1500 ciclos a los 5 años o incluso a los 3000 al cabo de 8 años . Presentan la ventaja de que, en caso de producirse un cortocircuito en una celda, no provoca el fallo en el resto de la batería. El hecho de que estas baterías estén compuestas con materiales de una alta disponibilidad a nivel mundial las hace potencialmente más ventajosas con respecto a las de iones de litio. Su fabricación se lleva a cabo únicamente en Stabio, situado en el sur del cantón de Tesino (Suiza), por parte de la empresa FZ Sonick donde llevan a cabo su producción en serie. Entre sus aplicaciones, nos las podemos encontrar en vehículos de tracción eléctrica, como autobuses, camiones o vehículos propios como el Think City, equipado con baterías de 17,5 kW. Sin embargo, dadas sus altas

temperaturas de operación se producen pérdidas térmicas, pues cuando se encuentra inactiva la batería, el electrolito se solidifica y en caso de encendido requieren un tiempo de recalentamiento. Este tiempo varía en función del estado de carga al desconectarla, como de la potencia necesaria para dicho recalentamiento, pudiendo llegar a un periodo de 24 horas para alcanzar la temperatura óptima. Una vez completada la carga suele tardar entre 3 y 4 días en enfriarse y solidificar.

Hoy en día, la mayoría de los vehículos híbridos están equipados de baterías de NiMH , por poseer una mayor capacidad de almacenar energía frente a las de Pb-ácido, como tener un menor coste respecto a las de iones de litio. Sin embargo, para los vehículos eléctricos de batería, la batería de iones de litio se presenta como la mejor solución por su alto poder energético con relación a su masa para conseguir mayores autonomías y, aunque su precio de fabricación sea costoso, se prevé que vaya disminuyendo debido a una mayor integración de estas baterías en múltiples aplicaciones.

### 6.2.7 Pilas de Combustible

También conocidas como célula o celda de combustible, son dispositivos electroquímicos de conversión de energía química en eléctrica a partir de un combustible, sin necesidad de una combustión previa. La diferencia primordial con las baterías radica en que los reactivos son suministrados de forma continua desde el exterior, generando energía eléctrica de forma continua, siempre y cuando se mantenga el suministro de combustible. Al contrario de lo que ocurre en las baterías, en las que, al contener el combustible en su interior, el suministro de electricidad finaliza al agotarse el mismo, llevando a cabo entonces el desecho o recarga de esta.

El proceso de generación de electricidad, a partir de la energía química obtenida del combustible, conlleva una serie de pasos intermedios que se resumen a continuación:

Energía Química> Energía Térmica> Energía Mecánica> Energía Eléctrica

| Tipo de batería recargable | Energía específica (Wh/kg) | Tensión por celda (V) | Ciclos de vida | Autodescarga (%/mes) | Tiempo de recarga (horas) |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------|----------------------|---------------------------|
| <b>Pb-ácido</b>            | 30 - 50                    | 2                     | 200 - 300      | 5                    | 8 - 16                    |
| <b>Ni-Cd</b>               | 45 - 80                    | 1,2                   | 1500           | 20                   | 1                         |
| <b>Ni-MH</b>               | 60 - 120                   | 1,2                   | 300 - 500      | 30                   | 2 - 4                     |
| <b>Li-ion</b>              | 110 - 160                  | 3,6                   | 500 - 1000     | 10                   | 2 - 4                     |
| <b>Li-Po</b>               | 100 - 130                  | 3,6                   | 300 - 500      | 10                   | 2 - 4                     |
| <b>Zebra</b>               | 90                         | 2.6                   | 1500 - 3000    | -                    | -                         |

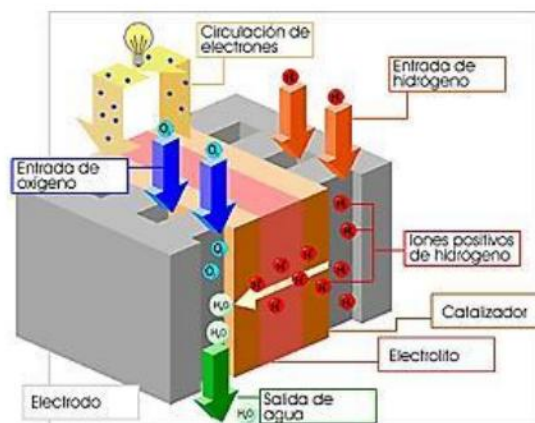
Tabla 3 Comparativa de Parámetros de las Distintas Baterías

- Paso 1: conversión de la energía química del combustible mediante su combustión para obtener calor.
- Paso 2: este calor se emplea para generar vapor y así mover una turbina, convirtiendo la energía térmica en mecánica.
- Paso 3: por último, se hace funcionar un generador para producir electricidad.

Sin embargo, con el uso de la pila de combustible se sintetiza todo este proceso en una única transformación directa de la energía química en eléctrica, a través de la entalpía libre del combustible mediante un proceso isotérmico. Por lo general, estas pilas están compuestas a su vez de una agrupación en serie de pilas individuales (stack). Cada una consta de un par de electrodos, cátodo y ánodo, y de un electrolito que los mantiene en contacto (ilustración 14). El principio de funcionamiento consiste en la reducción de un oxidante en el cátodo, en este caso el oxígeno del aire el cual no hay que almacenar, junto al suministro de un combustible que normalmente suele ser hidrógeno.

El ánodo se alimenta con hidrógeno, mientras que el cátodo con oxígeno. En el ánodo, un catalizador de platino provoca la disociación del hidrógeno en protones y electrones, de los cuales el electrolito (comúnmente una membrana polimérica) permite el paso de los protones hacia el cátodo, mientras que los electrones deben atravesar un circuito externo generando una corriente eléctrica. Por último, en el cátodo ocurre una reacción entre los protones y electrones del hidrógeno con el oxígeno formándose agua. (López, 2015)

Entre las ventajas que conlleva la implantación de esta tecnología en el vehículo eléctrico, cabe destacar:



*Ilustración 14 Principio de Funcionamiento de la Pila de Hidrógeno.*

- Mayor eficiencia del combustible, pues al no tratarse de una máquina térmica, el funcionamiento de la pila no viene condicionado por el ciclo de Carnot.
- Emisión cero en contaminantes al obtenerse calor, agua y electricidad en la combustión del hidrógeno con el oxígeno.
- Funcionamiento silencioso, junto a un mantenimiento simple al tener una composición estructural que carece de partes móviles.
- Amplio rango de temperaturas desde los 60 a 1000°C.
- Altas densidades energéticas.

Sin embargo, no todo son ventajas, pues la principal desventaja nos la encontramos en su alto precio de obtención y la inmadurez de esta tecnología. El almacenamiento del hidrógeno es una tarea dificultosa, al igual que su transporte, y los metales empleados como catalíticos son caros y escasos. Otro problema reside en el proceso de obtención del hidrógeno puro, pues no nos lo podemos encontrar en la naturaleza, por lo que se necesita producirlo a partir de energías primarias como los combustibles fósiles, aunque lo ideal sería a partir de otras fuentes como agua o biomasa para así poder tratarse como recurso renovable. Estas pilas se pueden clasificar en función de diversos factores, entre otros según el tipo de combustible, temperatura de operación o tipo de electrolito.

De todas ellas, el tipo PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cells) resultan más atractivas como alternativa a las baterías en los vehículos eléctricos por su flexibilidad, eficiencia y bajas temperaturas de operación, permitiendo un arranque limpio junto a una respuesta rápida ante cambios en el consumo del motor. En el sector automovilístico, importantes marcas como Honda, Nissan, Renault, Peugeot-Citroen, Toyota y Volkswagen entre otras, han desarrollado sus primeros prototipos equipados de la mano de esta tecnología, que irán en aumento tras el objetivo por parte de

|                                 | PEMFC                                                        | AFC                                              | PAFC                                           | MCFC                              | SOFC                              | DMFC                                  |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Electrolito</b>              | Membrana de Polímero de Sodio                                | Solución Alcalina                                | Ácido Fosfórico                                | Carbonatos Fundidos               | Óxido Sólido                      | Membrana de Polímero Sólido           |
| <b>Temperatura Trabajo (°C)</b> | 60 - 80                                                      | 100 - 120                                        | 200 - 250                                      | 600 - 700                         | 800 - 1000                        | 50 - 120                              |
| <b>Combustible</b>              | Hidrógeno                                                    | Hidrógeno                                        | Hidrógeno Gas Natural                          | Gas Natural                       | Gas Natural                       | Metanol                               |
| <b>Ventajas</b>                 | Baja Tª<br>Arranque rápido<br>Baja corrosión y mantenimiento | Mayor eficiencia<br>Reacción catódica más rápida | Acepta H2 con 1% de CO                         | Reformado interno<br>Cogeneración | Reformado interno<br>Cogeneración | No necesita reformador de combustible |
| <b>Aplicaciones</b>             | Transporte Portátiles<br>Residencial                         | Espaciales                                       | Generación eléctrica distribuida<br>Automoción | Generación eléctrica              | Generación eléctrica              | Portátiles                            |

*Ilustración 15 Comparativa Entre las Distintas Tipologías de la Combustible.*

la UE para el 2020 de que el 2% de los automóviles se muevan bajo la pila de combustible,

mediante el desarrollo e integración de una red de hidrogenarás para dotar de suministro a estos sistemas. (López, 2015)

### **6.2.8 Centros de Recarga**

#### **6.2.8.1 Introducción**

A la hora de adquirir un vehículo eléctrico, uno de los problemas que nos encontramos es: ¿dónde se puede recargar? Durante el comienzo de su implantación, la accesibilidad a emplazamientos como a una red de infraestructuras de recarga era escasa debido a la falta de usuarios. La continua comercialización de modelos eléctricos e híbridos enchufables está encaminando a la movilidad eléctrica hacia un futuro alentador, motivo del cual se debe a factores que han propiciado a dejar de lado los combustibles fósiles, pasando a optar por el vehículo eléctrico como la mejor elección para un desarrollo masivo en el mercado a corto y medio plazo.

El desarrollo de una infraestructura de recarga para el vehículo eléctrico representa una interfaz entre los sistemas de generación y distribución con el consumidor final, siendo un componente enlazado a la adquisición del vehículo. Se requiere de la existencia de una infraestructura que permita recargar las baterías de forma equiparable al repostaje de los vehículos convencionales, pero que implica un cambio de mentalidad en el usuario, ya que, para una mayor eficiencia y sostenibilidad del sistema eléctrico, resulta más conveniente la recarga lenta del vehículo en horas valle. Por ello, se necesita una mayor programación y coordinación entre el repostaje y el uso del vehículo.

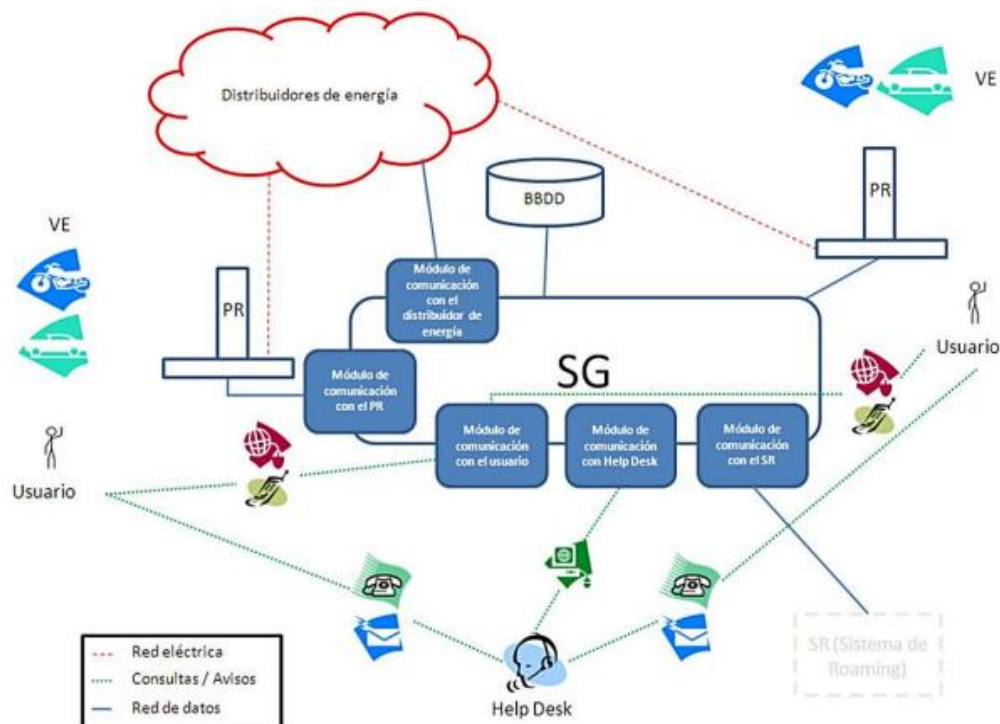
Para su desarrollo, hay que tener en cuenta factores como la potencia del vehículo, la seguridad en el suministro, el grado de comunicación entre el vehículo y la red, como la ubicación de los puntos o estaciones de recarga entre otros, para que de esta manera los usuarios puedan recargar sus vehículos de forma fiable, accesible y cómoda. Según el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), el número de puntos de recarga de uso público en España son de 761, de los cuales 615 están destinados para turismos y comerciales. Las recargas habilitadas en ellos se distribuyen en 611 para recarga convencional y 4 para recarga rápida. Sumado a todos estos puntos, 10 tienen acceso para minusválidos y 136 son de uso exclusivo para motos eléctricas. La introducción del vehículo eléctrico en el mercado es lenta, pero de forma permanente, y motivo de ello es la escasez de puntos de recarga. Se necesita para ello de una Administración Pública comprometida con incentivos para la adquisición de vehículos eléctricos, como con la implantación de un mayor número de puntos de recarga en la vía pública.

