

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA, TITULACIONES DE  
INGENIERÍA INDUSTRIAL

## **TRABAJO DE FIN DE GRADO**

# **INTEGRAR UN NUEVO SISTEMA DE ENERGÍA Y ELECTRÓNICA EN VOLKSWAGEN POLO COUPE**

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

**Autor: Eloy Enrique García Guillermo**

**Tutor: Manuel Rodríguez Valido**

**Convocatoria de Julio del curso 2023/2024**

# Dedicatoria y agradecimientos

En primer lugar, agradezco hoy y siempre a mis familiares por el esfuerzo que han realizado a lo largo de mi vida, ayudándome en todo momento e inspirándome a continuar avanzando hacia el futuro. El apoyo en mis estudios, que sin ellos hubiese sido imposible. Especial mención a mi madre, mi abuela Ismael y demás familiares ya que me brindan un apoyo constante y me dan la fortaleza necesaria para cumplir con mis objetivos a pesar de las dificultades.

Agradecimiento al profesor Manuel Rodríguez Valido, por la colaboración brindada en la revisión y corrección del presente documento. Así como el gran apoyo que supuso para sacar adelante este proyecto, sin su invaluable ayuda hubiese sido imposible elabroarlo.

Le dedico mi trabajo en primer lugar a mi madre, a quién le debo toda mi vida. En segundo lugar, a mi abuela, quien junto a mi madre me crio y enseñó numerosas cosas. Les agradezco el cariño y su comprensión.

A mis profesores, gracias por su tiempo, apoyo y por la sabiduría que me han transmitido en el desarrollo de mi formación profesional.

# Hoja de datos e identificación

## Título del proyecto

Integrar un nuevo sistema de energía y electrónica en Volkswagen Polo

## Datos del Autor del Proyecto

Apellidos: García Guillermo

Nombre: Eloy Enrique

DNI: 43852455B

Teléfono: 659242598

Correo electrónico: [alu0101340593@ull.edu.es](mailto:alu0101340593@ull.edu.es)

## Datos de la Universidad

Nombre: Universidad de La Laguna

Facultad: Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Dirección: Avenida Astrofísico Francisco Sánchez

Teléfono: 922316502

## Responsable de la tutoría del proyecto

Nombre: Manuel Rodríguez Valido

Correo electrónico: [mrvalido@ull.edu.es](mailto:mrvalido@ull.edu.es)

# Índice de contenidos

## Contenido

1	Introducción .....	15
1.1	Motivación .....	16
1.2	Objetivos .....	17
1.3	Metodología de Trabajo y Medios Empleados .....	18
1.4	Estructura de la Memoria .....	20
2	Estado del Arte .....	22
2.1	Historia de los coches eléctricos .....	22
2.2	Definición de Coche Eléctrico y Tipos .....	26
2.2.1	Vehículos Eléctricos a Batería (BEV) .....	26
2.2.2	Vehículos Híbridos Enchufables (PHEV) .....	27
2.2.3	Vehículos Híbridos No Enchufables (HEV) .....	27
2.2.4	Vehículos Eléctrico de Pila de Combustible (FCEV) .....	28
2.3	Ventajas y Desventajas del Coche Eléctrico .....	29
2.4	Diferencias con los Coches de Combustión Interna .....	30
2.5	Componentes que integran los Coches Eléctricos .....	32
2.5.1	Motores Eléctricos .....	33
2.5.2	Baterías .....	36
2.5.3	Sistemas de Gestión de Batería (BMS) .....	39
2.5.4	Inversor/Driver .....	39
2.5.5	Convertor Auxiliar .....	40
2.5.6	Controlador o Unidad de Control Electrónico (ECU) .....	40
2.5.6	Cargador y Conexión de Carga .....	41
2.5.7	Servofreno Eléctrico .....	44
		4

3	Análisis del Marco Normativo .....	46
3.1	España .....	46
3.2	Francia .....	47
3.3	Italia.....	49
4	Análisis y Diseño del Sistema.....	53
4.1	Motor AC .....	53
4.2	Cargador .....	54
4.3	Driver de Continua a AC .....	56
4.4	Convertor DC-DC .....	57
4.5	Baterías.....	58
4.5.1	Dimensionamiento .....	58
4.5.2	Selección Final y Ubicación.....	58
4.5.3	Conexión Entre Celdas y Módulos.....	62
4.6	BMS .....	64
4.6.1	Dimensionamiento y Ubicación.....	67
4.6.2	Programación Parámetros de Batería .....	68
4.6.3	Sensores de Temperatura .....	71
4.6.4	Activación del BMS con la Llave de Coche .....	71
4.6.5	BMS Alternativo Flexible.....	72
4.7	Pantalla de Monitorización .....	76
5	Resultados de la implementación .....	80
5.1	Comparación del Sistema Anterior con el Actual Sistema .....	80
5.2	Imágenes del Resultado Final.....	82
6	Conclusiones .....	89
7	Bibliografía.....	92
8	Anexos.....	97

Anexo 1: ¿Qué es GLP? .....	97
Anexo 2: ¿Qué impide la adopción total de los coches eléctricos?....	97
Anexo 3: ¿Qué es un Retrofit?.....	97
Anexo 4: Procedimiento para Actualizar el Sistema de Baterías e Instalación de Accesorios .....	98
Anexo 5: Datasheet.....	102

## Ilustraciones

Ilustración 1: Triciclo de Trouvé .....	22
Ilustración 2: Resumen de la evolución del coche eléctrico, desde el motor eléctrico (1828) hasta un concepto más parecido al actual (1928) .....	23
Ilustración 3: Anuncio del AMC Amitron.....	24
Ilustración 4: Ventas de vehículos eléctricos desde 2015 hasta 2023 y previsiones para 2024. Fuente BloombergNEF .....	24
Ilustración 5: Porcentaje de vehículos de motor producidos por regiones. Fuente ACEA .....	25
Ilustración 6: Eficiencia en los vehículos eléctricos vs biocombustibles. Fuente: T&E .....	26
Ilustración 7: Esquema de alimentación y funcionamiento del BEV .....	26
Ilustración 8: Esquema de alimentación y funcionamiento del PHEV ....	27
Ilustración 9: Esquema de alimentación y funcionamiento del HEV .....	27
Ilustración 10: esquema de diferencias entre los HEV y PHEV. Fuente: Endesa .....	28

Ilustración 11: Esquema del funcionamiento de una pila de combustible. Fuente: Wikipedia.....	28
Ilustración 12: Esquema de alimentación y funcionamiento del FCEV. Fuente: ABC.....	29
Ilustración 13: Comparación de tamaño y piezas de eléctrico vs combustión. Fuente: Antala.....	30
Ilustración 14: Grafico Par-rpm de un coche combustión (Nissan 1.6) vs eléctrico (Nissan Leaf). Fuente: forococheselectricos .....	31
Ilustración 15: Grafico Potencia-rpm de un coche combustión (Nissan 1.6) vs eléctrico (Nissan Leaf). Fuente: forococheselectricos.....	31
Ilustración 16: Esquema general sobre los componentes de un vehículo con motor DC. Fuente: Endesa .....	32
Ilustración 17:Esquema general sobre los componentes de un vehículo con motor AC. Fuente: Endesa .....	33
Ilustración 18: Componentes del motor eléctrico. Fuente: AutoBild.....	33
Ilustración 19: Componentes del motor eléctrico. Fuente: Forococheseléctricos.....	34
Ilustración 20: Esquema motor DC con escobillas. Fuente: juntadeandalucia .....	34
Ilustración 21: Esquema motor DC sin escobillas. Fuente: ResearchGate .....	35
Ilustración 22: Esquema del funcionamiento del motor AC (efecto brújula) .....	35
Ilustración 23: Motor síncrono Renault Zoe (65 KW). Fuente: Forococheseléctricos.....	36

Ilustración 24: Motor asíncrono Renault Twizy(65 KW y 220 Nm). Fuente: movilidadelectrica .....	36
Ilustración 25: Sistema de gestión de batería empleado en el coche ....	39
Ilustración 26: Inversor usado en el coche eléctrico .....	40
Ilustración 27: Conversor de tensión instalado en el coche eléctrico.....	40
Ilustración 28: Ejemplo de controlador. Fuente: Infotaller .....	41
Ilustración 29: Esquema de carga AC y DC.....	42
Ilustración 30: Cargador instalado en el choche eléctrico.....	42
Ilustración 31: Ejemplo de conector tipo 1. Fuente: Carnow.....	43
Ilustración 32: Ejemplo de conector tipo 2. Fuente: LugEnergy.....	43
Ilustración 33: Ejemplo de conector tipo 3. Fuente: Electromivilidad .....	43
Ilustración 34: Ejemplo de conector combinado. Fuente: flamesmedia .	43
Ilustración 35: Ejemplo de conector CHAdeMO. Fuente: eCONEQ .....	43
Ilustración 36: Ejemplo de Servofreno Eléctrico. Fuente: Km77 .....	44
Ilustración 37: Componentes instalados en el coche eléctrico. Fuente: Electroconversiones .....	53
Ilustración 38: Motor AC HPQ7.5 72V .....	54
Ilustración 39: Cargador CH4100 72V 25A.....	56
Ilustración 40: Dimensiones del CH4100 72V 25A .....	56
Ilustración 41: Controlador AC de 72V 400A .....	57
Ilustración 42: Conversor DC-DC 72/12V-30A.....	58

Ilustración 43: Comparativa distintas baterías de Ion Litio.....	60
Ilustración 44: Conexión interna entre celdas .....	61
Ilustración 45: Foto del maletero del coche .....	62
Ilustración 46: Foto de los módulos ubicados en el maletero .....	62
Ilustración 47: Pletina de cobre y níquel empleadas.....	63
Ilustración 48: Cables de cobre flexibles para la conexión entre módulos .....	63
Ilustración 49: Cables flexibles implementados .....	63
Ilustración 50: Dimensiones de las pletinas .....	64
Ilustración 51: Kit de Linear .....	65
Ilustración 52: BMS empleado .....	66
Ilustración 53: SOA en función del voltaje .....	67
Ilustración 54: SOA en función de la temperatura .....	67
Ilustración 55: Dimensiones del BMS 32S .....	68
Ilustración 56: Interfaz de la aplicación y opciones de configuración.....	69
Ilustración 57: Parámetros que se pueden configurar .....	69
Ilustración 58: Captura de pantalla de aplicación .....	70
Ilustración 59: Captura de pantalla mostrando varios parámetros.....	70
Ilustración 60: Foto de la placa Linduino One .....	73
Ilustración 61: Foto de la placa DC2260A (LTC6811G-2).....	73
Ilustración 62: Puertos Ethernet RJ45 .....	73

9

Ilustración 63: Cable flexor que comunica las placas .....	74
Ilustración 64: Conexión entre el Linduino One y el DC2260A .....	74
Ilustración 65: Aplicación proporcionada por Linear .....	75
Ilustración 66: Aplicación de Linear en funcionamiento .....	75
Ilustración 67: Código para el Linduino y las librerías [42].....	75
Ilustración 68: Dimensiones de la pantalla.....	76
Ilustración 69: Captura de la pantalla en modo velocímetro .....	77
Ilustración 70: Captura de la pantalla en modo voltaje y estado de reserva de batería .....	77
Ilustración 71: Captura de la pantalla en modo voltaje por celda 1.....	77
Ilustración 72: Captura de la pantalla en modo voltaje por celda 2.....	77
Ilustración 73: Captura de pantalla en modo estado del BMS .....	78
Ilustración 74: Foto de la ubicación final de la pantalla.....	78
Ilustración 75: Batería de AGM.....	81
Ilustración 76: Batería de ferrofosfato y litio.....	81
Ilustración 77: Ubicación de 2 baterías (junto al motor).....	81
Ilustración 78: Ubicación de 2 baterías (maletero).....	81
Ilustración 79: Foto del aspecto final del capó del coche.....	82
Ilustración 80: Batería auxiliar para el encendido del coche .....	83
Ilustración 81: Esquema eléctrico de la conexión entre componentes hecho en ordenador .....	83

Ilustración 82: Ubicación final de los módulos .....	84
Ilustración 83: Ubicación final del BMS.....	84
Ilustración 84: Imagen general de la instalación, primeras pruebas de funcionamiento .....	85
Ilustración 85: Resultados después de las pruebas y sin sujetar los elementos.....	86
Ilustración 86: Resultado final de la instalación .....	86
Ilustración 87: Fotos de la prueba final .....	87
Ilustración 88: Foto del coche después de hacer las pruebas finales ....	87
Ilustración 89: Sujeción del sistema de baterías anterior.....	99
Ilustración 90: Foto de la tabla antes de fijarla al maletero del coche..	100
Ilustración 91: Aspecto final de la instalación .....	100
Ilustración 92: Sensor de temperatura instalados .....	101

## Tablas

Tabla 1: Elementos con funciones similares entre ambos coches.....	31
Tabla 2: Comparativa entre baterías.....	37
Tabla 3: Especificaciones motor AC HPQ7.5 72V .....	54
Tabla 4: Especificaciones del cargador .....	55
Tabla 5: Tablas de características de las distintas baterías de Ion Litio	59
Tabla 6: Tabla final (en porcentaje) de datos de distintas baterías de Ion Litio.....	60



# Resumen

Este documento detalla el proceso de investigación e implementación de los componentes para actualizar el sistema de energía de un coche eléctrico, reemplazando las antiguas baterías de gel por unas nuevas de la tecnología de ion-litio junto a su respectivo BMS. Esta mejora tiene como objetivo mejorar el rendimiento y facilitar el proceso de instalación para una futura actualización.

Además, se incluirá en esta memoria una explicación de la historia de los coches eléctricos desde sus inicios hasta la actualidad, así como una descripción de los tipos de vehículos eléctricos existentes en el mercado y sus componentes, comparándolos con los vehículos de combustión interna.

Se llevará a cabo un análisis del marco normativo en tres países diferentes: España, donde la legalización del retrofit en vehículos sigue siendo un tema complejo y no está claramente regulado; Francia, donde es necesario obtener autorización, cumplir con normas de seguridad e instalar un kit homologado; e Italia, que ha adoptado una postura más activa y progresista respecto a los anteriores.

Se continuará analizando y explicando el sistema de propulsión del coche, detallando las características de cada parte y evaluando las diferentes opciones de baterías disponibles en el mercado.

Finalmente, se presentará una comparación entre el sistema de energía anterior y el actual, mostrando imágenes del resultado final y concluyendo con los objetivos cumplidos y con que se logró la instalación sin mayores inconvenientes.

**Palabras clave:** coche eléctrico, retrofit, baterías de ion-litio, BMS, marco normativo.

# Abstract

This document details the research and implementation process of components to upgrade the energy system of an electric car, replacing the old gel batteries with new lithium-ion technology batteries along with their respective BMS. This enhancement aims to improve performance and simplify the installation process for future upgrades.

Furthermore, this report will include an explanation of the history of electric cars from their beginnings to the present, as well as a description of the types of electric vehicles available in the market and their components, comparing them to internal combustion vehicles.

An analysis of the regulatory framework will be conducted in three different countries: Spain, where the legalization of vehicle retrofitting is still a complex and not clearly regulated issue, requiring homologation; France, where authorization is required, safety standards must be met, an approved kit must be installed, modifications made, and certification obtained; and Italy, which has taken an active and progressive stance to incentivize the fight against climate change and improve air quality in its cities.

The propulsion system of the car will continue to be analyzed and explained, detailing the characteristics of each part and evaluating the different battery options available in the market.

Lastly, a comparison between the previous and current energy system will be presented, showing images of the final result and concluding with the achieved objectives and successful installation without major issues.

**Keywords:** electric car, retrofit, lithium-ion batteries, BMS, regulatory framework.

# 1 Introducción

La industria en general, concretamente el transporte afecta considerablemente al cambio climático. Actualmente es uno de los problemas más importantes a nivel Mundial, considerado como un riesgo sistémico que afecta a la actividad productiva y a las economías de todos los países y salud de las personas [1]. En este sentido, Tanto los sectores públicos como los privados están orientando sus actividades hacia una economía baja en carbono, en respuesta a la transición del patrón energético mundial. Se estima que, si las emisiones de gases de efecto invernadero continúan al ritmo actual, las temperaturas atmosféricas seguirán aumentando y podrían superar los **dos grados Celsius** respecto a la temperatura preindustrial, lo que provocaría consecuencias devastadoras como el deshielo de la Antártida y Groenlandia, subidas del nivel del mar y climatología extrema.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Kioto, París y Arabia Saudi) han intentado estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera para prevenir interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático mediante la búsqueda de acuerdos entre los países miembros. Para hacer un mundo más sostenible. En este sentido, los vehículos eléctricos se posicionan como la alternativa principal en la industria transporte, siendo imprescindible para garantizar la sostenibilidad y reducir las emisiones de gases contaminantes [2]. Ante la prohibición de la Unión Europea de vender coches de combustión a partir de 2035, las marcas están adaptando sus estrategias para incluir sistemas eléctricos en sus modelos. Es importante que tanto los consumidores como las empresas comiencen a considerar las opciones disponibles en el mercado, no solo en la compra de nuevos vehículos eléctricos, sino también en la conversión de automóviles de combustión interna en eléctricos.

En la actualidad, los vehículos eléctricos tienen precios poco competitivos en comparación con los vehículos impulsados por combustibles tradicionales como el diésel y la gasolina, lo que ha limitado la capacidad de los usuarios para

adquirirlos. Ante esta situación muchos usuarios están optando por convertir sus coches de gasolina a GLP (Gas licuado) o transformarlos en vehículos eléctricos a través del **retrofit** [3]. Empresas y talleres como EVTech, RetrofitCar o Green Motors especializados ofrecen esta opción a precios atractivos, permitiendo a los usuarios disfrutar de los beneficios de la movilidad eléctrica sin tener que invertir en la compra de un nuevo coche eléctrico. Esta tendencia en crecimiento promete ser una alternativa accesible para aquellos interesados en la movilidad eléctrica.

El retrofit presenta una alternativa que consiste en adquirir un coche eléctrico antiguo o de segunda mano, ya sea comercial o mediante un proceso de modificación con el fin de actualizar su sistema motriz y hacer más eficiente el sistema de energía actual. Se describirá la instalación y las conexiones necesarias para asegurar el correcto funcionamiento del nuevo sistema eléctrico.

## 1.1 Motivación

Este proyecto nace de la inquietud y curiosidad personal acerca de las tecnologías del coche eléctrico. Y como ingeniero quiero contribuir a favorecer el desarrollo de nuevas tecnologías e innovaciones. En definitiva, contribuir a un mundo más sostenible con el medio ambiente.

De la lista de ideas y propuestas de proyectos ofertados (TFG) vi una propuesta titulada “Integrar un nuevo sistema de energía y electrónica en volkswagen polo coupe” donde vi la oportunidad de poder diseñar/estudiar un conjunto de componentes y procesos que permitan la actualización de un sistema de gestión, almacenamiento y alimentación eléctrica a un coche de combustión interna relativamente antiguo que fue convertido a eléctrico, de manera que, por un lado puede ser implementado en otros coches de similares características y por otro cubrir mis inquietudes.

Por otro lado, resulta interesante analizar el papel que desempeña el coche eléctrico en la lucha contra el cambio climático, especialmente a la luz de

los informes y estudios que advierten sobre las graves consecuencias de la contaminación y el calentamiento global. En la actualidad, los vehículos de combustión se ven cada vez más presionados para cumplir con regulaciones más estrictas, lo que afecta principalmente a los vehículos más antiguos. Ante este panorama, surge la propuesta de convertir estos vehículos a eléctricos como una posible solución para prolongar su vida útil. Es fundamental analizar si la electromovilidad realmente representa el futuro de la conducción y qué obstáculos habría que superar para su implementación a gran escala.

Dentro de todo este contexto la elección de desarrollar este proyecto responde a tres circunstancias principales: la primera consiste en el estudio de la complejidad y viabilidad de realizar la actualización del sistema de energía del coche eléctrico; en cuanto a la segunda se busca conocer y comprender todos los sistemas que intervienen en ambos tipos de vehículos, es decir, los que usan combustibles fósiles y los eléctricos; y como circunstancia final se quiere aplicar todos los conocimientos de diversas materias a un proyecto real.

## 1.2 Objetivos

El objetivo primordial de este proyecto es actualizar el sistema de energía actual de un vehículo eléctrico (baterías de Gel) a uno nuevo basado en la tecnología de litio. Para ello se actualizará la electrónica de control del sistema de almacenamiento para la gestión de las baterías y del nuevo método de recarga, haciendo uso de un BMS. Con ese objetivo en mente se busca explicar el diseño para la conversión de un Volkswagen Polo Coupé a eléctrico y en especial la integración del nuevo sistema de energía basado en la tecnología de Ion-Litio.

Como objetivo de aprendizaje personal, se busca aplicar los principios de electrónica estudiados a lo largo del grado para llevar a cabo una implementación práctica en un caso real, incluyendo el diseño y ajuste de los componentes a implementar. Además, se pretende estudiar las diferencias entre los sistemas de

combustión interna y de tracción eléctrica, así como identificar y comprender todos los elementos que los componen.

### 1.3 Metodología de Trabajo y Medios Empleados

En este apartado se describe el procedimiento seguido al desarrollar la memoria y el proyecto en sí.

Para desarrollar este proyecto de manera exitosa, es imprescindible realizar un estudio detallado de las características de las baterías de litio, su proceso de recarga y el funcionamiento de los motores eléctricos, clave para determinar el rendimiento y la eficiencia del vehículo. Además, es fundamental tener en cuenta la normativa actual sobre vehículos eléctricos, ya que puede afectar el desarrollo e implementación del proyecto. Se debe analizar cómo estas normativas afectan el diseño y funcionamiento del vehículo, identificando posibles restricciones regulatorias que puedan influir en el proceso de desarrollo, garantizando el cumplimiento de todas las normativas y requisitos correspondientes.

Para llevar a cabo esta investigación, el método se basa en:

- Revisión bibliográfica: investigar acerca del Retrofit y baterías a través de la consulta de una variedad de recursos como libros, informes, videos y fuentes disponibles en la universidad, webs. Se dará especial énfasis a los archivos proporcionados por el fabricante (data sheets), los cuales detallan la instalación de componentes y su funcionamiento. Es esencial adquirir conocimientos sobre vehículos eléctricos, motores de combustión y las diferencias entre ellos, así como comprender los elementos relacionados y las soluciones actualmente disponibles en el mercado.
- Consultas: preguntar a personas involucradas en el sector y que ya hayan trabajado en proyectos similares para conseguir información, guías, consejos e ideas como línea de partida. Hacer entrevistas por medio de correo electrónico con personas que tengan y hallan restaurado un Polo

Coupe similar para conseguir manuales y planos. Contactar con empresas de conversión para informarse de los procesos que llevan a cabo y los inconvenientes de este proceso.

- Diseño: Se buscan diseños de vehículos similares al que se piensa implementar a modo de guía a seguir para facilitar el proceso de adaptación, así como buscar alternativas de baterías, BMS y demás componentes
- Uso de diferentes herramientas: utilizar diversos programas informáticos para ayudar a comprobar y solucionar los problemas. En este caso, se ha empleado el programa “MY-BMS” para ajustar los parámetros de las baterías y las configuraciones del BMS. En adición se han empleado otras herramientas proporcionadas por el fabricante.

El primer paso para ejecutar este proyecto es conocer bien el coche, entender su funcionamiento e interpretar los datos técnicos para poder así establecer las diferencias más claras entre un coche de combustión y otro eléctrico. Una vez identificados los elementos de los que se compone un vehículo eléctrico, se debe saber analizar los parámetros de diseño que necesitará el vehículo: conocer las relaciones entre batería y motor, así como la potencia de motor y la capacidad de frenado, la alimentación, etc. Todo ello está relacionado y para el diseño se deben estudiar las fuerzas a las que se ve sometido el vehículo y a las que tiene que hacer frente.

A continuación de la explicación de todos los elementos, se desarrollarán diferentes alternativas al diseño estudiado demostrando que no hay una única solución al proyecto y cada una de ellas es diferente. Sin embargo, un paso muy importante es la homologación del nuevo sistema eléctrico. Hoy en día en España, la legislación restringe considerablemente la capacidad de realizar cambios en los vehículos debido a las grandes restricciones y requisitos exigidos en los procesos de homologación. Por tanto, un elemento clave a tener en cuenta durante el diseño son los límites establecidos por las directivas establecidas para las reformas realizadas en vehículos.

## 1.4 Estructura de la Memoria

Esta memoria se estructura en siete capítulos, en primer lugar, tenemos una introducción general donde definimos el contexto de este TFG, la motivación que dio origen al proyecto y los objetivos que se persiguen.

En el siguiente capítulo, se realiza una breve revisión del estado del arte en cuanto a los coches eléctricos. Se aborda la historia de estos vehículos, se definen sus ventajas y desventajas en comparación con los coches de combustión interna, así como una descripción general de los componentes.

En el tercer capítulo revisaremos la normativa aplicable en España, Francia e Italia, con el objetivo de analizar el marco jurídico que regula el uso y la comercialización de coches eléctricos en estos países.

En el capítulo 4 presentamos nuestros análisis y diseños realizados, detallando las diferentes etapas y procesos llevados a cabo para la implementación del proyecto.

A continuación, pasamos a presentar en el capítulo titulado “Resultados de la Implementación” una comparativa entre el sistema antiguo y el actual, ofreciendo un análisis detallado de las mejoras y cambios implementados. Además, se incluye un apartado de imágenes que muestran la implementación realizada, acompañadas de comentarios explicativos.

Por último, el capítulo final de la memoria se dedica a las conclusiones obtenidas a partir del desarrollo del TFG, destacando los logros alcanzados y las posibles líneas de investigación futuras. Además, se incluye la bibliografía consultada durante la elaboración de la memoria.



## 2 Estado del Arte

### 2.1 Historia de los coches eléctricos

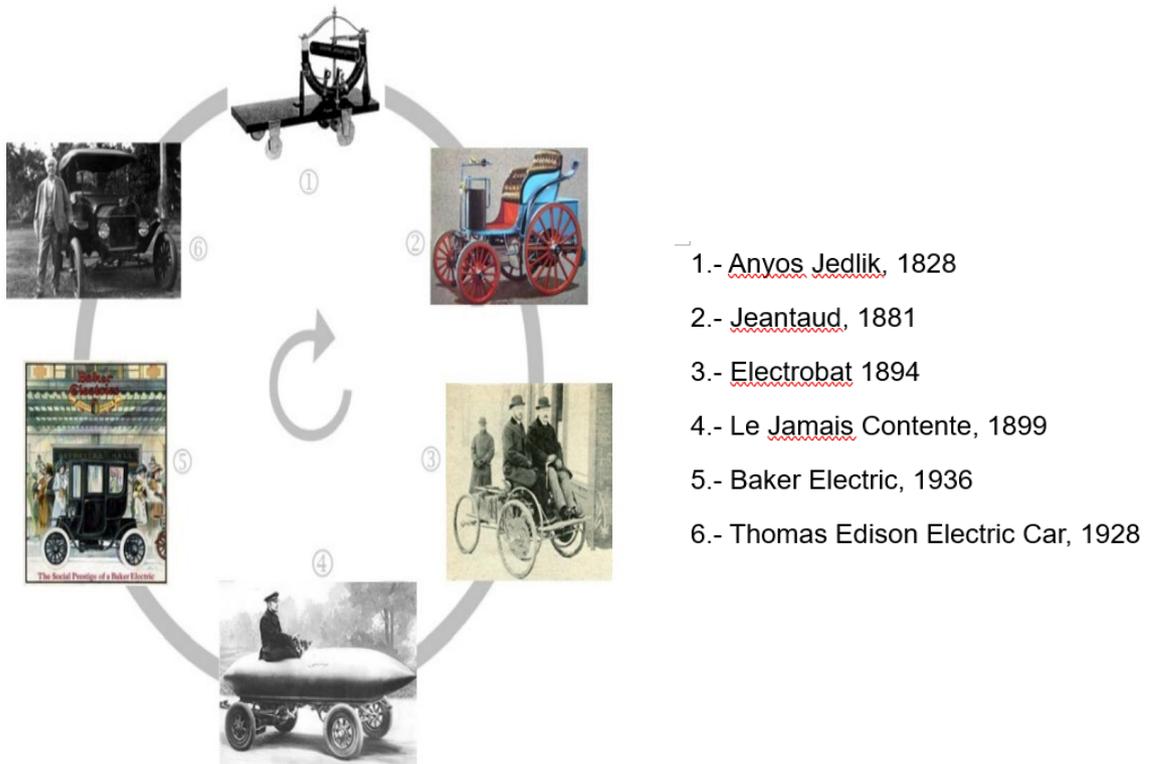
La historia del automóvil eléctrico se remonta al siglo XIX, cuando inventores como Joseph Henry y Thomas Davenport comenzaron a experimentar con motores de corriente continua. Robert Davidson creó el primer vehículo eléctrico disponible para su uso en 1837 y que contaba con una batería de hierro-zinc-mercurio que no era recargable, seguido por otros inventos como el coche eléctrico de Moses Farmer en 1847 (uno de los primeros coches de dos pasajeros) y Charles Page en 1851 (capaz de alcanzar los 35 Km/h). Gaston Plante desarrolló la primera batería recargable de plomo-ácido en 1859, sentando las bases para la creación de coches eléctricos prácticos. Estas baterías fueron mejoradas en 1880 por Camille Alphonse lo que permitió en 1881 la creación del triciclo eléctrico de Gustave Trouvé, siendo este el considerado primer vehículo eléctrico [5].



*Ilustración 1: Triciclo de Trouvé*

En los primeros años del siglo XX, los coches eléctricos compitieron con los vehículos de vapor y de gasolina. En este siglo los vehículos eléctricos estaban bien posicionados en el mercado y disponían como ventajas que no generaban vibraciones, producían un menor ruido y no requerían de caja de cambios, pero como desventaja tenían una menor autonomía. La falta de infraestructuras eléctricas frente a la facilidad de encontrar estaciones de reabastecimiento de combustible y el invento del arranque eléctrico en 1912

contribuyeron al declive de los vehículos eléctricos en favor de los de combustión interna. Con la producción en masa del Model T de Ford [5] y el descubrimiento de abundantes yacimientos de petróleo, los coches de gasolina se popularizaron y los eléctricos cayeron en desuso.



*Ilustración 2: Resumen de la evolución del coche eléctrico, desde el motor eléctrico (1828) hasta un concepto más parecido al actual (1928)*

Durante gran parte del siglo XX, los automóviles eléctricos se mantuvieron en un segundo plano, con poca atención por parte de la industria y los consumidores (como el AMC Amitron). Sin embargo, a partir de la década de 1990, con la preocupación creciente por el medio ambiente y la eficiencia energética (California aprobó el Mandato sobre Vehículos de Emisiones Cero), los vehículos eléctricos volvieron a ganar popularidad.



Ilustración 3: Anuncio del AMC Amitron

En la actualidad, con el avance de la tecnología de las baterías y la mayor conciencia sobre el cambio climático, los vehículos eléctricos han experimentado un resurgimiento y están ganando terreno en el mercado automovilístico [6]. Grandes empresas automotrices como Tesla, Nissan, Chevrolet y BMW, entre otras, han apostado por el desarrollo y fabricación de vehículos eléctricos, lo que ha contribuido a su crecimiento y aceptación por parte de los consumidores.

