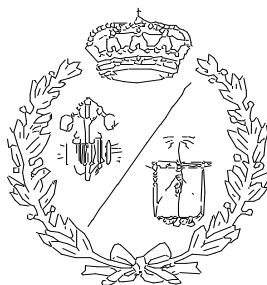


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**MODIFICACIÓN DE BICICLETA PARA LA
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
MEDIANTE PEDALEO**

**(Modifying a bicycle in order to obtain electric
energy through pedalling)**

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Autor: Francisco Gil Revuelta

Agosto - 2023

RESUMEN

Este proyecto se basa en la modificación de una bicicleta para convertirla en un generador que transforme la energía mecánica producida por el pedaleo de una persona en energía eléctrica. Dicha función corresponde a un alternador de coche acoplado a la rueda trasera de la bicicleta mediante una correa. Además, la energía producida por el alternador será empleada en alimentar una carga que funciona con corriente alterna. Para ello, la corriente continua entregada por el alternador es convertida en alterna mediante un inversor. Todo este proceso será monitorizado por sensores de tensión y corriente, y procesado por una placa Raspberry Pi, para ser mostrado en una pantalla. El resultado será expuesto en un evento divulgativo llamado 'La noche de los investigadores'.

ABSTRACT

This project is based on the modification of a bicycle to convert it into a generator, which transforms the mechanical energy produced by a person's pedalling into electrical energy. This function corresponds to a car alternator coupled to the rear wheel of the bicycle by means of a belt. In addition, the energy produced by the alternator will be used to power a load that runs on alternating current. To do this, the direct current delivered by the alternator is converted into alternating current using an inverter. This entire process will be monitored by voltage and current sensors, and processed by a Raspberry Pi board, to be displayed on a screen. The result will be presented at an informative event called 'Researchers' Night'.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer todo el apoyo y el cariño recibido durante estos años de carrera por parte de mi gente más cercana, ellos me han hecho llegar a donde estoy ahora con la motivación y ayuda que me han aportado en todo momento. En especial, los pilares de mi vida han sido mis padres Francisco y Carmen, que toda la vida han trabajado duro para darme una buena educación y valores, y mi novia Natalia, que siempre ha intentado sacar lo mejor de mi y apoyarme cuando más lo necesitaba, al igual que mis padres. También lo han sido mis abuelas, abuelos y hermanos, que son una parte fundamental en mi vida, me han visto crecer y me han apoyado en todo momento. A todos ellos, gracias por todo.

También quiero agradecer a las personas que me han ayudado durante el desarrollo del proyecto, sin ellas no hubiese podido llevarlo a cabo. En especial agradezco enormemente la ayuda y apoyo recibido por Alberto Laso Pérez, mi tutor, que en todo momento ha prestado gran atención a mis dudas y problemas, y me ha facilitado siempre las soluciones necesarias muy rápidamente, además de estar continuamente aconsejándome y dirigiendo el desarrollo del proyecto. Es un profesor ejemplar además de buena persona, no dudaría en realizar de nuevo mi trabajo de fin de grado con él. También quiero agradecer la ayuda recibida por Pablo Gómez Cagigas e Ivo Fernandez González, encargados del mantenimiento de los laboratorios de hidráulica y de máquinas eléctricas, respectivamente. Sin la ayuda de Pablo no hubiese sido posible la construcción del prototipo, él ha sido el responsable de realizar el trabajo mecánico de soldadura y acoplamiento del alternador a la bicicleta. Ivo por otro lado, ha prestado su ayuda durante las pruebas de laboratorio, echándome una mano cuando era necesario y ayudando en la búsqueda de soluciones a problemas que surgían, al igual que Pablo.