#### **6.2.8.2 Infraestructura del sistema de recarga**

Para llevar a cabo el proceso de repostaje se necesita conocer los componentes que intervienen en él, las funciones realizadas por cada uno de ellos y cómo interactúan entre sí. Por tanto, según el IDAE todo sistema de recarga está sujeto a los siguientes elementos:

- Usuario - Persona física o jurídica dada de alta en el servicio que interactúa con el sistema de recarga.
- Vehículo Eléctrico (VE) - Se trata del medio de transporte a recargar.

- Punto de Recarga (PR) - Se considera como el equipo de la infraestructura dedicado a suministrar de electricidad al vehículo eléctrico. Desde este momento es cuando comienza la comunicación con el sistema de gestión.
- Sistema de Gestión (SG) - Se trata de un sistema centralizado, encargado del control del sistema de recarga como de gestionar las incidencias ocurridas en los puntos de recarga. A su vez, este sistema está comunicado con los siguientes módulos:
  - Módulo de comunicación con el punto de recarga, a través del cual se da la orden de comenzar o interrumpir la carga.
  - Módulo de comunicación con el usuario, integrado en el punto de recarga mediante acceso visual por pantalla o vía móvil y se encarga de validar la conexión de un usuario.
  - Módulo de comunicación con el distribuidor de energía, el cual avisa e informa al distribuidor ante posibles incidencias en el suministro.
  - Módulo de comunicación con el Help Desk, al cual le comunica la información relativa sobre el proceso de carga para hacérselo llegar al cliente.
  - Módulo de comunicación con el Sistema de Roaming, el cual se encarga de informar a otros sistemas de gestión ante el posible uso de usuarios no dados de alta, para así asegurar la interoperabilidad entre distintos gestores de carga.
- Help Desk - Es el centro de atención al usuario para interactuar de forma directa con el sistema de recarga y comunicar incidencias, posibles dudas y solucionar problemas.
- Sistema de Roaming - Se trata del sistema que permite la interoperabilidad entre diferentes sistemas de gestión, a través del flujo de información relativo de los usuarios que estén utilizando puntos de recarga diferentes a los que estén dados de alta.



*Ilustración 16 Arquitectura del Sistema de Recarga Eléctrica.*

En esta ilustración (16) se muestra la conexión entre todos los elementos, apreciándose las funciones relacionadas dentro del sistema de recarga. Sin embargo, existe la posibilidad de sistemas de recarga en los que disminuya la actividad del sistema, como por ejemplo sistemas en los que sea el punto de recarga el que realice su propia gestión de forma individual. Ante esta situación, para efectuar correctamente la recarga de vehículos eléctricos, es imprescindible la actuación de agentes de mercado, como pueden ser ayuntamientos, compañías eléctricas, proveedores de infraestructuras, etc., que desempeñan una función como factores implicados durante el proceso de recarga, los cuales se detallan a continuación:

#### Gestor de carga

La figura del gestor de carga está representada por sociedades mercantiles y quedó regulada por el Real Decreto 647/2011 del 9 de mayo, por el cual se presta a la reventa de electricidad para la recarga del vehículo eléctrico, con el objetivo de conseguir una mejor integración del vehículo eléctrico mediante la implantación de mayores puntos de recarga en espacios públicos. Igualmente están habilitados para almacenar energía eléctrica y mejorar la gestión del sistema eléctrico. Con la pertinente normativa, han hecho de la recarga eléctrica una actividad liberalizada, donde los gestores de carga están capacitados para revender la energía eléctrica a sus usuarios, comprándosela a las compañías comercializadoras o directamente en el mercado de electricidad OMIE (Operador del Mercado Ibérico de Energía-Polo Español).

Todo gestor de carga se encarga de llevar a cabo la correcta recarga, como tener un control del proceso de carga, acceder a bases de datos, verificar la comunicación con los distribuidores de energía y con los puntos de recarga, etc. Para llevar a cabo su función, el gestor de carga se compone del:

- Punto de Recarga
- Sistema de Gestión
- Help Desk
- Sistema de Roaming

#### Distribuidor de energía

Se trata de sociedades mercantiles cuya finalidad es distribuir la energía eléctrica, además de construir, mantener y dirigir los servicios de distribución para poder llevar la energía a los puntos o estaciones de recarga.

#### Proveedor de infraestructura

La compañía de tal objeto se encarga de establecer y mantener los puntos de recarga, como del desarrollo de aplicaciones en las que interactúe el usuario y aplicaciones de suministro del vehículo eléctrico, como del mantenimiento y operación de los puntos de recarga.

#### Proveedor de zona de carga

Es aquella entidad autorizada para abastecer y adaptar el emplazamiento en el que se van a ubicar todos los equipos para la recarga del vehículo eléctrico, como los puntos o estaciones de recarga.

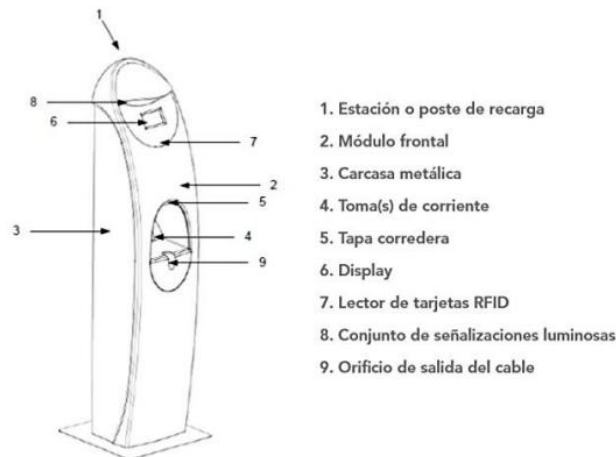
#### 6.2.8.3 El punto de recarga

El punto de recarga es la parte física y elemental del gestor de carga que lleva a cabo el suministro de energía para recargar la batería del vehículo eléctrico (ilustración 17). A partir de este punto es donde comienza la comunicación con el sistema de gestión, y se clasifican en función si son puntos inteligentes o es una estación de recarga compuesta por varios puntos con un sistema de control. Según la posición en la que estén ubicados los puntos de recarga, se clasifican en equipos de pared (aparcamientos públicos y unifamiliares) y equipos de pie o postes (vía pública y estaciones de recarga rápida).

Todo punto de recarga está formado por:

- Tomas de corriente que suministran la electricidad a las baterías de uno o varios vehículos.
- Cuadros de señalización luminosos para comunicar al usuario el estado del proceso de carga.
- Interruptores para comenzar o detener la carga.

- Regulador electrónico de carga.



*Ilustración 17 Componentes de un Punto de Recarga Tipo poste.*

La recarga del vehículo eléctrico en cada uno de estos puntos se puede efectuar de diferentes modos y tipos, empleando los distintos tipos de conectores adecuados para cada caso.

### **Tipos de recarga**

En la actualidad existen diferentes tipos de recarga con los que el vehículo eléctrico puede ser recargado, utilizando diferentes tomas de corriente normalizadas. Las tomas empleadas a nivel europeo utilizan hasta 230 V y 16 o 32 A. Dependiendo de la potencia suministrada por la toma de corriente, ésta determinará la duración de la recarga. Podemos encontrarnos desde la recarga lenta, perfecta para recargar en nuestro domicilio o puestos de trabajo, hasta la más rápida, que puede llegar a realizar una recarga suficiente en 15 minutos.

### **Recarga lenta**

La recarga lenta o convencional es la más extendida y estandarizada debido a su gran aceptación por parte de los fabricantes de vehículos eléctricos. Este tipo de recarga suele realizarse en corriente alterna monofásica, y es la que empleamos en los domicilios particulares a la hora de recargar diversos aparatos eléctricos de consumo. Por ello, el nivel de intensidad y voltaje eléctrico es el que se emplea en las viviendas, con 16 A y 230 V. De este modo, la potencia capaz de suministrar el punto de recarga puede llegar a los 3,7 kW.

Dado este potencial, el tiempo empleado para realizar una recarga completa de la batería oscila entre las 6 y 8 horas, variando en función de la capacidad de almacenamiento de la batería, en torno a los 24 kWh. Por ello, debido a que el vehículo deberá permanecer inactivo durante largos periodos de tiempo, este tipo de recarga se presenta como la mejor solución para realizarla durante el periodo nocturno en garajes particulares o comunitarios, o bien durante la jornada laboral del usuario donde se tenga acceso a un punto de recarga en el emplazamiento de la empresa.

Dado este potencial, el tiempo empleado para realizar una recarga completa de la batería oscila entre las 6 y 8 horas, variando en función de la capacidad de almacenamiento de la batería, en torno a los 24 kWh. Por ello, debido a que el vehículo deberá permanecer inactivo durante largos periodos de tiempo, este tipo de recarga se presenta como la mejor solución para realizarla durante el periodo nocturno en garajes particulares o comunitarios, o bien durante la jornada laboral del usuario donde se tenga acceso a un punto de recarga en el emplazamiento de la empresa.

Estos puntos de recarga están equipados de sistemas de protección que permiten una recarga segura. Esta protección se consigue a través de interruptores diferenciales con reenganche automático, y un sistema de bloqueo para evitar el robo de electricidad si se intenta desconectar el vehículo durante la recarga.

Con el empleo de la recarga convencional, en vistas a la actual situación del sistema eléctrico, se puede llegar a abastecer de forma más eficiente grandes demandas de potencia sin necesidad de sobredimensionar la red actual, por medio de la gestión de una red inteligente.

### **Recarga semi-rápida**

Con este tipo de recarga se consiguen disminuir los tiempos de estacionamiento frente a la recarga convencional. Para ello, se emplea una corriente de 32 A y una tensión de 230V. Con estos valores, el punto de recarga es capaz de suministrar una potencia eléctrica de 7,3 kW. A través de la recarga semi-rápida, el proceso para cargar al 100% la batería del vehículo se alcanzará aproximadamente a las 4 horas, para el caso de una capacidad de almacenamiento de 24 kWh. Existe la posibilidad de disminuir el tiempo de recarga hasta 1 hora si se realiza con corriente alterna trifásica, utilizando una tensión y corriente de 400 V y 32 A, y suministrando una potencia de 22 kW.

En cualquier caso, las potencias entregadas bajo esta recarga en comparación a la recarga rápida, permite una mayor vida útil de la batería al no estar sometida a elevadas temperaturas. Al igual que ocurría con la recarga convencional, los puntos de recarga llevan incorporados un sistema de seguridad como protecciones diferenciales, al igual que sensores de conexión y bloqueo.

### **Recarga rápida**

Ante la limitación en la autonomía de los vehículos eléctricos, la integración de puntos de recarga rápida permite extender el número de kilómetros recorridos con recargas de 15 a 30 minutos, recargándose la batería como máximo entre un 65 y 80% de su capacidad, reservándose el porcentaje restante para asegurar un margen bajo la recarga convencional.

Para llevar a cabo este tipo de recarga, la energía se suministra en corriente continua empleando una mayor corriente eléctrica de hasta 200 A y 400 V, obteniendo de esta manera una potencia en torno a los 80 kW. Para ello, se precisaría de un rectificador para transformar la corriente alterna suministrada por la red de transporte en corriente continua para la recarga.

Este tipo de estaciones, al igual que las anteriores, estarían equipadas con las pertinentes medidas de protección, y se situarían en emplazamientos como lugares públicos, centros comerciales o zonas de trabajo, donde se tenga un acceso momentáneo a una recarga rápida durante el trayecto.

Empleando este tipo de recarga, el usuario encontraría en ella la solución a la práctica de repostaje habitual en los vehículos de combustión interna. De esta manera, los clientes se desplazarían a las estaciones de recarga rápida, conocidas como electrolineras, de igual forma en el que lo haría a una gasolinera. Sin embargo, hay que pensar que este tipo de recarga está destinada para asegurar al

usuario que va a llegar al final de su recorrido, no siendo el tipo de recarga habitual ya que generaría problemas en el sistema eléctrico español. Además, su uso de forma rutinaria impactaría en el comportamiento futuro de las baterías, al igual que conllevaría un posible envejecimiento prematuro. Para llevar a cabo la implantación de estos puntos de recarga junto a los de oportunidad (semi-rápida), es necesario una adecuación esencial en la red eléctrica a través de una ampliación de la potencia instalada, como la adaptación de las protecciones y conexiones.