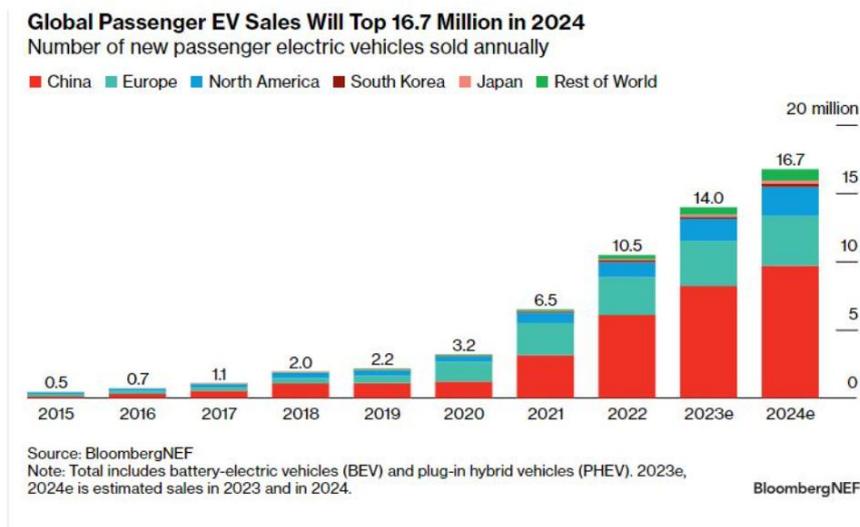
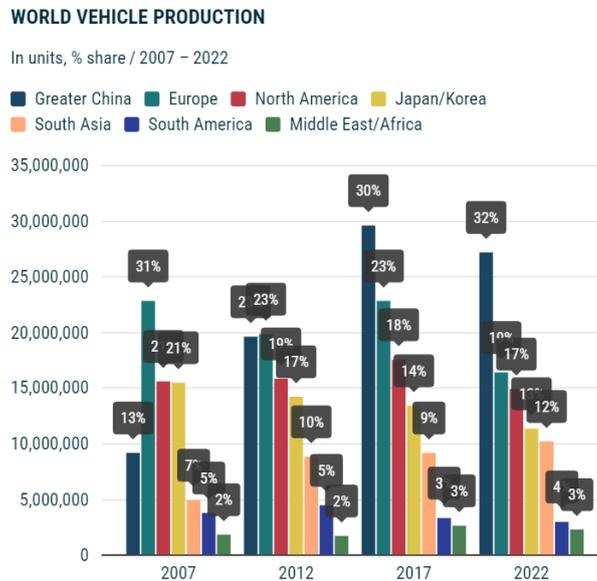


Ilustración 4: Ventas de vehículos eléctricos desde 2015 hasta 2023 y previsiones para 2024. Fuente BloombergNEF

A lo largo de la historia, se ha observado un aumento constante en la producción de vehículos de combustión interna, lo que ha contribuido al incremento de la contaminación ambiental. Es importante mencionar el notable crecimiento experimentado por la industria automotriz en Asia, en particular en China. En 2002, China representaba menos del 10% de la producción mundial

de vehículos, en 2017 alcanzó el 30% y en 2022 llegó al 32% solo en China. La transición hacia los vehículos eléctricos transformará por completo el sector automotriz y aquellas empresas que no estén preparadas podrían quedar fuera del mercado, incluso aquellas con una larga historia en el sector.



*Ilustración 5: Porcentaje de vehículos de motor producidos por regiones. Fuente ACEA*

La industria automotriz se enfrenta a desafíos significativos. Los fabricantes de automóviles están conscientes de que el futuro implica la electrificación de sus vehículos, pero este cambio no será fácil. Después de más de un siglo desarrollando motores de combustión, ahora deben adaptarse a una tecnología en la que no son especialistas y que requiere el uso de materias primas no tradicionales. Esto podría resultar en un aumento en los precios de los automóviles, lo que hará que adquirir un vehículo sea una tarea más difícil de lo que solía ser.

En resumen, la historia del automóvil eléctrico ha sido un viaje de altibajos, desde sus inicios en el siglo XIX hasta su resurgimiento en la actualidad. Con avances tecnológicos y una mayor conciencia sobre la sostenibilidad, los coches eléctricos se han convertido en una opción viable y cada vez más popular en el mercado automotriz.

## 2.2 Definición de Coche Eléctrico y Tipos

Un coche eléctrico es un vehículo que utiliza un motor eléctrico en lugar de un motor de combustión interna para propulsarse. Este motor funciona gracias a la energía almacenada en baterías que se recargan conectándolas a una fuente de electricidad, como un tomacorriente o una estación de carga. Funcionan con altos voltajes, por lo que la parte más voluminosa de su diseño es la electrónica de alta potencia encargada de gestionar su funcionamiento.

### 2.2.1 Vehículos Eléctricos a Batería (BEV)

Son vehículos impulsados únicamente por un motor eléctrico (dos si tienen tracción a las cuatro ruedas) y alimentados por una batería que se recarga conectada a la red eléctrica en parado o mediante frenada regenerativa en movimiento [9]. Aunque su autonomía es limitada, con un promedio de 322 km, son altamente eficientes, con un 73% de eficiencia global según T&E.

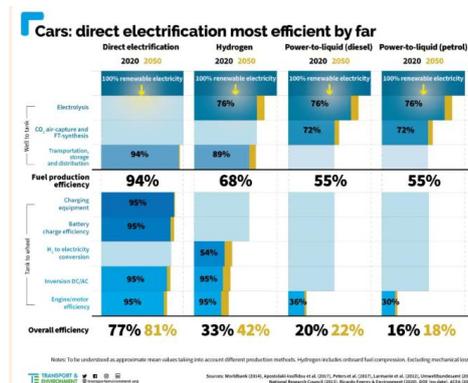


Ilustración 6: Eficiencia en los vehículos eléctricos vs biocombustibles. Fuente: T&E

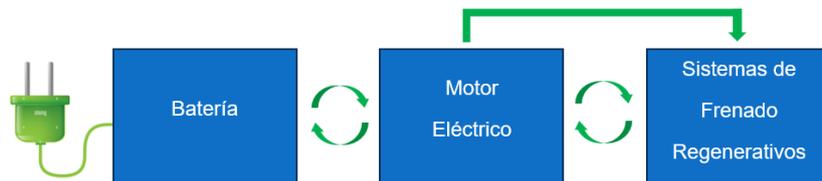


Ilustración 7: Esquema de alimentación y funcionamiento del BEV

## 2.2.2 Vehículos Híbridos Enchufables (PHEV)

Estos vehículos utilizan tanto la electricidad almacenada en su batería como el combustible (diésel, gasolina, etc.) para su funcionamiento. Tienen una gran autonomía gracias al depósito de combustible, permitiendo recorridos cortos sin emisiones al recargar la batería de la red eléctrica [9]. Aunque más accesibles en precio que los BEV, su mantenimiento es costoso debido a la complejidad del sistema.

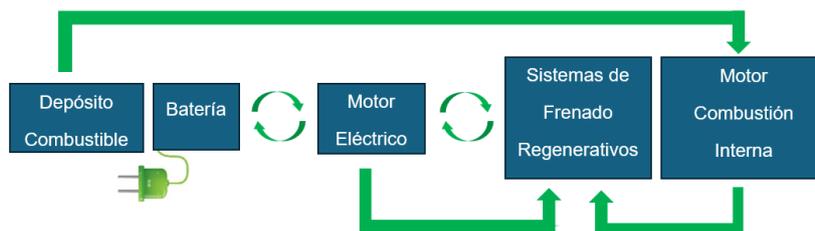


Ilustración 8: Esquema de alimentación y funcionamiento del PHEV

## 2.2.3 Vehículos Híbridos No Enchufables (HEV)

Similar a los PHEV, estos vehículos disponen de sistemas híbridos pero no pueden recargarse conectados a la corriente. Por lo tanto, generan emisiones de gases de efecto invernadero al circular. Sin embargo, la batería aumenta la eficiencia y reduce ligeramente las emisiones [9].

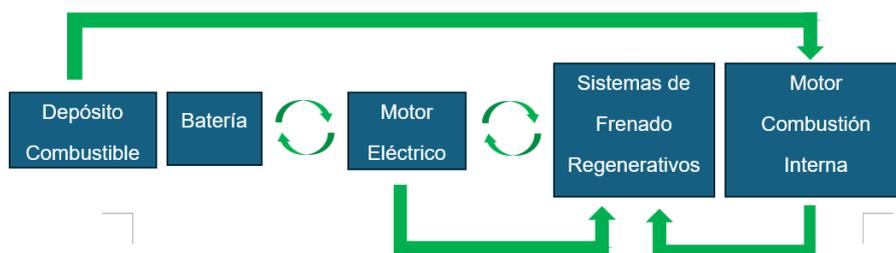


Ilustración 9: Esquema de alimentación y funcionamiento del HEV

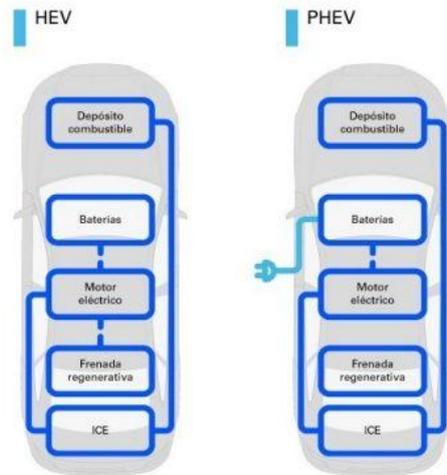


Ilustración 10: esquema de diferencias entre los HEV y PHEV. Fuente: Endesa

## 2.2.4 Vehículos Eléctrico de Pila de Combustible (FCEV)

Estos vehículos generan electricidad a través de una reacción de oxidación de  $H_2$  en el vehículo, produciendo agua como residuo [9]. Tienen una rápida recarga de su depósito, pero su alto precio de adquisición, la escasez de hidrogeneras y el alto costo de combustible son desventajas a considerar. Aunque no emiten  $CO_2$ , la procedencia de la electricidad empleada para producir  $H_2$  es un aspecto a tener en cuenta en su impacto ambiental.

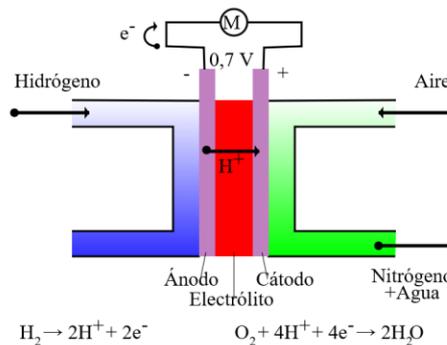


Ilustración 11: Esquema del funcionamiento de una pila de combustible. Fuente: Wikipedia

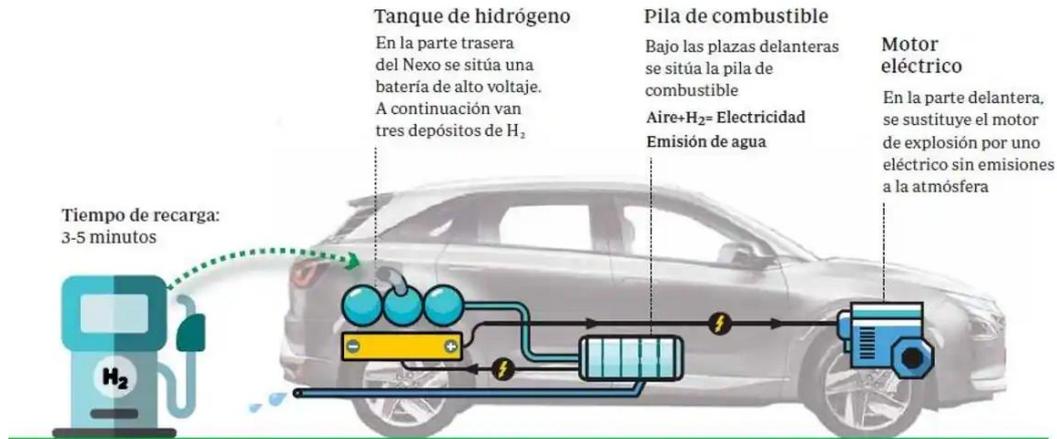


Ilustración 12: Esquema de alimentación y funcionamiento del FCEV. Fuente: ABC

## 2.3 Ventajas y Desventajas del Coche Eléctrico

Los vehículos eléctricos son una opción más amigable con el medio ambiente, al no emitir gases dañinos ni generar residuos contaminantes. Además, su mecánica simple y la ausencia de componentes como embrague, palanca de cambios y motor de arranque, proporcionan un menor costo de mantenimiento. Poseen una aceleración inmediata a pesar de su funcionamiento silencioso (aunque cuentan con sistema de sonido de alerta para peatones) [8]. La eficiencia energética superior al 90% y su potencial para reducir el déficit en la balanza comercial de Europa (por la importación de petróleo), hacen de los vehículos eléctricos una opción eficiente y sostenible para la movilidad urbana [10].

A pesar de sus ventajas en términos de sostenibilidad y cuidado del medio ambiente, los coches eléctricos presentan algunas desventajas importantes a considerar. Entre ellas se encuentran la vida útil limitada de las baterías [10], el rango de conducción actual (entre 320 y 540 Km), la escasez de técnicos especializados para su mantenimiento, la necesidad de infraestructura de recarga adecuada y el mayor desembolso inicial en comparación con los vehículos convencionales. A pesar de esto, se están realizando avances tecnológicos que podrían mejorar estos aspectos y hacer que los coches eléctricos sean una opción más atractiva para los consumidores en el futuro.

## 2.4 Diferencias con los Coches de Combustión Interna

Un vehículo eléctrico tiene una apariencia similar a la de un vehículo convencional, pero con algunas diferencias en su exterior. En la parte delantera, la parrilla suele estar cerrada, ya que no necesita aire para el enfriamiento del motor como lo hace un coche de combustión tradicional. Mientras que en la parte posterior, no cuenta con un tubo de escape, ya que un vehículo eléctrico no lo necesita.

Con la eliminación de elementos mecánicos como el motor de combustión, la caja de cambios y la transmisión, los vehículos eléctricos simplifican su estructura al utilizar un motor eléctrico, más económico y sencillo de producir. Otra diferencia importante es el número de piezas móviles, siendo el vehículo eléctrico menos complejo en este aspecto en comparación con un vehículo de gasolina como se aprecia en la ilustración 13 [11]. Esto se traduce en menor necesidad de mantenimiento periódico y mayor fiabilidad. Además, los motores eléctricos tienen un amplio rango de velocidad de giro, eliminando la necesidad de cambiar de marchas.



*Ilustración 13: Comparación de tamaño y piezas de eléctrico vs combustión. Fuente: Antala*

Por otro lado, los vehículos eléctricos requieren una mayor cantidad de elementos eléctricos y electrónicos, los cuales necesitan de software para su control. La programación de estos componentes es fundamental para un correcto funcionamiento y seguridad.

Los motores eléctricos superan en prestaciones a los motores de combustión, especialmente en par y potencia como se puede ver en las

Ilustraciones 14 y 15. Con un buen control vectorial en los motores de corriente alterna se puede mantener el par máximo de manera constante en un amplio rango de velocidades, lo que elimina la necesidad de una reductora de gran tamaño. A pesar de que los motores de combustión han dominado en la industria automotriz, los motores eléctricos ofrecen mejoras en rendimiento, peso, volumen y simplicidad, además de reducir las emisiones y el ruido [12].

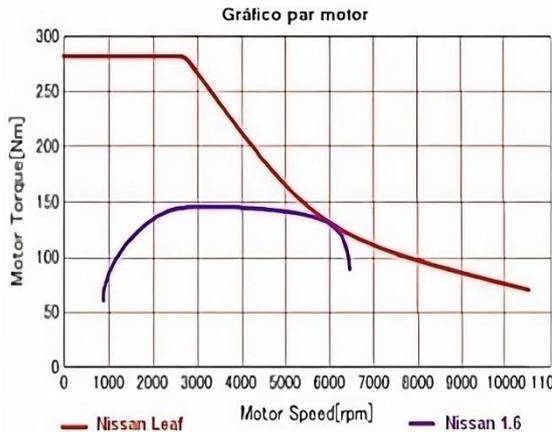


Ilustración 14: Gráfico Par-rpm de un coche combustión (Nissan 1.6) vs eléctrico (Nissan Leaf). Fuente: forococheselectricos

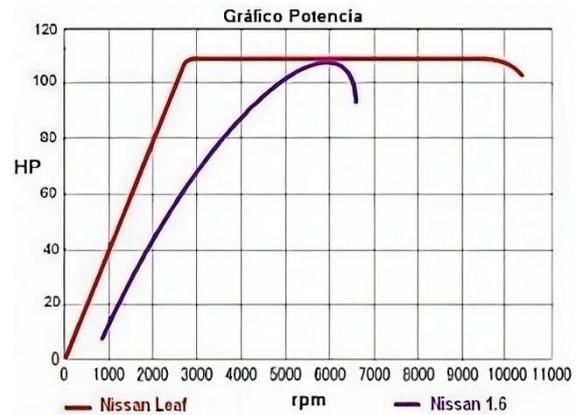


Ilustración 15: Gráfico Potencia-rpm de un coche combustión (Nissan 1.6) vs eléctrico (Nissan Leaf). Fuente: forococheselectricos

A modo de curiosidad los gases emitidos por los motores de combustión interna incluyen monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrocarburos, óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y partículas, todos los cuales afectan negativamente la calidad del aire y la salud.

A forma de resumen de las diferencias generales se presentará la siguiente tabla con algunos de los componentes y su función:

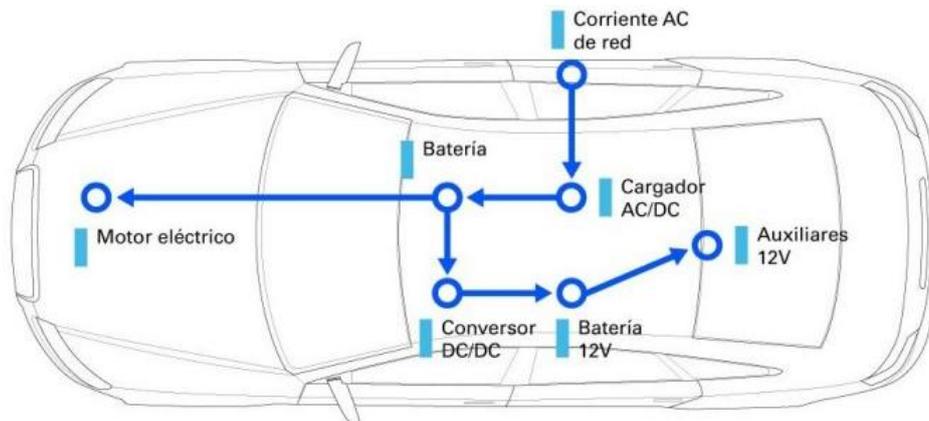
Tabla 1: Elementos con funciones similares entre ambos coches

Función/uso	Motor de Combustión	Vehículo Eléctrico
Almacena la energía para alimentar el motor	Depósito de combustible	Batería
Alimenta de energía al vehículo	Bomba de gasolina	Cargador

<b>Proporciona la fuerza para el desplazamiento</b>	Motor de combustión	Motor eléctrico
<b>Controla las revoluciones de giro</b>	Caja de cambios	Algunos casos
<b>Controla la aceleración y velocidad</b>	Carburador	Controlador
<b>Varía la tensión de para alimentar accesorios</b>	Alternador	Convertor CC/CC
<b>Convierte la CC en CA para alimentar el motor</b>	-	Convertor CC/CA
<b>Disminuye la toxicidad de gases del vehículo</b>	Sistema de control de emisiones	-

## 2.5 Componentes que integran los Coches Eléctricos

En primer lugar, es posible clasificar los vehículos eléctricos en dos tipos según el tipo de motor que utilicen: corriente continua o corriente alterna. A continuación, se presentan esquemáticamente en las siguientes figuras los principales componentes y diferencias entre ellos.



*Ilustración 16: Esquema general sobre los componentes de un vehículo con motor DC. Fuente: Endesa*

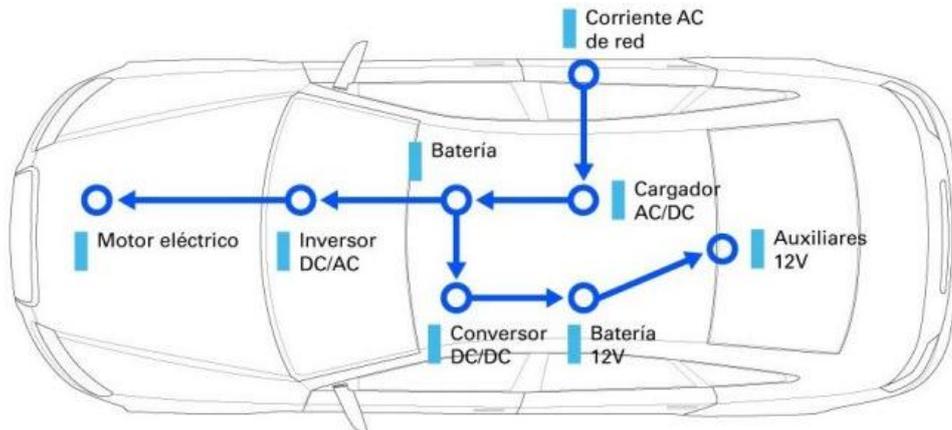


Ilustración 17: Esquema general sobre los componentes de un vehículo con motor AC. Fuente: Endesa

En el caso de este proyecto, se utilizará un coche con motor AC. Los componentes principales que suelen componer un vehículo eléctrico se explicarán a continuación [13].

### 2.5.1 Motores Eléctricos

Se pueden encontrar distintos tipos de motores pero sus elementos básicos son los mismos: rotor, estator y carcasa; el rotor es el elemento móvil que se encuentra dentro del estator que es fijo y la carcasa protege a ambos [14].



Ilustración 18: Componentes del motor eléctrico. Fuente: AutoBild

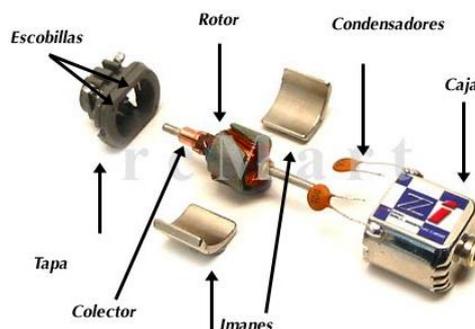


*Ilustración 19: Componentes del motor eléctrico. Fuente: Forococheseléctricos*

Entre los tipos de motores eléctricos se encuentran los de corriente continua y los de alterna:

Los motores de corriente continua pueden ser alimentados por una fuente de voltaje como una batería de 12V y están compuestos por un rotor y un estator formado por imanes permanentes. El rotor giratorio está formado por láminas eléctricas y bobinas de cobre, generando un campo magnético que interactúa con el estator. Para cambiar el campo magnético en función de la posición, se utiliza un conmutador que convierte la corriente continua en alterna para los devanados.

Existen dos tipos de motores de corriente continua: con escobillas y sin escobillas. Los motores con escobillas son más sencillos y populares, pero generan ruido y requieren lubricación, mientras que los motores sin escobillas son más costosos pero ofrecen mayor eficiencia y vida útil.



*Ilustración 20: Esquema motor DC con escobillas. Fuente: juntadeandalucia*



Ilustración 21: Esquema motor DC sin escobillas. Fuente: ResearchGate

Por otro lado se encuentran los motores de corriente alterna, cuyo funcionamiento se basa en el efecto brújula y pueden ser monofásicos o trifásicos. Los motores monofásicos requieren de un condensador para generar un campo magnético giratorio, mientras que los motores trifásicos generan su propio campo magnético rotatorio. Estos motores son populares en la industria por su baja demanda de energía al arrancar, su robustez y larga vida útil.

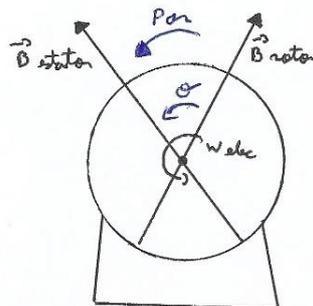


Ilustración 22: Esquema del funcionamiento del motor AC (efecto brújula)

Dentro de los motores de corriente alterna, se pueden encontrar motores síncronos y asíncronos. Los motores síncronos giran a la misma velocidad que el campo magnético rotativo, mientras que los motores asíncronos tienen un rotor en cortocircuito y requieren de un campo magnético inducido en el estator para generar un par [14].



*Ilustración 23: Motor síncrono Renault Zoe (65 KW). Fuente: Forococheseléctricos*



*Ilustración 24: Motor asíncrono Renault Twizy(65 KW y 220 Nm). Fuente: movilidadelectrica*

## 2.5.2 Baterías

La batería es uno de los componentes principales de un vehículo eléctrico, ya que es la encargada de almacenar la energía del cargador, de alimentar el motor eléctrico y recibir energía durante la frenada. Tanto la autonomía como el precio del vehículo dependen del tamaño y tipo de batería.

Las baterías electroquímicas convierten la energía eléctrica en energía química durante la carga y viceversa durante la descarga. Están compuestas por celdas que a su vez cuentan con electrodos positivos y negativos sumergidos en un electrolito, donde se producen reacciones de reducción-oxidación que generan una corriente eléctrica. Para aumentar el voltaje o la capacidad de las baterías, se pueden colocar celdas en paralelo o en serie.

El desarrollo de baterías con mayor duración y suministro de potencia es fundamental para la implementación a gran escala de los vehículos eléctricos. Existen varios tipos que se están investigando para mejorar la eficiencia y

rendimiento de los vehículos eléctricos como se aprecia en la siguiente tabla (consultar anexo 4 para más información) [15].

*Tabla 2: Comparativa entre baterías*

Tipo	Energía Específica (Wh/Kg)	Densidad Energía (Wh/Kg)	Potencia Específica (W/Kg)	Ciclo de vida	Autonomía (Km)	Tiempo de carga (horas)	Eficiencia (%)	Reciclado (%)
Pb-Ácido actual	33	30	130	400	60	8 a 17	65	97
Pb-Ácido Horizon	42	93	240	800	100	<5	-	100
Ni-Cd	57	56	200	2000	120	7 a 10	65	99
Ni-Fe	55	50	100	2000	110	De 4 a 8	60	99
NiMH	70	80	250	600	250	<6	90	90
Ion-Litio	100	100	300	1200	195	<3	87	50

A modo de resumen, las baterías de plomo son económicas, versátiles y duraderas, pero su baja energía específica y eficiencia las hacen menos deseables. Por otro lado, las baterías de níquel-cadmio son reemplazadas por otras opciones debido a la toxicidad del cadmio. En cuanto a las baterías de litio, las de ion-litio son consideradas las mejores en todos los aspectos. Las de polímero de litio tienen una alta energía específica, sin embargo, requieren cuidado y son más costosas.

Entre todas las opciones anteriores que se pueden implementar resaltan dos principales, la primera son baterías basadas en la tecnología de Níquel y la segunda basada en la tecnología de Litio.

En la actualidad, las baterías de litio y las baterías de níquel son dos de las tecnologías más comunes y utilizadas en el almacenamiento de energía. Ambas tienen sus propias ventajas y desventajas[16], por lo que es importante compararlas para determinar cuál es la mejor opción en diferentes situaciones.

Las baterías de litio son reconocidas por su alta densidad de energía, lo que les permite almacenar una gran cantidad de energía en un espacio reducido. Además, tienen una vida útil más larga que las baterías de níquel y son más ligeras y compactas.

Por su parte, las baterías de níquel destacan por su resistencia a las fluctuaciones de temperatura y su menor coste de producción. Además, son menos propensas a problemas de explosión o incendio, lo que las hace más seguras en ciertas aplicaciones.

En general, las baterías de litio suelen tener un mejor rendimiento en términos de densidad de energía y vida útil, mientras que las baterías de níquel son más económicas y seguras[16]. En este proyecto, se optó por las baterías de litio debido a su adecuación para aplicaciones que requieren alta densidad de energía y larga vida útil.

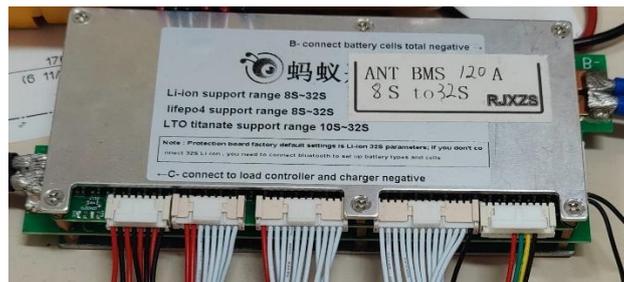
Con la tecnología de batería escogida queda estudiar y comparar los distintos tipos de baterías de litio existente, para decidir cuál es la que más se adecua al proyecto.

1.  $\text{LiCoO}_2$  (Óxido de Cobalto de Litio): Es una de las baterías de iones de litio más comunes y tiene una alta densidad de energía, lo que la hace ideal para dispositivos electrónicos portátiles.
2.  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  (Óxido de Manganeso de Litio): Tiene una vida útil más larga y es más segura que las baterías de óxido de cobalto de litio, aunque tiene una menor densidad de energía.
3.  $\text{LiFePO}_4$  (Fosfato de Hierro y Litio): Esta batería es conocida por su alta estabilidad térmica y es menos propensa a incendios o explosiones, lo que la hace más segura. Sin embargo, su densidad de energía es menor que la de las baterías de óxido de cobalto de litio.
4.  $\text{LiNiMnCoO}_2$  (Níquel Manganeso Cobalto de Litio): Esta batería tiene una combinación de alta densidad de energía y una vida útil prolongada, por lo que es ideal para vehículos eléctricos.
5.  $\text{LiNiCoAlO}_2$  (Níquel Cobalto Aluminio de Litio): Es una batería de alta energía y larga vida útil, con una mayor estabilidad térmica que las baterías de óxido de cobalto de litio.
6.  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  (Óxido de Litio y Titanato): Esta batería tiene una excelente estabilidad y una larga vida útil, pero tiene una menor densidad de energía

y una mayor resistencia interna, por lo que es más adecuada para aplicaciones de almacenamiento de energía estacionaria.

### 2.5.3 Sistemas de Gestión de Batería (BMS)

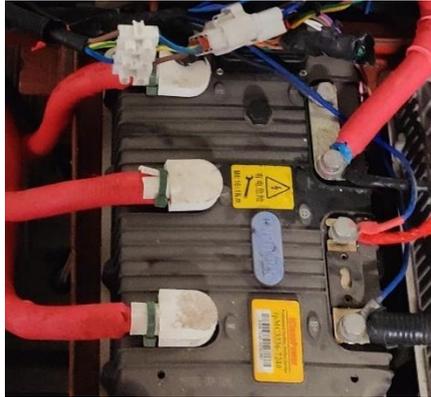
El BMS es una unidad inteligente que monitoriza y protege las baterías de Litio en un amplio rango de condiciones, controlando aspectos como la temperatura, tensión, intensidad de carga y descarga. También se comunica con otros sistemas para gestionar la recuperación de energía durante la frenada, la demanda del motor y recarga. Además, realiza funciones como estimar el estado de la batería, monitoreo en tiempo real, protección, gestión de energía e información [17]. Supervisa las celdas individuales para evitar daños y apagar la batería si es necesario. Es fundamental para garantizar la seguridad, rendimiento y durabilidad de las baterías de ion litio.



*Ilustración 25: Sistema de gestión de batería empleado en el coche*

### 2.5.4 Inversor/Driver

Los inversores son dispositivos electrónicos necesarios para los vehículos eléctricos con motores de corriente alterna, ya que transforman la corriente continua de la batería en alterna [18]. Estos inversores funcionan como transformadores y también como variadores de frecuencia, controlando así la velocidad de rotación del motor así como el par. Además, en el momento de frenar, el inversor deja de entregar energía al motor y éste se convierte en un generador de energía eléctrica, permitiendo la frenada regenerativa.