ÍNDICE

RESUMEN	III
ABSTRACT	V
AGRADECIMIENTOS	VII
1 INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 MOTIVACIONES	4
1.2 OBJETIVOS	4
2 COMPONENTES UTILIZADOS.....	7
2.1 INTRODUCCIÓN.....	8
2.2 ELEMENTOS BASE.....	9
2.2.1 Bicicleta estática.....	9
2.3 ELEMENTOS ELÉCTRICOS	10
2.3.1 Alternador de coche.....	10
2.3.2 Inversor	14
2.3.3 Lámpara AC	16
2.3.4 Fuente de alimentación	18
2.4 ELEMENTOS MECÁNICOS.....	19
2.4.1 Correa.....	19
2.4.2 Soporte del alternador.....	19
2.5 ELEMENTOS INFORMÁTICOS	20
2.5.1 Placa programable	20
2.5.2 Monitor y teclado.....	24
2.5.3 Pantalla táctil.....	25
2.6 ELEMENTOS ELECTRÓNICOS	26

2.6.1 Sensor de tensión y corriente	26
2.6.2 Transductor de corriente.	28
2.7 ELEMENTOS AUXILIARES	30
2.7.1 Equipo de soldadura TIG.	30
3 DESARROLLO DEL PROYECTO	33
3.1 CONFIGURACIÓN DE LA PLACA	34
3.2 ACOPLE DEL ALTERNADOR A LA BICICLETA.....	36
3.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL ALTERNADOR	41
3.4 CONEXIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LOS SENSORES	49
3.5 MONTAJE DE LA PANTALLA.....	55
3.6 PRUEBA DE MEDIDA CON SENSORES EN LABORATORIO	56
4 CONCLUSIONES	61
4.1 IMPLEMENTACIONES REALES Y LINEAS FUTURAS	62
4.2 REFLEXIÓN FINAL.....	64
REFERENCIAS.....	66
ANEXO 1: PRESUPUESTO	69

1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describen las motivaciones y los objetivos que han llevado a la ejecución de este proyecto.

1.1 MOTIVACIONES

El proyecto se realiza con el fin de conseguir la obtención del título del grado en ingeniería en tecnologías industriales. Más allá de esto, cabe recalcar la importancia que tiene la divulgación científica en el desarrollo de la ciencia y la sociedad. Debido a ello, este proyecto al igual que todos los trabajos de fin de carrera, es útil y ayuda al desarrollo de la ciencia aportando su granito de arena.

Por otro lado, también es importante el hecho de reciclar componentes usados en cualquier ámbito para ayudar a conservar el planeta y conseguir un desarrollo sostenible. En este caso, se va a reciclar una bicicleta de la universidad que estaba retirada, además de un alternador proveniente de un desguace, por lo que también esto es un punto positivo de este proyecto.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo del proyecto es modificar una bicicleta estática propiedad de la universidad, para que genere corriente eléctrica al ser producida la rotación (mediante el pedaleo llevado a cabo por una persona) del eje de un alternador de coche, que se acoplará a la rueda trasera de la bicicleta.

Al principio la idea era modificar una bicicleta de propulsión eléctrica, propiedad también de la universidad, destinada al uso de los alumnos que estaba en desuso. Finalmente surgió la opción de utilizar la bicicleta estática ya mencionada, y se aprovechó por comodidad de no necesitar de soportes adicionales. La bicicleta estática esta ya diseñada para mantenerse fija sin moverse, al contrario de la bicicleta eléctrica, la cual requeriría de un soporte que impidiese el vuelque de la bicicleta. En caso de haber utilizado una bicicleta eléctrica, quizá hubiese sido posible revertir el funcionamiento

de su motor para hacerlo funcionar como generador, pero es más lógico utilizar un alternador de coche diseñado específicamente para la generación de energía. Además, el acceso al motor de la bicicleta tradicional no era sencillo.

La corriente generada por la bicicleta se empleará para alimentar una carga, de manera que se pueda observar esta generación de un modo dinámico.

Se añadirán además sensores para medir las magnitudes deseadas en tiempo real o en periodos anteriores tales como potencia eléctrica generada en cada instante o energía total generada en un periodo (medidas indirectas a partir de corriente y tensión). Estas mediciones serán procesadas por una placa programable Raspberry Pi y luego se reflejarán en un monitor de salida.