La implantación de la recarga rápida no se contempla como tipología de recarga a corto plazo en los hogares, debido principalmente a las mayores exigencias eléctricas de la red para ser capaz de absorber la demanda de todos los vehículos conectados, lo que implicaría una encarecida modificación en la instalación eléctrica de las viviendas. En comparación a la recarga convencional, la potencia que requiere este tipo de instalaciones es similar a la de un edificio de 15 viviendas, por lo que a gran escala y desde el punto de vista del suministro eléctrico podría generar problemas en el abastecimiento del sistema.

Los tres tipos de recarga ya comentados van a influir en la gestión de la demanda eléctrica, pues en función de la hora a la que repostemos repercutirá de forma diferente en la curva de demanda. De esta forma, el escenario que encajaría mejor con la recarga lenta se correspondería con recargas durante las horas valle en los domicilios donde pernoctan los vehículos, para evitar saturaciones en la red y de esta forma beneficiarnos del precio más económico de la energía. Mientras que una recarga rápida será algo más inusual, sirviendo como punto de urgencia para el conductor ante la situación de quedarse parado, y que se podrá dar en la vía pública a cualquier hora del día, ya sea pico o valle.

#### 6.2.8.4 Modos de recarga

El modo de recarga viene determinado por el nivel de comunicación entre el vehículo eléctrico y la infraestructura de recarga. Debido al amplio desarrollo del vehículo eléctrico, se ha establecido la norma IEC 61851 “Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos” que define los modelos de recarga que se emplean en España, diferenciando 4 modos estandarizados. Según aumente la numeración, los niveles más altos corresponden a infraestructuras con un nivel de protocolo de comunicación mayor, impactando en el control del proceso de carga entre la infraestructura y el vehículo. La clasificación y características de cada una de ellas se detallan a continuación.

##### **Modo 1**

Bajo este modo (ilustración 18) se encuentran aquellas infraestructuras en las que no existe comunicación entre el vehículo y la red, debido a que es el propio vehículo eléctrico el que cuenta con un dispositivo que controla el proceso de carga.

La conexión a la red de corriente alterna se hace a través de una toma de corriente normalizada, convencional doméstica o industrial, de uso no exclusivo como el tipo Schuko. Para ello, se emplea un cable normal que no incorpora ningún tipo de sistema de protección ni de control. En el caso de una recarga monofásica a 230 V, la potencia de carga permitida es de 3,7 kW, y 11 kW si es trifásica a 400 V, con una intensidad máxima en ambos casos de 16 A. Debido a estos limitados valores, este modo de carga se contempla para recargas de sistemas de menor potencia, como las motos y bicicletas eléctricas.

En países como EE. UU no se permite la carga en modo 1, donde las normas nacionales no aseguran la presencia de un dispositivo de corriente residual (DCR) en el lado de la alimentación.

## **Modo 2**

En este modo (ilustración 2) la carga también se realiza en corriente alterna y sigue sin existir un



*Ilustración 18 Modo de Recarga 1*

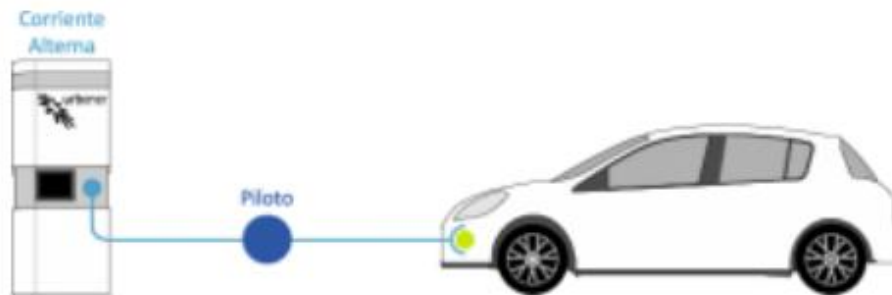
intercambio de información entre el vehículo y la red, siendo el propio vehículo el que regula la carga de las baterías. A diferencia del modo 1, el cable empleado para la conexión del vehículo a la toma de corriente dispone de un circuito piloto de control intermedio (entre el vehículo eléctrico y la clavija) con protecciones que permite:

- Verificar la correcta conexión del vehículo a la red.
- Comprobar continuamente la conexión a tierra.
- Activar y desactivar la recarga del sistema.
- Seleccionar la velocidad de carga.

Para la conexión del vehículo eléctrico a la red, se utilizan tomas normalizadas que no necesitan estar conectadas de forma permanente a la red, y no tienen que ser de uso exclusivo para la recarga del vehículo eléctrico, existiendo la posibilidad de conexión a tomas tipo Schuko. En la mayoría de los casos, en el lado de la infraestructura de recarga se sitúa un enchufe convencional y en el lado del vehículo se dispondrá de un conector específico.

Al disponer de un sistema de seguridad, este modo permite cargar a un amperaje máximo de 32 A, siendo capaz de transferir una potencia máxima de 7,3 kW para recargas monofásicas y 22 kW para trifásicas.

### Modo 3



*Ilustración 19 Modo de Recarga 2*

En este caso, existe comunicación entre el vehículo y el punto de recarga (ilustración 20), ya que la conexión directa del vehículo a la red se realiza mediante un equipamiento dedicado en exclusiva a la recarga del vehículo eléctrico, conocido como SAVE (Sistema de Alimentación del Vehículo Eléctrico), que permite la monitorización de la carga. De esta manera, las tomas de corrientes empleadas son de uso exclusivo para recargar el vehículo eléctrico y están permanentemente unidas a la red general de distribución. La recarga se lleva a cabo mediante un cable que incorpora un hilo piloto de comunicación y dispone de conectores especiales en ambos extremos del cable, como pueden ser el Mennekes, Scame o SAE J1772, que impiden el acceso a las partes en tensión hasta que finaliza la recarga.

Los dispositivos de control y protecciones se disponen en el propio punto de recarga y no en el cable, encargándose de controlar las mismas acciones que en el anterior modo. Los valores máximos permitidos de potencia son los mismos que en el modo 2, mientras que la intensidad máxima puede ser ampliada de 32 a 64 A. Este modo destaca por su seguridad y capacidad de carga bajo diferentes niveles, por lo que es el recomendado por los fabricantes de vehículos y gestores de carga.

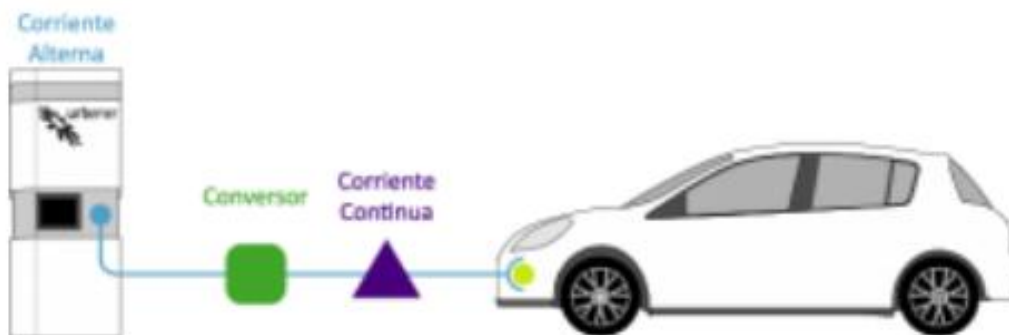
### Modo 4



*Ilustración 20 Modo de Recarga 3*

Existe un grado elevado de comunicación con la red y mediante este modo se consiguen transmitir mayores cantidades de potencia de la red al vehículo (ilustración 21), por lo que está diseñado para la recarga rápida en corriente continua, empleando como conectores el CHAdeMO (sistema de carga rápida de corriente continua (CC) para vehículos eléctricos (EV)).

La conexión del vehículo eléctrico a red es indirecta, y se hace a través de un SAVE dedicado con toma de recarga fija. Mediante un cargador externo se realiza la conversión de corriente alterna a continua en la instalación fija, con la ventaja de que el cliente no necesita disponer de un cable, pues está incorporado en el cargador externo. Tanto las funciones de control como de protección se encuentran en el lado de la instalación fija. Una de las ventajas de que el convertidor se sitúe en el punto de recarga es que permite recargas de mayor potencia y tensión, reduciendo de esta manera las pérdidas y el calentamiento en el convertidor del coche.



*Ilustración 21 Modo de Recarga 4*

#### 6.2.8.4 Tipos de Conectores

Los tipos de conectores son un elemento importante para llevar a cabo la recarga del vehículo eléctrico. A través de las tomas de corriente se pretende que la recarga se realice con éxito, de forma cómoda y segura para el usuario. Existen conectores de todo tipo a nivel internacional, con distintos tamaños y propiedades, por lo que en la norma IEC 62196 “Bases, clavijas, conectores de vehículo y entradas de vehículo. Carga conductiva de vehículos eléctricos” se recogen los más específicos y normalizados.

##### **Schuko**

Es el conector más usado a nivel europeo como toma convencional monofásica y trifásica, definido en el estándar CEE 7/4 Tipo F (ilustración 22). Dispone de dos bornes y toma de tierra, y lo podemos encontrar en diversos aparatos eléctricos de uso doméstico. La corriente admitida no

supera los 16 A y, al no incorporar una comunicación con la red, están destinados a usarse para las recargas lentas.

#### Tipo 1 - SAE J1772

El conector SAE J1772, también conocido como conector Yazaki, está estandarizado y se usa de forma específica para cargar los vehículos eléctricos (ilustración 23). Su tamaño es de 43 mm de diámetro, en el cual se dispone el número típico de pines, dos de corriente y uno de tierra, además de



*Ilustración 22 Conector Schuko*

dos pines complementarios. Estos últimos están diseñados para impedir el movimiento del coche mientras esté conectado y permitir un control de la comunicación con la red. Es por esto y por su



*Ilustración 23 Conector Tipo 1*

forma, lo que los hace tan característicos. Dependiendo de la corriente, el funcionamiento de este conector está dividido en dos versiones. La primera con intensidades de hasta 16 A para recargas lentas, y la segunda con mayores intensidades de hasta 80 A para recargas rápidas.

#### **Tipo 2 - VDE-AR-E 2623-2-2**

El uso de este conector no es específico para los vehículos eléctricos, pudiendo emplearse de forma más estandarizada a nivel industrial (ilustración 24). Conocido también como conector Mennekes, su diámetro es de 55 mm donde se disponen siete pines distribuidos, de los cuales cuatro son para corriente trifásica, uno para tierra y dos para comunicaciones. El nivel de seguridad de este tipo de conector permite bloquear la clavija, pero no la tapa de la toma.

Dispone, al igual que el conector SAE, de dos niveles de funcionamiento. Si la corriente es monofásica está destinado para recargas lentas con intensidades máxima de 16 A, mientras que si es trifásico permite que la recarga se haga de manera rápida con intensidades del orden de 63 A, suministrando una potencia de 43,8 kW.

### **Tipo 3 - Scaem**

Popularmente llamado Scaem (ilustración 25), también se le conoce como EV Plug-in Alliance. Representa un modelo estandarizado a nivel europeo diseñado por el acuerdo entre las empresas



*Ilustración 24 Conector Tipo 2*

Schneider Electric, Legrand y Scaem, y que está impulsado mayormente por Francia e Italia. Ofrece una mayor seguridad que el Tipo 2 al disponer de obturadores de protección, impidiendo el acceso de los usuarios a las partes en tensión, además de bloquear la clavija y la tapa de la toma del punto de recarga.

Una de las ventajas de estos conectores es que presentan una tapa que protege los terminales mientras esté desenchufado. En cuanto a su diseño, dispone de cinco o siete pines para emplearse tanto con red monofásica como trifásica, con disponibilidad de comunicación a red en ambas. La corriente máxima permitida es de 32 A, por lo que está diseñado para recargas semi-rápidas.

### **CHAdMO**

El conector CHAdMO representa un modelo estándar (ilustración 25) creado por diversos fabricantes de automóviles japoneses, como Mitsubishi, Nissan, Toyota y Fuji. Su uso está diseñado



*Ilustración 25 Conector Tipo 3*

para recargas rápidas en corriente continua, con una capacidad admisible de corrientes de 200 A. El tamaño del diámetro, tanto del conector como del cable, es superior al resto de conectores estandarizados. Cuentan con diez pines, incluidos la toma de tierra y la comunicación con la red.



*Ilustración 26 Conector CHAdeMO.*

### **Emplazamiento de los puntos de recarga**

En función de la ubicación y el uso de los puntos de recarga, la infraestructura tiene que seguir unos requerimientos técnicos que afectan a la red, como unos criterios para tener en cuenta en la edificación y seguridad. A gran escala se pueden agrupar los puntos de recarga en públicos y privados.

En el ámbito privado, la recarga se lleva a cabo a través de módulos situados en los garajes de las empresas, de una comunidad de vecinos o domicilios unifamiliares. En dichas ubicaciones es donde los usuarios recargarán sus vehículos eléctricos de forma habitual bajo recargas lentas, debido a que el vehículo permanecerá parado durante un largo periodo de tiempo.

Por otro lado, también existe la posibilidad de llevar a cabo la recarga a través de postes situados en el entorno público, como puede ser en la vía pública, en los aparcamientos públicos o los ubicados en los grandes centros comerciales, estaciones de tren, etc. Normalmente estos puntos ofrecerán la ventaja de llevar a cabo recargas de oportunidad (semi-rápida), permitiendo que en un par de horas la recarga sea suficiente para que el vehículo llegue al punto de destino. Aparte de poder recargar el vehículo de forma oportuna, se consideraría en algunos puntos de la ciudad la disposición de estaciones de recarga rápida para así recargar las baterías en tan solo unos minutos.