*Ilustración 26: Inversor usado en el coche eléctrico*

### 2.5.5 Conversor Auxiliar

El convertidor es un dispositivo que convierte la tensión de corriente continua de alta a baja para alimentar las baterías auxiliares de un vehículo. A diferencia de un transformador, que trabaja con corriente alterna, el convertidor se encarga de transformar la energía de la batería principal en la forma adecuada para los componentes eléctricos del coche [19]. Es importante tener en cuenta la diferencia entre ambos dispositivos para un correcto funcionamiento del sistema eléctrico del vehículo.



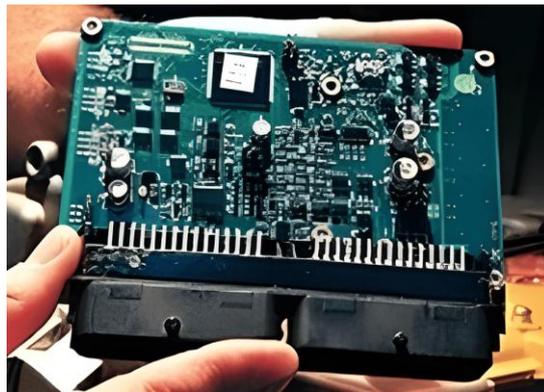
*Ilustración 27: Conversor de tensión instalado en el coche eléctrico*

### 2.5.6 Controlador o Unidad de Control Electrónico (ECU)

El controlador de un vehículo es un sistema informático crucial que se encarga de recibir información del conductor y de los sensores para coordinar los elementos del sistema. Los vehículos modernos pueden contener numerosas

Unidades de Control Electrónico (ECU, por sus siglas en inglés) que controlan una variedad de funciones, desde lo esencial, como la dirección asistida, hasta la comodidad, seguridad y accesibilidad del vehículo [20]. Cada ECU tiene un chip dedicado que ejecuta su propio software y requiere conexiones de alimentación y datos para funcionar correctamente.

Estas unidades reciben información de diferentes partes del vehículo, dependiendo de su función específica. Por ejemplo, un ECU de bloqueo de puerta recibiría señales cuando un pasajero acciona el botón de bloqueo/desbloqueo de la puerta, mientras que un ECU de bolsa de aire recibiría información de sensores de choque y presencia en los asientos. Estas unidades se comunican con los actuadores para realizar acciones basadas en las entradas recibidas [20].



*Ilustración 28: Ejemplo de controlador. Fuente: Infotaller*

### 2.5.6 Cargador y Conexión de Carga

Un cargador o transformador convertidor es un elemento utilizado para absorber electricidad de forma alterna directamente desde la red y transformarla en corriente continua, con el fin de cargar la batería principal de un vehículo eléctrico. Existen diferentes tipos de cargadores, que varían en potencia y características dependiendo de la marca y modelo del vehículo.

AC charger

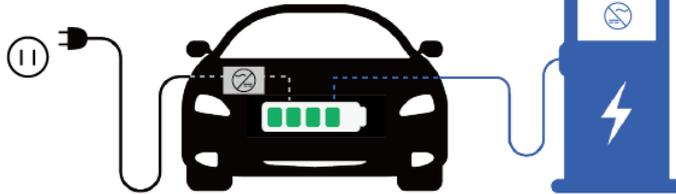


Ilustración 29: Esquema de carga AC y DC



Ilustración 30: Cargador instalado en el coche eléctrico

Algunos de los conectores más utilizados en Europa incluyen el conector Yazaki SAE J1772 o tipo 1, con una potencia de 34A y 7,4KW; el conector Mennekes IEC 62196-2 o tipo 2, con e 3,7KW y 44 KW; el conector Scame o tipo 3, que se utiliza para cargas semi-rápidas; el conector único combinado o IEC 62196-3, que permite cargas rápidas y lentas; y el conector CHAdeMO, que es utilizado por marcas japonesas para cargas ultra rápidas [21].



Ilustración 31: Ejemplo de conector tipo 1.  
Fuente: Carnow

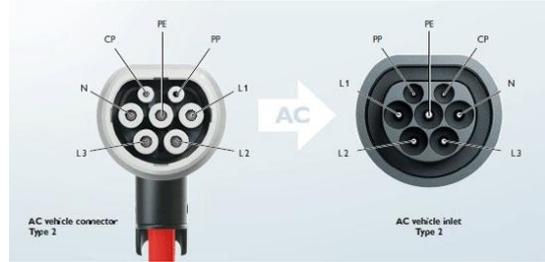


Ilustración 32: Ejemplo de conector tipo 2.  
Fuente: LugEnergy



Ilustración 33: Ejemplo de conector tipo 3.  
Fuente: Electromivilidad

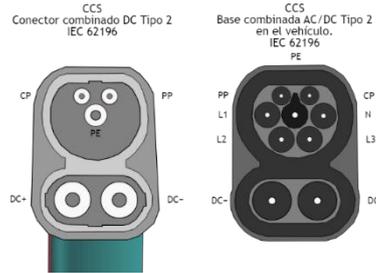


Ilustración 34: Ejemplo de conector combinado. Fuente: flamesmedia



Ilustración 35: Ejemplo de conector CHAdeMO. Fuente: eCONEQ

Estos conectores están diseñados para conectarse a diferentes modelos de vehículos eléctricos de marcas como Kia, Renault, Citroën, Peugeot, Toyota, Ford, Mitsubishi, Nissan, Opel, Porsche, Mercedes, Audi, Tesla, Volvo, Volkswagen, BMW, Daimler, o marcas japonesas como Subaru, Toyota, Nissan y Mitsubishi.

En general, los cargadores eléctricos pueden ser utilizados en enchufes convencionales, corriente alterna y corriente continua, dependiendo de las necesidades de carga del vehículo. Los puntos de carga pueden variar en potencia, desde los 3,6kW hasta los 50kW, lo que permite una carga rápida y eficiente de la batería del vehículo eléctrico.

## 2.5.7 Servofreno Eléctrico

El servofreno es un componente clave del sistema de frenos de un vehículo que ayuda al conductor a aplicar la fuerza necesaria para detener el coche. Utiliza una bomba de vacío eléctrica para multiplicar la fuerza que el conductor aplica al pedal de freno, permitiendo detener el vehículo de manera más eficiente. Este dispositivo está diseñado para facilitar el frenado, especialmente en situaciones que requieren de una fuerza considerable, como detener un vehículo a altas velocidades. Sin el servofreno, el conductor tendría que aplicar una fuerza mucho mayor para lograr el mismo nivel de frenado [22].



*Ilustración 36: Ejemplo de Servofreno Eléctrico. Fuente: Km77*



## 3 Análisis del Marco Normativo

### 3.1 España

En España, la legislación referente a la movilidad eléctrica está en constante evolución. La ley 29/2021 [23] se enfoca en adoptar medidas urgentes en el ámbito energético para promover la movilidad eléctrica, mientras que el Real Decreto 866/2010 [24] establece disposiciones específicas en este sentido.

Sin embargo, la legalización del **retrofit** en vehículos en España sigue siendo un tema complejo y no está claramente regulado. Esto ha creado un vacío legal en el que tanto entusiastas como proveedores de servicios deben moverse con precaución [25]. Las normativas actuales no consideran las particularidades de los vehículos convertidos, lo que deja a muchos en una situación de incertidumbre legal.

La conversión de vehículos con motor de combustión interna a eléctricos en España varía según la comunidad autónoma, pero en general, no está permitida de forma legal. Cualquier modificación sustancial en un vehículo debe ser homologada por las autoridades competentes, como el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, para garantizar su seguridad y legalidad.

Para garantizar la legalidad y seguridad de cualquier conversión de vehículo, es fundamental contar con asesoramiento especializado y seguir los procedimientos adecuados. La homologación de un vehículo modificado implica documentar todos los cambios realizados, realizar ensayos técnicos y cumplir con las regulaciones establecidas, lo que puede resultar en costos significativos.

En España, la homologación [26] de vehículos reconvertidos se realiza a través del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), con diferentes costos según el tipo de solicitud. Empresas como Elektrum Cars [27] han logrado homologar con éxito vehículos reconvertidos, como un Renault Twingo, mientras que otras optan por la instalación de kits de vehículos eléctricos homologados por empresas certificadas.

A pesar de que existen leyes que permiten la homologación de vehículos reconvertidos en España, el proceso suele ser largo y costoso debido a la tramitación individual de cada caso. Algunas empresas consideran trasladarse a otros países, como Francia, para facilitar y agilizar el proceso de legalización del retrofit en vehículos.

La regulación de la conversión de vehículos de combustión interna en eléctricos está sujeta a varias leyes y normativas, entre las que se encuentran las siguientes:

- Real Decreto 866/2010, de 2 de julio, por el que se regula la concesión directa de subvenciones para la ejecución de programas e inversiones de alcance estatal dirigidas a la revitalización industrial y la reactivación económica en el marco de la política industrial de apoyo a la reindustrialización.
- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.
- Ley 16/2007, de 4 de julio, de reforma y desarrollo del marco institucional de la energía sostenible.
- Real Decreto 723/2020, de 5 de agosto, por el que se regula la concesión directa de ayudas para la adquisición de vehículos eléctricos en determinadas condiciones.

Es importante tener en cuenta que la conversión de vehículos de combustión interna en eléctricos debe cumplir con todas las normativas vigentes en materia de seguridad, medio ambiente y homologación de vehículos, por lo que es necesario consultar con un profesional o entidad competente antes de realizar cualquier modificación en un vehículo.

## 3.2 Francia

En Francia, la conversión de vehículos de combustión interna a eléctricos está regulada por la Dirección General de Energía y del Clima del Ministerio de

la Transición Ecológica. Para llevar a cabo esta conversión, es necesario cumplir con una serie de normativas y requisitos, que incluyen:

1. Obtener la autorización correspondiente de la Dirección General de Energía y del Clima.
2. Cumplir con todas las normas vigentes de seguridad y homologación para vehículos eléctricos en Francia.
3. Instalar un kit de conversión eléctrica homologado y certificado por la autoridad competente.
4. Realizar las modificaciones necesarias en el vehículo para adaptarlo a la propulsión eléctrica, garantizando su seguridad y eficiencia.
5. Obtener la certificación de la inspección técnica del vehículo una vez realizada la conversión.

Es importante tener en cuenta que la conversión de vehículos de combustión interna a eléctricos puede variar según el tipo, marca y modelo del vehículo, por lo que se recomienda consultar a un profesional especializado en electricidad automotriz para realizar la transformación de acuerdo con la normativa vigente en Francia.

Por otro lado, la conversión del vehículo requerirá un kit homologado que cumpla con requisitos específicos en cuanto a compatibilidad electromagnética, distribución de peso, seguridad en sistemas de hidrógeno, funcionamiento de frenos, entre otros aspectos [28]. Es fundamental que la conversión sea realizada por un taller autorizado para estas operaciones, con el objetivo de garantizar la seguridad y evitar conversiones caseras.

Además, el motor a instalar en el vehículo convertido no podrá tener una potencia superior a la disponible en el modelo original, lo que contribuye a limitar el costo de la transformación y mantener la seguridad del coche. En 2020, en Francia se simplificaron y abarataron estos trámites, lo que impulsó la conversión de vehículos de segunda mano a eléctricos [29].

En resumen, la conversión de vehículos a eléctricos en Francia está sujeta a una serie de regulaciones y requisitos para garantizar la seguridad y eficiencia de los vehículos transformados. La iniciativa de Renault de reacondicionar vehículos usados para convertirlos a coches eléctricos en su fábrica de Flins ha impulsado esta práctica, permitiendo realizar conversiones por un costo aproximado de 13.000 euros.

La conversión de vehículos de combustión interna en eléctrico está regulada por varias leyes y normativas. Algunas de las leyes que regulan este proceso incluyen:

- El código de circulación francés, que establece las normas y requisitos para la conversión de vehículos, incluyendo las normas de seguridad, emisiones y homologaciones necesarias.
- La Directiva Europea 2007/46/CE [30], que establece los requisitos de homologación y seguridad para los vehículos convertidos en eléctricos.
- La normativa técnica francesa (Normes françaises NF), que detalla los estándares técnicos y de seguridad que deben cumplir los vehículos eléctricos convertidos.
- La Ley de Transición Energética para el Crecimiento Verde, que fomenta la movilidad eléctrica y establece incentivos fiscales y financieros para la conversión de vehículos de combustión interna en eléctricos.

Es importante tener en cuenta que la conversión de vehículos de combustión interna en eléctricos debe realizarse siguiendo todas las normativas y requisitos legales para garantizar la seguridad y la legalidad del proceso. Se recomienda consultar con un profesional especializado en conversión de vehículos eléctricos y verificar la normativa vigente en cada caso específico.

### 3.3 Italia

En Italia, la normativa para la conversión de coches de combustión interna a eléctricos está regulada por el Ministerio de Infraestructuras y Transportes.

Según las regulaciones actuales, antes de llevar a cabo la conversión de un vehículo de combustión a eléctrico, es imperativo obtener un certificado de conformidad técnica que valide que el automóvil cumple con los estándares de seguridad y emisiones de la Unión Europea.

Es indispensable que la conversión sea realizada por un taller homologado por el Ministerio de Infraestructuras y Transportes, ya que modificar la estructura y el sistema de propulsión de un vehículo puede implicar cambios significativos. Por ello, es fundamental verificar que la conversión cumple con todas las normativas y estándares de seguridad vigentes.

Además, es recomendable consultar con las autoridades locales y buscar el asesoramiento de un experto en el tema para garantizar que se respeten todos los requisitos y trámites necesarios para llevar a cabo la conversión de manera legal y segura. De esta manera, se podrá disfrutar de un vehículo eléctrico sin contratiempos y contribuir a la reducción de emisiones contaminantes en el medio ambiente.

La conversión de vehículos de combustión interna en eléctricos está regulada por varias leyes y normativas, que incluyen:

- Decreto Ministeriale 11 maggio 2009 [31]: Establece los requisitos y procedimientos para la conversión de vehículos de combustión interna en vehículos eléctricos.
- Decreto Ministeriale 25 marzo 2011 [32]: Regula la homologación de vehículos eléctricos y define los estándares de seguridad y rendimiento que deben cumplir.
- Circolare del Ministero dei Trasporti 6 marzo 2013 [33]: Establece los requisitos técnicos para la conversión de vehículos de combustión interna en eléctricos.
- Legge n. 145/2013 [34]: Introduce incentivos fiscales y financieros para la conversión de vehículos de combustión interna en vehículos eléctricos.

Estas leyes y normativas garantizan que la conversión de vehículos de combustión interna en eléctricos cumpla con estándares de seguridad y rendimiento, y promueve la movilidad sostenible en Italia. Es importante tener en cuenta que estas leyes pueden estar sujetas a cambios y es recomendable consultar las fuentes oficiales para obtener información actualizada.



## 4 Análisis y Diseño del Sistema

El diseño final o sistema de propulsión, implementado en el coche consta de las partes que se muestran en la ilustración 37. En este apartado se procederá a detallar las principales características de cada una de estas partes, además se estudiarán diversas opciones de baterías que se pueden implementar y se explicarán las prestaciones de la elección final. Se explicará, también, las prestaciones del BMS y Sistema de monitorización .

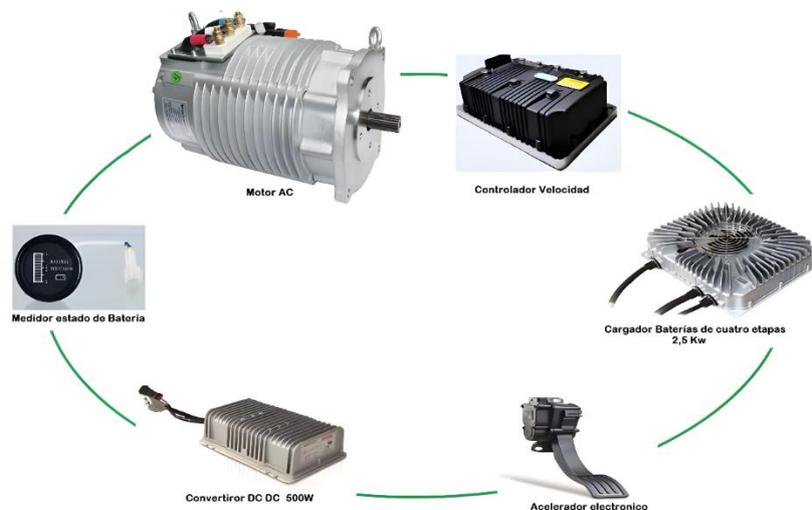


Ilustración 37: Componentes instalados en el coche eléctrico. Fuente: Electroconversiones

### 4.1 Motor AC

El coche eléctrico está equipado con un motor de inducción de corriente alterna sin escobillas (ilustración 38) que se caracteriza por su curva de potencia y par motor. Este motor de 7,5kW, tiene la capacidad de impulsar vehículos de hasta 1400 kg a velocidades de 80 km/h, lo que lo convierte en una opción eficiente y potente para la movilidad urbana [35][36].

Las especificaciones técnicas de este motor incluyen un diámetro de 25 cm y un peso de 45 kg, lo que lo hace compacto y ligero en comparación con otros motores eléctricos. Además, opera con un voltaje entre 72-84V y una intensidad de 500 amperios, lo que garantiza un rendimiento óptimo y una buena

eficiencia energética del 90%. Además, está preparado para la frenada regenerativa

Con un pico de potencia de 45 Hp, un torque de 90 Nm y una velocidad máxima de 6500 RPM, este motor ofrece un buen equilibrio entre potencia y eficiencia. Estas características permiten al coche eléctrico acelerar de forma rápida y silenciosa, con una respuesta inmediata que mejora la experiencia de conducción.

*Tabla 3: Especificaciones motor AC HPQ7.5 72V*

Especificaciones	Parámetros
Potencia nominal	7,5Kw
Voltaje	72V
Frecuencia nominal	116 Hz
Velocidad nominal	2790 RPM
Velocidad máxima	6500 RPM
Sensor de velocidad	Señal de 60 pulsos/seg
Grado de protección	IP55
Grado de aislamiento	H
Par nominal	90 N*m
Par máximo	110 N*m
Dimensiones	206*320 mm
Peso	36 Kg



*Ilustración 38: Motor AC HPQ7.5 72V*

## 4.2 Cargador

El CH4100 (ilustración 39) es un cargador de alta calidad y eficiencia diseñado para cargar baterías de iones de litio de 72V con una corriente de carga de 25A, contando con una potencia de 1800W. Este cargador es ideal para vehículos eléctricos, scooters eléctricos, bicicletas eléctricas, entre otros [35].

Cuenta con protección contra sobrecarga, cortocircuito, sobretensión y sobrecalentamiento, lo que garantiza una carga segura y eficiente de las baterías. Además, cuenta con un diseño compacto y ligero que facilita su transporte y almacenamiento.

Su voltaje nominal de entrada es de 110-220V AC y su frecuencia nominal de entrada es de 50-60Hz. El voltaje de salida que puede proporcionar variar entre 72V y 99V, con una corriente máxima de 40A [36].

*Tabla 4: Especificaciones del cargador*

Especificaciones	Parámetros
Rango de voltaje AC de entrada	90V-264V
Rango de frecuencia de entrada	40-70
Eficiencia	>93%
Nivel de protección	IP67
Temperatura de operación	Entre -40 °C y +60 °C
Comunicación CAN	Opcional
Fuente de alimentación auxiliar (12V y 3A)	Opcional
LED indicador del estado del cargador	Estándar
Ruido	< 45dB
Dimensiones	294*210*111 (mm)
Peso	5,9 Kg

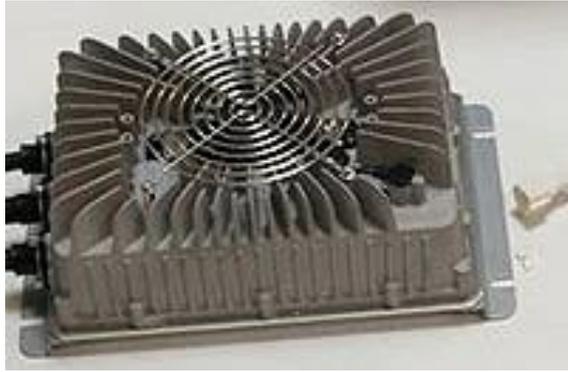


Ilustración 39: Cargador CH4100 72V 25A

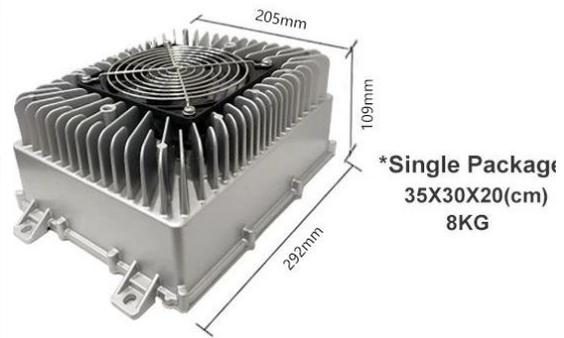


Ilustración 40: Dimensiones del CH4100  
72V 25A

### 4.3 Driver de Continua a AC

El controlador AC de 72V 400A es un dispositivo electrónico utilizado para gestionar la velocidad y dirección de un motor de corriente alterna con un voltaje nominal de 72V y una corriente nominal de 400A en diferentes aplicaciones, como vehículos eléctricos y maquinaria industrial [35][36].

Puede soportar un Voltaje máximo de 84V de DC y una corriente máxima de 500 amperios, está específicamente diseñado para tracción e incluye capacidad de frenado regenerativo. Además, cuenta con refrigeración por aire e incluye diversos accesorios como arnés, pedal de aceleración, llave de encendido, palanca de marcha y botón de corte de corriente.

Cuenta con la capacidad de controlar la velocidad del motor en ambas direcciones, puede proteger contra sobrecorriente y sobretensión, permite programar la aceleración y desaceleración y cuenta con un diseño compacto y de fácil instalación como se aprecia en la ilustración 41.



*Ilustración 41: Controlador AC de 72V 400A*

## 4.4 Conversor DC-DC

El conversor DC-DC 72/12-30 (ilustración 42) es un dispositivo que se encarga de convertir la corriente continua (DC) de 72 voltios a una corriente continua de 12 voltios para alimentar los distintos sistemas auxiliares del vehículo, con una corriente máxima de salida de 30 amperios. Este conversor suele estar diseñado con tecnología de conmutación de alta frecuencia para lograr una mayor eficiencia en la conversión de energía y reducir las pérdidas de calor. Además, cuenta con protecciones integradas contra sobretensión, sobrecorriente y cortocircuitos para garantizar la seguridad del sistema y de los dispositivos conectados [35].

El Conversor DC-DC 72/12-30 suele estar encapsulado en un diseño compacto y resistente, lo que lo hace ideal para aplicaciones en entornos adversos o con espacio limitado. También puede incluir funciones adicionales como control de voltaje, monitoreo de la corriente y protección contra polaridad inversa [36].



*Ilustración 42: Conversor DC-DC 72/12V-30A*

## 4.5 Baterías

En este apartado es importante tener en cuenta las características de cada tipo de batería para garantizar su correcto funcionamiento y durabilidad en el vehículo eléctrico. Así como dimensionamiento y ubicación para que no afecte a la estabilidad del vehículo.

### 4.5.1 Dimensionamiento

En este proyecto, los factores más influyentes son el espacio disponible y el peso (consultar apartado 5 Comparación del Sistema Anterior con el Actual). Se dispone de suficiente espacio en el maletero del coche y en la parte frontal para instalar el nuevo sistema. Sin embargo, inicialmente se consideró colocarlo en la parte delantera, pero se descartó debido a la falta de soportes adecuados para sostenerlo. El nuevo sistema debe suministrar un voltaje similar al anterior, que oscilaba entre 72V y 80V, y tener una capacidad cercana a los 160Ah del sistema anterior, aunque actualmente tiene 100Ah, se puede duplicar esta capacidad conectando más módulos en paralelo.

### 4.5.2 Selección Final y Ubicación

Luego de estudiar los distintos tipos de baterías (ver tablas 5 y 6 e ilustración 44) se llegó a la decisión final de implementar las baterías de LiFePo4 porque tienen una mayor vida útil y una mayor estabilidad química en comparación con otras tecnologías de baterías, lo que las hace más seguras y duraderas para su uso en un coche eléctrico. Además, las baterías de LiFePo4 tienen una mayor densidad de energía, lo que significa que pueden almacenar

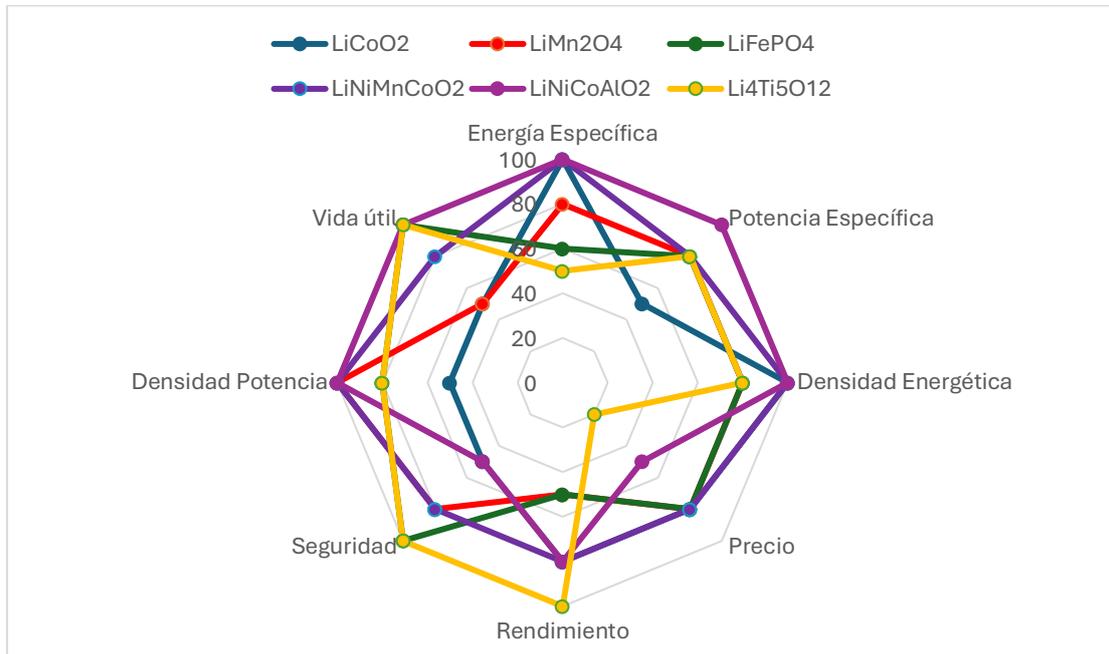
más energía en menos espacio, lo que es importante para maximizar la autonomía de un vehículo eléctrico. Por último, las baterías de LiFePo4 son menos propensas a sobrecalentarse o incendiarse, lo que las hace más seguras para su uso en un entorno donde se requiere una alta confiabilidad y seguridad, como un coche eléctrico. En general, las baterías de LiFePo4 son una excelente opción para un coche eléctrico debido a su durabilidad, seguridad y eficiencia.

*Tabla 5: Tablas de características de las distintas baterías de Ion Litio*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	Energía Específica									
2	Tipo	1	2	3	4	5	6	Media EE	% respecto maximo (185)	
3	LiCoO2	175	185	180	200	190	180	185	100	
4	LiMn2O4	120	155	135	150	145	140	140,833333	80	
5	LiFePO4	115	90	115	95	105	130	108,333333	60	
6	LiNiMnCoO2	180	170	195	185	200	180	185	100	
7	LiNiCoAlO2	175	200	170	185	190	185	184,166667	100	
8	Li4Ti5O12	75	115	120	90	85	85	95	50	
9										
10	Potencia Específica									
11	Tipo	1	2	3	4	5	6	Media PE	% respecto maximo (565)	
12	LiCoO2	250	310	260	270	240	290	270	45	
13	LiMn2O4	450	435	445	435	460	430	442,5	80	
14	LiFePO4	350	435	490	435	460	500	445	80	
15	LiNiMnCoO2	380	430	490	435	460	420	435,833333	80	
16	LiNiCoAlO2	580	540	550	590	530	600	565	100	
17	Li4Ti5O12	360	530	490	435	460	420	449,166667	80	
18										
19	Densidad Energética									
20	Tipo	1	2	3	4	5	6	Media EE	% respecto maximo (560)	
21	LiCoO2	555	540	560	550	545	550	550	100	
22	LiMn2O4	400	450	420	560	390	440	443,333333	80	
23	LiFePO4	480	500	400	360	430	470	440	80	
24	LiNiMnCoO2	530	520	600	590	570	535	557,5	100	
25	LiNiCoAlO2	650	450	540	560	570	590	560	100	
26	Li4Ti5O12	480	500	400	360	430	470	440	80	

*Tabla 6: Tabla final (en porcentaje) de datos de distintas baterías de Ion Litio*

	A	B	C	D	E	F	G
1		LiCoO2	LiMn2O4	LiFePO4	LiNiMnCoO2	LiNiCoAlO2	Li4Ti5O12
2	Energía Específica	100	80	60	100	100	50
3	Potencia Específica	50	80	80	80	100	80
4	Densidad Energética	100	80	80	100	100	80
5	Precio	80	80	80	80	50	20
6	Rendimiento	80	50	50	80	80	100
7	Seguridad	50	80	100	80	50	100
8	Densidad Potencia	50	100	80	100	100	80
9	Vida útil	50	50	100	80	100	100
10							



*Ilustración 43: Comparativa distintas baterías de Ion Litio*

Con lo anterior explicado se procederá a describir las características de las baterías adquiridas (de la marca ALITHIUM) y que se van a implementar en el proyecto.

Las baterías de LiFePo4 de la marca ALITHIUM están diseñadas con tecnología de vanguardia para ofrecer altos estándares de seguridad, alta densidad de energía y una vida útil prolongada. Cada módulo cuenta con un voltaje de 25,6V (al estar conectados en serie como se muestra en la ilustración 44) y una capacidad de 100Ah, lo que las convierte en una opción ideal para aplicaciones que requieran una fuente de energía confiable y duradera, como en

el caso de vehículos comerciales o sistemas de almacenamiento de energía a gran escala.

Cada módulo está compuesto por 8 celdas individuales con una tensión nominal de 3,2V y una capacidad de 100Ah. Con un peso de 1,87 Kg, estas baterías son livianas y fáciles de transportar. Además, cuentan con una corriente máxima de carga continua de 50A y una corriente máxima de descarga continua de 100A, lo que garantiza un rendimiento óptimo en diferentes aplicaciones. Por otro lado, su corriente de descarga de pulso de 300A permite un aprovechamiento eficiente de la energía en momentos de alta demanda. Con aproximadamente 3000 ciclos de carga y descarga, estas baterías ofrecen una durabilidad excepcional, lo que las convierte en una excelente inversión a largo plazo.