Este proyecto divulgativo se empleará como exposición en el evento "La Noche de los Investigadores" que se celebrará en Santander. La Noche de los Investigadores es un proyecto europeo de divulgación científica promovido desde el año 2005 por la Comisión Europea que tiene lugar simultáneamente en casi 400 ciudades europeas de más de 30 países.

Este evento se desarrolla de manera coordinada en un gran número de ciudades de España incentivado por el proyecto europeo "G9 Missions" del grupo 9 de universidades que está coordinado por la Universidad de Cantabria y está formado por las siguientes universidades: Universidad de Cantabria, Universidad de Zaragoza, Universidad de Oviedo, Universidad del País Vasco, Universidad de Castilla La Mancha, Universidad de Extremadura, Universidad de las Islas Baleares, Universidad pública de Navarra, y la colaboración de la Universidad de La Rioja.

El proyecto "G9 Missions" se enfoca en "las cinco misiones europeas" de "Horizonte Europa" las cuales pretenden plantear soluciones a los grandes problemas sociales mundiales (Cambio climático, Cáncer, Agua y océanos,

Ciudades inteligentes y climáticamente neutras, y Salud del suelo y Alimentos).



Figura 1. Noche de los Investigadores 2017 Santander
(fuente: Universidad de Cantabria) [1]

2 COMPONENTES UTILIZADOS

2.1 INTRODUCCIÓN

La elaboración de este proyecto ha requerido de distintos tipos de componentes:

- Elementos base
 - Bicicleta estática
- Elementos eléctricos
 - Alternador
 - Inversor
 - Fuente de alimentación
- Elementos mecánicos
 - Correa
 - Soporte del alternador
- Elementos informáticos
 - Raspberry Pi
 - Teclado y monitor
 - Pantalla táctil
- Elementos electrónicos
 - Sensor de tensión
 - Sensor de corriente
- Elementos auxiliares
 - Equipo de soldadura TIG
 - Cables
 - Herramientas
 - Multímetro
 - Pinza amperimétrica
 - Taladro

A continuación, se procede a describir los distintos elementos de forma más detallada.

2.2 ELEMENTOS BASE

2.2.1 Bicicleta estática

Finalmente se empleará como base una bicicleta estática de la marca Salter, propiedad de la Universidad de Cantabria. Su función es ser la base estructural que sujeta a la persona que pedalea para hacer girar la rueda trasera, y con ello el eje del alternador, a través de la transmisión mecánica mediante una correa de goma. El alternador es el componente del proyecto que se encuentra en uno de los extremos del circuito a través del cual fluye la energía, ya que posee la entrada mecánica que son los pedales, empleados por la persona que pedalea para transmitir la energía mecánica de sus piernas hacia el generador. Se hablará más detalladamente del alternador más adelante.

Desde un punto de vista más estricto, el componente primero en este circuito de energía es la persona, que funciona como una batería ya que almacena energía química en su cuerpo, que transformará en energía mecánica, la cual será después convertida en energía eléctrica a través del alternador. La bicicleta posee también unos enganches para los pies en los pedales, para que el individuo situado encima pueda mantener una transmisión constante y uniforme de energía mecánica hacia la bicicleta.



Figura 2. Bicicleta estática (fuente: Elaboración propia)

2.3 ELEMENTOS ELÉCTRICOS

2.3.1 Alternador de coche

La generación de electricidad se va a realizar a partir de un alternador de coche. El motivo de elección de este tipo de alternador en vez de otro para realizar dicha función es que es un componente sencillo y asequible, que está diseñado para trabajar con unas rpm y potencia adecuadas para el proyecto, además de su tamaño perfecto para acoplar a la bicicleta. Para ello se han adquirido dos alternadores (uno de repuesto) en un desguace de piezas usadas, favoreciendo el reciclado de componentes.

A continuación, siguen unos aspectos básicos sobre alternadores.