Los posibles lugares donde se pueden instalar los puntos de recarga de forma que en cada uno de ellos se puede instalar un único punto de recarga o una estación de recarga compuesta por varios puntos, con la posibilidad de efectuar varios tipos de recarga en cada uno de ellos.

| Ubicación                                | Ventajas                                                                                 | Inconvenientes                                                                                                     | Tipos de recarga     |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| <b>Estacionamiento en la vía pública</b> | Disponibilidad amplia<br>Promoción de la utilización del vehículo eléctrico              | Vandalismo<br>Necesidad de reservar espacio<br>Tiempo de uso inferior a tiempo de recarga<br>Coste de implantación | Lenta<br>Semi-rápida |
| <b>Locales de pública concurrencia</b>   | Ubicación recomendable<br>Promoción de la utilización del vehículo eléctrico             | Necesidad de reservar espacio                                                                                      | Lenta                |
| <b>Doméstico</b>                         | Bajo coste de implantación<br>Habilitado para recarga nocturna<br>Ubicación recomendable | No todos los usuarios disponen de lugar físico donde aparcar                                                       | Lenta                |
| <b>Empresas de alquiler de vehículos</b> | Bajo coste de implantación<br>Habilitado para recarga nocturna<br>Ubicación recomendable | Menor disponibilidad de puntos de recarga frente a la flota de vehículos de alquiler existente                     | Lenta<br>Semi-rápida |
| <b>Flotas de vehículos de empresa</b>    | Bajo coste de implantación<br>Habilitado para recarga nocturna<br>Ubicación recomendable | No todos los usuarios disponen de lugar físico donde aparcar                                                       | Lenta<br>Semi-rápida |
| <b>Estaciones de servicio</b>            | Rapidez en la recarga                                                                    | Problemas en el desarrollo de la tecnología<br>Tiempo de carga inferior a 30min<br>Alto coste de implantación      | Rápida               |

Tabla 4 Ventajas e Inconvenientes de las Ubicaciones de los Puntos de Recarga

### 6.3 Supercondensadores

Existen otras formas de almacenamiento de energía como los supercondensadores, representando la transición entre los condensadores convencionales y las baterías recargables. En función del almacenamiento de la energía eléctrica, nos podemos encontrar los de doble capa eléctrica o EDCL (Electric Double-Layer Capacitor), o los pseudocondensadores (ilustración 27). Los EDCL son los más desarrollados y comercializados, y su almacenamiento se basa en un principio puramente electrostático sin la intervención de una reacción química, donde la energía eléctrica es almacenada en la doble capa electroquímica formada en la interfase electrodo-electrolito, con una diferencia de potencial aplicada entre los electrodos.

La composición del electrolito puede ser acuosa, donde el potencial aplicado no puede ser mayor a 1 V debido a que provocaría su descomposición orgánica, que permite tensiones de trabajo mayores del orden de 2,5 V. Mientras que los electrodos pueden estar compuestos por materiales como óxidos de metales de transición, polímeros conductores y carbono. Los dos primeros proporcionan altas capacidades, pero tienen la desventaja de ser relativamente caros o de sufrir hinchamientos. Por ello, los basados en carbono representan la mejor solución por sus bajos costes y gran disponibilidad. Propiedades como fiabilidad, potencia y duración, hace que esta nueva tecnología se

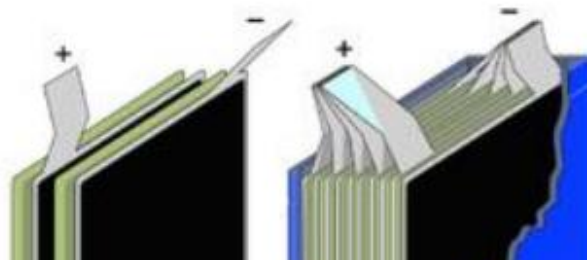


Ilustración 27 4 Esquema de un Supercondensador con Electrodos Apilados.



1. Electrodo positivo; 2. Electrodo negativo; 3. Separador

presente como una alternativa a las baterías, con ciclos de vida de más de 1.000.000 sin pérdidas de rendimiento y una elevada eficiencia en cargas y descargas. Durante su ciclo de vida, necesitan un bajo mantenimiento y son capaces de trabajar a temperaturas extremas, a la vez que su contaminación es menor al estar constituidos por materiales mucho menos tóxicos.

A diferencia de los condensadores convencionales, son capaces de almacenar mayores cantidades de energía, pero proporcionando menores densidades de potencia, por lo que los hace idóneos en aplicaciones donde se requiera pequeñas cantidades de energía. Sin embargo, en comparación con las baterías, presentan desventajas como una menor capacidad de almacenamiento de energía, con una energía específica de 0,10-10 Wh/kg, junto a un elevado precio de adquisición.

Los supercondensadores destacan por la capacidad de cargarse y descargarse durante cortos periodos de tiempo, pudiendo llegar al orden de segundos. Esto las hace apropiadas para responder ante picos de potencia, como interrumpir el suministro de corriente durante breves periodos de tiempo. Por ello, su uso como complemento a las baterías en los vehículos eléctricos durante el arranque sería idóneo, pues se estaría combinando la rápida actuación de los supercondensadores para suministrar energía, con la mayor capacidad de almacenamiento de las baterías, prolongándose así su vida útil. Hoy en día, los supercondensadores de grafeno se presentan como la mejor solución utilizada en los vehículos eléctricos para proporcionar mayores autonomías a través de recargas rápidas que pueden llegar a los 2-3 minutos (López, 2015).

Los supercondensadores poseen varias ventajas y desventajas relativas a las baterías, como se describe a continuación.

#### Desventajas:

- La cantidad de energía almacenada por unidad de peso es generalmente menor que la de una batería electroquímica ( $3-5 \text{ W} \cdot \text{h} / \text{kg}$ ).
- La tensión varía con la energía almacenada.
- Tiene la mayor absorción dieléctrica de cualquier tipo de condensador.
- Alta autodescarga, esta es considerablemente superior a la de una batería electroquímica.
- Poseen bajas tensiones, por lo que a veces se hacen necesarias conexiones en serie para obtener voltajes más altos.
- Si existen más de tres condensadores en serie, se requiere un equilibrado de tensión.
- Debido a la liberación rápida de una gran cantidad de energía, los EDLC tienen el potencial para ser mortal a las personas.

#### Ventajas:

- Gran período de operación.
- Alto número de ciclos de carga y descarga ( $>1.000.000$ ).
- Bajo costo por ciclo.
- Capacidad de manejar altos valores de corriente.
- Muy alta velocidad de carga y descarga.
- Muy baja resistencia interna.

- Gran rango de temperatura.
- Alta eficiencia (>95%).
- Mejora de la seguridad, al no utilizar un electrolito corrosivo materiales de baja toxicidad.
- Métodos sencillos de carga, sin peligro de sobrecarga.

## CAPÍTULO 7 Celdas de hidrógeno

### 7.1 Introducción

La problemática historia de la tecnología se remonta a Better Place, o Anexo A en el caso contra el futuro del intercambio de baterías. Better Place, con sede en Israel, fundada en 2007 por el emprendedor Shai Agassi de Silicon Valley, prometió cambiar el mundo con estaciones de servicio robóticas que sacarían una batería de un automóvil y colocarían una nueva, ampliando su rango de conducción en una cuestión de minutos. En aquellos pintorescos días de vehículos eléctricos, con Tesla dando pequeños pasos con el Roadster (construido entre 2008 y 2011), el cambio de batería parecía ser una promesa nebulosa. La mayoría de los vehículos eléctricos novedosos (a excepción de Tesla) apenas podían superar los límites de la ciudad con una carga, incluido el Nissan Leaf 2011 y su alcance de 73 millas. Una vez que se agotó el alcance, apenas existía una carga pública confiable, como recuerdo de mis propios viajes ansiosos en San Francisco cuando probé el Leaf original y el BMW i3. Cuando encontró un enchufe que funcionaba, las baterías tardaron una eternidad en cargarse.

La alternativa de Better Place, a través de un contrato con Renault, era el Fluence ZE 2011: un sedán eléctrico cuya batería vertical se comía el espacio del baúl y brindaba un rango de 80 millas. Pero esa batería podría pasar por el piso de Renault para ser cambiada en las estaciones Better Place en Israel y Dinamarca, agregando otras 80 millas en aproximadamente 10 minutos, en lugar de horas de recarga.

Pero a pesar de recaudar casi \$ 900 millones de los inversores y los medios de comunicación ungir a Agassi como un salvador eléctrico, Better Place implosionó como el Theranos de su época. Se suponía que las estaciones de intercambio robóticas costarían \$ 500,000 cada una, pero terminaron costando \$ 2 millones. Críticamente, Better Place no logró que ningún otro fabricante de automóviles se uniera para diseñar y producir vehículos estandarizados con baterías intercambiables, y Agassi alienó a socios potenciales como BMW y GM. Better Place vendió menos de 1.500 Renault eléctricos antes de su liquidación, y Agassi fue despedido en desgracia en 2012. La revista *Fast Company* calificó a Better Place como “la empresa emergente tecnológica más espectacularmente fallida del siglo XXI”. (Ulrich, IEEE Spectrum , 2021)

## 7.2 Características del hidrógeno

El hidrógeno es el primer elemento de la tabla periódica, es un gas incoloro, no huele ni tiene color, está compuesto por moléculas diatómicas, es el número uno en la tabla periódica tanto en fila como en columna lo que nos indica que solo tiene una órbita y solo tiene un electrón en ella es por ello que se forman las moléculas diatómicas, su símbolo es la letra H y el hidrógeno se representa por  $H_2$  su número atómico es 1 y un peso atómico de 1.00797, tiene una densidad de 0.071g/ml su punto de ebullición es a  $-252.70^{\circ}C$ , su punto de fusión es de  $-259.20^{\circ}C$ . Se convierte en líquido a presión atmosférica aproximadamente por debajo de los 20. 390K. y a 200K su densidad es de 76.4 kg/m<sup>3</sup> que es 850 veces mayor que la del hidrogeno en condiciones normales lo que permite confinarlo en recipientes no muy voluminosos, y ahorrar espacio en su almacenamiento.

Es un gas difícilmente licuable (el más difícil después del helio), con la particularidad de que al expandirlo se calienta. Se transporta por tuberías y en contenedores a presión, su compresión es muy peligrosa, pues cualquier fuga puede ocasionar atmosferas explosivas. La licuación del hidrogeno puede hacerse con ayuda de nitrógeno líquido. El isotopo del hidrógeno más común en la naturaleza es conocido como protio, tiene un solo protón y ningún neutrón. El hidrógeno puede adquirir carga positiva convirtiéndose en un catión llamado hadrón  $H^+$  o carga negativa convirtiéndose en un anión conocido como hidruro,  $H^-$ .

El hidrógeno líquido es el elemento hidrógeno en estado líquido. Es comúnmente usado como combustible en la industria aeroespacial para impulsar sus motores, donde se suele abreviar como LH<sub>2</sub>, ya que en la naturaleza se encuentra en forma molecular  $H_2$ . El hidrógeno líquido también es un método de preservación utilizado en la mayoría de los laboratorios criogénicos, al permitir congelar sustancias casi de inmediato sin dañar las células.

Otra de las aplicaciones y objeto de estudio de esta investigación es la celda de combustible, la cual está diseñada para trabajar como una batería convencional, alimentada con hidrógeno y oxígeno es

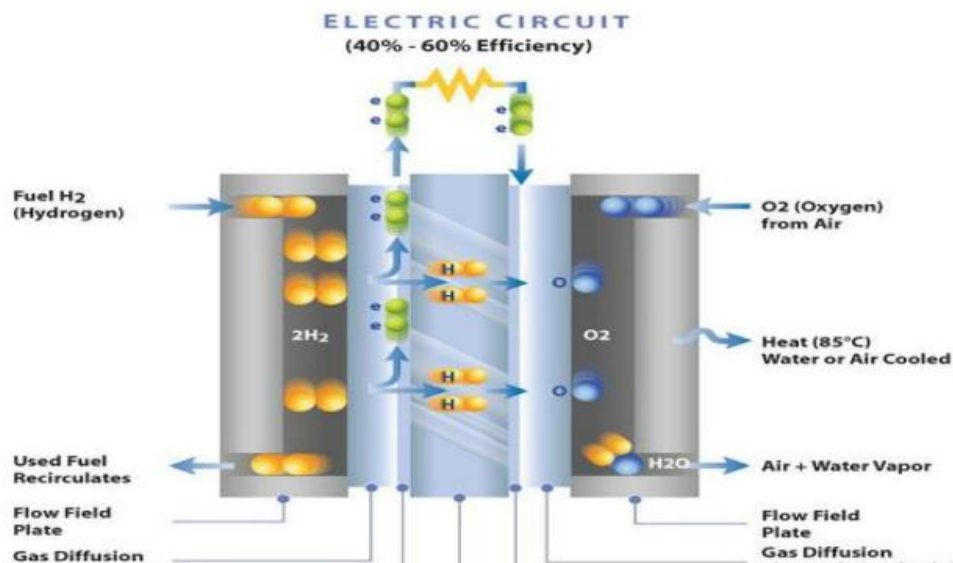


Ilustración 28 Esquema de una Celda de Combustible

capaz de producir electricidad (ilustración 28), pero a diferencia de las baterías convencionales, seguirá produciendo electricidad en tanto no se agote el combustible.