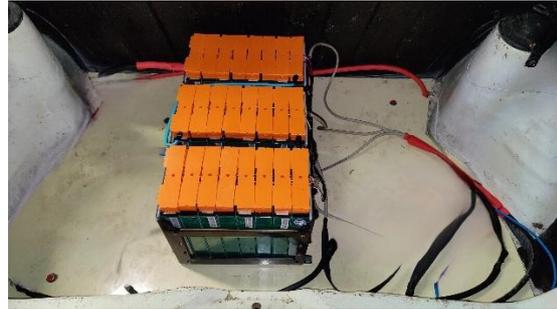


*Ilustración 44: Conexión interna entre celdas*

En relación a la ubicación de las baterías, se tomó la decisión de colocar los tres módulos, conectados en serie, en el maletero del vehículo de forma centrada para lograr una distribución óptima del peso como se aprecia en la ilustración 45 y 46. Con el fin de fijarlos de manera segura, se utilizaron tornillos para sujetarlos a la base de madera del maletero. Aunque la ubicación ideal de un sistema de este tipo sería aquel que no elevara el centro de gravedad del vehículo, por ejemplo normalmente en los coche nuevos está en la parte baja formando una cama. En un vehículo para ser reconvertido hay que adaptarse a los espacios que se disponen. En nuestro caso, esta elección de ubicación garantiza una mayor estabilidad y seguridad en el funcionamiento de las baterías, además de facilitar el acceso para su mantenimiento y revisión.



*Ilustración 45: Foto del maletero del coche*

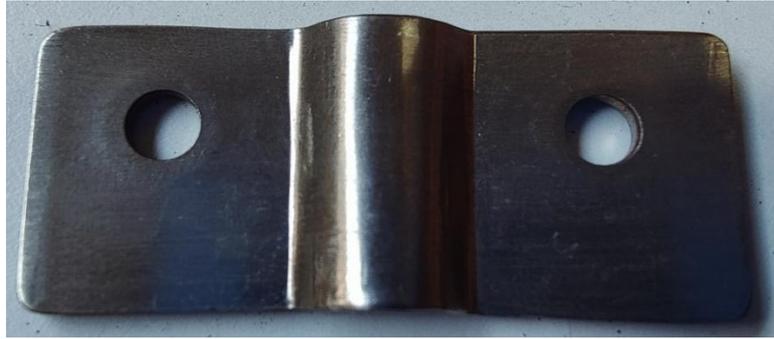


*Ilustración 46: Foto de los módulos ubicados en el maletero*

Para garantizar un equilibrio óptimo y maximizar la eficiencia de un coche eléctrico, es necesario realizar un exhaustivo estudio de la distribución de pesos en el vehículo. Una distribución incorrecta de los pesos puede afectar la estabilidad, la seguridad y el rendimiento de la batería. Es crucial realizar un análisis detallado de cómo se distribuyen las cargas en el coche para lograr una conducción segura y eficiente. Se consideró que la distribución de pesos elegida es óptima debido a que el peso de las baterías en el maletero contrarresta al peso del motor en el capó.

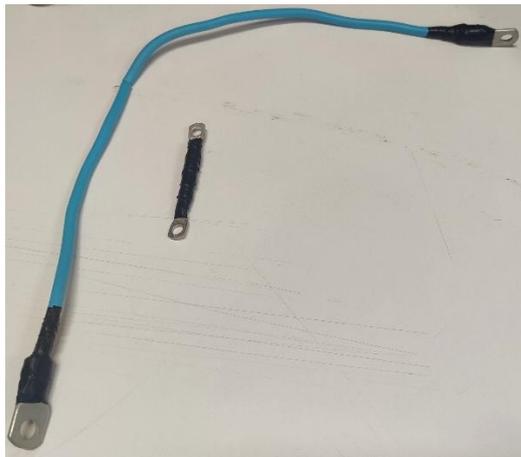
#### 4.5.3 Conexión Entre Celdas y Módulos

Se ha optado por conectar las celdas de cada módulo en serie utilizando pletinas de cobre y níquel (ilustración 47) suministradas por el fabricante de las baterías. Este método permitirá una mayor eficiencia en la transmisión de energía entre las celdas, asegurando un rendimiento óptimo del sistema. Para realizar las conexiones entre las celdas y los conductores, se ha elegido la técnica de remachado para asegurar una conexión firme y estable.

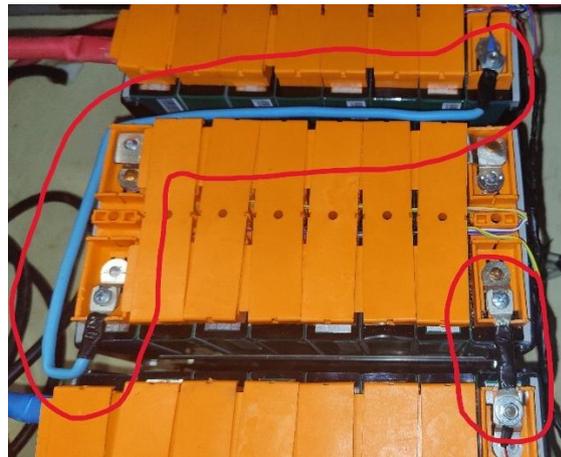


*Ilustración 47: Pletina de cobre y níquel empleadas*

Para interconectar los tres módulos, se utilizaron cables de cobre flexibles (ilustraciones 48 y 49) con el calibre adecuado para soportar la corriente máxima de las baterías, lo que proporciona mayor flexibilidad para adaptarse a diferentes configuraciones o necesidades específicas. En un principio se contempló la posibilidad de utilizar pletinas de cobre, pero se descartó debido a su complejidad y costos. Estas conexiones flexibles no solo son económicas y simplifican la instalación, sino también facilitan el mantenimiento del sistema.

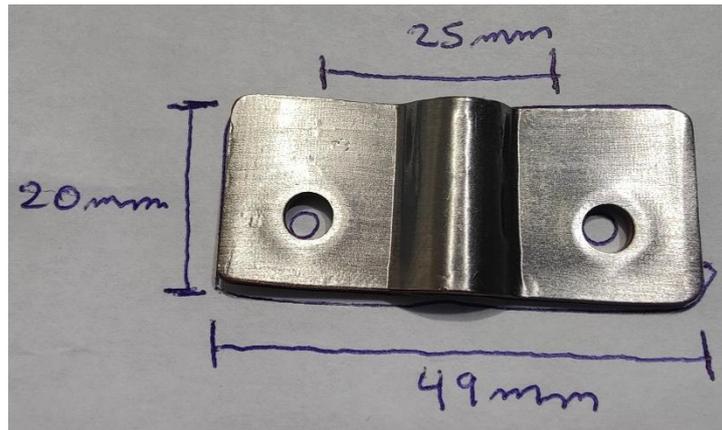


*Ilustración 48: Cables de cobre flexibles para la conexión entre módulos*



*Ilustración 49: Cables flexibles implementados*

La combinación de pletinas para las celdas y conexiones flexibles para los módulos garantizará un funcionamiento eficiente y seguro de todo el sistema, evitando posibles sobrecalentamientos o pérdida de energía y brindando una solución sólida y confiable. Esta configuración también permite una fácil instalación y mantenimiento del sistema de baterías.



*Ilustración 50: Dimensiones de las pletinas*

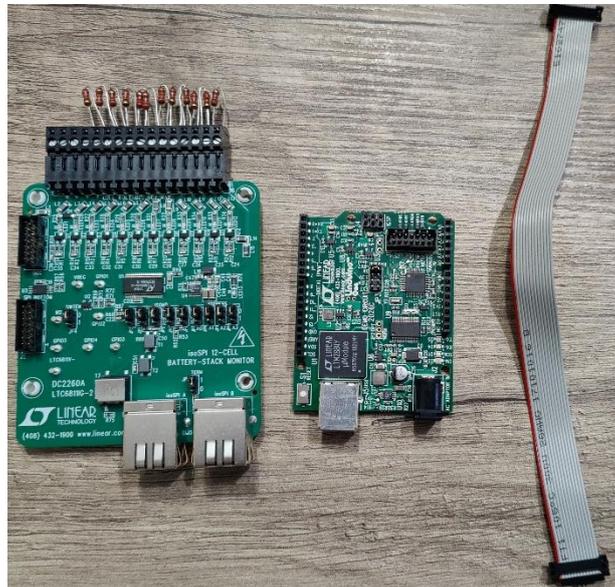
Según la ilustración 50, las dimensiones de las pletinas utilizadas son las siguientes: 49 mm de largo, 20 mm de alto y 2 mm de grosor. Los agujeros tienen un diámetro de 5 mm y están separados por una distancia de 25 mm.

Según la normativa [38], es imprescindible que el sistema de energía sea estanco, esté bien protegido contra impactos y vibraciones, debidamente aislado para evitar incendios y cuente con una ventilación adecuada [39]. Lamentablemente, en nuestro caso no hemos podido cumplir con todas estas especificaciones debido a los elevados costes que supondría encargar la fabricación de una caja a medida para las baterías y el BMS. Es importante tener en cuenta que el cumplimiento de estas normativas es fundamental para garantizar la seguridad del sistema de energía.

## 4.6 BMS

EL Battery Management System (BMS) en este proyecto se ha elegido el modelo BMS Smart 32S de ALITHIUM, siguiendo la recomendación del fabricante debido a su compatibilidad, soporte ofrecido y facilidad de implementación. Aunque también hemos explorado y probado la posibilidad de fabricar uno propio, para ello hemos usado un kit de Linear Technology (ilustración 51) para ver sus posibilidades. Al probar esta tecnología, que solo admite 16 celdas, en comparación con un BMS comercial, pudimos notar la flexibilidad que nos ofrece en cuanto a conectividad, incluyendo la posibilidad de incorporar wifi.

También tuvimos la oportunidad de experimentar con diversas arquitecturas de distribución de baterías.



*Ilustración 51: Kit de Linear*

El BMS Smart 32S (ilustración 52) es capaz de controlar de 8 a 32 celdas de litio, siendo necesario monitorizar en este caso 25 celdas. Este BMS tiene un rango de voltaje de trabajo de entre 24V (8 celdas) y 117,34V (32 celdas) para las baterías de LiFePo4, con una corriente de placa de 120A en uso continuo y una corriente pico de 300A.

Además, este BMS cuenta con funciones de protección contra sobrecorriente, sobretensión, sobrecalentamiento y cortocircuitos, lo que brinda una capa adicional de seguridad para las baterías y el sistema en general. También incorpora funciones de equilibrado de celdas, que ayudan a mantener todas las celdas de la batería en un estado de carga uniforme, lo que contribuye a una mayor eficiencia y durabilidad.

El BMS Smart 32S es compatible con sistemas de comunicación CAN Bus y RS485, lo que facilita su integración con otros sistemas de gestión de energía y permite un monitoreo remoto y en tiempo real del estado de las baterías. Además, su diseño compacto y ligero lo hace fácil de instalar y mantener en una amplia variedad de aplicaciones.



*Ilustración 52: BMS empleado*

Entre las características más relevantes de este BMS se encuentran:

1. Control de voltaje de cada celda en serie y función de balance.
2. Medición de la capacidad de carga (energía acumulada).
3. Posibilidad de configurar parámetros a través de una aplicación Android.
4. Pantalla LCD para visualización de datos.
5. Programa de monitoreo en tiempo real, vigilancia independiente con diversas protecciones y alarmas de aviso.
6. Función preventiva de corte del circuito de carga o descarga.
7. Conexión a dispositivos Android 4.3 o posteriores usando un Módulo Bluetooth.

El BMS tiene acceso a cada celda o celdas de la serie y su función es mantenerlas operando dentro del **Área de Operación Segura (SOA)** [37] de las baterías de Litio, garantizando así su funcionamiento seguro y óptimo. Para el caso de carga, este intervalo de voltaje es de [2,7V a 3,65V], y para el caso de descarga el intervalo seguro es de [2,5V a 3,2V] (ilustración 53). Para la temperatura del sistema de energía tenemos que para carga el intervalo es de [0°C a 40°C] y para descarga [-20°C a 60°C] (ilustración 54).

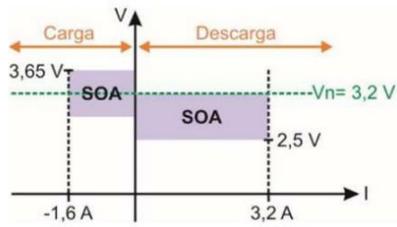


Ilustración 53: SOA en función del voltaje

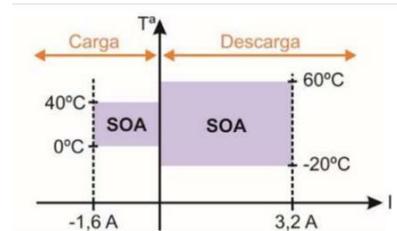
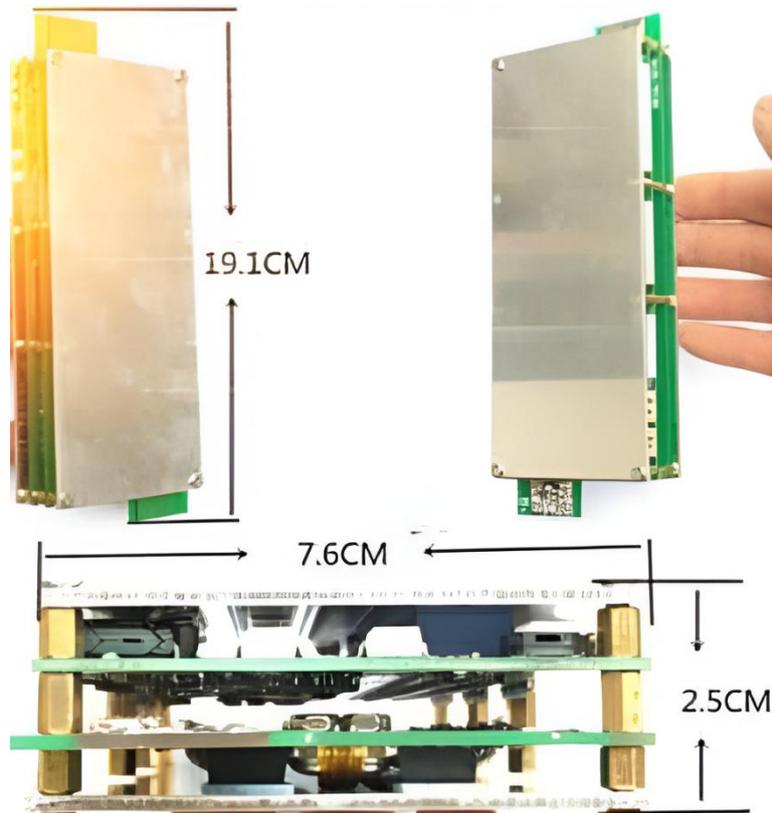


Ilustración 54: SOA en función de la temperatura

En resumen, el BMS Smart 32S de ALITHIUM es una opción ideal para aquellos que buscan maximizar el rendimiento y la seguridad de sus baterías de litio. Con su amplia gama de funciones y características avanzadas, este sistema de gestión de baterías ofrece una solución completa y confiable para una variedad de aplicaciones.

#### 4.6.1 Dimensionamiento y Ubicación

El Battery Management System (BMS) se caracteriza por sus dimensiones compactas de 19,1 cm de largo, 7,6 cm de ancho y 2,5 cm de grosor (ilustración 55), lo que permite una instalación fácil y cómoda en el vehículo. Lo ideal es que el BMS este dentro del sistema de baterías aislado y estanco. En nuestro caso y como alternativa, para garantizar su protección, se ha decidido colocar el BMS dentro de una caja de conexión estanca que se fijará atornillada a la base de madera del maletero.



*Ilustración 55: Dimensiones del BMS 32S*

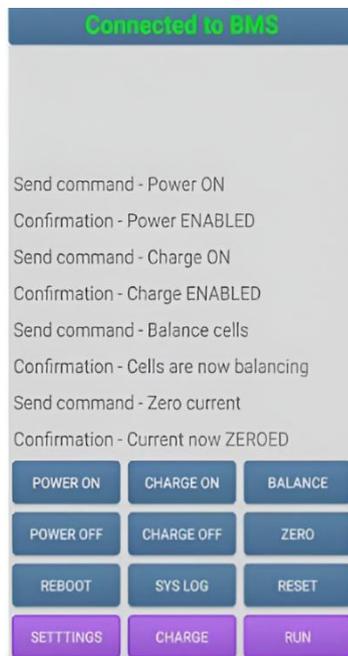
Desde esta caja de conexión saldrán todos los cables que conectan el BMS con las celdas de la batería, la pantalla y el interruptor de encendido y cargador. La elección de colocar la caja cerca de la esquina inferior izquierda del maletero se ha tomado con el objetivo de optimizar el espacio y facilitar el acceso a las conexiones.

Esta ubicación estratégica del BMS garantiza un funcionamiento eficiente y seguro del sistema de gestión de la batería, manteniendo todas las conexiones ordenadas y protegidas en un espacio compacto y de fácil acceso.

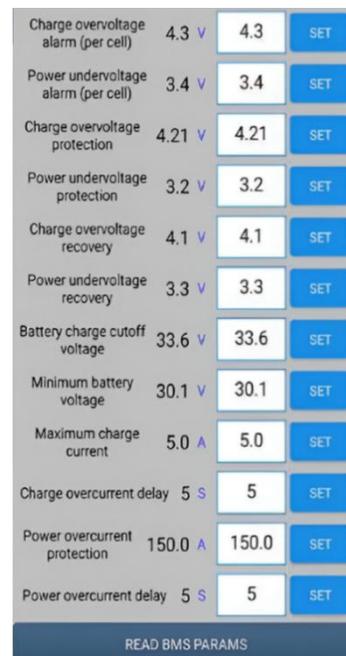
#### 4.6.2 Programación Parámetros de Batería

El BMS cuenta con conexión por Bluetooth a dispositivos móviles con sistema operativo Android a partir de la versión 4.3, lo que permite mediante una aplicación móvil, la modificación de los siguientes parámetros ajustables (ilustraciones 56 y 57):

- Número de celdas en serie, que en este proyecto serían 24 celdas. Detectadas automáticamente por el BMS.
- Corrientes máximas de descarga y carga (rango máximo definido por el fabricante)
- Función de balanceo automática.
- Tensión por celda con ajustes de SOA de 1-5V (con una diferencia  $\leq 5\text{mv}$ ), siendo de 3.2V para las celdas litioFePO4.
- Ajuste de protección por temperatura (ajustable depende de tecnología de las celdas).
- Configuración de alarmas para la corriente de descarga / carga.



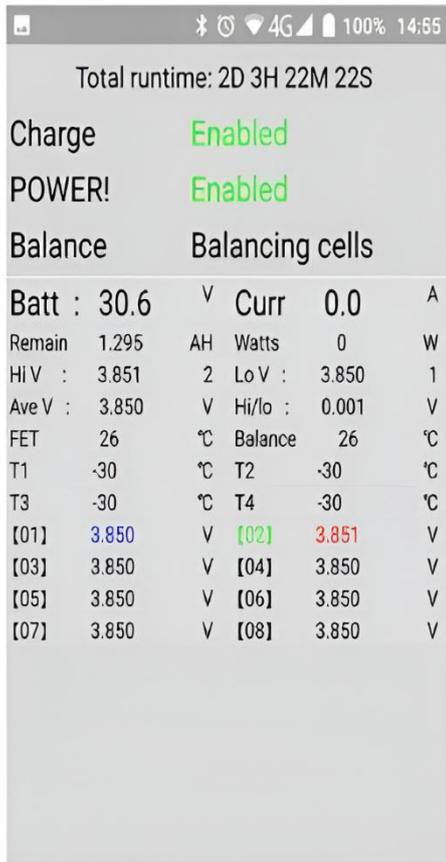
*Ilustración 56: Interfaz de la aplicación y opciones de configuración*



*Ilustración 57: Parámetros que se pueden configurar*

Mediante esta aplicación, es posible monitorear una serie de parámetros relacionados con el funcionamiento de un banco de baterías (ilustraciones 58 y 59). Se puede visualizar el voltaje total del banco, así como el voltaje medio, el más alto y el más bajo por celda. Además, se muestra una pantalla con las celdas numeradas y su respectivo voltaje. También se puede conocer la corriente instantánea, los amperes hora disponibles, la potencia de trabajo y la temperatura de los cuatro sensores instalados. Esta herramienta permite

mantener un control preciso y detallado sobre el estado y rendimiento de las baterías.



Total runtime: 2D 3H 22M 22S

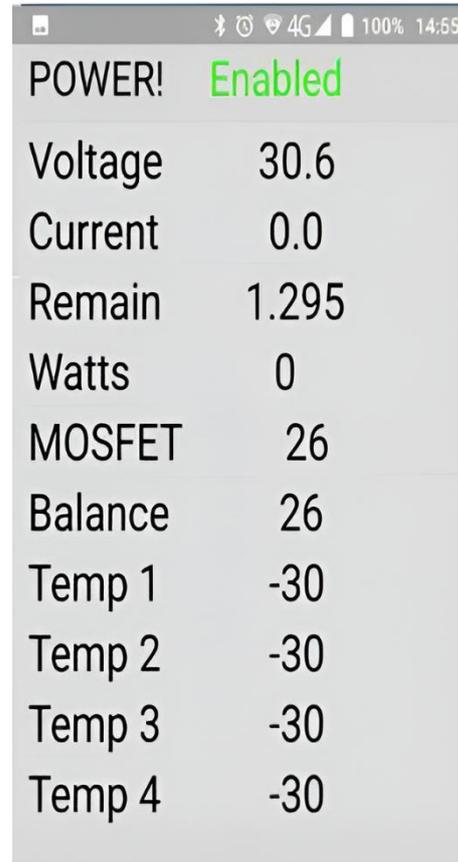
Charge **Enabled**

POWER! **Enabled**

Balance Balancing cells

Batt	: 30.6	V	Curr	0.0	A
Remain	1.295	AH	Watts	0	W
Hi V	: 3.851	2	Lo V	: 3.850	1
Ave V	: 3.850	V	Hi/lo	: 0.001	V
FET	26	°C	Balance	26	°C
T1	-30	°C	T2	-30	°C
T3	-30	°C	T4	-30	°C
[01]	3.850	V	[02]	3.851	V
[03]	3.850	V	[04]	3.850	V
[05]	3.850	V	[06]	3.850	V
[07]	3.850	V	[08]	3.850	V

*Ilustración 58: Captura de pantalla de aplicación*



POWER! **Enabled**

Voltage	30.6
Current	0.0
Remain	1.295
Watts	0
MOSFET	26
Balance	26
Temp 1	-30
Temp 2	-30
Temp 3	-30
Temp 4	-30

*Ilustración 59: Captura de pantalla mostrando varios parámetros*

Además de lo anterior, la aplicación permite modificar parámetros de referencia para calibrar lecturas en caso de no coincidir con la real:

- “System reference voltage”: si el voltaje que muestra por celda no es correcto, se puede usar este parámetro para calibrar.
- “Current sensing range”: si la corriente detectada no es correcta, se puede usar este parámetro para calibrar.
- “Actual number of batteries”: se configura como base de la batería, por ejemplo: si la batería es de 20S, entonces configurará a 20S.
- Battery physical capacity”: para configurar la capacidad de la batería, se recomienda marcar un 10% menos para una mayor vida útil. Este es

considerado el parámetro más importante debido a que mejora de la salud de la batería.

#### 4.6.3 Sensores de Temperatura

En el proyecto, se instalaron sensores de temperatura en cada uno de los módulos de las baterías con el fin de monitorear constantemente su estado y garantizar una mayor seguridad en su funcionamiento. Estos sensores están conectados al BMS, el cual cuenta con la función de alarma y desconexión automática en caso de detectar un aumento excesivo de temperatura en alguno de los módulos.

#### 4.6.4 Activación del BMS con la Llave de Coche

Se ha implementado como método de activación del BMS un botón ubicado en la parte superior de la pantalla, por ser la opción más sencilla y fácil de implementar. Esta elección se basó en su simplicidad y facilidad de implementación. Sin embargo, se ha identificado la posibilidad de optimizar aún más esta funcionalidad integrando el encendido del BMS con el sistema de arranque del vehículo, es decir, utilizando la llave del coche (relé situado debajo el capo).

La propuesta de utilizar la llave del vehículo para activar el BMS podría ofrecer una mayor conveniencia y eficiencia en el proceso, ya que los conductores están acostumbrados a utilizar este mecanismo para encender y apagar el motor. Esto permitiría una transición más fluida entre la puesta en marcha del vehículo y la activación del BMS, lo que podría simplificar el proceso y mejorar la experiencia del usuario.

Además, la integración del sistema de encendido del BMS con la llave del coche podría ofrecer ventajas adicionales, como una mayor seguridad, ya que el BMS se activaría automáticamente al encender el vehículo, asegurando que esté siempre operativo cuando sea necesario.

#### 4.6.5 BMS Alternativo Flexible

Como mencionamos anteriormente, hemos estado probado un kit de Linear Technology [40] formado por un microcontrolador Linduino One (ilustración 60) y el LTC6811G-2 (ilustración 61). El Linduino One es una versión específica de Arduino One que nos permite desarrollar aplicaciones a medida para sistemas de energía. Por otro lado, el LTC6811G-2 es un conversor analógico digital que nos ayuda a convertir señales analógicas en digitales para su procesamiento posterior.

Este kit nos brinda la capacidad de crear y personalizar soluciones para el control y monitoreo de sistemas de energía, permitiéndonos tener un mayor control sobre el rendimiento y la eficiencia energética. Con el microcontrolador Linduino One, podemos programar y adaptar la funcionalidad de nuestro sistema según nuestras necesidades específicas, mientras que el LTC6811G-2 nos proporciona la capacidad de medir y convertir señales analógicas con precisión.

Una de las funciones más destacadas del dispositivo es la capacidad de ampliar la cantidad de celdas que pueden ser monitoreadas al conectar múltiples placas DC2260A. Esto se logra gracias a la presencia de dos puertos Ethernet RJ45 (ilustración 62) que permiten establecer una comunicación Maestro-esclavo entre dichas placas. De esta manera, se ofrece una mayor flexibilidad y capacidad de monitoreo para adaptarse a las necesidades específicas del usuario. Esta característica resulta especialmente útil en entornos donde se requiere monitorizar un gran número de celdas de manera simultánea, como en sistemas de energía solar o almacenamiento de energía.



Ilustración 60: Foto de la placa Linduino One



Ilustración 61: Foto de la placa DC2260A (LTC6811G-2)

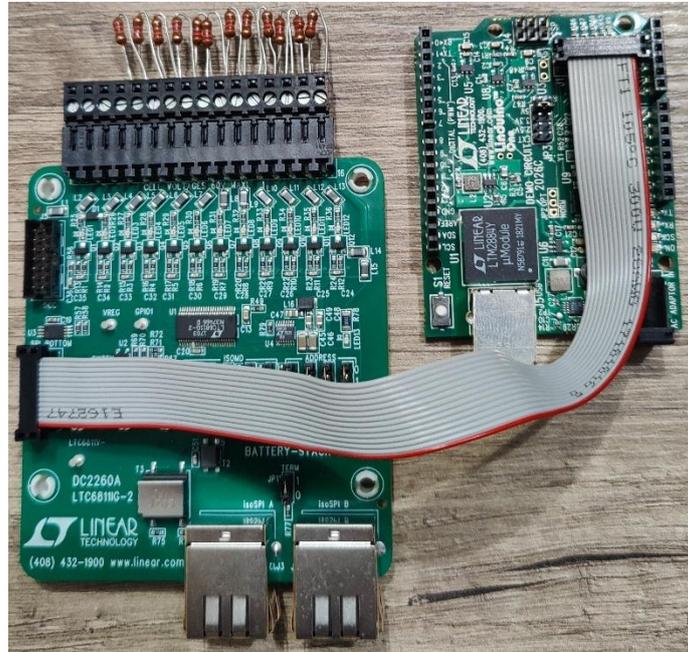


Ilustración 62: Puertos Ethernet RJ45

La conexión entre el Linduino One y el DC2260A se lleva a cabo a través de un cable flexor (ilustraciones 63 y 64) que suministra energía a la placa analógica-digital y transmite datos al Linduino. El cable flexor actúa como un puente que facilita la conexión entre ambos dispositivos, permitiendo que el Linduino One pueda acceder a las funciones y capacidades del DC2260A de forma sencilla. Este tipo de conexión es fundamental para el correcto funcionamiento de ambos dispositivos y para asegurar una comunicación estable y segura.



*Ilustración 63: Cable flexor que comunica las placas*

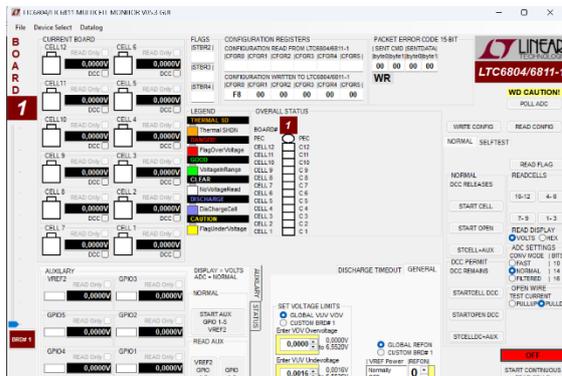


*Ilustración 64: Conexión entre el Linduino One y el DC2260A*

En el proceso de realización de las pruebas con el kit, se emplearon diversos recursos para la creación y comprobación del código, así como para verificar el correcto funcionamiento del dispositivo. De esta manera, se garantizó que el código desarrollado funcionara correctamente y fuera efectivo en su aplicación, brindando un análisis exhaustivo de su desempeño.

1.- Uso de la aplicación cerrada del fabricante [41]: la aplicación LTC6804 GUI es un software desarrollado por Linear Technology/Analog Devices que ofrece una interfaz gráfica de usuario para facilitar la configuración, monitoreo y control de los dispositivos de gestión de baterías LTC6804 y LTC6811 (ilustraciones 65 y 66). Esta herramienta permite a los usuarios configurar los parámetros del LTC6811, visualizar y guardar los datos de monitoreo de la batería (como la tensión de cada celda y detección de desequilibrios) y realizar operaciones de control como protección contra sobretensiones y subvoltajes. Para utilizarla, es

necesario conectar el LTC6811 mediante un dispositivo de interfaz adecuado, como un cable USB, un circuito de interfaz RS-485 o un cable flexor.



*Ilustración 65: Aplicación proporcionada por Linear*



*Ilustración 66: Aplicación de Linear en funcionamiento*

2.- El fabricante nos proporciona dos librerías, LT\_SPI.H y LT\_I2C.h, para la comunicación con el dispositivo y con funciones básicas para escribir y leer datos. Para valorar y desarrollar una aplicación de manera eficiente, es fundamental utilizar librerías especializadas que nos permitan optimizar nuestro trabajo, como se ilustra en la figura 67. Estas librerías nos brindan herramientas y funciones predefinidas que facilitan la programación, permitiéndonos ahorrar tiempo y esfuerzo. Además, al utilizar librerías confiables y actualizadas, garantizamos la seguridad y la calidad de nuestra aplicación, ya que contamos con el respaldo de una comunidad de desarrolladores que constantemente trabajan en mejorar y actualizar estas herramientas.

```

52 |
53 | #include <Arduino.h>
54 | #include <stdint.h>
55 | #include "Linduino.h"
56 | #include "QuikEval_EEPROM.h"
57 | #include "LT_SPI.h"
58 | #include "UserInterface.h"
59 | #include "LT_I2C.h"
60 | #include <Wire.h>
61 | #include <SPI.h>
62 |
  
```

*Ilustración 67: Código para el Linduino y las librerías [42]*

La valoración de esta tecnología deja en claro que estamos dispuestos a explorar todas las posibilidades que nos ofrece. Al dejar la puerta abierta,

demostramos nuestra disposición a seguir adelante y adaptarnos a las nuevas innovaciones que nos permitan mejorar y crecer en todos los aspectos de nuestra vida. Estamos abiertos a aprender y crecer con el avance tecnológico, aprovechando al máximo sus beneficios y potencialidades.