Conceptos generales: Los alternadores son dispositivos eléctricos que convierten la energía mecánica en energía eléctrica en forma de corriente alterna. Son esenciales en una amplia gama de aplicaciones, desde la generación de energía en centrales eléctricas hasta la carga de baterías en vehículos. Su funcionamiento se basa en el principio de la inducción electromagnética, donde un conductor en movimiento dentro de un campo magnético genera una corriente eléctrica.

Principio de Funcionamiento: El corazón del alternador es el rotor, que consta de un núcleo de hierro y bobinas (generalmente de cobre) enrolladas. Al girar el rotor gracias a una fuente de energía mecánica, como un motor, se genera un campo magnético giratorio. A su alrededor, se encuentran las bobinas fijas situadas en el estator, que están conectadas a los terminales de salida. A medida que el rotor gira y cambia el campo magnético en relación con las bobinas, se induce una corriente alterna en los devanados del estator.

Tipos de Alternadores: Los Alternadores pueden clasificarse en distintos tipos según diferentes criterios. A continuación, se muestran los principales.

1. Según número de fases:

- Alternador Monofásico: Genera una única corriente alterna. A menudo se utiliza en aplicaciones más pequeñas como generadores portátiles y sistemas de iluminación.
- Alternador Trifásico: Produce tres corrientes alternas desfasadas 120 grados entre sí. Su uso es común en sistemas eléctricos industriales y comerciales debido a su mayor eficiencia y potencia.

2. Según sincronismo:

- Alternador Síncrono: Mantiene una relación constante entre la frecuencia de la corriente generada y la velocidad de rotación, lo que lo hace ideal para su uso en redes eléctricas donde es necesario sincronizar la frecuencia.
- Alternador Asíncrono: No mantiene una relación constante entre la frecuencia de la corriente generada y la velocidad de rotación, y se utiliza en aplicaciones donde la precisión de la frecuencia no es crucial, como en algunos sistemas de generación de energía eólica.
- Alternador Híbrido: Combina características de los alternadores síncronos y asíncronos, ofreciendo ventajas en términos de eficiencia y capacidad de regulación de voltaje.

3. Según tipo de conexión:

- Alternadores con Escobillas: Utilizan escobillas (pieza para la conexión eléctrica de partes móviles) para transferir la corriente entre el rotor y el estator. Requieren mantenimiento y tienen mayor desgaste a largo plazo.
- Alternadores sin Escobillas (Brushless): No usan escobillas; emplean circuitos electrónicos para la transferencia de corriente, y en ocasiones, imanes permanentes para generar la corriente. Son más eficientes y tienen menos mantenimiento.
- Alternadores Híbridos: Combinan elementos de ambos tipos. Pueden alternar entre modos con y sin escobillas para mejorar eficiencia y durabilidad.

En la figura siguiente se puede observar un par de escobillas.

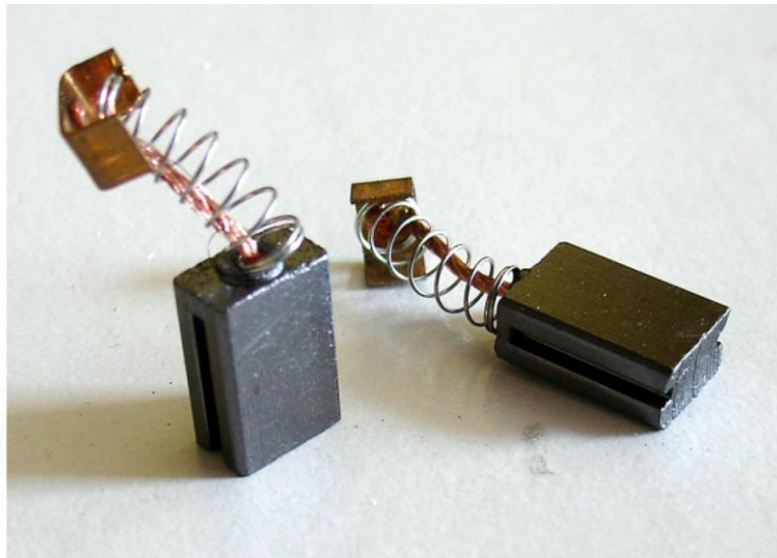


Figura 3. Escobillas (fuente: Wikimedia commons) [2]