### 7.3 Almacenamiento del Hidrógeno

El hidrógeno no es un recurso que se encuentre de manera aislada, por lo regular siempre forma parte de un compuesto químico, por lo que se necesita energía para aislarlo y poder utilizarlo de ahí el nombre de vector energético.

La dificultad que existe para el almacenamiento de hidrógeno se puede deducir de sus propiedades fisicoquímicas (ilustración 29), por ejemplo, el hidrógeno posee un punto de ebullición a 1atm (atmosfera) de tan solo 20.39k, este valor es muy cercano a su temperatura crítica (33.18 K), y a su

|                                           |             |
|-------------------------------------------|-------------|
| <b><i>Peso Molecular</i></b>              | 2.016 g/mol |
| <b><i>Punto de fusión</i></b>             | 13.95 K     |
| <b><i>Punto de ebullición (1 atm)</i></b> | 20.39 K     |
| <b><i>Temperatura crítica</i></b>         | 33.18 K     |
| <b><i>Presión crítica</i></b>             | 13.13 bar   |

punto de fusión (13.95K).

Se representa el diagrama de fases del hidrogeno. Se puede ver como la mayor parte de este diagrama de fases nos muestra que el gas se encuentra en condiciones supercríticas, y solo una pequeña región que esta coloreada de azul se encuentra en estado líquido. Estas propiedades del



Ilustración 29 Propiedades del Hidrogeno

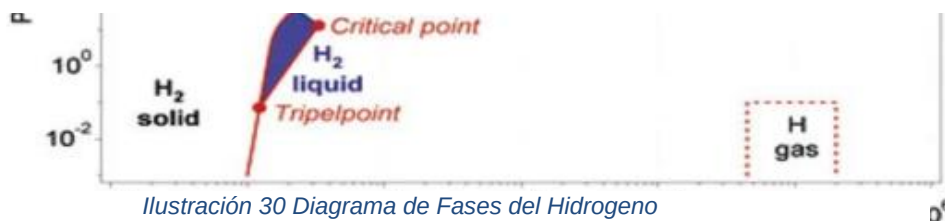


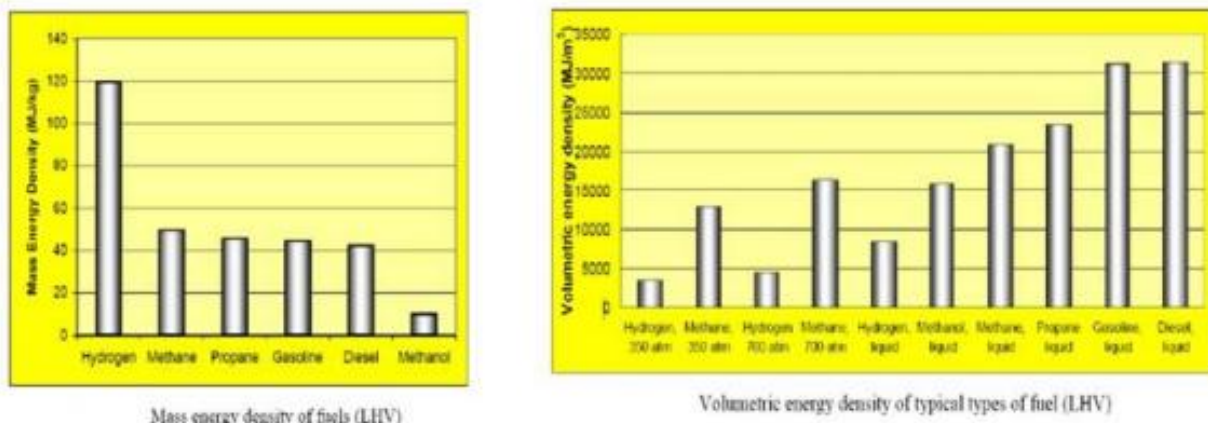
Ilustración 30 Diagrama de Fases del Hidrogeno

0<sup>6</sup>

hidrógeno implican que a temperaturas por encima de 33.18K se encuentre como fluido supercrítico, lo que hace que su densidad sea muy baja (ilustración 30).

Por ejemplo, si comparamos la densidad del hidrógeno frente a la presión, se tiene que a la temperatura de 250C si tomamos una presión de 100 atmósferas, la densidad del hidrógeno es de tan solo 0.00776 kgH<sub>2</sub>/L. incluso aumentando la presión hasta valores de 700 atmósferas la densidad sigue siendo muy baja (0.03928) kgH<sub>2</sub>/L. En cuanto a las características energéticas del hidrogeno, su densidad energética gravimétrica es tres veces superior a la de la gasolina, sin embargo, su densidad volumétrica es la cuarta parte como se puede observar en la siguiente gráfica.

Por lo que su aplicación en un sector, como el automovilístico, se ve restringida debido a las limitaciones existentes en lo relativo al peso y al volumen del depósito (ilustración 31). El departamento de la Energía de los Estados Unidos (DOE) y otros organismos internacionales como la Plataforma Europea del Hidrógeno y las celdas de combustible HFP han establecido una serie de criterios provisionales que tienen que cumplir los sistemas de almacenamiento de hidrógeno para su



*Ilustración 31 Comparación de Hidrogeno y Otros Combustibles*

implantación en vehículos propulsados con celdas de combustible.

En la actualidad el estudio del almacenamiento del hidrógeno (ilustración 32), en cuanto disminuir el tamaño del recipiente sin que se tenga que presurizar demasiado el gas, es una prioridad para darle una mejor versatilidad a la tecnología de las celdas de combustible portátiles. Las distintas estrategias que se están estudiando para aumentar la densidad del hidrógeno pasan por un aumento

en la presión hasta valores elevados, una disminución de la temperatura hasta condiciones criogénicas, el uso de compuestos químicos o absorbentes, o una fusión de todas ellas.

### 7.3.1 Hidrógeno Comprimido

El almacenamiento de hidrogeno en recipientes a alta presión es uno de los métodos industrialmente más desarrollados. Existen distintos depósitos comerciales para almacenar hidrogeno a 200 atm. El



Ilustración 33 Sistema de Almacenamiento de Hidrogeno Comprimido a 700 bar.

| Parámetro de almacenamiento                                  | Unidades                           | 2007               | 2010 | 2015 |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------|------|------|
| Flujo mínimo desde el tanque                                 | (g/s)kW                            | 0.02               | 0.02 | 0.02 |
| Máxima presión de emisión del H <sub>2</sub> desde el tanque | Atm (abs)                          | 100                | 100  | 100  |
| Tiempo de llenado del sistema para 5 kg de hidrógeno         | min                                | 10                 | 3    | 2.5  |
| Pérdida de H <sub>2</sub> útil                               | (g/h)/kg H <sub>2</sub> almacenado | 1                  | 0.1  | 0.05 |
| Pureza del H <sub>2</sub>                                    | % H <sub>2</sub>                   | 99.9 % (base seca) |      |      |

Ilustración 32 Criterios Establecidos por el DOE "Para Sistemas de Almacenamiento de H<sub>2</sub>

principal problema es que a esta presión no se consigue alta densidad volumétrica, y a esta presión son necesarios contenedores robustos y pesados, aunque hay avances en cuanto a cilindros recubiertos con fibra de carbono. Para solucionar el problema, en los últimos años diversas empresas han desarrollado depósitos fabricados con materiales compuestos, que los hacen más ligeros y capaces de soportar presiones de hasta 700 atm (ilustración 33) y obteniendo valores de 0.03928 kgH<sub>2</sub>/L, sin embargo este valor no cumple con los criterios dictados por el DOE.

Estos sistemas son los que principalmente se están usando en los prototipos de vehículos impulsados por hidrógeno. La autonomía de estos vehículos depende del diseño de este, y la cantidad de hidrogeno almacenada. Por ejemplo, el prototipo con celda de combustible HydroGen3 de General

Motors está desarrollado para un rango de conducción de 270Km con 3.1 Kg de hidrógeno a 700 bar. Los principales problemas de esta manera de almacenamiento son el costo de los tanques, ya que se debe principalmente a la cantidad de fibra de carbono usada para reforzar el tanque, y los problemas de seguridad y aceptación del mercado derivado del uso de altas presiones.

La investigación en este campo está orientada hacia el desarrollo de nuevas fibras de carbono, de bajo costo y capaces de alcanzar los valores requeridos para estas altas presiones. Otra de las desventajas es que el hidrogeno tiene una tasa de permeabilidad a través de estos revestimientos, dicha penetración no solo genera una pérdida gradual de la presión del hidrógeno, sino que además el hidrogeno que se escapa puede dañar y debilitar la capa de reforzamiento del tanque. Este debilitamiento podría generar una fatiga cíclica u otros fallos del tanque por lo que una buena barrera para un tanque que almacene hidrógeno a presión alta debe tener las siguientes características:

- Baja permeabilidad.
- Buena adhesión al revestimiento polimérico.
- La rigidez de la capa debería ser igual a la del polímero para evitar la rotura cuando se presurice el tanque.
- El método de aplicación debería permitir por la capa interior que un tanque con cuello pequeño resultara en capas herméticas sin orificios.
- El material y el método para cubrir del tanque no deben constituir una cantidad considerablemente alta ni del peso, ni del precio total del tanque.

Por otro lado, se está estudiando el desarrollo de tanques adaptables a diferentes geometrías y espacios, ya que los tanques de hidrógeno comprimido por lo general están limitados en tamaño y forma, por lo que no ofrecen flexibilidad en términos de adaptación al vehículo

### **7.3.2 Hidrógeno Líquido**

En este método el hidrógeno es almacenado en forma de líquido, lo cual implica trabajar con temperaturas por debajo de 20.39K. El hecho de que el hidrógeno líquido se encuentre limitado por una pequeña zona de su diagrama de fases hace que la tecnología de obtención de este sea costosa, y se necesiten cantidades grandes de energía para licuarlo.

El hidrógeno líquido se obtiene a partir de la licuación de este, la licuación es el proceso de pasar de gas a líquido mediante una modificación de sus condiciones de presión y temperatura. El proceso de licuación utiliza una combinación de compresores, intercambiadores de calor y válvulas de expansión para lograr el enfriamiento necesario. El proceso de licuación más simple es el ciclo de Linde o ciclo de expansión de Joule-Thompson. En este proceso, el gas sufre una compresión isotérmica, a temperatura ambiente,  $1 \rightarrow 2$ , después un enfriamiento a presión constante en un intercambiador de calor,  $2 \rightarrow 3$ , y finalmente una expansión isoentálpica,  $3 \rightarrow 4$ , y  $4 \rightarrow 5$ . En este

último proceso parte del gas se licua y el resto es recirculado por el intercambiador de calor, y vuelta al compresor para cerrar el ciclo, 5→1.

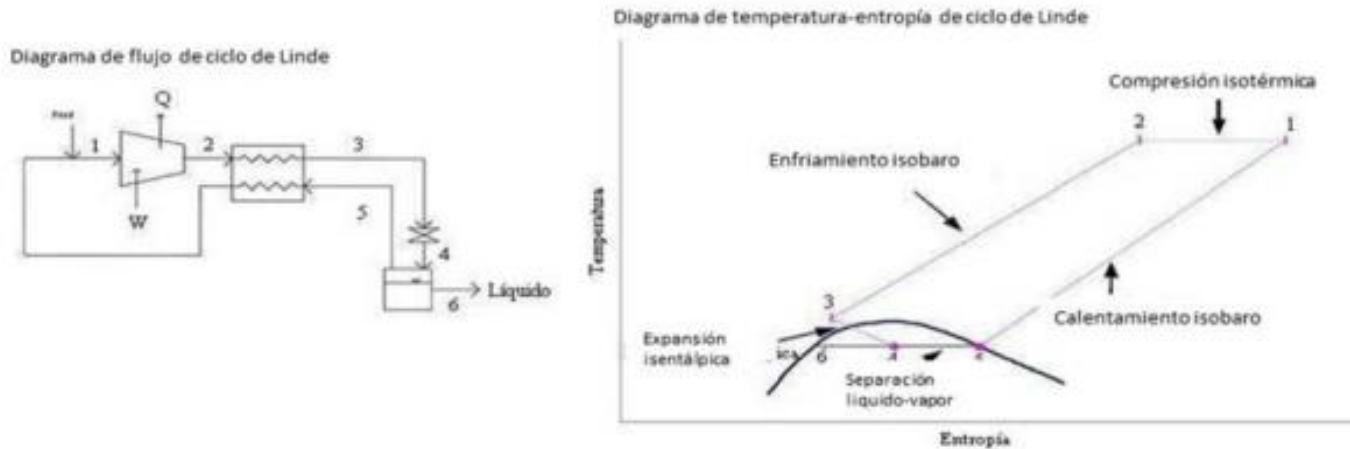


Ilustración 34 Ciclo de Linde

El ciclo de Linde (ilustración 34) funciona con gases como el nitrógeno, que se enfría al expandirse a temperatura ambiente. Sin embargo, el hidrógeno, se calienta al expandirse a temperatura ambiente. Para enfriar el hidrógeno gaseoso en la expansión, su temperatura tiene que ser menor que su temperatura de inversión, que es 202K (-950C). Para alcanzar dicha temperatura de inversión, los procesos de licuación utilizan nitrógeno líquido para pre enfriar el hidrógeno gaseoso hasta una temperatura inferior a 78K (-3190C) antes de la primera expansión de la válvula. El nitrógeno gaseoso es reciclado en un ciclo continuo de refrigeración.