## 4.7 Pantalla de Monitorización

El dispositivo cuenta con un amplio rango de voltaje que va desde los 24V hasta los 150V, permitiendo ser utilizado con baterías de litio de diferentes capacidades. Su interfaz es cerrada y a medida con el BMS 32S.

Además, incorpora dos botones que permiten encender y apagar la pantalla, así como cambiar el modo de visualización de la información mostrada. Esto brinda al usuario la posibilidad de personalizar la experiencia de uso según sus necesidades.

En cuanto a sus dimensiones, el dispositivo presenta un diseño compacto con medidas de 9,3 cm de largo, 7 cm de ancho y 2,3 cm de grosor (ilustración 68). Estas características lo hacen fácil de transportar y de utilizar en diferentes entornos, ya sea en el hogar, en el automóvil o en cualquier lugar donde se requiera monitorear el voltaje de manera precisa.

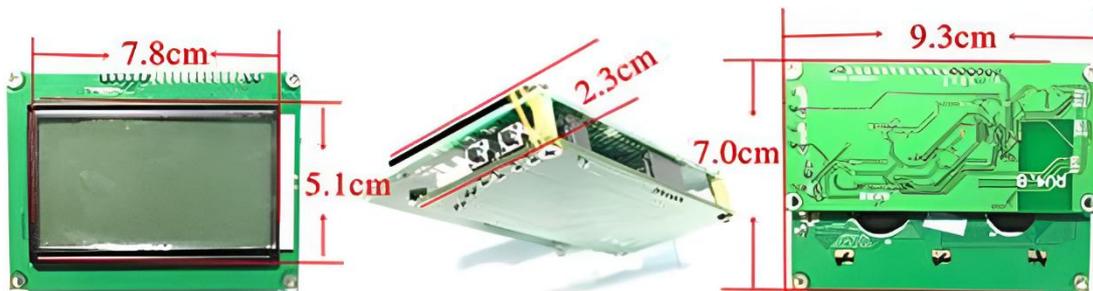


Ilustración 68: Dimensiones de la pantalla

Los modos de visualización de los que dispone son los siguientes:

1. En modo velocímetro y demás parámetros (ilustración 69): al contar con la posibilidad de añadir un sensor de velocidad en la rueda se puede

emplear la pantalla como velocímetro, mientras se ve porcentaje de batería restante y el consumo de corriente.



Ilustración 69: Captura de la pantalla en modo velocímetro

2. En modo voltaje, corriente y estado de reserva de batería (ilustración 70): en este modo se visualiza el voltaje totas del sistema de baterías, el consumo de corriente y el porcentaje de batería restante.



Ilustración 70: Captura de la pantalla en modo voltaje y estado de reserva de batería

3. En modo voltaje por celda (ilustraciones 71 y 72): en este modo se puede visualizar el voltaje de cada una de las 32 celdas individual, a pesar no estar conectadas; no se muestran otros datos o valores.



Ilustración 71: Captura de la pantalla en modo voltaje por celda 1



Ilustración 72: Captura de la pantalla en modo voltaje por celda 2

4. En modo estado del BMS (ilustración 73): en este modo en la pantalla se muestra el tiempo que lleva funcionando el BMS, se está conectado el modo de descarga y el de carga o si esta activado el balanceo de las celdas.



*Ilustración 73: Captura de pantalla en modo estado del BMS*

Finalmente, en lo que respecta a su ubicación, se decidió instalar la pantalla en el tablero del coche, justo encima del contactor metálico, tal como se muestra en la ilustración 74. Esta colocación garantiza una visualización óptima del contenido, ya que el coche ya cuenta con un velocímetro en su panel. La pantalla se utilizará principalmente para mostrar el porcentaje de batería restante y el consumo de corriente, es decir, se encontrará en el modo de voltaje, corriente y estado de reserva de la batería, aunque se podrá acceder de igual forma en los otros modos usando los botones de la pantalla. Esta ubicación estratégica facilitará al conductor la lectura de información importante mientras conduce.



*Ilustración 74: Foto de la ubicación final de la pantalla*



## 5 Resultados de la implementación

### 5.1 Comparación del Sistema Anterior con el Actual

#### Sistema

El sistema antiguo de baterías consistía en 6 baterías de AGM (ilustración 75) conectadas en serie para alcanzar unos 72V y con una capacidad de 160 Ah, estas baterías se encontraban distribuidas a lo largo del coche, dos adelante junto al motor, dos debajo de los asientos traseros y otras dos en el maletero del coche (ilustraciones 77 y 78). Estas tienen un peso de 58 Kg y dimensiones de 15x29x24 cm (ancho, largo, alto), sumado un total de 348 Kg al coche.

Por otro lado, el nuevo sistema incluye 3 módulos de baterías. Cada módulo está compuesto por 8 celdas (baterías de LiFePo<sub>4</sub> de 3,2V) conectadas en serie para alcanzar los 25,6V y 100 Ah. En total, el sistema alcanza un voltaje de 79,5V y 100Ah. Cada batería de LiFePo<sub>4</sub> pesa alrededor de 1,87 Kg y tiene dimensiones de 3x13,5x22 cm (ancho, largo, alto), mientras que cada módulo pesa 15 Kg y con dimensiones de 15,5x28x23 cm (ancho, largo, alto). Total 45 Kg, representa esto 300 kilos menos aproximadamente. En comparación, las baterías de LiFePo<sub>4</sub> son más ligeras y compactas que las baterías de AGM, lo que puede resultar en una mayor eficiencia y facilidad de transporte en el sistema de almacenamiento de energía.



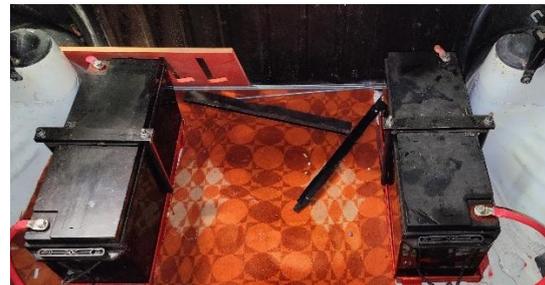
*Ilustración 75: Batería de AGM*



*Ilustración 76: Batería de ferrofosfato y litio*



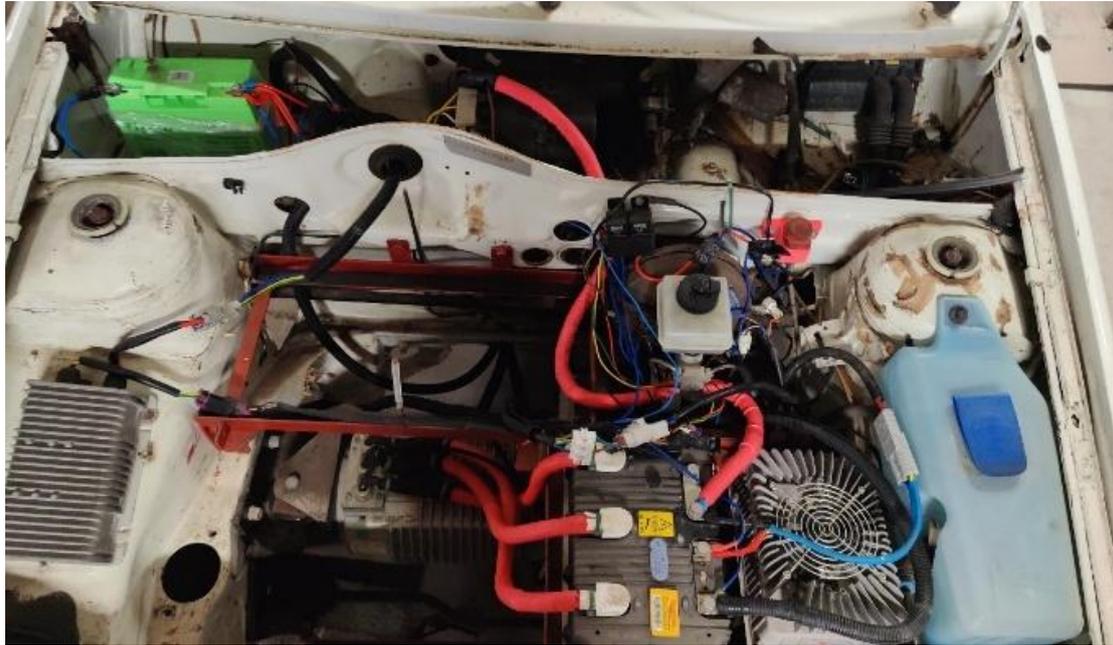
*Ilustración 77: Ubicación de 2 baterías  
(junto al motor)*



*Ilustración 78: Ubicación de 2 baterías  
(maletero)*

El sistema tiene la posibilidad de aumentar el almacenamiento de energía de las baterías al conectar tres módulos adicionales en paralelo, lo cual permitiría incrementar significativamente la autonomía del vehículo eléctrico. Esta medida garantizaría una mayor duración de la carga de la batería, lo que resultaría en beneficios tanto para el usuario como para el medio ambiente, al reducir la necesidad de recargas frecuentes y disminuir la huella de carbono. Además, al ampliar la capacidad de almacenamiento, se mejoraría la eficiencia y las prestaciones del coche eléctrico. La implementación de esta propuesta implicaría un proceso de integración cuidadoso y una evaluación detallada de la configuración eléctrica del vehículo, pero los resultados positivos en términos de autonomía y rendimiento justificarían el esfuerzo.

## 5.2 Imágenes del Resultado Final



*Ilustración 79: Foto del aspecto final del capó del coche*

En la imagen que se muestra, se pueden identificar claramente las diferentes partes y componentes del vehículo eléctrico. En la esquina inferior derecha se localiza el cargador, encargado de proporcionar la energía necesaria para recargar la batería del automóvil. Junto a este se encuentra el driver, que controla la cantidad de energía que se transfiere desde la batería al motor. Justo debajo de estos componentes se aprecia el motor eléctrico, aunque si se quiere ver mayor detalle ver ilustración 38. En la esquina superior izquierda se puede observar la batería auxiliar del coche (verde), la cual provee energía para diferentes sistemas auxiliares del vehículo como el de encendido, bomba de vacío, entre otros. Por último, en la esquina inferior izquierda se encuentra el convertidor DC-DC, un dispositivo que se encarga de convertir la corriente continua de alta tensión proveniente de la batería principal en corriente continua de menor voltaje, necesaria para alimentar diversos sistemas del coche como luces, sistemas de calefacción y cargar la batería auxiliar entre otros.



Ilustración 80: Batería auxiliar para el encendido del coche

En la anterior ilustración se aprecia con mayor detalle la batería auxiliar.

El esquema general de conexionado simplificado se muestra en la ilustración siguiente (ilustración 81).

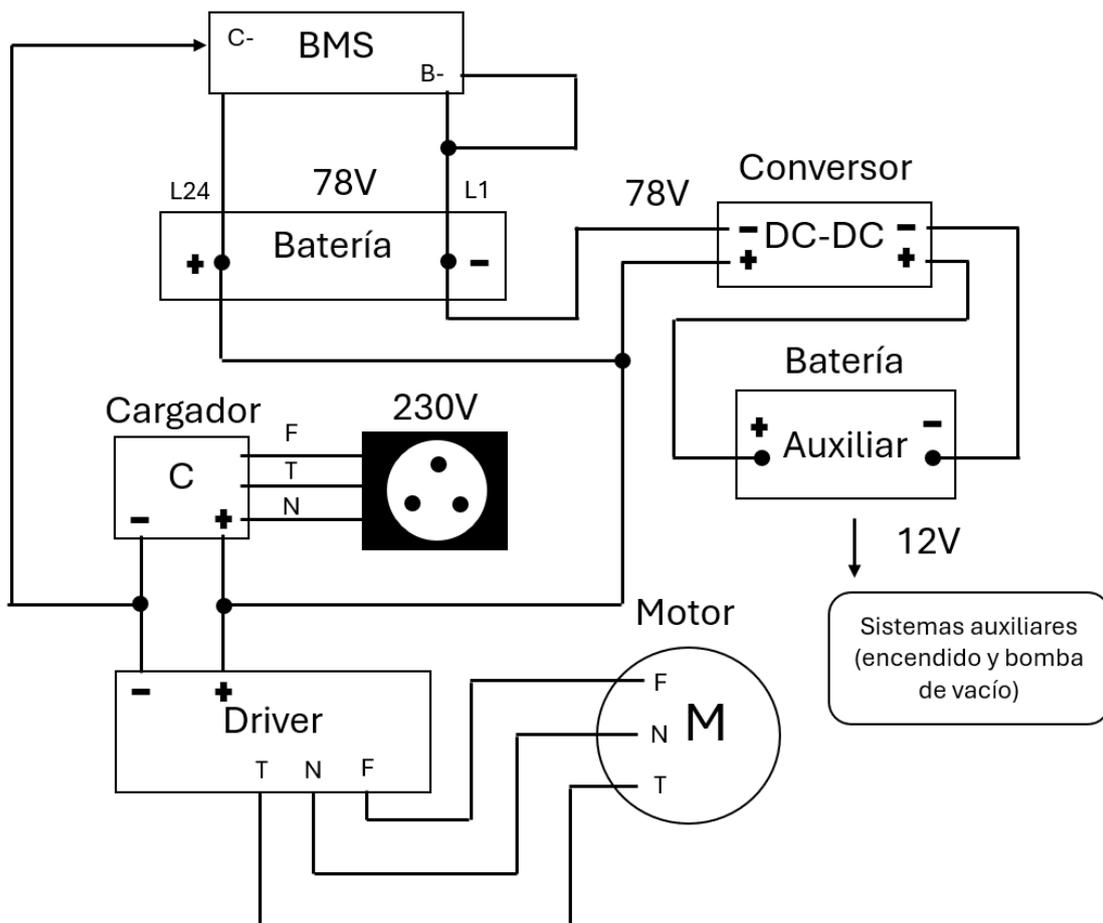


Ilustración 81: Esquema eléctrico de la conexión entre componentes hecho en ordenador



*Ilustración 82: Ubicación final de los módulos*



*Ilustración 83: Ubicación final del BMS*

En la ilustración 82 se muestra la disposición final de los módulos de las baterías dentro del maletero, mientras que en la ilustración 83 se representa la ubicación definitiva del BMS (junto a las baterías). Es importante destacar que, al momento de tomar estas fotografías, tanto las baterías como el BMS no estaban aún fijados a la placa de madera, sino que fueron colocados temporalmente para determinar la longitud exacta de los cables necesarios para realizar las conexiones correspondientes. Esta etapa de planificación y ajuste permite asegurar una correcta instalación y funcionamiento del sistema de baterías.



*Ilustración 84: Imagen general de la instalación, primeras pruebas de funcionamiento*

En la ilustración número 84 se muestra una instalación avanzada, donde los tres módulos están conectados entre sí y al BMS. Además, el BMS ya tiene las conexiones de datos con la pantalla (al fondo), la cual ya contaba con la alimentación de las baterías (como se puede observar, la pantalla está encendida en la imagen). En esta etapa de la prueba, se ha verificado el funcionamiento del BMS y de la pantalla, pero aún no se han instalado los sensores de temperatura. No se ha llevado a cabo la comprobación de si las baterías se cargan de forma adecuada, ni se ha probado si el motor enciende y si, al presionar el pedal de aceleración, el consumo de corriente aumenta.



*Ilustración 85: Resultados después de las pruebas y sin sujetar los elementos*

En esta ilustración se realizó una de las pruebas finales, en esta etapa crucial los sensores de temperatura ya estaban conectados y se había verificado el correcto funcionamiento del motor y del cargador al conectar el coche a la red eléctrica. Sin embargo, aún no se habían fijado las baterías ni el BMS a la maleta y el botón de encendido del BMS aún no había sido implementado en esta etapa del proceso.



*Ilustración 86: Resultado final de la instalación*

En la última ilustración presentada se muestra el resultado final de la instalación del sistema. Una vez se verificó que todo funcionaba correctamente,

se llevó a cabo la organización de los cables, la fijación de las baterías y del BMS, así como la colocación de la tapa en la caja estanca que alberga el BMS. Se realizaron pruebas finales para asegurarse de que todo operaba como se esperaba y se procedió a probar el automóvil, arrancándolo y sacándolo del sótano para verificar el correcto funcionamiento de todos los sistemas.



*Ilustración 87: Fotos de la prueba final*



*Ilustración 88: Foto del coche después de hacer las pruebas finales*



## 6 Conclusiones

El estudio y análisis exhaustivo realizado para modernizar y mejorar el sistema de baterías ha incluido la evaluación detallada de las diferentes tecnologías disponibles en el mercado, considerando tanto sus ventajas como sus desventajas. Se han comparado las características clave de cada una de ellas para determinar cuál sería la más adecuada y eficiente para implementar en este proyecto específico.

Es crucial destacar que la elección de la tecnología de batería adecuada es fundamental para optimizar el rendimiento y la durabilidad. Por tanto, se ha prestado especial atención a seleccionar la mejor opción que cumpla con los requisitos de este sistema, para ello se recopilaron datos de las tecnologías de litio evaluadas y como resultado se elaboró un gráfico para la comparativa. Una vez identificada la tecnología, se han realizado las acciones necesarias para su implementación y puesta en marcha.

Se han valorado dos opciones de BMS con el objetivo de supervisar y controlar el sistema de almacenamiento de energía. Uno “cerrado” BMS-Smart32s que fue el que se instaló. Y se valoró la posibilidad de desarrollar un BMS propio utilizando tecnología Arduino ONE y Linear Technology, lo que permitiría personalizar y optimizar aún más la gestión de las baterías, brindando mayor control y eficiencia. La implementación de un BMS propio también ofrecería la oportunidad de realizar mejoras y ajustes continuos según las necesidades específicas de la instalación, adaptándose de forma más efectiva a cualquier cambio en las condiciones de operación.

Tras analizar a conciencia las tecnologías de baterías y los sistemas de gestión de baterías disponibles en el mercado, se ha concluido que las baterías de fosfato de hierro y litio (LifePo4) son una opción viable para la movilidad eléctrica. Por otro lado, la tecnología Lineal se presenta como un candidato prometedor para mejorar la conectividad y el desarrollo de diferentes arquitecturas de baterías debido a su capacidad master-slave, que facilita la

comunicación entre múltiples dispositivos y la configuración de diferentes tipos de baterías de manera más eficiente. Esta combinación de tecnologías ofrece un potencial significativo para optimizar el rendimiento y la eficiencia de los sistemas de almacenamiento de energía en el sector de la movilidad eléctrica.

Adicionalmente, se ha reubicado y modificado el sistema de energía del vehículo para reducir la distribución de pesos, lo que ha resultado en una importante reducción de más de 300 Kg en su peso total. Esta mejora en el diseño ha permitido optimizar el rendimiento del vehículo, mejorando su eficiencia y maniobrabilidad general.

Se hizo un análisis de la normativa en vigente para el **retrofit** en España, Francia e Italia, concluyendo que de estos tres países el más avanzado es Francia ya que la normativa se centra en el kit de conversión homologado y no en cada caso individual. Por su parte, Italia ha implementado políticas y medidas que fomentan la adopción de vehículos eléctricos, incentivando a los consumidores a realizar la conversión de sus vehículos tradicionales a eléctricos. Además, cuenta con una infraestructura de carga amplia y bien desarrollada.

Como futuras mejoras, se planea duplicar la capacidad del sistema de energía y también implementar un BMS flexible. Este BMS nos permitirá no solo monitorear los parámetros básicos como la intensidad, voltaje y temperatura, sino también desarrollar algoritmos para supervisar el estado de salud de las baterías y aplicar balanceos activos en lugar del balanceo pasivo actualmente implementado en el BMS Smart 32s.



## 7 Bibliografía

- [1] Pachauri, R.K., & Meyer, L.A. (Eds.). (2014). "Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". Geneva, Switzerland: IPCC.
- [2] European Environment Agency. (2020). "Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives. Retrieved" from <https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-from-life-cycle>
- [3] De Almeida, P., & Komor, P. (2019). "A review of retrofit electric vehicle technologies". Renewable and Sustainable Energy Reviews, 113, 109267.
- [4] "Historia de los coches eléctricos". Motorpasion. Disponible en: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-de-los-coches-electricos>
- [5] "Historia del vehículo eléctrico". Alcánzia. Disponible en: <https://alcanzia.es/movilidad/historia-vehiculo-electrico/>
- [6] "El Renacimiento del Vehículo Eléctrico". IE University. Disponible en: <https://www.ie.edu/insights/es/articulos/el-renacimiento-del-vehiculo-electrico/>
- [7] Lutsey, Nicholas. "Electric Vehicle Cost Projections: Implications for the Market and for Consumers." International Council on Clean Transportation, 2020.
- [8] "¿Qué es un coche eléctrico?". Hyundai. Disponible en: <https://www.hyundai.com/es/es/zonaeco/eco-drive/tecnologia/que-es-coche-electrico>
- [9] "Tipos de vehículos eléctricos". Mazda España. Disponible en: <https://www.mazdaespanol.com/centro-de-recursos-3jn3i/tipos-de-veh%C3%ADculos-el%C3%A9ctricos>
- [10] "Ventajas y desventajas del coche eléctrico" carwow. Disponible en: <https://www.carwow.es/blog/ventajas-desventajas-coche-electrico#gref>

[11] "Las 10 principales diferencias entre un coche eléctrico y uno a combustión". Diario Motor. Disponible en: <https://www.diariomotor.com/electricos/diferencias-coche-electrico-combustion/>

[12] "Motor eléctrico versus motor de combustión". Forocoche Electricos. Disponible en: <https://forococheelectricos.com/2011/11/motor-electrico-versus-motor-de.html>

[13] "Anatomía del coche eléctrico: su sencilla mecánica al desnudo". Motorpasion. Disponible en: <https://www.motorpasion.com/coches-electricos/anatomia-coche-electrico-su-sencilla-mecanica-al-desnudo>

[14] "Así es el motor de un coche eléctrico: partes, funcionamiento y duración". Foro Coches Eléctricos. Disponible en: <https://forococheelectricos.com/practicos/asi-es-el-motor-de-un-coche-electrico-partes-funcionamiento-duracion>

[15] Scrosati, B., Garche, J., Tarascon, J. M. (2011). "Lithium batteries: Status, prospects and future". Journal of Power Sources, 195(9), 2419-2430.

[16] "¿Qué diferencias hay entre las baterías de litio y las de níquel-cadmio?". Leroy Merlin. Disponible en: <https://www.leroymerlin.es/ideas-y-consejos/consejos/que-diferencias-hay-entre-las-baterias-de-litio-y-las-de-niquel-cadmio.html>

[17] "Sistema BMS: baterías, ¿en qué consiste?". Alba Solar. Disponible en: <https://albasolar.es/sistema-bms-baterias-en-que-consiste/>

[18] "Inversor (electrónica)". Wikipedia. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Inversor\\_\(electr%C3%B3nica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Inversor_(electr%C3%B3nica))

[19] "¿Qué es un convertidor CC-CC?". Aptiv. Disponible en: <https://www.aptiv.com/es/tendencias/art%C3%ADculo/qu%C3%A9-es-un-convertidor-cc-cc>

[20] “Cómo funciona una ECU”. car-tec. Disponible en: <https://www.car-tec.es/blog/como-funciona-una-ecu/#:~:text=La%20ECU%20es%20la%20unidad,para%20transformar%20dicha%20informaci%C3%B3n%20inicial>

[21] “Tipos de conectores para coches eléctricos”. Race. Disponible en: <https://www.race.es/tipos-de-conectores-para-coches-electricos>

[22] “Qué es el servofreno: imprescindible para la seguridad”. Race. Disponible en: <https://www.race.es/que-es-el-servofreno-importante-para-seguridad>

[23] Ley 29/2021 de medidas urgentes en el ámbito energético para promover la movilidad eléctrica: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2021-12593>

[24] Real Decreto 866/2010, establece disposiciones específicas en el ámbito de la movilidad eléctrica: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2010-12965>

[25] “El retrofit de vehículos eléctricos, a un paso de su legalización en España”. Europa Press. Disponible en: <https://www.europapress.es/motor/coches-00640/noticia-retrofit-vehiculos-electricos-legalizacion-espana-20210405113534.html>

[26] Homologación de vehículos reconvertidos a través del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA): <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2010-19382>

[27] Ejemplo de empresa que ha logrado homologar vehículos reconvertidos en España, Elektrum Cars: <https://elektrumcars.com/>

[28] Regulation (EU) 2018/858 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 on the approval and market surveillance of motor vehicles and their trailers, and of systems, components and separate technical units intended for such vehicles, amending Regulations (EC) No 715/2007 and (EC) No 595/2009 and repealing Directive 2007/46/EC (Type-Approval Regulation)

- [29] Directive 2014/45/EU of the European Parliament and of the Council of 3 April 2014 on periodic roadworthiness tests for motor vehicles and their trailers, and repealing Directive 2009/40/EC
- [30] Directive 2007/46/EC of the European Parliament and of the Council of 5 September 2007 establishing a framework for the approval of motor vehicles and their trailers, and of systems, components and separate technical units intended for such vehicles
- [31] Decreto Ministeriale 11 maggio 2009 - <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.ministeriale:2009-05-11;107>
- [32] Decreto Ministeriale 25 marzo 2011 - <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.ministeriale:2011-03-25;56>
- [33] Circolare del Ministero dei Trasporti 6 marzo 2013 - <https://www.mit.gov.it/circolari>
- [34] Legge n. 145/2013 - <https://www.camera.it/parlam/leggi/13145l.htm>
- [35] “Sistema AC40 72V calidad premium”. Auto Libre Electrico. Disponible en: <https://autolibreelectrico.com/sistema-ac40-72v-calidad-premium/>
- [36] “Kit AC40 72V”. Tienda ISO 9000. Disponible en: <https://tiendaisso9000.com/auto-electrico/kit-ac40-72v.html>
- [37] “Battery SOH”. Moko Energy. Disponible en: <https://www.mokoenergy.com/battery-soh/>
- [38] “Nueva normativa europea baterías”. CIC Energigune. Disponible en: <https://cicenergigune.com/es/blog/nueva-normativa-europea-baterias>
- [39] “Reglamento de Baterías de Litio”. Cemo Group. Disponible en: <https://www.cemo-group.es/resumen-de-industrias/industria-de-la-construccion/almacenamiento-de-sustancias-peligrosas/reglamento-de-baterias-de-litio>

[40] “Equipo AP133”. Innovate FPGA. Disponible en:  
<https://www.innovatefpga.com/cgi-bin/innovate/teams.pl?Id=AP133>

[41] “Battery Maintenance System”. BMW Electric 320i. Disponible en:  
[https://bmwelectric320i.net/index.php?option=com\\_content&view=article&id=178:battery-maintenance-system&catid=10&Itemid=113](https://bmwelectric320i.net/index.php?option=com_content&view=article&id=178:battery-maintenance-system&catid=10&Itemid=113)

[42] “Linduino”. Analog Devices Inc. Disponible en:  
[https://github.com/analogdevicesinc/Linduino/tree/master/LTSketchbook/libraries/LT\\_SMBUS](https://github.com/analogdevicesinc/Linduino/tree/master/LTSketchbook/libraries/LT_SMBUS)

## 8 Anexos

### Anexo 1: ¿Qué es GLP?

Es un combustible que se fabrica con butano y propano a presión, pasando de estado gaseoso a líquido, ocupando menor volumen y facilitando así su transporte y distribución. El GLP procede en un 30% del proceso de refinado del petróleo y en un 70% de los yacimientos de gas natural o petrolíferos. Se utiliza en la industria y el transporte por sus ventajas económicas y ecológicas respecto a la gasolina y al gasóleo.

### Anexo 2: ¿Qué impide la adopción total de los coches eléctricos?

Para que la movilidad eléctrica se implante definitivamente se requieren mejoras en algunos aspectos, tales como avances tecnológicos para conseguir unas baterías con más autonomía, reducción del precio de adquisición del vehículo eléctrico, implantación y desarrollo de infraestructuras de recarga, estandarización de cargadores, etc. Estos asuntos competen no sólo a los fabricantes del sector automovilístico sino también a las administraciones públicas y a terceros implicados con aspectos que precisan desarrollo normativo.

### Anexo 3: ¿Qué es un Retrofit?

Proceso que implica la instalación de componentes electrónicos y mecánicos para permitir que el vehículo funcione con un sistema de propulsión eléctrico en lugar de utilizar gasolina o diésel. Este proceso incluye la instalación de un motor eléctrico, un inversor, un paquete de baterías de litio, un sistema de gestión de energía y un cargador de batería, entre otros elementos. El objetivo principal de este tipo de conversión es reducir las emisiones contaminantes y la dependencia de los combustibles fósiles, contribuyendo así a la lucha contra el

cambio climático. Es importante acudir a un taller especializado y asegurarse de cumplir con las regulaciones locales y de seguridad para garantizar la correcta operación del vehículo una vez terminada la conversión.

## Anexo 4: Procedimiento para Actualizar el Sistema de Baterías e Instalación de Accesorios

Para llevar a cabo la actualización del sistema de baterías de un coche eléctrico de manera segura, es imprescindible seguir una serie de pasos detallados. En primer lugar, es crucial desconectar el sistema de baterías antiguo para evitar cualquier riesgo de descarga eléctrica. A continuación, se debe analizar y planificar la nueva ubicación de las baterías, teniendo en cuenta las especificaciones del modelo del vehículo.

En el caso particular de este proyecto, las 6 baterías de gel antiguas fueron distribuidas entre diferentes áreas del coche, incluyendo el maletero, el capó y debajo de los asientos traseros. Para el nuevo sistema se decidió instalarlas en el maletero del vehículo, asegurándose de que estén centradas para una distribución de pesos adecuada, sin modificar demasiado el centro de masas.

Después de desconectar las baterías, es necesario retirar los elementos de sujeción, como tornillos y abrazaderas (ilustración 89), para poder extraer el sistema de energía antiguo sin causar daños. Durante este proceso, se debe tener especial cuidado debido al peligro que representan el peso de las baterías de gel, especialmente las dos ubicadas debajo de los asientos traseros.



*Ilustración 89: Sujeción del sistema de baterías anterior*

Con el objetivo de mejorar la organización y estética del maletero del vehículo, se optó por diseñar un fondo hecho a medida utilizando una tabla de madera. Esta decisión no solo contribuirá a darle un aspecto más sofisticado al automóvil, sino que también facilitará el proceso de instalación de las nuevas baterías.

Una vez que se haya diseñado y cortado la tabla de madera según las medidas necesarias, se procederá a instalarla en el maletero (ilustración 90). Posteriormente, se ubicará y asegurará la nueva batería en la posición correcta para garantizar un funcionamiento óptimo. Luego, se llevará a cabo la conexión de la batería al resto del sistema del vehículo, asegurándose de una correcta sujeción para evitar posibles movimientos durante el desplazamiento.



*Ilustración 90: Foto de la tabla antes de fijarla al maletero del coche*

Este proceso no solo mejorará la apariencia y funcionalidad del vehículo, sino que también contribuirá a mantener ordenado y seguro el maletero, evitando daños tanto en las baterías como en el resto de los componentes del automóvil como se aprecia en la ilustración 91.



*Ilustración 91: Aspecto final de la instalación*

En el proyecto, se instalaron sensores de temperatura (ilustración 92) en cada uno de los módulos de las baterías con el fin de monitorear constantemente

su estado y garantizar una mayor seguridad en su funcionamiento. Estos sensores están conectados al BMS, el cual cuenta con la función de alarma y desconexión automática en caso de detectar un aumento excesivo de temperatura en alguno de los módulos.