4. Según tipo de imanes:

- **Alternadores con Imanes Permanentes:** Usan imanes permanentes en el rotor para crear el campo magnético. Estos imanes generan un flujo constante que induce corriente en el estator a medida que el rotor gira al variar la dirección del campo magnético. Más eficientes y duraderos, sin necesidad de escobillas.
- **Alternadores con Electroimanes:** Tienen electroimanes en el rotor que se alimentan con corriente eléctrica para crear un campo magnético giratorio. La polaridad cambia con la rotación, induciendo corriente en el estator. Ofrecen mayor control, pero pueden ser más complejos.

En este proyecto se ha utilizado un alternador de coche, el cual es una pieza clave en el sistema eléctrico del vehículo, encargado de generar energía eléctrica mientras el motor está en marcha. Los alternadores de coche producen corriente alterna (AC), que luego se convierte en corriente continua (DC) mediante un rectificador para cargar la batería y alimentar los componentes eléctricos del vehículo. Los alternadores de coche en general son síncronos trifásicos con escobillas y con electroimanes.

Los componentes adicionales a los de un alternador general, de un alternador de coche son:

- Rectificador: El rectificador convierte la corriente alterna generada por el alternador en corriente continua. Esto se logra mediante diodos que permiten que la corriente fluya en una sola dirección, lo que es esencial para cargar la batería y alimentar los sistemas eléctricos del vehículo que funcionan con corriente continua.
- Regulador de Voltaje: El regulador de voltaje controla la cantidad de energía eléctrica producida por el alternador para mantener una tensión constante en el sistema eléctrico del vehículo. Esto evita la sobrecarga de la batería y protege los componentes eléctricos.

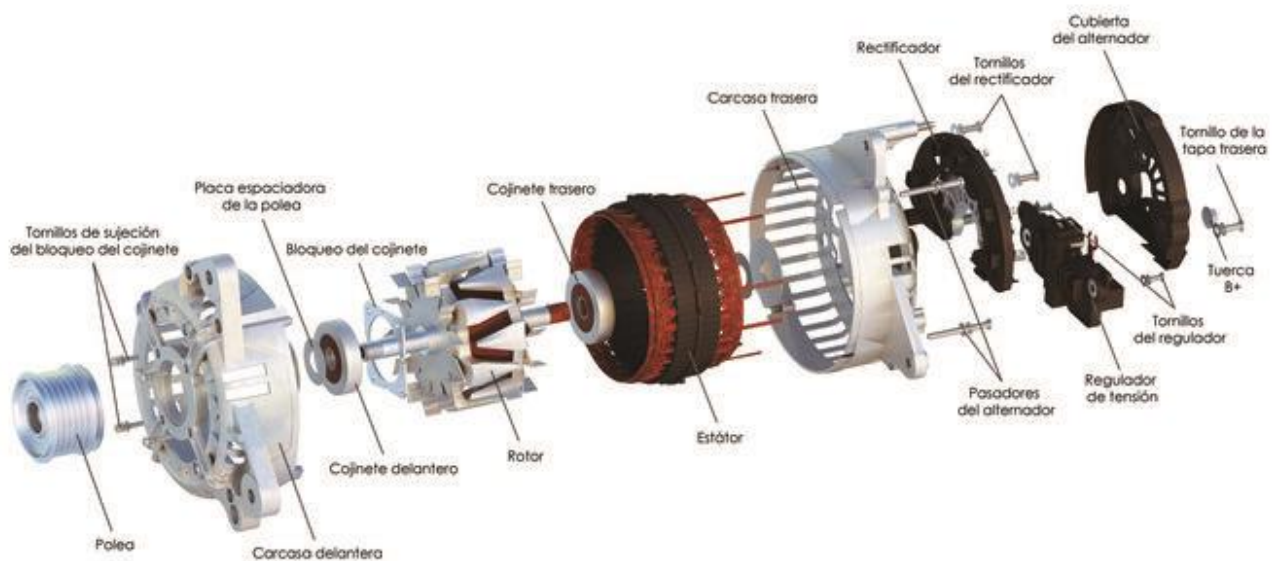


Figura 4. Partes de un alternador (fuente: infotaller) [3]