La alternativa al proceso de preenfriamiento de Linde es hacer pasar el gas a alta presión a través de una turbina. Una turbina siempre enfría el gas, sea cual sea su temperatura de inversión. El proceso teórico se denomina licuación ideal y utiliza una expansión reversible para reducir la energía necesaria en la licuación. Consiste en un compresor isotérmico seguido de una expansión isoentrópica para enfriar el gas y producir líquido. En la práctica, la turbina se puede utilizar para enfriar la corriente de gas, pero no para condensarlo, porque la formación de líquido dañaría los álabes de la turbina.

La molécula de hidrógeno existe en dos formas, para y orto, dependiendo de la configuración de los electrones en los dos átomos individuales. En el punto de ebullición, la concentración de equilibrio es prácticamente todo para hidrógeno, pero a temperatura ambiente o superior, el equilibrio de concentración es de un 25% para hidrógeno y de un 75% orto-hidrógeno. Si la licuación del hidrógeno se produce de forma rápida, el hidrogeno puede estar licuado, pero todavía contener importantes cantidades de orto-hidrógeno. Este orto-hidrógeno se convierte con el tiempo en para hidrógeno a través de una reacción exotérmica (ilustración 35). Esto se supone un problema, ya que se libera una cantidad importante de calor. Si el orto-hidrógeno permanece tras la licuación, este calor de transformación se irá liberando lentamente, produciendo la evaporación de hasta el 50% del hidrogeno liquido en tres días. De modo que el almacenamiento de larga duración de hidrógeno líquido requiere la conversión de su forma orto a su forma para y minimizar las perdidas por evaporación. Esto se puede llevar a cabo utilizando una serie de catalizadores entre los que se encuentra el carbón activado, el óxido férrico, compuestos de uranio, óxido crómico, y algunos compuestos de níquel. El carbón activado es el más utilizado, pero el óxido férrico también es una alternativa económica.

La mayor amenaza en el almacenamiento de hidrógeno líquido es minimizar las perdidas por evaporación flash. Si el hidrógeno se almacena como líquido criogénico, se está almacenando en su punto de ebullición, y por lo tanto cualquier transferencia de calor al líquido supone alguna evaporación del hidrógeno. Las fuentes de calor pueden ser, la conversión de orto-hidrógeno a para hidrógeno, la mezcla o bombeo de energía, o la transferencia de calor radiante, por conducción o por convección. Cualquier evaporación, supondrá una pérdida neta en la eficiencia del sistema, debido al trabajo necesario para licuar ese hidrógeno, pero las perdidas pueden ser mayores, si el hidrógeno es liberado a la atmosfera en vez de ser recuperado.

La mayoría de los tanques de hidrógeno son esféricos, porque esta forma tiene la menor superficie de transferencia por unidad de volumen. A medida que el diámetro del tanque aumenta, el volumen crece más que el área, de modo que los tanques grandes tienen proporcionalmente menos transferencia de calor que los tanques pequeños, reduciendo la evaporación flash. Los tanques

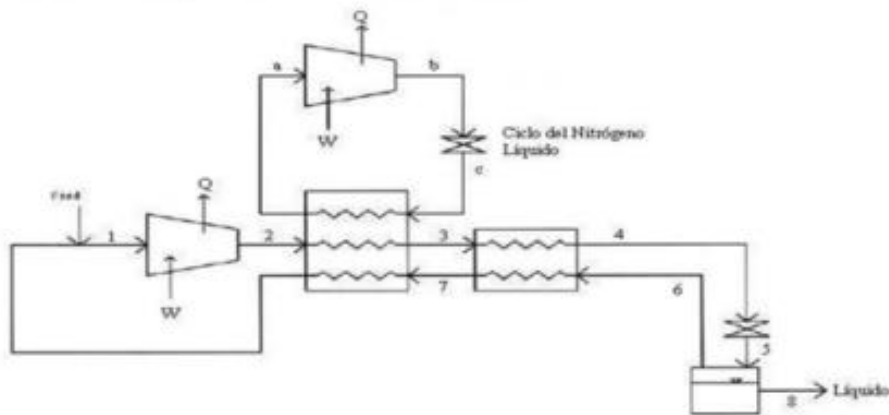


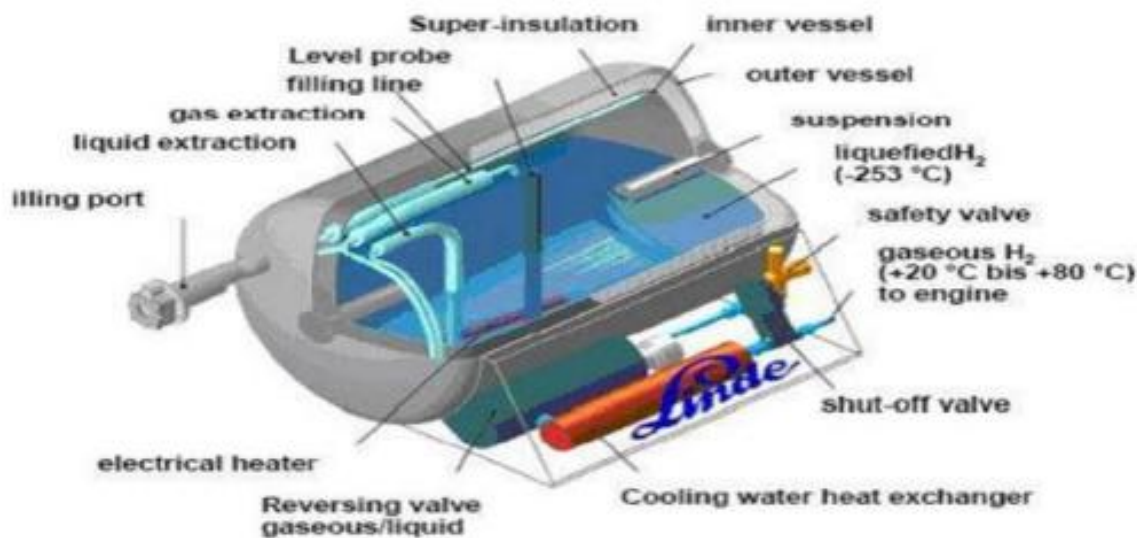
Ilustración 35 Diagrama de Flujo de una Licuación con Preenfriamiento

cilíndricos, se utilizan también, ya que son más fáciles y baratos de construir que los esféricos, y la relación volumen-área de transferencia es casi la misma.

Los contenedores de almacenamiento de hidrógeno líquido en los puntos de utilización tienen normalmente capacidades de entre 110 y 5300kg, mientras que las plantas de licuación de hidrógeno tienen tanques de unos 11500kg. El mayor tanque esférico del mundo pertenece a la NASA, y tiene una capacidad de 228000kg de hidrógeno líquido. Incluso teniendo un buen aislamiento, parte del hidrógeno se evapora. Este hidrógeno puede ser purgado o capturado y devuelto al proceso de licuación. Esta segunda opción solo es posible si el hidrógeno es almacenado en el mismo sitio donde es licuado. Al capturarlo, no se produce una gran pérdida debido a que el hidrógeno gaseoso está todavía frío, es más fácil de comprimir. En aplicaciones de transporte de larga duración, como puede ser el transporte en buques, la evaporación flash se considera combustible de transporte, de modo que el hidrógeno que se evapora del líquido se captura y alimenta la caldera del barco. Finalmente se puede decir que el proceso de licuación del hidrógeno consume una buena cantidad de energía hasta el 30% de la cantidad almacenada, se necesitan contenedores especialmente aislados que encajen con los dispositivos apropiados de manejo de combustible, es muy propenso a la evaporación y fugas durante su almacenamiento y transporte (ilustración 36).

### 7.3.3 Hidruros Metálicos

Los hidruros metálicos son materiales que absorben hidrógeno reversiblemente en condiciones



*Fuente: Linde*

*Ilustración 36 Esquema de un Contenedor de Hidrógeno Líquido*

moderadas. El hidrógeno puede ser absorbido y liberado cambiando la presión del hidrógeno, la

temperatura o ambas y la densidad de hidrógeno por unidad de volumen en estos materiales llega a ser mayor que la del hidrógeno líquido.

Los hidruros metálicos tienen dos problemas prácticos principales cuando se utilizan para el almacenamiento de hidrógeno, el primero es que los hidruros metálicos, en general se rompen en finas partículas después de repetidas absorciones y liberaciones de hidrógeno. Los hidruros se pueden clasificar en tres tipos, según la naturaleza de los enlaces y de la estructura:

- Hidruros metálicos.
- Hidruros iónicos o salinos.
- Hidruros covalentes o moleculares.

La electronegatividad de un elemento respecto al hidrógeno determinara que tipo de hidruro se forma, un metal electropositivo forma hidruros iónicos, mientras que un metal electronegativo forma hidruros metálicos, aunque en algunos casos solo son estables a presiones elevadas. Un indicador de la variación de la estabilidad en los hidruros de metales de transición es la entalpía de formación.

Los elementos más electropositivos son los más reactivos frente al hidrógeno, por ejemplo, Sc, Y, lantánidos, actínidos y miembros del grupo del Ti (titanio) y V (vanadio).

La reacción del metal con el hidrógeno gaseoso comienza con la absorción del hidrógeno molecular en la superficie (ilustración 37), donde se separa y difunde a los huecos intersticiales a través de la red metálica formándose una solución sólida de hidrógeno en metal, denominada fase  $\alpha$ . Al aumentar la concentración de hidrógeno ( $H/M > 0.1$ ), la interacción hidrógeno-hidrógeno es más importante y se forma el hidruro, que es la fase  $\beta$ . Cuando la fase  $\alpha$  y la fase  $\beta$  coexisten, aparece un fenómeno llamado “plateau” el cual consiste en que la presión no aumenta al aumentar la cantidad de hidrógeno absorbido. En la fase  $\beta$  pura, la presión del hidrógeno aumenta rápidamente con la concentración.

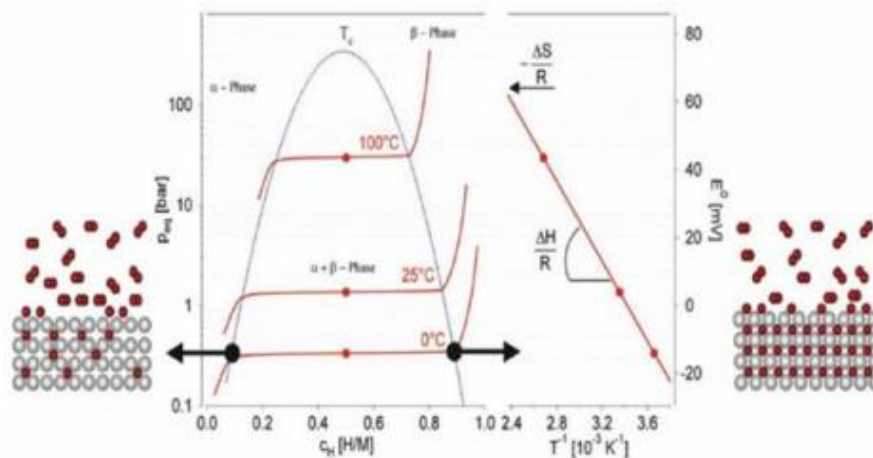


Ilustración 37 Composición Para la Absorción de Hidrogeno Liquido en LaNi5

Durante la absorción del hidrógeno se obtiene calor ya que esta es una reacción exotérmica, la misma cantidad de calor se tendrá que suministrar al hidruro metálico para recuperar el hidrógeno. Cuanto más estable es el hidruro, más calor será necesario para liberar el hidrógeno. Por tanto, los hidruros metálicos formados por metales ligeros de los grupos I y II necesitan altas temperaturas para liberar el hidrógeno absorbido.

Los hidruros formados por metales de transición absorben y devuelven el hidrógeno a temperaturas y presiones cercanas al ambiente. Estos hidruros poseen una densidad volumétrica de átomos de hidrógeno presentes en el hidruro muy alta, por ejemplo, se alcanza una densidad volumétrica de 115Kg/m<sup>3</sup> para el hidruro LaNi<sub>5</sub>H<sub>6</sub> (compuesto intermetálico hexagonal que contiene lantano y níquel). Sin embargo, todos estos hidruros formados por metales de transición presentan densidades gravimétricas por debajo del 3% en peso, por ejemplo, la densidad gravimétrica del LaNi<sub>5</sub>H<sub>6</sub> es solo 1.4%.