*Ilustración 92: Sensor de temperatura instalados*

Además, durante la instalación del nuevo sistema de energía, se siguieron detalladamente las instrucciones del manual del fabricante para conectar los cables de cada celda a los puntos correspondientes del BMS. Asimismo, se aseguró una correcta conexión entre el BMS y la pantalla de control.

Una vez que se han conectado todas las celdas de las baterías, los sensores de temperatura y la pantalla al BMS, es importante realizar algunas pruebas para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. En primer lugar, se comprueba que el BMS reconozca todas las celdas de las baterías y sea capaz de enviar la información correspondiente a la pantalla.

Posteriormente, se verifica el funcionamiento general del sistema, asegurándose de que no se produzcan picos de corriente que puedan dañar las celdas de las baterías y que la temperatura se mantenga en los rangos seguros de funcionamiento.

Para llevar a cabo estas pruebas, se acelera el motor del vehículo para observar cualquier aumento en el amperaje consumido y se monitorea si la tensión del sistema disminuye drásticamente, lo cual podría indicar algún problema en la conexión de las celdas de las baterías. Es fundamental realizar estas pruebas de funcionamiento para garantizar la seguridad del sistema de baterías y su integración con el vehículo.

Finalmente, se realiza una revisión de la pantalla instalada en el salpicadero del coche, la cual permite visualizar información relevante sobre el

estado de las celdas, el voltaje total del sistema, la corriente de descarga, la capacidad total y las temperaturas. Todo esto con el objetivo de garantizar un óptimo funcionamiento del sistema de baterías actualizado.

## Anexo 5: Datasheet

# LTC6811-2 Addressable isoSPI Battery- Stack Monitor

## DESCRIPTION

Demonstration circuit 2260A is an Addressable isoSPI Battery-Stack Monitor featuring the LTC6811-2. Multiple boards can be linked through a 2-wire isolated serial interface to monitor any number of cells on a stack.

Communication to a PC uses a DC2026 Linduino® One as a USB interface. The DC2026 comes preloaded with a legacy DC590 emulator function (the DC590 can also still be used<sup>1</sup>). A control program for up to ten stacked boards has a Graphical User Interface (GUI) to implement the device command set.

To control more than one DC2260A, the DC1941B isoSPI adapter and RJ45 (Ethernet) patch cables are also required.

## HARDWARE SETUP

When connected to a battery stack, power for the DC2260A is provided by the cell group being monitored. Separate the screw-terminal section from J1 and wire cell voltage connections or resistors into the clamping contacts to provide the input stimulus for the ADC.

Cell voltages are wired from position 4 (most negative potential of the group) with increasing potentials up to position 16 (most positive potential).

**Design files for this circuit board are available at <http://www.linear.com/demo/DC2260A>**

LT, LT, LTC, LTM, Linear Technology and the Linear logo and Linduino are registered trademarks and QuikEval is a trademark of Linear Technology Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners.

<sup>1</sup>A DC590 is a USB data acquisition board that serves to interface the DC2259 to a PC's USB port. This board is not necessary with a DC2026.

Alternatively, for a simple demo, connect twelve 100Ω resistors between each contact from position 4 to position 16 as shown in Figure 1. Then, provide a “stack-equivalent” power supply connection to position 16 (positive) and position 4 (return). The supply may be adjusted to provide the desired nominal cell voltage (e.g., 43.2V will be 3.6V/cell). **Note that cell discharge cannot be demonstrated properly with a resistor string stimulus.**

Photo 1 shows the following connections for one board interfaced to a PC:

1. Set jumpers on the board per Figure 1.
2. Connect a USB cable from the PC USB port to DC2026.
3. Connect a 14-pin ribbon from DC2026 to the SPI connector (J2) on DC2260A.
4. Mate the J1 cell-voltage connector. The blue LED will illuminate when power is applied. The brightness reflects the supply current.

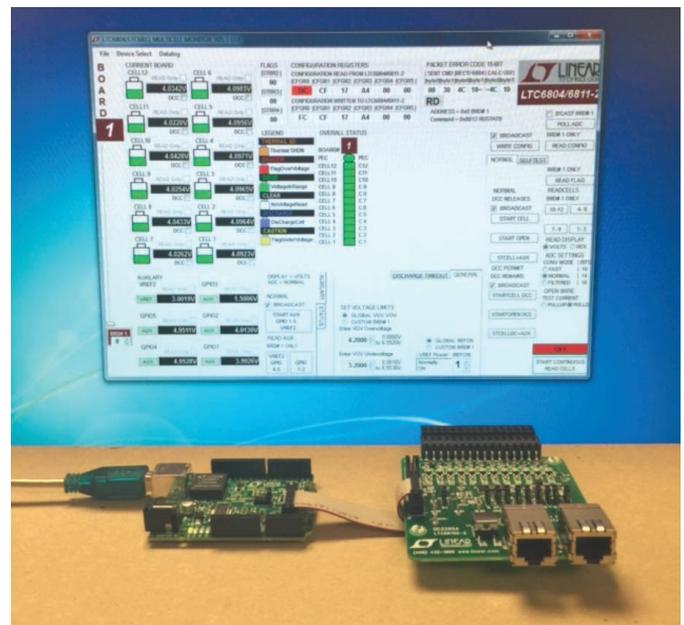


Photo 1. Connecting a Board to a PC

# DEMO MANUAL DC2260A

## DESCRIPTION

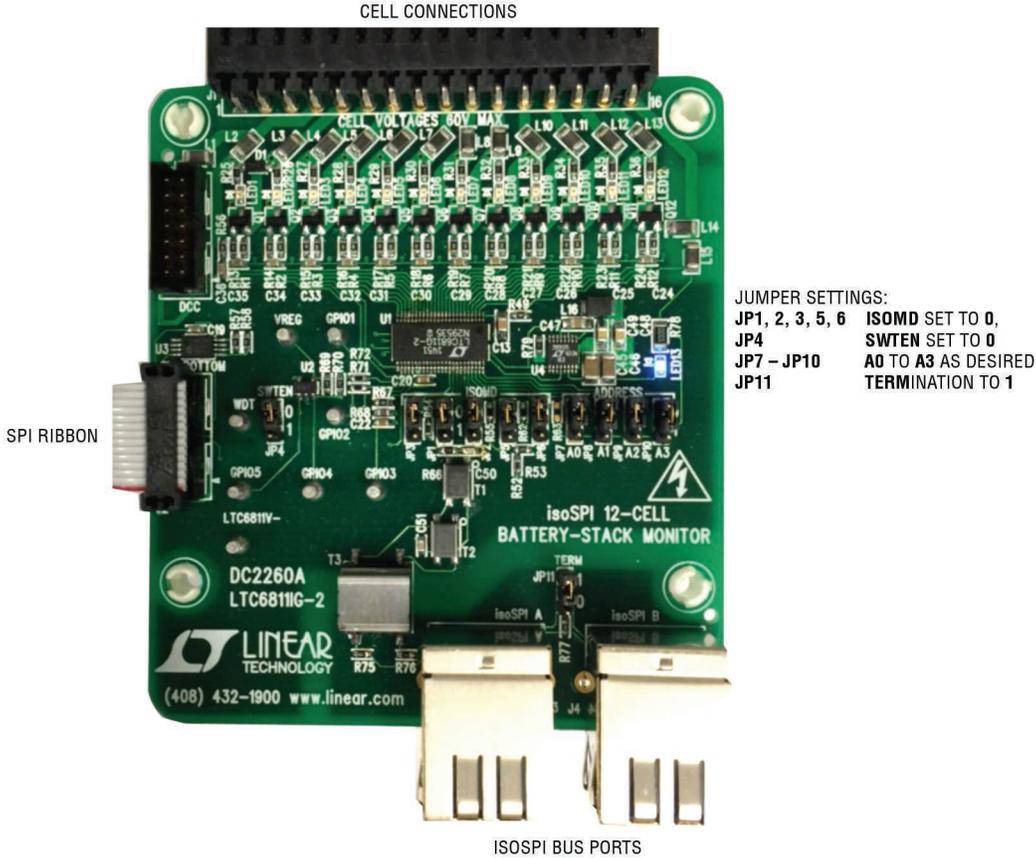


Photo 2. Connections and Jumpers

DESCRIPTION

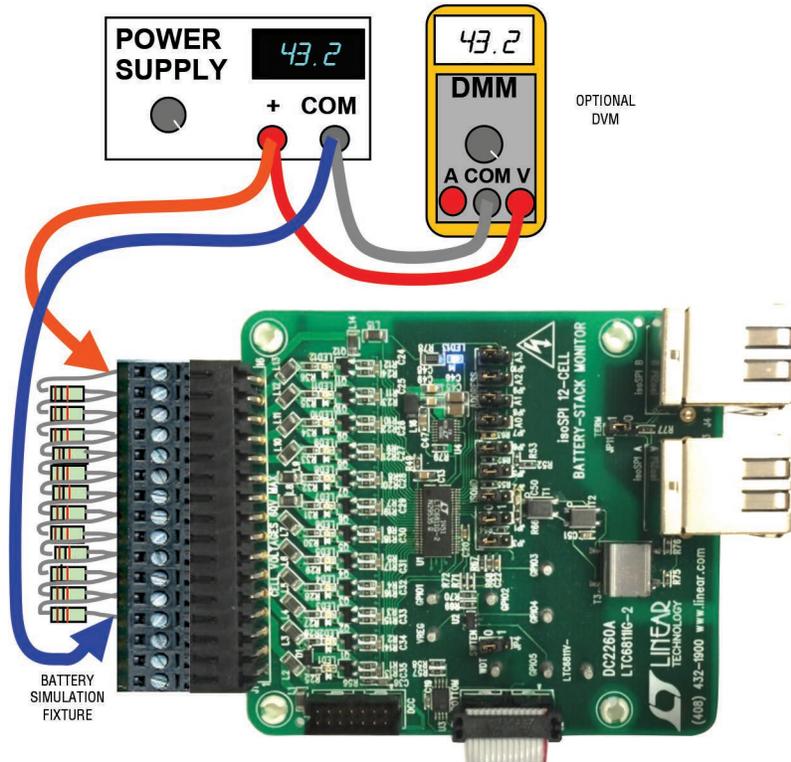


Figure 1. Simple Cell Simulator Using Resistors

## DESCRIPTION

### ISOLATING THE HOST AND ADDING BOARDS

The LTC6811-2 can be operated using the isoSPI ports (J3 and J4) rather than the conventional SPI port (J2), if desired. To operate more than one DC2260A, it is actually necessary to use the isoSPI feature to create the communication bus. To operate with isoSPI, the following is necessary:

- ADC1941 isoSPI adapter board (to provide the LTC6820 interface IC) that provides the conversion from the 14-contact ribbon cable connection to an RJ45 isoSPI port. With large numbers of isoSPI devices on a bus, the DC1941 may require slight hardware modifications to optimize the bus performance.
- Reconfiguration of all DC2260A ISOMD jumpers to the “1” position (JP1, 2, 3, 5, 6).
- Interconnection of isoSPI ports with RJ45 patch cables (J3 and J4 are interchangeable).

- TERMination jumpers (JP11) on DC2260A should all be set to “0” except for the unit electrically furthest from the DC1941 (JP11 set to “1”).

### SOFTWARE SETUP

To use the DC2026 USB interface board, download the free driver for a program called QuikEval™ from <http://www.linear.com/designtools/software>.

The separate GUI program is provided in a zipped file (LTC6804\_6811\_GUI\_Vxx.zip):

1. Unzip this folder
2. Run the setup.exe file to start installation
3. Ignore the Security Warning by selecting Install

The GUI control panel appears immediately after installation. Subsequent starts of the GUI are done through the Windows Start menu or the optional Windows Desktop shortcut icon.

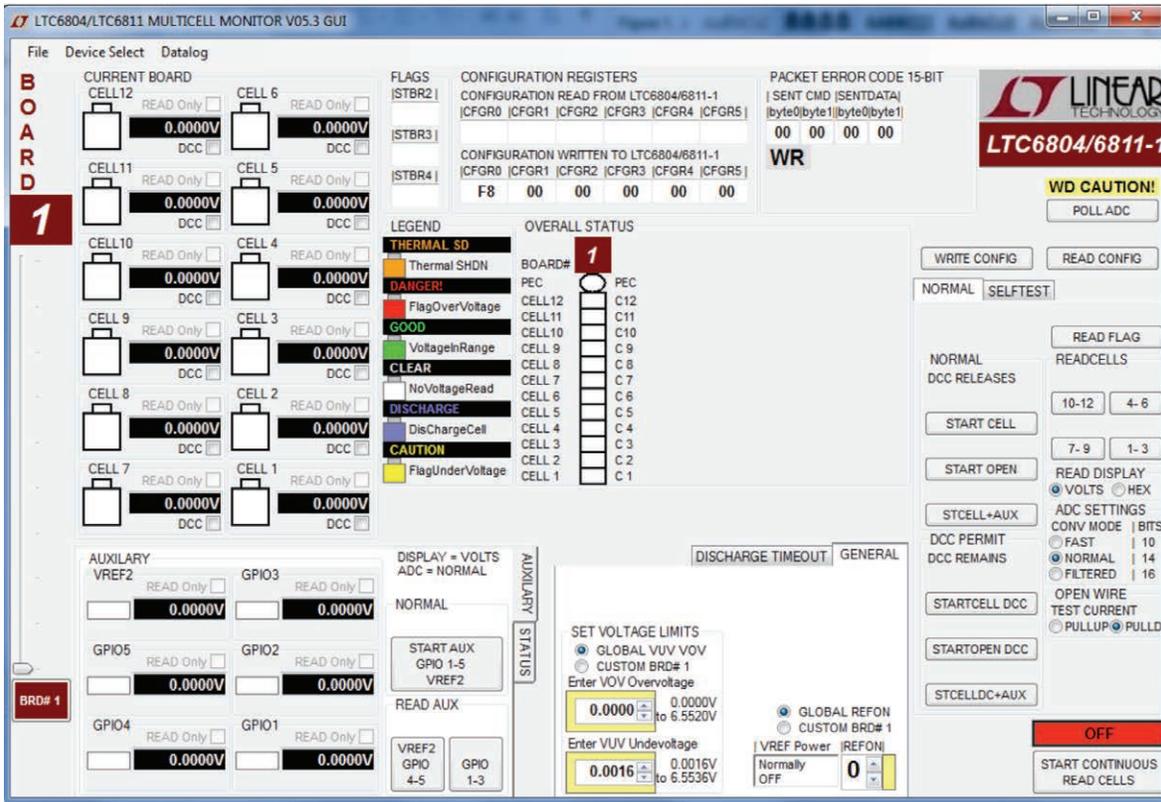


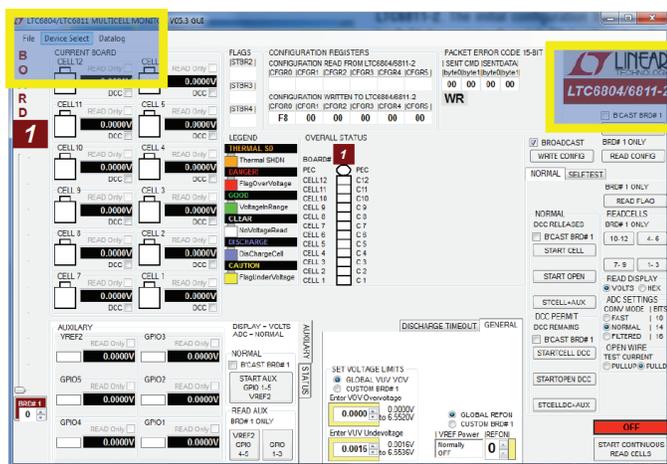
Figure 2. GUI Control Panel Start-Up Screen

## OPERATING THE CONTROL SCREEN

### GUI STARTUP

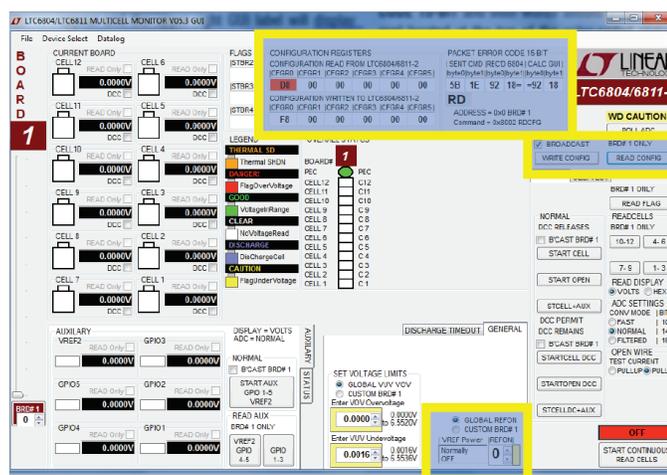
Figure 2 is the initial start-up screen that appears when the program is launched. Once power is supplied to the board from a stack of cells or a power supply, the communication between the PC and the board can be checked.

### 1. Set Device Mode



Click the Device Select menu, upper left of the GUI, then click LTC6804/6811-2 Addressable to set the correct GUI mode. Additional controls will appear and the upper right GUI label will display LTC6804/6811-2.

### 2. Read Configuration



Click the command button labeled READ CONFIG. If all is properly connected and operating, the start-up default configuration of the LTC6811-2 will be read from the board. The Hex codes for the six bytes of configuration setting will appear in the CONFIGURATION REGISTERS section in the boxes labeled CONFIGURATION READ FROM LTC6804/6811-2. The initial configuration bytes should be 0xD8 for register 0 and 0x00 for the other five bytes. This default configuration is the sleep mode for the LTC6811-2 on DC2260A.

The LTC6811 calculates a 15-bit Packet Error Code, PEC15, as a 16-bit word and appends it to the data stream each time it sends out data. For the six bytes sent by this command and received by the GUI, the control program calculates a PEC15 in the same manner. This 16-bit word is compared with the appended received 16-bit word to check that the data transmission was properly executed. The received PEC15 word and the calculated PEC15 word from the received data are displayed in the top section labeled PACKET ERROR CODE 15-BIT and both words should match. The oval located at the top of the color-coded status panel for the one board will turn green if the PEC15 words match. Data transmission errors will produce red warning indications when the PEC15 words do not match. There is also a display of the PEC15 that was sent with the most recent command to the LTC6811.

### 3. Write Configuration

Nothing is changed within the LTC6811 until the Write Configuration command is executed. Clicking the WRITE CONFIG command button sends the command and then the six Hex bytes shown in the CONFIGURATION WRITTEN TO LTC6804/6811-2 will become bold type. Software developers can note the exact hex values required by the LTC6811 for specific conditions in these boxes to facilitate their control program development.

## OPERATING THE CONTROL SCREEN

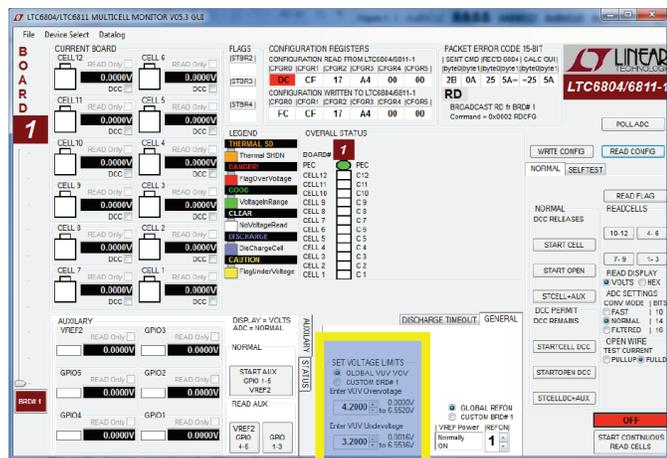
Clicking the READ CONFIG button can give confirmation that the configuration change was actually made. Five of the six bytes read back should match the bytes sent and the PEC15/CRC15 check 16-bit words should be a match (green PEC oval on stack display).

When any configuration information is changed on the screen, the WRITE CONFIG command button will be illuminated, serving as a reminder that this command still needs to be executed.

Set REFUP to 1 followed by a WRITE CONFIG command. The Watchdog Timer (WDT) will now be prevented from expiring by issuing a repeating POLL ADC command, and the stack is ready to be monitored.

**NOTE:** No configuration changes take effect until the WRITE CONFIG button is clicked. Leaving REFUP at the default setting of 0, the WDT times out in 2 seconds and all configuration information is reset.

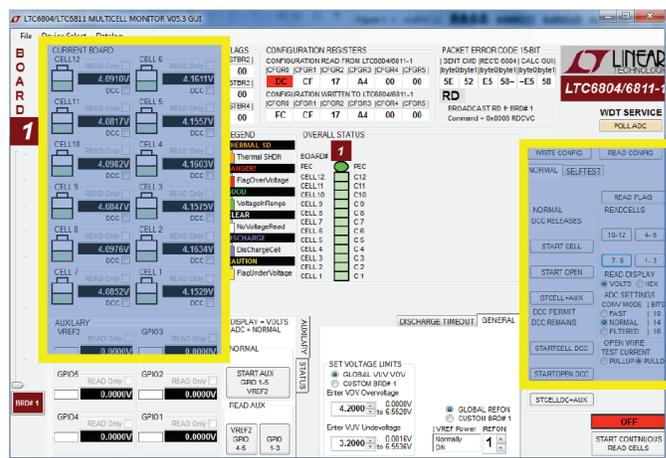
### 4. Program the Cell Monitoring Voltage Thresholds



In the section labeled SET VOLTAGE LIMITS, click on the boxes and enter voltage values for the overvoltage and undervoltage thresholds appropriate for the cells being monitored. The voltage value entered will be rounded to the actual value used by the LTC6811 and displayed in the box. The voltage ranges for these thresholds is 0V to 6.5520V.

These monitor thresholds can be applied globally to each and every cell in the system or customized for the cells connected to an individual board by clicking the desired option button. Individual boards are selected for programming by the left hand tabs in multiple board systems. Click the WRITE CONFIG button to send the data and then a READ CONFIG to verify it.

### 5: Read Cell Voltages



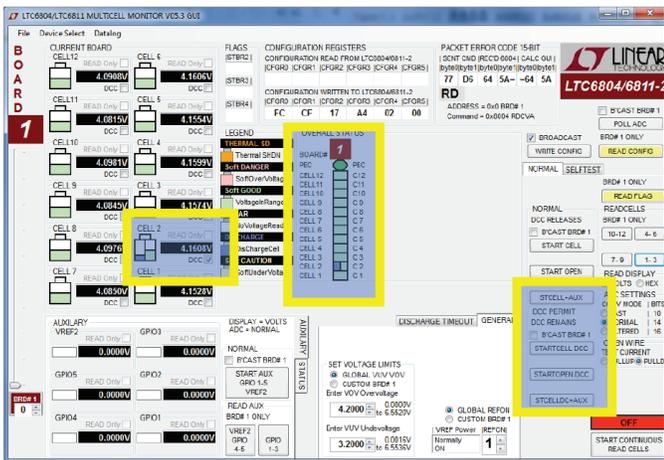
The essential function of the LTC6811 is to measure and report the voltage on each battery cell when commanded. First click on the STARTCELL button. This commands an A/D conversion of all 12-cell voltages in the bit-resolution configured from the selected CONV MODE (Conversion Mode) in the ADC SETTINGS box. The actual cell voltage

## OPERATING THE CONTROL SCREEN

measurements are displayed in groups of 3 when each command button inside the READ CELLS box is clicked.

**NOTE:** The READ DISPLAY box has options to display Cell Voltages in VOLTS or HEX. First select VOLTS or HEX then click on one of the command buttons inside READ CELLS box. Every time a command button inside the READ CELLS box is clicked; new data is downloaded from the board and displayed as selected in VOLTS or HEX.

### 6: Discharge Cells



The LTC6811 includes the ability to remove charge from individual cells to help equalize cell charges within a stack of batteries. DC2260A contains a P-channel MOSFET in series with a 33Ω resistor across each cell connection. When enabled, a cell is loaded and charge is pulled from the cell with energy dissipated in the switch and resistor.

A check box is provided for each cell to be discharged. Checking this box (Cell 2 in the above example screen shot) and then writing the new configuration with a WRITE CONFIG button push will load the cell.

The discharge transistors are automatically turned off momentarily while the A/D converter is measuring the cell voltage using the normal STARTCELL command. This prevents any voltage drop errors caused by the discharge current flowing through the cell inter-connection wiring. An accurate indication of the true cell voltage is then obtained.

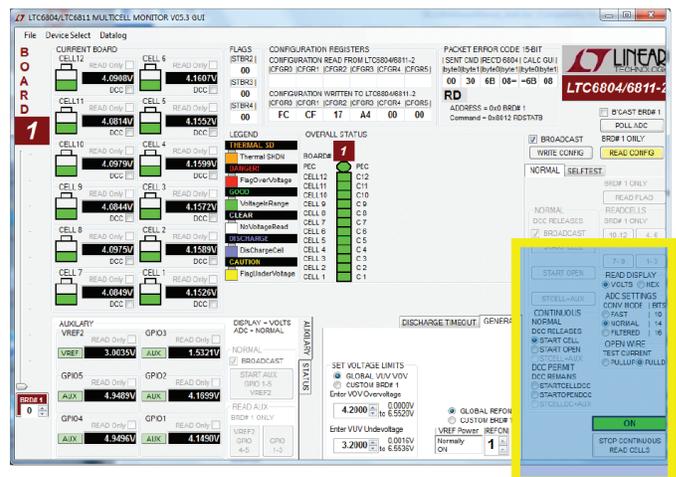
The LTC6811 offers the option of keeping the discharge transistors on while measuring the cell voltages. This is done using the STARTCELL DCC command button. The command button is illuminated blue when this command has been executed. This lower voltage reading also includes I•R errors introduced by cabling and connectors.

### 7. Other Control Features

Additional command buttons are provided on the control screen. The POLL ADC command button is used to test if the ADC is busy making conversions of any LTC6811 devices in a system. The result of this command can be observed by monitoring the serial data output line of the SPI interface to the Bottom Port, J2. There is no indication provided on the control screen.

The START OPEN (WIRE) command button connects the built in open wire detection circuitry to all cells. This command must be followed by any command buttons inside the READ CELLS box click to see the result. The OPEN WIRE TEST CURRENT box provides options to use either PULLUP or PULLDOWN Open Wire Test Currents. An open wire connection to any cell will be indicated by an abnormally high voltage measurement for the cell above the open wire and a near zero measurement for the cell with the open wire in the PULLDOWN case.

### 8. Continuous Operation



## OPERATING THE CONTROL SCREEN

For convenience, the control panel allows for continuous operation of the DC2260A board. When the command button labeled START CONTINUOUS READ CELLS is selected, the GUI operates in a continuous loop executing the following command sequence automatically:

- Start cell voltage
- Read cell voltage groups A (1 – 3) , B (4 – 6), C (7 – 9), and D (10 – 12)
- Read flags

Options available are the READ DISPLAY box, ADC SETTINGS box, OPEN WIRE TEST CURRENT box, and the CONTINUOUS box. The CONTINUOUS box allows the selection of STARTCELL, STARTOPEN, STARTCELL DCC, and STARTOPEN DCC commands to be executed during continuous operation. The options are useful for monitoring the cell voltage measurements under different ADC Test Conditions.

All values are updated continually (update rate is ~500ms). While running, the configuration can be changed on the fly. Simply changing a configuration item (Discharge cells for example) and clicking the WRITE CONFIG button will implement the new configuration and return to continuous operation.

A green box with the label ON in the lower right corner of the GUI indicates that the system is running continuously. A red box with the label OFF means that the system is stopped and waiting for a new command to be sent.

### DATALOGGING OPERATION

The GUI program can “datalog” or store cell voltage results in a CSV (Comma Separated Value \*.csv) file. This feature is useful in characterizing cell voltages over time. Datalogging operates similarly to continuous operation but has the added functionality of storing results in a CSV file.

1. At the upper left of the GUI, click on the Datalog Menu then Enable Datalog.



Datalog Mode is enabled when a maroon box appears to the left of the START CONTINUOUS READ CELLS command button and the red box label changes from OFF to DATALOG OFF. Datalog Mode is disabled when the maroon box disappears and the red box label reverts to OFF.

**NOTE:** The \*.csv filenames include the time created and are stored by default into the “C:\Datalog6804\_6811\” folder. More details are in the file “AboutCurrentVersion.txt” inside the GUI’s installation folder (normally “C:\Program Files\LTC\MultiCellBatteryMonitor\LTC6804”).

2. Click on the START CONTINUOUS READ CELLS command button to start datalogging onto a new CSV file.



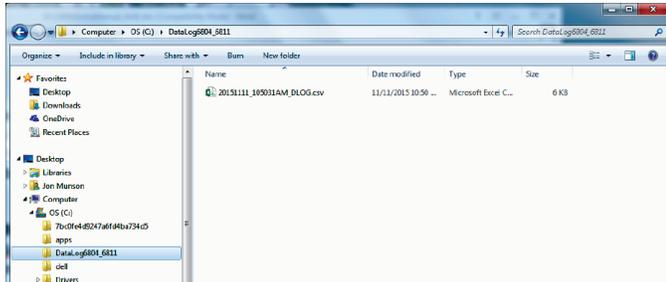
Elapsed Time = Total time of Datalog from start to finish. Total Data Points = Total data points of Datalog from start to finish. Refresh = Time in seconds (S) between each Read Cells command; also known as Sample or Update Rate.

3. Click on the STOP CONTINUOUS READ CELLS command button to stop datalogging and close the CSV file.

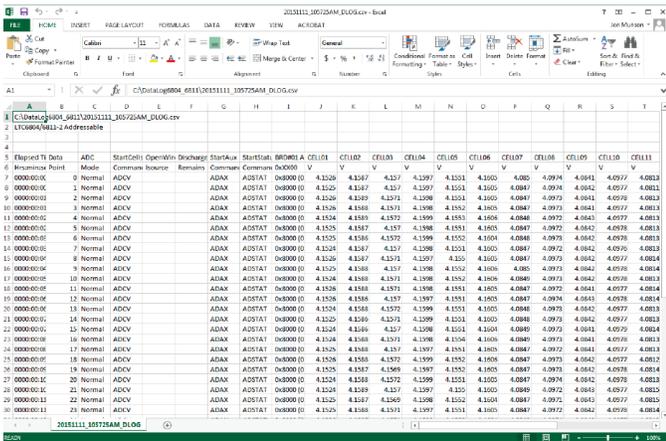


## OPERATING THE CONTROL SCREEN

4. The CSV file is ready to view. Go to “C:\Data-Log6804\_6811” folder and open file.



5. View the CSV file in a compatible spreadsheet software program such as MS Excel.



2. A tab will appear on the left edge of the control panel for each board on the stack. Clicking on any of these tabs will transfer control commands and data to and from the display screen to that selected board.

3. Select whether the ADC’s Voltage Reference Powered State (Ref Up) and Over-/Undervoltage thresholds for each board are to be the same (GLOBAL) or different for each board (CUSTOM) and set the Ref Up and voltages accordingly.

## COLOR CODED STATUS PANEL

The color-coded status panel will expand to include all boards connected in a stack. Each small square in this array represents an individual battery in the stack of boards. The intent of this display is to provide a way to see the status of all cells at a glance. The significance of the colors used is explained in the legend on the screen.

Consult the data sheet for detailed information concerning the operation of the LTC6811-2.

## COMMANDS SUPPORTED (V05 VERSION):

- POLLADC
- WRITE CONFIG (REFUP, VUV, VOV, Discharge selected cells)
- READ CONFIG
- START CELL and OPEN WIRE conversions with and without discharge connected (ADC Settings: Conversion Mode, Open Wire Test Current)
- READ CELL GROUPS (A, B, C and D. Read Volts/Hex)
- START CONTINUOUS reads all cells every ~500ms.