Unos de los principales problemas que presenta este tipo de almacenamiento para su aplicación en vehículos es la gestión del calor. Se hace necesario el uso de equipos secundarios, intercambiadores de calor, que disipen el calor generado durante la formación de hidruros, y estos equipos penalizan el peso y el volumen que ocuparía el sistema de almacenamiento.

#### **7.3.4 Absorción en Sólidos Porosos**

Otro método para el almacenamiento de hidrógeno que tiene grandes expectativas actualmente es la absorción en sólidos porosos. En este método de almacenamiento el hidrógeno se acumula en la superficie del sólido por efecto de las fuerzas de Van der Waals, es por lo tanto un proceso de fisisorción. En este proceso el calor de absorción es mucho menor que el calor formado por hidruros, y por lo tanto no se requieren sistemas adicionales para el intercambio de calor.

Los materiales que se están estudiando para el almacenamiento de hidrógeno son muy variados, por ejemplo: zeolitas, materiales carbonosos (nanotubos y nano fibras de carbono, carbones activados, fibras de carbono activadas, etc.) y más recientemente compuestos de coordinación macromoleculares, conocidos como Metal Organic Frameworks.

El almacenamiento de hidrógeno en zeolitas puede ocurrir por dos vías: fisisorción, que es normalmente a temperaturas criogénicas, y encapsulación que es a temperatura ambiente y altas temperaturas. La encapsulación de gases en zeolitas es un proceso donde las moléculas de gas con tamaños similares o menores que las ventanas de los poros de zeolitas son atrapadas dentro de las cavidades de esta. El tamaño de la ventana se puede cambiar incrementando la temperatura, los estudios teóricos sobre la encapsulación de hidrógeno en materiales con estructura de sodolita estiman capacidades óptimas de unas 8 moléculas de hidrógeno por caja de sodolita, y que es posible llegar hasta 16 moléculas de hidrógeno por caja, lo que corresponde a una capacidad de almacenamiento de entre 4.3% y 5.3% en peso. Sin embargo, los estudios experimentales muestran cantidades menores de 0.3 moléculas por caja de sodolita. Con respecto a la absorción física en zeolitas a temperatura ambiente, los valores publicados son menores a 0.2-0.3% en peso, a temperaturas criogénicas, la cantidad de hidrógeno absorbido por zeolitas aumenta linealmente con la porosidad de estas, alcanzando valores de alrededor del 2% del peso a 77K y 15 bares. Debido a la limitación en el desarrollo de la porosidad hace que estos materiales no sean muy atractivos para

esta aplicación en comparación con otros materiales porosos que poseen mayor desarrollo de porosidad, como los carbones activados o los MOF.

Los MOF son sólidos cristalinos que están formados por la conexión de iones metálicos o clústeres (unidades inorgánicas) a través de puentes moleculares (unidades orgánicas). Las unidades inorgánicas son metales como Zn, Cu, Ni, Al, Cr, Mg. Las unidades orgánicas son compuestos carboxílicos basados en moléculas de fenilo o polifenol. Ambas unidades se unen a través de grupos carboxilato. De esta manera se han preparado MOF con áreas superficiales desde 100 a 500m<sup>2</sup> /g y con aperturas de poro entre 0.3 y 3nm.

Respecto a la absorción en materiales carbonosos, los estudios realizados incluyen una amplia variedad de ellos como: carbones activados, fibras de carbono activadas, nanotubos de carbono (mono capa y multicapa), nano fibras de carbono y materiales de carbono ordenados preparados usando sólidos inorgánicos. Los nanotubos de carbono despertaron gran interés a partir de los espectaculares resultados publicados por Chambers y col. En nano fibras de carbono, y por Dillon y col. En nanotubos de carbono. Los primeros publicaron un resultado de 67.55% en peso en nano fibras de carbono con estructura fishbone, y un 53.68% en peso para nano fibras con estructura platelet, a temperatura ambiente y 112 atmosferas. Pero todo esfuerzo por reproducir este resultado ha fracasado. Mas publicaciones han dado resultados, pero muchos de ellas no se pueden reproducir de manera satisfactoria, además de arrojar valores muy aleatorios, sin embargo, las nano fibras y nanotubos de carbón activado han dado valores más modestos, pero más consistentes y cada vez más favorables. (Guevara, 2018)

### **7.2.5 Almacenamiento Subterráneo de Hidrógeno Gaseoso**

Un caso especial de almacenamiento es el uso de grandes cavidades subterráneas, similares a las que actualmente se usan para almacenar el gas natural. El almacenamiento subterráneo de gas es común, y el almacenamiento de helio, que se difunde más rápidamente que el hidrógeno, se ha realizado de forma satisfactoria en Texas.

Para almacenamiento subterráneo es necesario una gran cueva o roca porosa con una capa de cierre impermeable. Una capa de roca saturada con agua es un buen ejemplo de capa de cierre. Otras posibilidades son pozos abandonados de gas natural, o cuevas realizadas por el hombre. Los dos métodos de almacenamiento subterráneo que son adecuados tanto para el hidrógeno como para el gas natural son el uso de cavidades usadas con anterioridad para la minería, y acuíferos vacíos. En el Reino Unido, en Tees Valley, una colina de sal, bajo un área urbana, se usa para almacenamiento hay un gaseoducto de distribución de 30 Km. Al igual que con el gas comprimido almacenado en contenedores, hay que tener en cuenta el colchón de gas que ocupa el volumen de almacenamiento subterráneo al final de cada descarga.

Los fabricantes de automóviles en los Estados Unidos se están apoyando en que el gobierno intensifique el apoyo a la infraestructura de hidrógeno, informa el servicio de noticias Bloomberg. Los fabricantes de automóviles, incluidos GM, Toyota, Honda, Daimler, Hyundai, Kia, Renault y Nissan, han hecho saber que esperan poder fabricar automóviles con celdas de combustible que funcionen con hidrógeno a costos competitivos para 2015; los primeros cuatro dicen que su objetivo inmediato es reducir el costo adicional de un automóvil de hidrógeno en comparación con un automóvil normal a \$ 3,600.

A principios de esta década, los principales fabricantes de automóviles de EE. UU. abandonaron los planes para implementar automóviles eléctricos después de que el gobierno de EE. UU. diera su apoyo entusiasta a la visión de una "economía de hidrógeno", una en la que los vehículos motorizados funcionarían con celdas de combustible, que resultó ser demasiado optimista. Este año, el secretario de Energía, Chu, recortó drásticamente los fondos para el desarrollo de autos de celdas de combustible, para cierta consternación, lo que llevó al Congreso a restaurar los fondos. El objetivo oficial de Alemania es tener 1.000 estaciones de servicio de hidrógeno para 2015, y en Japón, 13 empresas de petróleo y gas han unido sus fuerzas para desarrollar una infraestructura de servicio de hidrógeno. (Sweet, 2019)

El intercambio de baterías se ha vuelto muy parecido a las celdas de combustible de hidrógeno para los automóviles de pasajeros: son ideas automotrices que nunca nacen del todo, pero simplemente no morirán.

Aquí, en 2021, el cambio de batería en vehículos eléctricos se ha convertido en una idea especialmente mala. Es un callejón sin salida técnico y de mercado que parece más separar a los inversores verdes de su dinero que proporcionar una solución. Eso es a pesar de los crédulos informes de los medios que arrullan el espectáculo (ciertamente genial) de los robots que cambian las baterías de los automóviles como los grasientos Rube Goldberg, pero tienden a evitar hacer preguntas difíciles sobre cómo se supone que funciona en el mundo real.

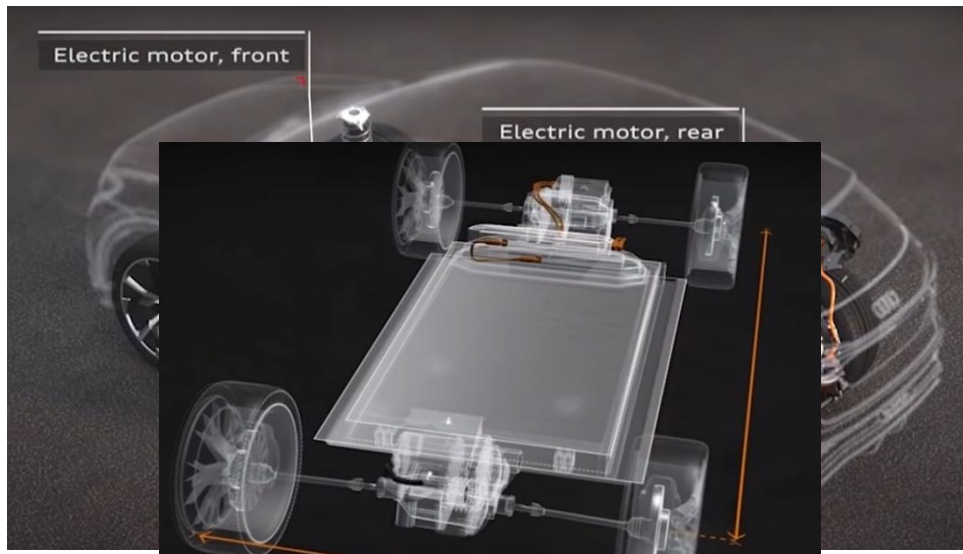
La problemática historia de la tecnología se remonta a Better Place, o en el caso contra el futuro del intercambio de baterías. Better Place, con sede en Israel, fundada en 2007 por el emprendedor Shai Agassi de Silicon Valley, prometió cambiar el mundo con estaciones de servicio robóticas que sacarían una batería de un automóvil y colocarían una nueva, ampliando su rango de conducción en una cuestión de minutos. En aquellos pintorescos días de vehículos eléctricos, con Tesla dando pequeños pasos con el Roadster (construido entre 2008 y 2011), el cambio de batería parecía ser una promesa nebulosa. La mayoría de los vehículos eléctricos novedosos (a excepción de Tesla) apenas podían superar los límites de la ciudad con una carga, incluido el Nissan Leaf 2011 y su alcance de 73 millas. Una vez que se agotó el alcance, apenas existía una carga pública confiable, como recuerdo de mis propios viajes ansiosos en San Francisco cuando probé el Leaf original y el BMW i3. Cuando encontró un enchufe que funcionaba, las baterías tardaron una eternidad en cargarse. La alternativa de Better Place, a través de un contrato con Renault, era el Fluence ZE 2011: un sedán eléctrico cuya batería vertical se comía el espacio del baúl y brindaba un rango de 80 millas. Pero esa batería podría pasar por el piso de Renault para ser cambiada en las estaciones Better Place en Israel y Dinamarca, agregando otras 80 millas en aproximadamente 10 minutos, en lugar de horas de recarga. (IEEE Spectrum )

## CAPÍTULO 8 Diseño de un Automóvil Eléctrico

La mayoría de la gente no tenemos idea del cómo va construido un automóvil y sus componentes, pero en este caso en particular veremos el equipado de las baterías, es decir como es el diseño que se trabaja de acuerdo con algunas marcas y su explicación.

Por lo general y en base a la investigación se hace un cierto control de baterías de acuerdo con lo que se va requiriendo, es decir, seleccionamos el modelo del vehículo y se le colocaran ciertas baterías en serie para poder tener una energía y cambiarla a potencia de movimiento. En lo general las baterías se ponen en la parte de en medio del vehículo para darle una estabilidad (una buena distribución de peso), hay modelos de vehículos que pueden requerir dos motores eléctricos para generar el movimiento y esto obviamente influye en el sistema de baterías que van en el vehículo. Cuando vemos los autos notamos un cierto parecido en cada uno, pero sin cambio en la parte de manufactura de la gestión de diseño de interiores o manejos de carrocerías nos daremos cuenta de que hay un gran cambio y que las similitudes van a bajar en su mayoría, nos quedarían muy pocas de acuerdo con las marcas o modelos que se trabajen en esa industria.

Este es uno de los modelos que se ha visto de esta empresa (Audi) en particular (ilustración 38), los diseños de cómo está construida y los componentes de un auto eléctrico, si bien nos muestra una carrocería totalmente ajustable para el apartado de un centro de carga aerodinámico y la colocación del panel de baterías que utiliza.



*Ilustración 38 Camioneta Audi Q4*



*Ilustración 39 Motores y Panel de Baterías*

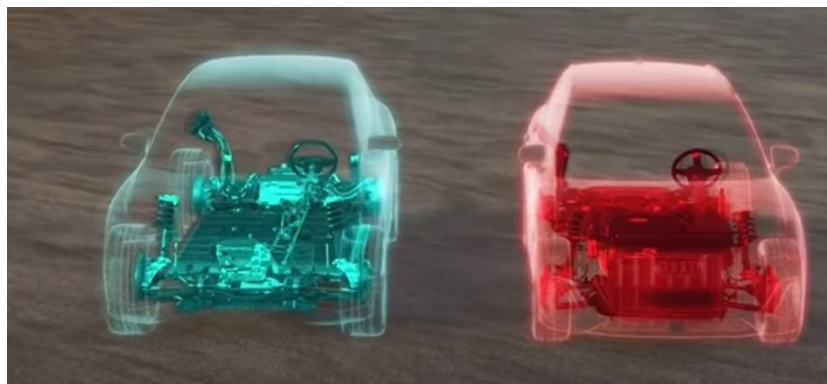
La ilustración 39 nos muestra el diseño de cómo van colocados los motores eléctricos, en este caso en particular trabaja con dos, ambos con capacidades de potencia alta en el desempeño para mejorar

el desempeño de tracción, la versatilidad que se le da a la sujeción de tracción en el circuito de ensamblado debe ser muy precisa para desarrollar la potencia que se le está dando a cada motor y ver que la eficiencia de energía eléctrica convertida a energía mecánica es la más eficiente que se podría tener en el futuro.