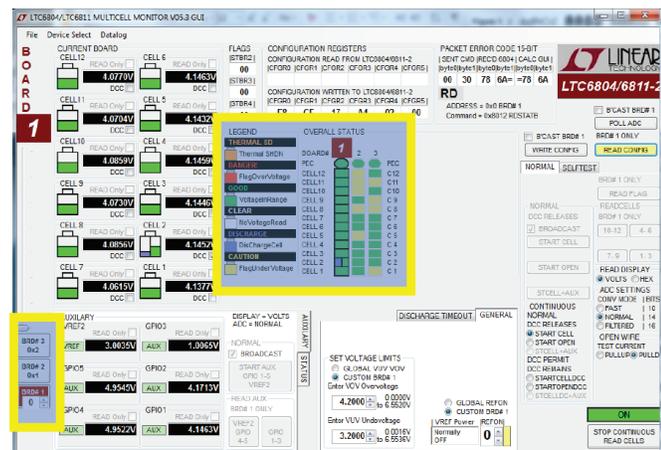
## COMMANDS NOT SUPPORTED (V05 VERSION):

- SELFTEST
- GPIO Logic Functions
- READ FLAGS
- READ AUX

## SOFTWARE ADJUSTMENTS

The GUI program can control up to ten boards on a stack.

1. Select the number of boards on the stack by sliding the track bar up or down; located at the bottom left of the screen.



# DEMO MANUAL DC2260A

---

## DEMONSTRATION BOARD IMPORTANT NOTICE

Linear Technology Corporation (LTC) provides the enclosed product(s) under the following **AS IS** conditions:

This demonstration board (DEMO BOARD) kit being sold or provided by Linear Technology is intended for use for **ENGINEERING DEVELOPMENT OR EVALUATION PURPOSES ONLY** and is not provided by LTC for commercial use. As such, the DEMO BOARD herein may not be complete in terms of required design-, marketing-, and/or manufacturing-related protective considerations, including but not limited to product safety measures typically found in finished commercial goods. As a prototype, this product does not fall within the scope of the European Union directive on electromagnetic compatibility and therefore may or may not meet the technical requirements of the directive, or other regulations.

If this evaluation kit does not meet the specifications recited in the DEMO BOARD manual the kit may be returned within 30 days from the date of delivery for a full refund. **THE FOREGOING WARRANTY IS THE EXCLUSIVE WARRANTY MADE BY THE SELLER TO BUYER AND IS IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESSED, IMPLIED, OR STATUTORY, INCLUDING ANY WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE. EXCEPT TO THE EXTENT OF THIS INDEMNITY, NEITHER PARTY SHALL BE LIABLE TO THE OTHER FOR ANY INDIRECT, SPECIAL, INCIDENTAL, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES.**

The user assumes all responsibility and liability for proper and safe handling of the goods. Further, the user releases LTC from all claims arising from the handling or use of the goods. Due to the open construction of the product, it is the user's responsibility to take any and all appropriate precautions with regard to electrostatic discharge. Also be aware that the products herein may not be regulatory compliant or agency certified (FCC, UL, CE, etc.).

No License is granted under any patent right or other intellectual property whatsoever. **LTC assumes no liability for applications assistance, customer product design, software performance, or infringement of patents or any other intellectual property rights of any kind.**

LTC currently services a variety of customers for products around the world, and therefore this transaction **is not exclusive**.

**Please read the DEMO BOARD manual prior to handling the product.** Persons handling this product must have electronics training and observe good laboratory practice standards. **Common sense is encouraged.**

This notice contains important safety information about temperatures and voltages. For further safety concerns, please contact a LTC application engineer.

Mailing Address:

Linear Technology  
1630 McCarthy Blvd.  
Milpitas, CA 95035

Copyright © 2004, Linear Technology Corporation

# Linduino One Isolated Arduino-Compatible Demonstration Board

## DESCRIPTION

Linear Technology's DC2026 (called the Linduino<sup>®</sup> One) is compatible with the Arduino Uno microcontroller board. Arduino hardware consists of an Atmel microcontroller with a bootloader allowing quick in-circuit firmware updates. The software is a simple programming environment based on the AVRGCC compiler. This platform is popular because it is easy to use, both the hardware and software are open source, and it can be programmed in C. We find it an ideal way to demonstrate and distribute libraries for integrated circuits that have digital interfaces such as Inter-Integrated Circuit (I<sup>2</sup>C) and Serial Peripheral Interface (SPI). While the Linduino One is Arduino-compatible, it is not produced by the official Arduino team, and they do not receive any monetary support from this board. Please, consider supporting them by purchasing other items from: <http://store.arduino.cc>

LT, LT, LTC, LTM, Linear Technology, Linduino and the Linear logo are registered trademarks and QuikEval are trademarks of Linear Technology Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners.

The Linduino One adds several features to the standard Arduino Uno board:

- A 14-pin QuikEval™ connector provides a direct connection to a growing list of hundreds of Linear Technology demo boards, including ADCs, DACs, Power System Management, RF Synthesizers, System Monitor and Control, and many others.
- Selectable 5V, 3.3V, 2.5V, 1.8V logic levels and analog supply on QuikEval Connector
- An LTM<sup>®</sup>2884 provides galvanic isolation of USB data and power for both safety and noise rejection.
- Auxiliary 7V to 20V power input on isolated side, with conversion to 5V provided by an LT<sup>®</sup>3973 allowing high power operation up to 750mA.

Design files for this circuit board are available at <http://www.linear.com/demo/DC2026C>

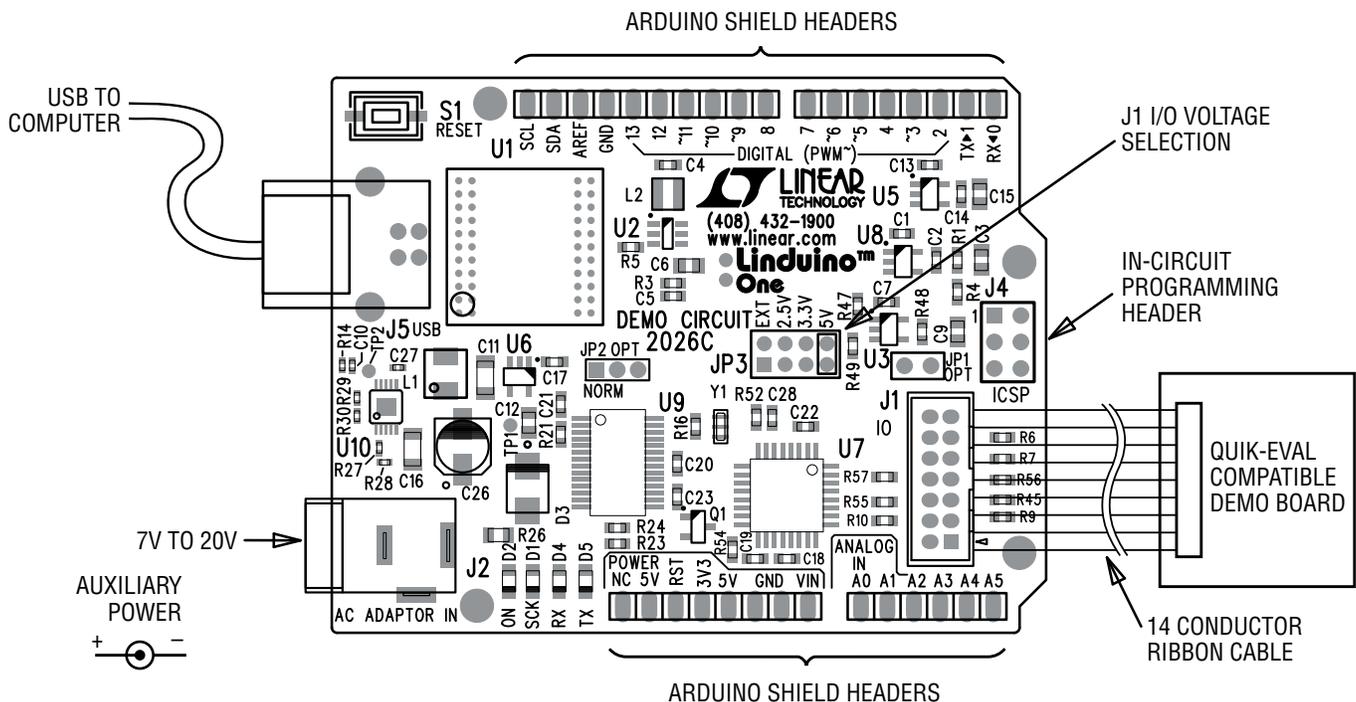


Figure 1. Linduino One Basic Connections

## QUICK START GUIDE

The Linduino One comes preloaded with a DC590 emulator program (called a “sketch”) that allows attached demo boards to run with the standard QuikEval GUI software. This allows the functionality of the board to be verified before starting firmware development. After evaluation with QuikEval, the Linduino One can be reprogrammed with customer code. There is a top-level demonstration sketch for each part’s library that provides a text terminal interface to the board, demonstrating the library functions.

The Linduino One is also available as DC2026C-KIT, which includes a DC934 as an easy to use example daughter board. DC934 is the demonstration board for the LTC®2607 dual 16-bit, I<sup>2</sup>C digital to analog converter (DAC). This board also has an LTC2422 2-channel, 20-bit, SPI interface analog to digital converter (ADC) that reads back the DAC output. Thus, this board demonstrates operation of both SPI and I<sup>2</sup>C interfaces, and multichannel ADCs and DACs. The following sections describe the procedure for installing the required software and operating the DC934 with both QuikEval software and with a terminal based demo program.

While this manual describes operation with the DC934, the procedure applies to other boards as well.

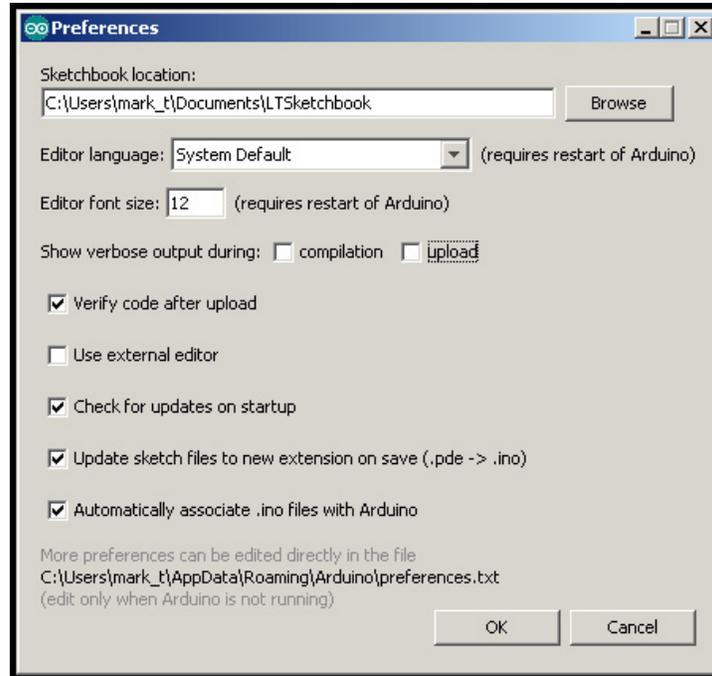
### Manual Software Installation

- 1) Download LTSketchbook.zip from [www.linear.com/docs/43958](http://www.linear.com/docs/43958). This is the entire code base for the Linduino board, including all demo code, libraries for individual devices, auxiliary functions, and HTML documentation. Extract this file to a location for working files, such as your “My Documents” directory or “C:\Projects”.
- 2) Note: If QuikEval is already installed, please update to the latest version by selecting Tools → Update Program, then proceed to step 3. If not, download and run QuikEval from [www.linear.com/software](http://www.linear.com/software). This installs the QuikEval program, as well as the FTDI USB drivers required for the Linduino One (and other Linear Technology interface boards.) Drivers are also distributed with the Arduino IDE, but it is recommended to let QuikEval install the drivers to ensure compatibility with the Linduino One. You will be prompted to connect the board to the PC during installation. Once the installation is complete, quit QuikEval.
- 3) Download the Arduino Integrated Development Environment (IDE) from either <http://arduino.cc/en/Main/Software> or <http://www.linear.com/designtools/linduino.php> (Version 1.6.4 is used in this manual.) This is not an installer; no installation is necessary. Extract the contents of this file to a convenient location for programs, such as “C:\Program Files”. The “Arduino.exe” file is the actual program file; double-click to open the Arduino IDE.

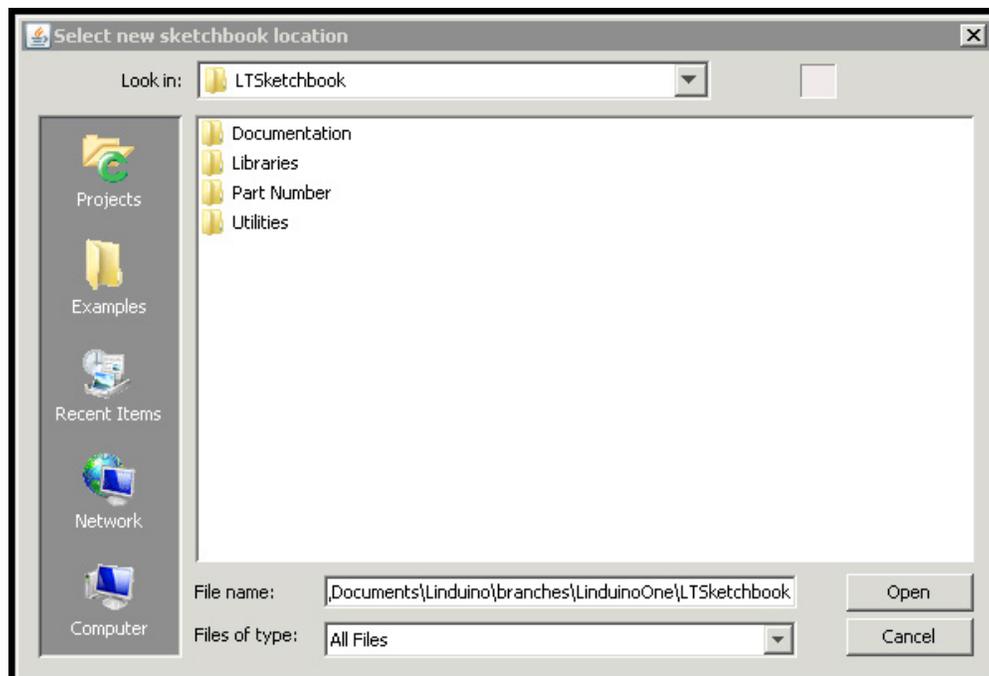
## QUICK START GUIDE

### Arduino IDE Setup

1) From within the Arduino IDE, click on File → Preferences

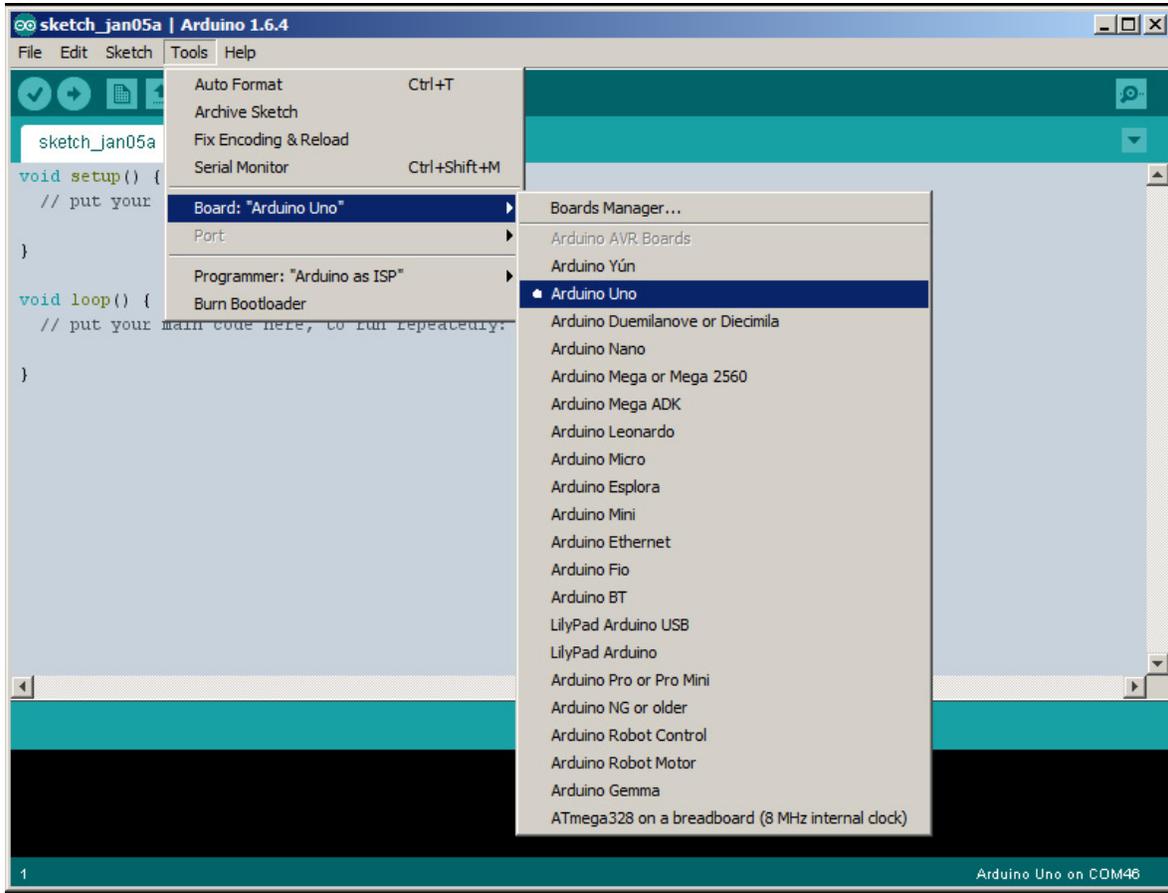


Under Sketchbook Location: select Browse, and locate the path to the extracted LTSketchbook.zip file. The correct location will show “LTSketchbook” in the Look In menu, and at least four subdirectories will be shown: Documentation, Libraries, Part Number and Utilities (more may be added in the future). Click Open, then click OK.



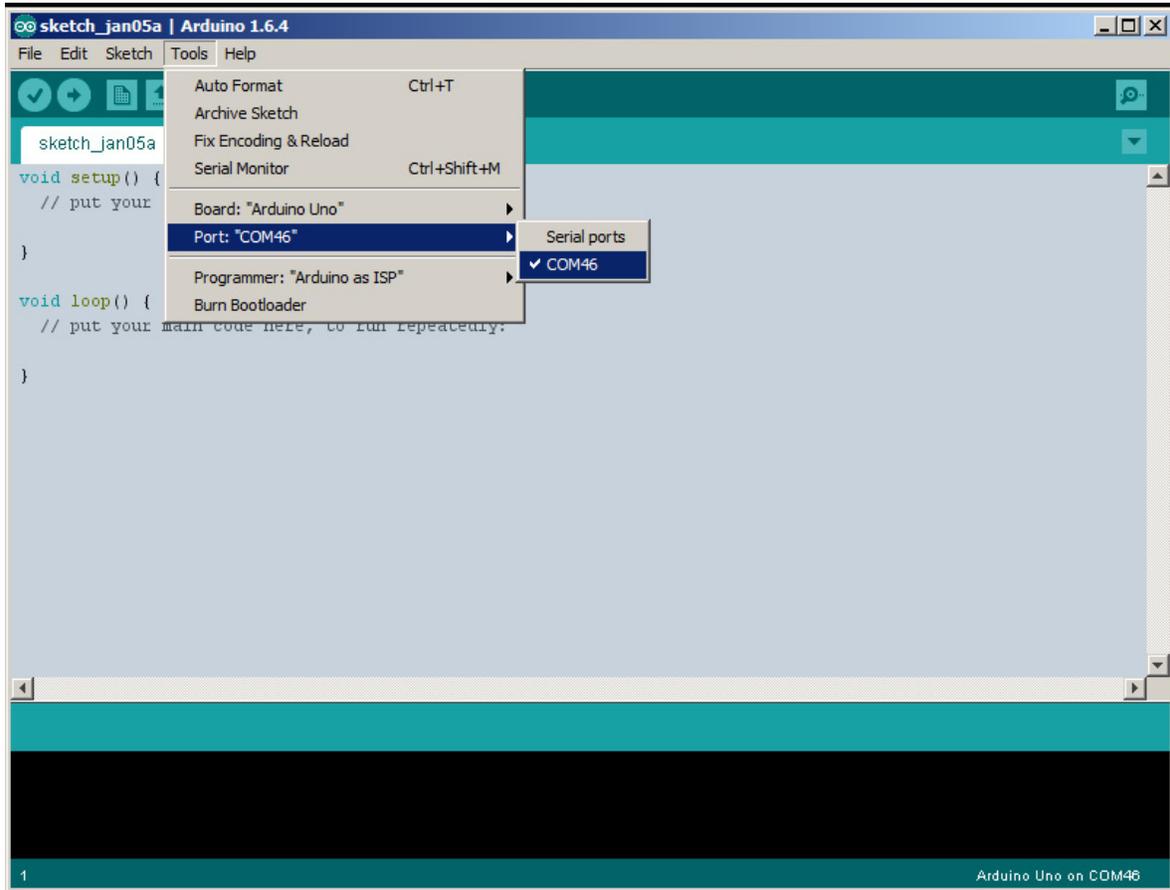
## QUICK START GUIDE

2) Under **Tools** menu, select **Board** → **Arduino Uno**



## QUICK START GUIDE

3) Under the **Tools** menu, select **Serial Port**. There may be more than one option; the Linduino One is usually the highest COM port number (COM12 is shown below).

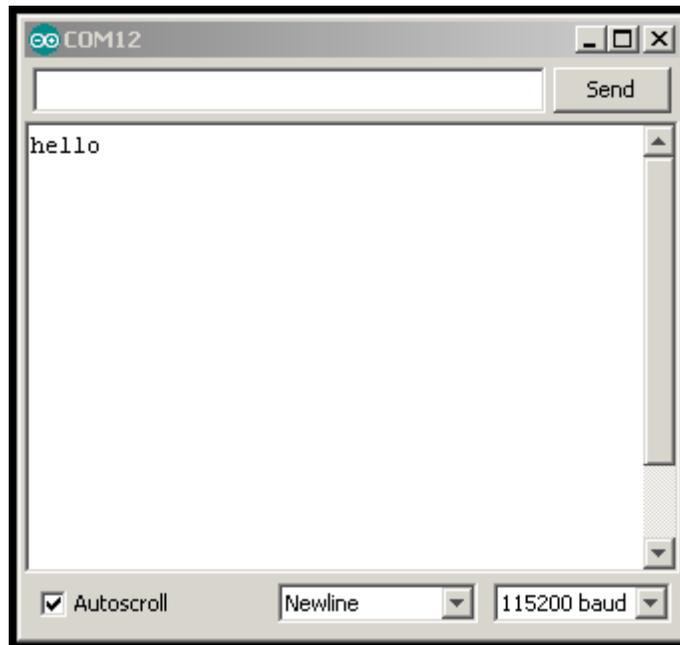


## QUICK START GUIDE

4) Click on the Serial Monitor, which looks like a magnifying glass:



This will bring up the monitor window:



Select Newline terminator and set the baud rate to 115200. You should see a “hello” message – this indicates that serial communication is set up properly, and that the DC590 emulator firmware is properly installed. Pressing the RESET button on the Linduino One will cause the message to be sent again. If this message does not appear, try a different COM port.

**(Note:** The DC590 emulator sketch can be restored by following the procedure detailed below for uploading the DC934 sketch, substituting the DC590 sketch which is located in File → Sketchbook → Utilities → DC590B.)

5) Quit the Arduino IDE. Note that a restart is required every time the Sketchbook location is changed.

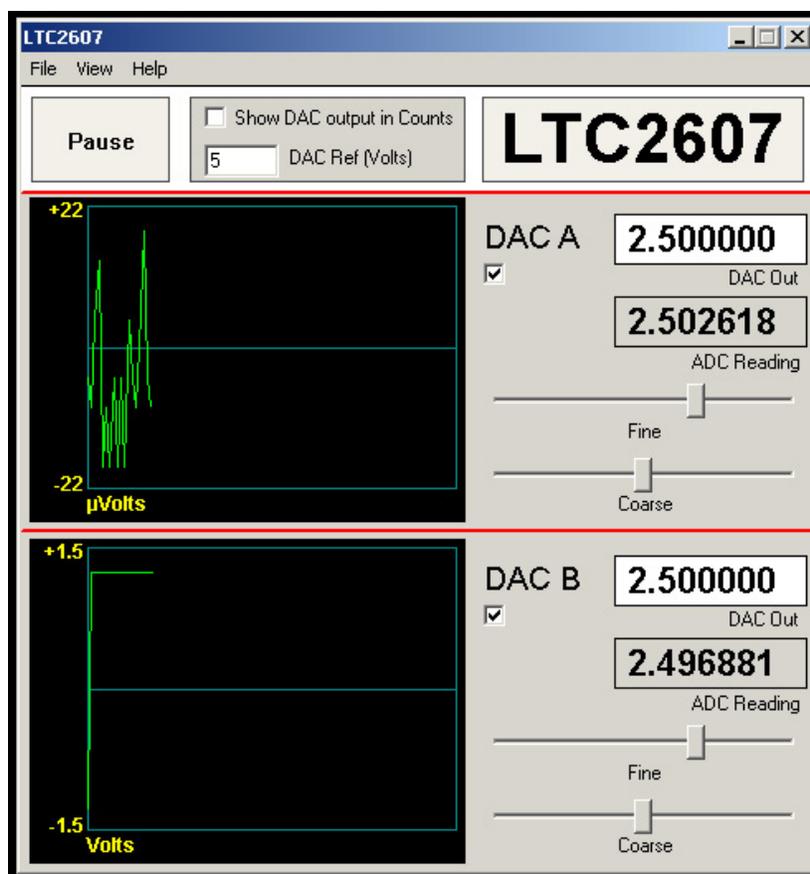
## QUICK START GUIDE

### Running with QuikEval

Linear Technology demo boards with the 14-pin QuikEval connector are normally used in conjunction with a DC590B interface board and the QuikEval software package running on a PC. Designers can then use the software to evaluate the performance of the product on the demo board. The Linduino One comes programmed with firmware that allows it to emulate the DC590B controller, so the QuikEval software can be used to check basic functionality in a target system.

Connect the DC934 to the Linduino One with the supplied 14-pin ribbon cable. Run QuikEval. The control panel for the LTC2607 will appear, and clicking COLLECT will start communication with the board. The onboard LTC2422 ADC reads back the output voltages, and the voltage may be changed by entering a number in the appropriate box or by moving the sliders.

Quit QuikEval after this step.

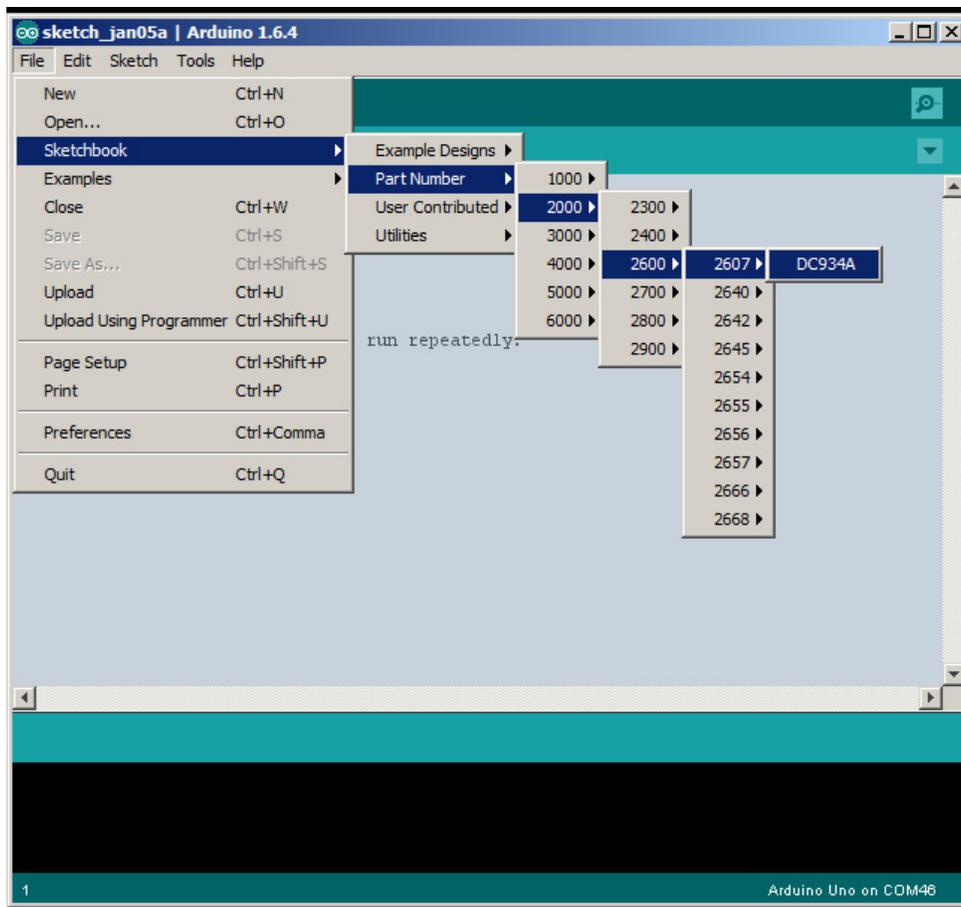


## QUICK START GUIDE

### Running with the Linduino Demonstration Program

After the DC934 has been run with the user-friendly QuikEval GUI, a demonstration program can be loaded into the Linduino One that demonstrates the library functions for the LTC2607 and LTC2422.

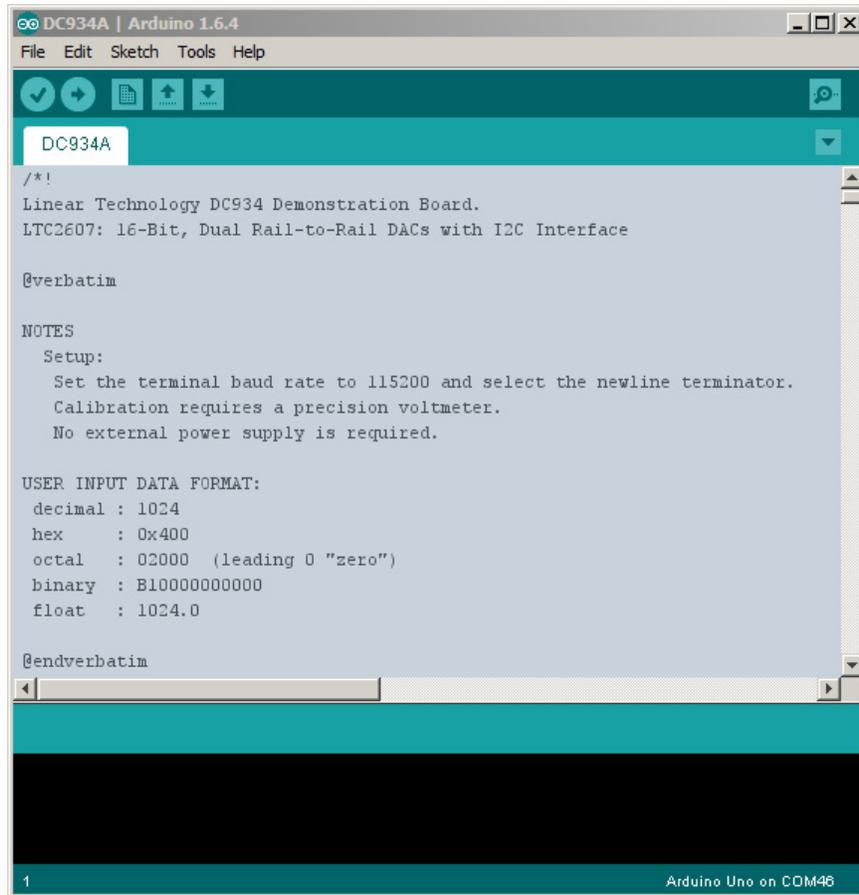
- 1) Open the Arduino IDE. Find the part number on the demo board, LTC2607 in this case. In the **File** menu select **Sketchbook** → **Part Number** → **2000** → **2600** → **2607** → **DC934A**.