En esta ilustración (40) se trata de ver cómo van acoplando todo el mecanismo que lleva los autos eléctricos y las varias maneras de cómo están diseñados, es decir que todo va dependiendo del diseño de cada industria para que en cada uno de ellos tenga el mejor desempeño y la alta calidad que exige el cliente.

Lo radicalmente inexplicable para muchos es la comparación de dos sistemas que funcionan para lo mismo pero son ampliamente diferentes (ilustración 40), trabajan bajo una misma idea de movimiento, aunque sus características son de energía se trabajan distintamente, como la potencia de combustibles y la energía almacenada.

Cuando vemos una imagen que solo nos deja las características de este modelo podemos ver todo el espacio y las características que este conlleva, es por eso que la comparación con un auto eléctrico cambia en muchos aspectos, este tipo de vehículo tiende a ser más grande pero a también de espacios para las personas que lo ocupan más pequeños, por todos los elementos que tiene que

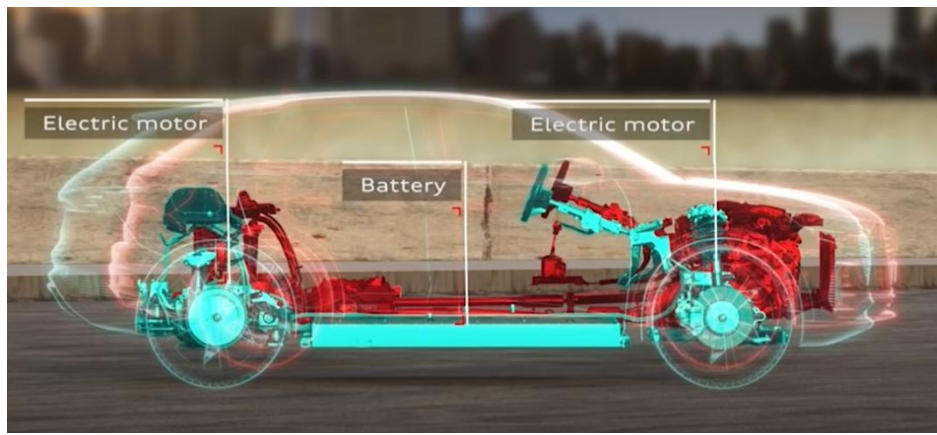


*Ilustración 40 Auto Eléctrico y Auto de Combustión Interna*

llevar y el acomodado de los mismo.

Nos muestran (ilustración 41) lo significativo que es el espacio en ambos modelos de la misma camioneta pero de sistemas diferentes, al reducir y quitar todo lo que utiliza un automovil de combustion interna se puede ampliar la comodidad de los pasajeros o incluso introducir algunos componentes que guste el cliente para su satisfaccion.

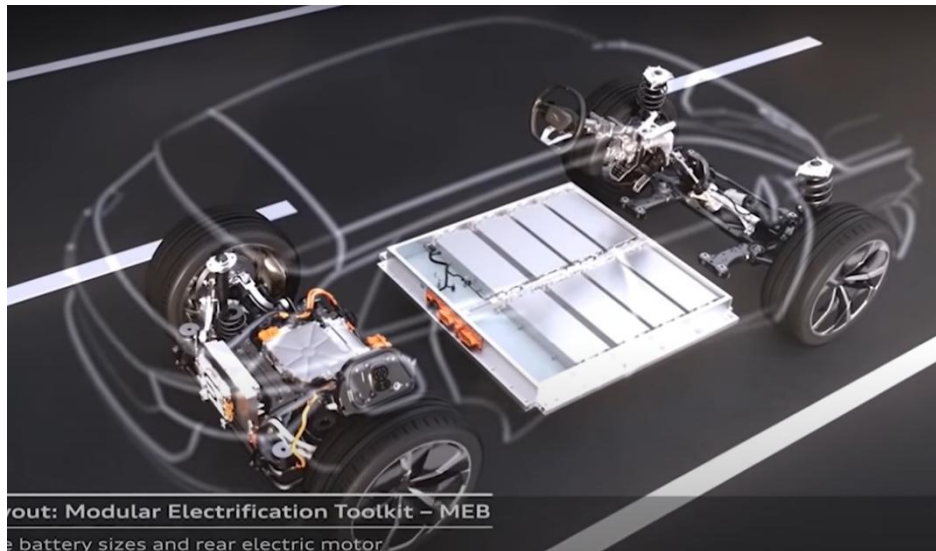
Como se menciona en su equipamiento de panel va construido de acuerdo a lo que requiere el modelo del vehiculo, es decir que este panel lleva las suficientes baterias para que cumpla todo lo que menciona la empresa, cabe señalar que de acuerdo a varias normas de la misma se fabrica de acuerdo a lo que va requiriendo, algunas de las baterias estan coformadas de litio y otros



*Ilustración 41 Comparación de Espacios*

componentes que no mencionan por el uso de su privacidad, en esta versio se utilizan dos motores electricos para una gran potencia de mover este vehiculo a velocidades establecidas y un arranque estupendo con su conduccion.

En esta version de vehiculo se puede ver el ahorro de espacio y la ampliacion de los asientos de los pasajeros para mayor comodidad(ilustración 42), resaltamos que tiene las mismas dimenciones que los autos de combustion interna pero en espacios si resalta bastante ya que solo van en posicion dos motores para tener tracción en las 4 ruedas y la equipacion del panel de baterias va en parte de la carroceria y de soporte para garantizar la resistencia deseada.



*Ilustración 42 Almacenado y Conexión de Baterías*

Se habla de que en este tipo de vehículos eléctricos una desventaja es que la podemos llamar así es el tipo de cableado que va en el vehículo y que su principal función es la conexión del panel al motor o los motores de acuerdo sea el caso, su alta potencia de electricidad requiere un rollo de cable grueso y el ser acoplado en el vehículo de acuerdo a las conexiones necesarias requiere de un manejo especial, se habla de que puede conducir más de 700 volts, nos muestra cómo va la conexión de motor con ruedas y vemos que dentro de esta misma llevan mecanismos sofisticados para que cumpla con lo que busca el cliente.

Cuando se tiene ya todo desarrollado dentro de la industria automotriz en relación a los autos híbridos vemos que sus características cambian de acuerdo a lo que cada uno busca, tiene muchas mejoras en sentidos que no tenemos ni idea pero son muy utilizables para el uso cotidiano, sin embargo por todos los componentes que lleva estos diseños de vehículos su costo puede ser un poco amplio, aunque nos puedan decir que esto va a llegar a nuestra vida cotidiana podría asegurarse eso pero realmente no sabemos en qué tiempo llegue.

## Conclusión

En la mayoría de los casos de los automóviles nos damos cuenta de su funcionamiento básico y de cómo están conformados en base de la historia, podemos fomentar y garantizar que no ha cambiado en el sistema de combustión en su funcionamiento pero si avanzamos en la tecnología y en otras fuentes de energía para una movilización y un menor consumo de combustibles, sin embargo en este tipo de industrias la mayoría está englobada en el consumo de clase media es decir menos vehículos de clase alta pero si un mayor rendimiento en consumo de clase media en ciertos porcentajes de dinero que es en lo que está basado.

Hablamos del avance tecnológico en específico la energía almacenada en diferentes tipos de generaciones y materiales para alcanzar un rendimiento alto y de calidad, si bien sabemos en la mayoría el avance tecnológico es indispensable, pero a su vez el principal problema de este cambia es el deterioro climático y buscar otra fuente sin contaminantes pero que nos dé el mismo rendimiento, satisfacción y requerimientos del cliente.

Cuando hablamos de vehículos eléctricos se piensa en un tipo de almacenamiento (baterías) para la construcción de este, que tenga las características que se requieren de acuerdo con la marca o modelo del vehículo, pensar en la movilidad y como generar esa fuerza para hacer funcionar motores eléctricos y hacer que el automóvil se mueva, es decir proporcionar energía en la cual podamos eliminar de a poco de combustibles.

Al parecer este tipo de tecnología, aunque ya está desarrollada es un poco costosa y por esa misma razón está un poco alto el estándar de poder adquirir un vehículo con cierta tecnología y que a base de nuestras necesidades y economía nos pueda alcanzar, pero si bien este será el futuro de la industria automotriz y el alcance que ha generado es extremadamente alto tanto en competencia económica como en desarrollo.

El punto más importante sin embargo es un alto paro a la contaminación que se vive en la actualidad, pero creo que se va avanzando mucho en tecnologías nuevas, la opinión sería, que tanto impacta esto en la tecnología al reciclar ciertos componentes o si estos podrán ser reutilizados ya que para eso nos estamos preparando, para poder bajar el mucho consumo de combustibles y que nuestro sistema de contaminación baje.

Sabemos que hay muchos tipos de baterías que en la industria maneja sin embargo hasta la fecha se siguen haciendo estudios de estas para ver su potencial máximo, que su contaminación sea mínima y que cumpla con las características que se requieren para poder vender lo que los clientes quieren.

Por el momento creo que llevamos una gran ventaja para este desarrollo aunque todavía hay dudas que surgen al paso de tiempo pero lo importante es el avance y recordar de cómo se partió y cuanto se ha avanzado, es buen momento para incrementar y garantizar de acuerdo a las industrias que es un paso muy grande que ya está dado pero que si al paso del tiempo en el desarrollo nos podrá alcanzar la capacidad de entender lo que estamos manejando con respecto a las altas tecnologías que inducen a un ser humano a pensar menos y no cautivar un sentido del saber qué es lo que ya está asentado.

## Bibliografía

- Andres, M. P. (2018). *Maqueta del sistema y funcionamiento de un inversor en vehículos híbridos*. quito, ecuador : quito.
- Costas, J. (25 de junio de 2009). *Motor Pasion* . Obtenido de Motor Pasion : <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-del-coche-hibrido-la-tecnologia-se-perfecciona>
- Dominguez, A. R. (2015). motores de combustion interna. En A. R. dominguez, *motores de combustion interna*. madrid: Univercidad nacional de educación a distancia.
- Gomez, V. (1 de diciembre de 2009). *Ecologistasen*. Obtenido de Ecologistasen: <https://www.ecologistasenaccion.org/16233/2-emisiones-de-co2-de-los-vehiculos-convencionales-e-hibridos/>
- Guevara, O. A. (Septiembre de 2018). *Universidad Veracruzana* . Obtenido de Universidad Veracruzana : [https://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS\\_20/Ingenieria%20de%20Petroleo%20y%20Gas/aguirreguevaraoscar2.pdf](https://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Ingenieria%20de%20Petroleo%20y%20Gas/aguirreguevaraoscar2.pdf)
- López, Á. I. (junio de 2015). *Universidad Carlos III de Madrid* . Obtenido de Universidad Carlos III de Madrid : [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23352/TFG\\_Alvaro\\_Iniesta\\_Lopez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23352/TFG_Alvaro_Iniesta_Lopez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ordoñez, C. P. (mayo de 2011). Estudio de baterias para vehículos híbridos . Madrid , Universidad carlos III de Madrid , españa .
- Paredes, C. R. (enero de 2006). Revista: Caribeña de Ciencias Sociales. *ANÁLISIS ÉTICO EN EL CAMPO DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL AUTOMOTRIZ(2254-7630)*. Obtenido de <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/05/contaminacion-ambiental-automotriz.html>

- Quito, S. (18 de marzo de 2011). *Site*. Obtenido de Site :  
<https://sites.google.com/site/vehiculoshibridosparcial/historia>
- S.N. (17 de junio de 2022). *Volkswagen* . Obtenido de Volkswagen :  
[https://www.vw.com.mx/es/experiencia/innovacion/que-es-un-auto-hibrido.html#:~:text=A%20un%20auto%20se%20le,\(hasta%20dos\)%20motor%20el%C3%A9ctrico.](https://www.vw.com.mx/es/experiencia/innovacion/que-es-un-auto-hibrido.html#:~:text=A%20un%20auto%20se%20le,(hasta%20dos)%20motor%20el%C3%A9ctrico.)
- S.N. (25 de mayo de 2022). *Volkswagen*. Obtenido de Volkswagen:  
<https://www.vw.com.mx/es/experiencia/way-to-zero/autos-electricos/que-es-auto-electrico.html>
- Simon* . (10 de enero de 2019). Obtenido de simon : <https://www.simonelectric.com/blog/el-vehiculo-electrico-elementos-principales-y-funcionamiento>
- Sweet, B. (12 de octubre de 2019). *IEEE Spectrum*. Obtenido de IEEE Spectrum:  
<https://spectrum.ieee.org/us-car-makers-push-for-hydrogen-infrastructure->
- Ulrich, L. (13 de mayo de 2021). *IEEE Spectrum* . Obtenido de IEEE Spectrum :  
<https://spectrum.ieee.org/ev-battery-swapping-how-is-this-a-good-idea>