(There may be other entries for a particular part number showing example usage cases, experiments, etc. The entry for the demo circuit number is the general-purpose demonstration program and is a good place to start.)

## QUICK START GUIDE

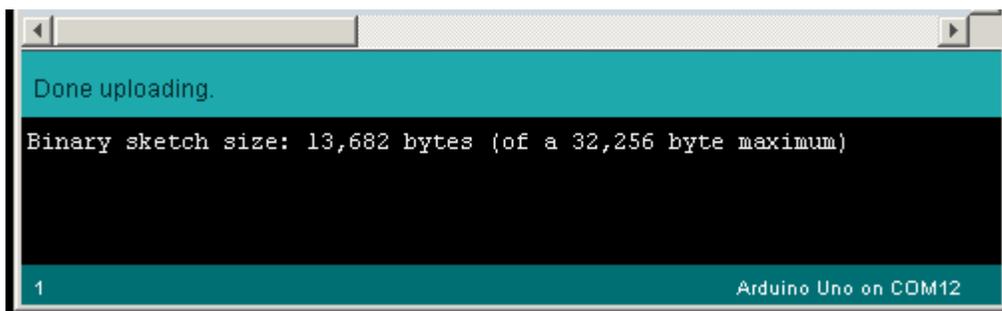
A new window will appear with the sketch.



2) Upload the sketch by clicking the UPLOAD button:

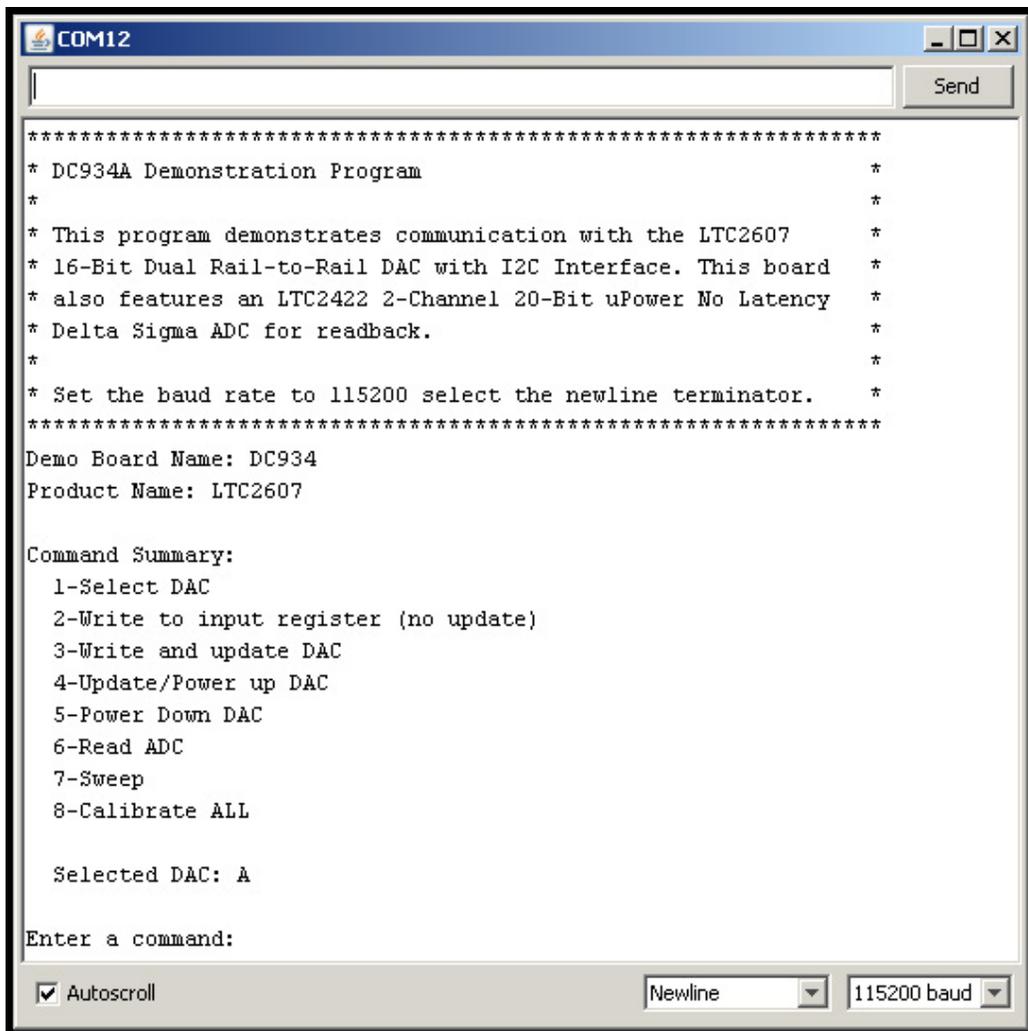


When this process is completed, a message at the bottom should display a similar message as shown.



## QUICK START GUIDE

3) Open the Serial Monitor (magnifying glass icon) once more. The monitor will now display the program interface.



To use the program, enter commands into the text box, then click the Send button.



## QUICK START GUIDE

### Going Further

After completing the procedure in this Quick Start Guide, all of the tools are in place to move on to other products or further experimentation with the DC934. The main page for all Linduino resources is:

<http://www.linear.com/designtools/linduino.php>

HTML documentation for the code is provided in the sketchbook in the Documentation subdirectory.

### External Connections

**J1:** QuikEval header – Connection to QuikEval demonstration board. This connector provides 5V at 50mA, 7.6V at 50mA, SPI and I<sup>2</sup>C interfaces, and an auxiliary I<sup>2</sup>C interface for identification of the attached demonstration board.

**J2:** AC ADAPTOR IN – 2.1mm × 5.5mm barrel connector. Optional DC power input, 7V to 20V DC. With external power applied, up to 750mA can be drawn from the 5V supply (available on pins 2 and 5 on J3, or pin 10 on J1.)

**J3, J6, J7, J8:** Arduino shield headers. These headers are compatible with standard Arduino “shield” add-on boards. Refer to schematic for individual signals.

**J4:** ICSP – In-circuit serial programming header. Used in conjunction with an external programming tool such as an AVR Dragon or JTAGICE3.

**J5:** USB – Connection to the host computer. Power for the Linduino and the connected daughter board is also taken from J5 if no external power is supplied to J2.

### Jumpers

**JP1:** Factory use only.

**JP2:** Reset configuration, not installed. When the ICSP header is used with an external tool, install a 3 position, 0.1" header in this location and cut the trace labeled NORM on the back side of the board. Place jumper in the right-hand position (opposite to NORM) to allow the ICSP tool to control the RESET signal, install in the NORM position to allow the FT232  $\overline{DTR}$  signal to control RESET (this is normal Arduino operation, and required to program the board from within the Arduino IDE.)

**JP3:** VCCIO selection 5V (default), 3.3V, 2.5V, remove for 1.8V, or EXT to disable the onboard regulator and supply VCCIO to the DC2026 from the attached demo board. Refer to the documentation for the attached demo board for information on acceptable voltage levels. VCCIO is the low-voltage supply for the attached demo board. It also sets the logic level for the SPI and I<sup>2</sup>C signals.

### LEDs

**ON:** Lights when 5V supply is on, from which all other supply voltages are generated.

**SCK:** Lights when Arduino pin 13 (SCK on the SPI bus) is high. This is the pin used in the “blink” sketch under File → Examples → Basics → Blink.

**RX:** Lights when data is being received from the host computer through the USB port.

**TX:** Lights when data is being sent to the host computer through the USB port.

**RESET Button (S1):** Asserts the ATmega328's  $\overline{RESET}$  line, restarting program execution.



## PARTS LIST

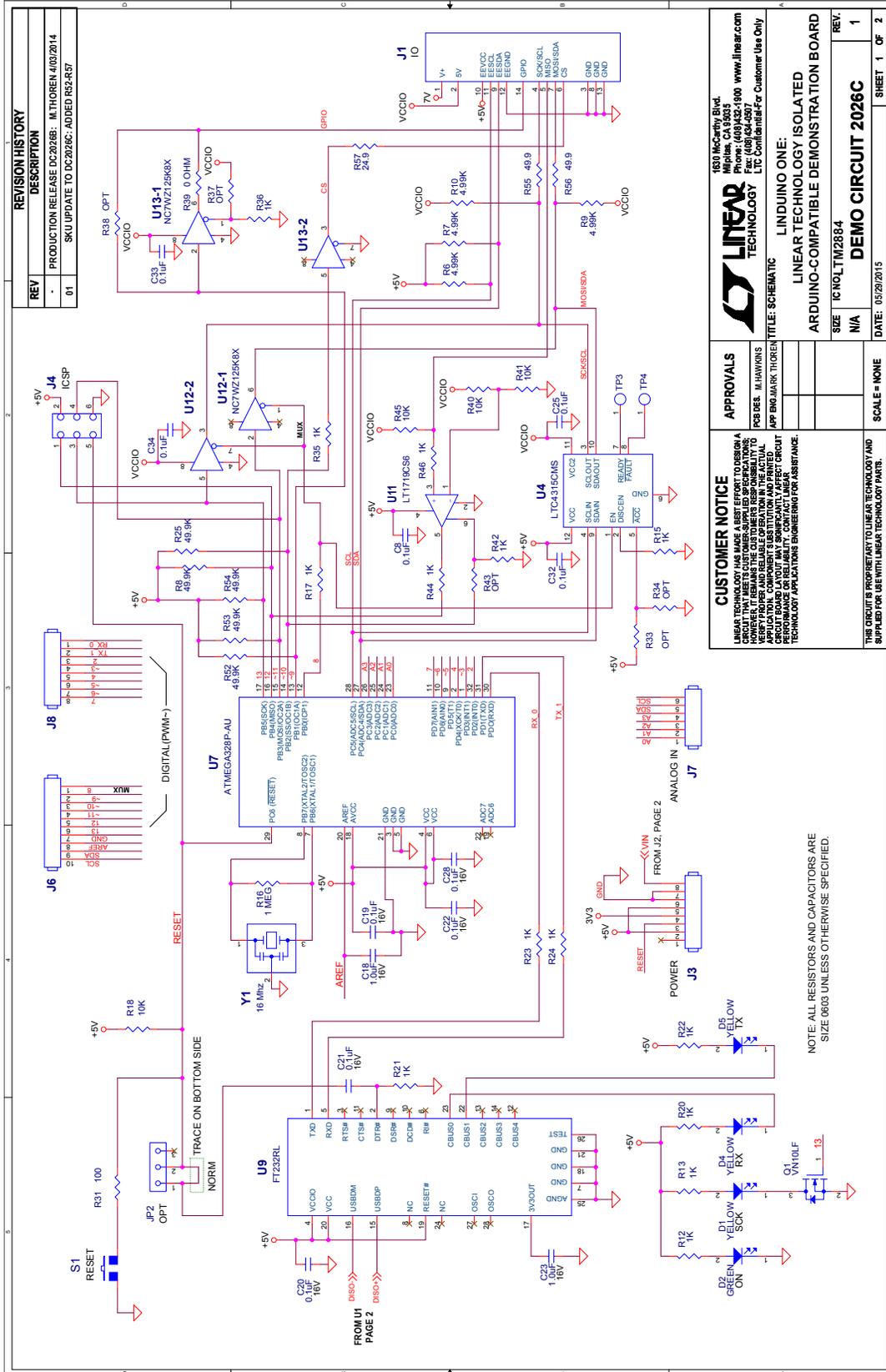
ITEM	QTY	REFERENCE	PART DESCRIPTION	MANUFACTURER/PART NUMBER
1	2	C1, C7	CAP., X5R, 4.7µF, 16V, 10%, 0603	TDK, C1608X5R1C475K080AC
2	2	C2, C14	CAP., X7R, 0.01µF, 16V, 10%, 0603	AVX, 0603YC103KAT2A
3	4	C3, C9, C12, C15	CAP., X5R, 10µF, 16V, 10%, 0805	MURATA, GRM21BR61C106KE15L
4	5	C4, C13, C17, C18, C23	CAP., X7R, 1µF, 16V, 10%, 0603	TDK, C1608X7R1C105K080AC
5	1	C5	CAP., NPO, 15pF, 50V, 10%, 0603	AVX, 06035A150KAT2A
6	1	C6	CAP., X5R, 4.7µF, 25V, 10%, 0805	TDK, C2012X5R1E475K125AB
7	10	C8, C19-C22, C25, C28, C32-C34	CAP., X7R, 0.1µF, 16V, 10%, 0603	AVX, 0603YC104KAT2A
8	1	C10	CAP., COG, 10pF, 25V, 10%, 0402	AVX, 04023A100KAT2A
9	1	C11	CAP., X5R, 22µF, 6.3V, 20%, 1206	TAIYO YUDEN, JMK316ABJ226MLHT
10	1	C16	CAP., X7R, 2.2µF, 50V, 10%, 1206	MURATA, GRM31CR71H225KA88L
11	1	C24	CAP., X7R, 0.047µF, 16V, 10%, 0603	AVX, 0603YC473KAT2A
12	1	C26	CAP., ALUM., 10µF, 50V, 10%, SMT	SUN ELECT., 50CE10BSS
13	1	C27	CAP., X5R, 0.22µF, 10V, 20%, 0402	AVX, 0402ZD224MAT2A
14	0	C29	CAP., OPT, 0805	OPTION
15	2	C30, C31	CAP., X7R, 2.2nF, 1kV, 10%, 1206	AVX, 1206AC222KAT1A
16	3	D1, D4, D5	LED, YELLOW, DIFFUSED, 0805	AVAGO, HSMY-C170
17	1	D2	LED, GREEN, DIFFUSED, 0805	AVAGO, HSMG-C170
18	1	D3	DIODE, SCHOTTKY, 100V, 2A, SMB	DIODES INC., B2100-13-F
19	1	JP3	HEADER, 2x4 PIN, 0.079CC	SULLINS, NRPN042PAEN-RC
20	1	J1	HEADER, 2x7 DUAL ROW	MOLEX, 87831-1420
21	1	J2	CONNECTOR, POWER JACK, 2.1mm	CUI INC., PJ-002AH
22	2	J3, J8	CONN., RECEPT., 0.100, 8 POSITION	SULLINS, PPPC081LFBN-RC
23	1	J4	HEADER, 2x3 PIN, 0.100	SAMTEC, TSW-103-07-L-D
24	1	J5	CONNECTOR, USB TYPE B, RIGHT ANGLE PCB MOUNT	FCI, 61729-0010BLF
25	1	J6	CONN., RECEPT., 0.100, 10 POSITION	SULLINS, PPPC101LFBN-RC
26	1	J7	CONN., RECEPT., 0.100, 6 POSITION	SULLINS, PPPC061LFBN-RC
27	1	L1	INDUCTOR, 15µH, 1.3A, SMD	COOPER, MPI4040R3-150-R
28	1	L2	INDUCTOR, SHIELDED POWER, 10µH, SMT	COILCRAFT, XFL3010-103ME
29	4	MP1-MP4	BUMPER, ADHESIVE-BACKED	3M, SJ5376
30	1	Q1	TRANSISTOR, MOSFET, N-CH 60V, 150mA, SOT-23	DIODES INC., VN10LFTA
31	1	R1	RES., CHIP, 64.9k, 1/10W, 1% 0603	VISHAY, CRCW060364K9FKEA
32	1	R2	RES., CHIP, 47.5k, 1/10W, 1% 0603	VISHAY, CRCW060347K5FKEA
33	1	R3	RES., CHIP, 215k, 1/10W, 1% 0603	VISHAY, CRCW0603215KFKEA
34	1	R4	RES., CHIP, 13.7k, 1/10W, 1% 0603	VISHAY, CRCW060313K7FKEA
35	1	R5	RES., CHIP, 42.2k, 1/10W, 1% 0603	VISHAY, CRCW060342K2FKEA
36	4	R6, R7, R9, R10	RES., CHIP, 4.99k, 1/10W, 1% 0603	VISHAY, CRCW06034K99FKEA
37	6	R8, R25, R48, R52, R53, R54	RES., CHIP, 49.9k, 1/10W, 1% 0603	VISHAY, CRCW060349K9FKEA
38	0	R11, R32	RES., CHIP, OPT, 0805	OPTION
39	14	R12, R13, R15, R17, R20, R21, R22, R23, R24, R35, R36, R42, R44, R46	RES., CHIP, 1k, 1/10W, 1% 0603	VISHAY, CRCW06031K00FKEA

# DEMO MANUAL DC2026C

## PARTS LIST

ITEM	QTY	REFERENCE	PART DESCRIPTION	MANUFACTURER/PART NUMBER
40	1	R14	RES., CHIP, 1MEG, 1/16W, 1%, 0402	VISHAY, CRCW04021M00FKED
41	1	R16	RES., CHIP, 1MEG, 1/10W, 1%, 0603	VISHAY, CRCW06031M00FKEA
42	5	R18, R40, R41, R45, R47	RES., CHIP, 10k, 1/10W, 1%, 0603	VISHAY, CRCW060310K0FKEA
43	1	R19	RES., CHIP, 86.6k, 1/10W, 1%, 0603	NIC, NRC06F8662TRF
44	5	R25, R48, R52, R53, R54	RES., CHIP, 49.9k, 1/10W, 1%, 0603	VISHAY, CRCW060349K9FKEA, NIC, NRC06F4992TRF
45	1	R26	RES., CHIP, 0.20Ω, 1/4W, 5%, 0805	PANASONIC, ERJ-S6SJR20V
46	1	R27	RES., CHIP, 107k, 1/16W, 1%, 0402	VISHAY, CRCW0402107KFKED
47	1	R28	RES., CHIP, 475k, 1/16W, 1%, 0402	VISHAY, CRCW0402475KFKED
48	1	R29	RES., CHIP, 215k, 1/16W, 1%, 0402	VISHAY, CRCW0402215KFKED
49	1	R30	RES., CHIP, 316k, 1/16W, 1%, 0402	VISHAY, CRCW0402316KFKED
50	1	R31	RES., CHIP, 100Ω, 1/10W, 5%, 0603	VISHAY, CRCW0603100RJNEA
51	0	R33, R34, R37, R38, R43	RES., CHIP, OPT, 0603	OPTION
52	1	R39	RES., CHIP, 0Ω, 1/10W, 0603	VISHAY, CRCW06030000Z0EA
53	1	R49	RES., CHIP, 105k, 1/10W, 1%, 0603	VISHAY, CRCW0603105KFKEA
54	1	R50	RES., CHIP, 19.1k, 1/10W, 1%, 0603	VISHAY, CRCW060319K1FKEA
55	1	R51	RES., CHIP, 40.2k, 1/10W, 1%, 0603	VISHAY, CRCW060340K2FKEA
56	2	R55, R56	RES., 49.9Ω, 1/10W, 1%, 0603	NIC, NRC06F49R9TRF
57	1	R57	RES., 24.9Ω, 1/10W, 1%, 0603	NIC, NRC06F24R9TRF
58	1	S1	SWITCH, PUSHBUTTON, MINIATURE	WÜRTH ELEKTRONIK, 434111025826
59	1	U1	MODULE, USB TRANSCEIVER, BGA-44	LINEAR TECH., LTM2884CY#PBF
60	1	U2	IC, DC-DC CONVERTER, TSOT-23	LINEAR TECH., LT3461ES6#PBF
61	1	U3	IC, LDO MICROPOWER REGULATOR, ADJUSTABLE, TSOT-23	LINEAR TECH., LT1761ES5-SD#PBF
62	1	U4	IC, BUS BUFFER, 2-WIRE, MSOP	LINEAR TECH., LTC4315CMS#PBF
63	1	U5	IC, LDO MICROPOWER REGULATOR, 3.3V, TSOT-23	LINEAR TECH., LT1761ES5-3.3#PBF
64	1	U6	IC, IDEAL DIODE, LOW LOSS, TSOT-23	LINEAR TECH., LTC4411ES5#PBF
65	1	U7	IC, MICROCONTROLLER	ATMEL, ATMEGA328P-AU
66	1	U8	IC, LDO MICROPOWER REGULATOR, ADJUSTABLE, TSOT-23	LINEAR TECH., LT1761ES5-BYP#PBF
67	1	U9	IC, USB UART, 28-SSOP	FTDI, FT232RL-REEL
68	1	U10	IC, STEP-DOWN REGULATOR, MS10	LINEAR TECH., LT3973EMSE#PBF
69	1	U11	IC., SINGLE/DUAL-SUPPLY COMPARATOR	LINEAR TECH., LT1719CS6#PBF
70	2	U12, U13	IC, TRI-STATE UHS BUFFER, US8	FAIRCHILD, NC7WZ125K8X
71	1	XJP3	SHUNT, 2mm	SAMTEC, 2SN-BK-G
72	1	Y1	RESONATOR, 16MHz, SMT	MURATA, CSTCE16M0V53-R0

## SCHEMATIC DIAGRAM



REV	DESCRIPTION
01	PRODUCTION RELEASE DC2026C: MITHOREN 4/03/2014
01	SKU UPDATE TO DC2026C; ADDED R52-R57

**LINEAR TECHNOLOGY**  
 1601 McGuffey Blvd.  
 Milpitas, CA 95035  
 Phone: (408)432-1900 www.linear.com  
 Fax: (408)434-4997  
 LTC Confidential For Customer Use Only

**LINEAR TECHNOLOGY ISOLATED ARDUINO-COMPATIBLE DEMONSTRATION BOARD**

IC NO: LTM2884

**DEMO CIRCUIT 2026C**

DATE: 05/29/2015

SHEET 1 OF 2

**CUSTOMER NOTICE**  
 LINEAR TECHNOLOGY HAS MADE A BEST EFFORT TO DESIGN A CIRCUIT THAT MEETS THE SUPPLIER-SUPPLIED SPECIFICATIONS AND IS INTENDED TO BE USED AS A REFERENCE DESIGN. WE DO NOT WARRANT PROPER AND RELIABLE OPERATION IN THE ACTUAL APPLICATION. THE USER MUST VERIFY THE ACTUAL PERFORMANCE OF THE CIRCUIT IN THEIR APPLICATION. CONTACT LINEAR TECHNOLOGY APPLICATIONS ENGINEERING FOR ASSISTANCE.

**APPROVALS**  
 PCB DES: M. HAWKINS  
 APP ENG: MARK THOREN  
 TITLE: SCHEMATIC

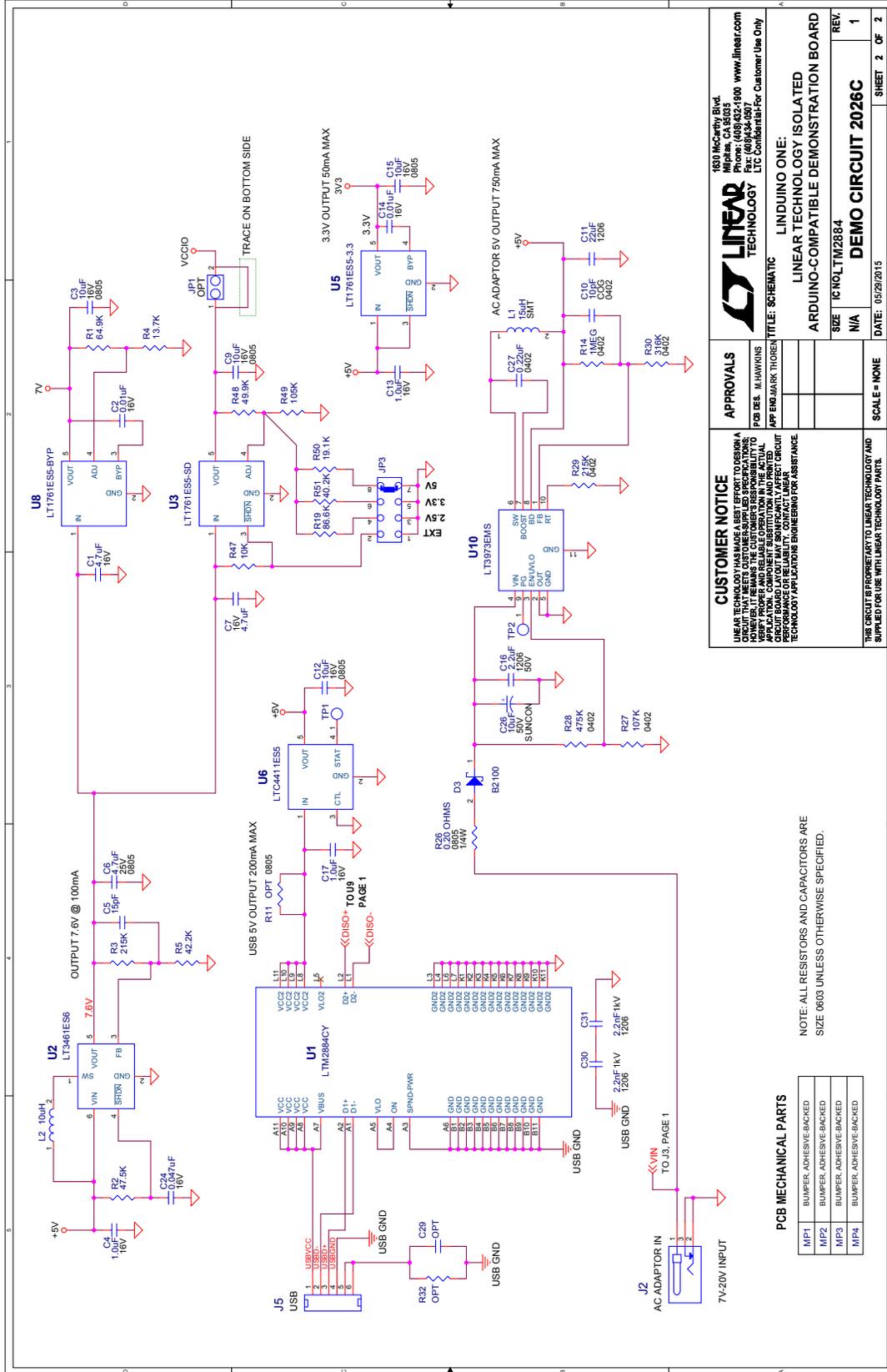
**SCALE**: NONE

**THIS CIRCUIT IS PROPRIETARY TO LINEAR TECHNOLOGY AND SUPPLIED FOR USE WITH LINEAR TECHNOLOGY PARTS.**

NOTE: ALL RESISTORS AND CAPACITORS ARE SIZE 0603 UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.

# DEMO MANUAL DC2026C

## SCHEMATIC DIAGRAM



**LINEAR TECHNOLOGY**  
 1801 McCarty Blvd.  
 Milpitas, CA 95035  
 Phone: (408) 432-1900 www.linear.com  
 Fax: (408) 434-4097  
 LIC Confidential-For Customer Use Only

**APPROVALS**

DESIGNER: M. HAWKINS  
 APP. ENG. MARK THOREN

**CUSTOMER NOTICE**  
 LINEAR TECHNOLOGY HAS MADE A BEST EFFORT TO DESIGN A BOARD THAT MEETS THE SPECIFICATIONS AND PERFORMANCE TO WHICH IT HAS COMMITTED. THE USER ASSUMES RESPONSIBILITY TO VERIFY PROPER AND RELIABLE OPERATION IN THE ACTUAL APPLICATION. THE USER SHOULD CONTACT LINEAR TECHNOLOGY FOR RELIABILITY, CONTACT PERFORMANCE, OR PERFORMANCE INFORMATION. CONTACT LINEAR TECHNOLOGY FOR LAYOUT ENGINEERING ASSISTANCE.

**THE CIRCUIT IS PROPRIETARY TO LINEAR TECHNOLOGY AND SUPPLIED FOR USE WITH LINEAR TECHNOLOGY PARTS.**

**LINEAR TECHNOLOGY ISOLATED ARDUINO-COMPATIBLE DEMONSTRATION BOARD**

**LINDUINO ONE:**  
 TITLE: SCHEMATIC  
 SIZE: N/A  
 IC NO.: LTM2884  
 DEMO CIRCUIT 2026C

SCALE = NONE  
 DATE: 05/29/2015  
 SHEET 2 OF 2

## REVISION HISTORY (Revision history begins at Rev C of Manual)

BOARD REV	DATE	DESCRIPTION	PAGE NUMBER
B	08/14	Added circuitry to allow adjustment of VCCIO voltage and SPI/I <sup>2</sup> C logic levels	11, 12
C	06/15	Revised Board to C, added pull-up resistors to U12, U13 inputs. Added source termination resistors to U1, U13 outputs.	13, 14, 15
C	03/16	Update text, screenshots to show Arduino 1.6.4	2, 4, 5, 8, 9

# DEMO MANUAL DC2026C

---

## DEMONSTRATION BOARD IMPORTANT NOTICE

Linear Technology Corporation (LTC) provides the enclosed product(s) under the following **AS IS** conditions:

This demonstration board (DEMO BOARD) kit being sold or provided by Linear Technology is intended for use for **ENGINEERING DEVELOPMENT OR EVALUATION PURPOSES ONLY** and is not provided by LTC for commercial use. As such, the DEMO BOARD herein may not be complete in terms of required design-, marketing-, and/or manufacturing-related protective considerations, including but not limited to product safety measures typically found in finished commercial goods. As a prototype, this product does not fall within the scope of the European Union directive on electromagnetic compatibility and therefore may or may not meet the technical requirements of the directive, or other regulations.

If this evaluation kit does not meet the specifications recited in the DEMO BOARD manual the kit may be returned within 30 days from the date of delivery for a full refund. **THE FOREGOING WARRANTY IS THE EXCLUSIVE WARRANTY MADE BY THE SELLER TO BUYER AND IS IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESSED, IMPLIED, OR STATUTORY, INCLUDING ANY WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE. EXCEPT TO THE EXTENT OF THIS INDEMNITY, NEITHER PARTY SHALL BE LIABLE TO THE OTHER FOR ANY INDIRECT, SPECIAL, INCIDENTAL, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES.**

The user assumes all responsibility and liability for proper and safe handling of the goods. Further, the user releases LTC from all claims arising from the handling or use of the goods. Due to the open construction of the product, it is the user's responsibility to take any and all appropriate precautions with regard to electrostatic discharge. Also be aware that the products herein may not be regulatory compliant or agency certified (FCC, UL, CE, etc.).

No License is granted under any patent right or other intellectual property whatsoever. **LTC assumes no liability for applications assistance, customer product design, software performance, or infringement of patents or any other intellectual property rights of any kind.**

LTC currently services a variety of customers for products around the world, and therefore this transaction **is not exclusive**.

**Please read the DEMO BOARD manual prior to handling the product.** Persons handling this product must have electronics training and observe good laboratory practice standards. **Common sense is encouraged.**

This notice contains important safety information about temperatures and voltages. For further safety concerns, please contact a LTC application engineer.

Mailing Address:

Linear Technology  
1630 McCarthy Blvd.  
Milpitas, CA 95035

Copyright © 2004, Linear Technology Corporation