Para este proyecto se ha utilizado un alternador de segunda mano proveniente de un coche usado, comprado en un desguace. Dispone de una polea con ranuras para correas de coche con hendiduras, lo cual se pensó que podría suponer un problema durante el acoplamiento con la bicicleta, ya que la correa de la que se disponía era lisa. Sin embargo, finalmente pudo realizarse el acoplamiento entre el alternador y la rueda de la bicicleta

mediante el uso de dicha correa, la cual se describe en el apartado siguiente.

En la siguiente figura podemos ver el alternador usado para este proyecto, donde se aprecia la polea con las hendiduras nombradas.

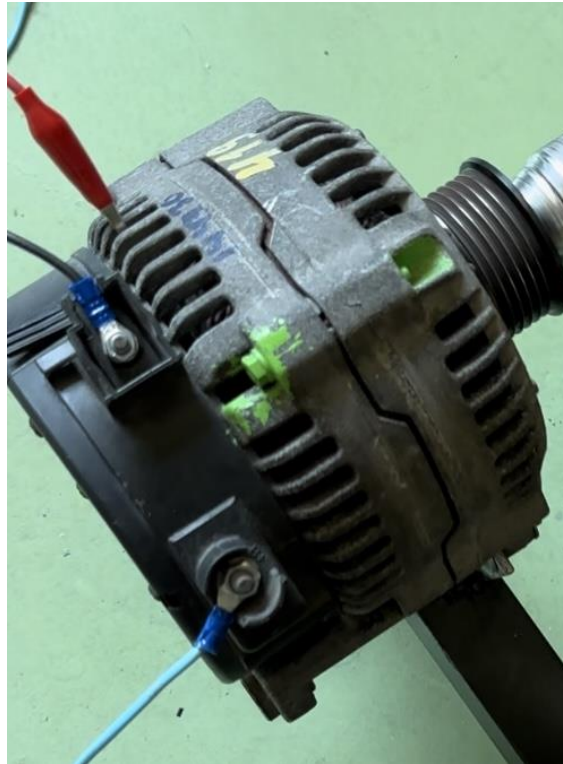


Figura 5. Alternador de coche del proyecto (fuente: Elaboración propia)

2.3.2 Inversor

La función de este componente es convertir la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC). Esto nos permite poder probar el sistema con elementos de potencia más elevada a bajas corrientes. La conversión es necesario realizarla a la salida del alternador ya que, aunque este produzca corriente alterna, también la rectifica mediante un puente de diodos. Esta rectificación es necesaria ya que el alternador está diseñado para alimentar una batería de un coche y el resto de sus componentes electrónicos. Por lo tanto, el alternador entrega a la salida corriente continua, mientras que la bombilla y tomas de corriente que se desean alimentar requieren corriente

alterna. Este inversor funciona con una tensión nominal de entrada de 12 V de corriente continua, los cuales convierte en 240 V de corriente alterna, por lo que su relación de transformación es de 20. Soporta una potencia de 150 W y es de la marca Mercury.



Figura 6. Inversor del proyecto (fuente: Elaboración propia)

Los inversores cuentan con los siguientes elementos en su interior:

- Convertidor de CC a CC: El inversor suele incorporar un convertidor de corriente continua a corriente continua (CC-CC). Este convertidor ajusta y estabiliza la tensión de entrada de 12V para garantizar un suministro constante de energía al inversor y al proceso de conversión subsiguiente.
- Circuito de conversión: El corazón del inversor es un circuito electrónico de alta frecuencia que toma la corriente continua de la batería y la convierte en una forma de corriente alterna. El proceso implica tres etapas básicas:
- Conmutación: La corriente continua se convierte en una señal pulsante usando interruptores electrónicos (generalmente

transistores). Este proceso convierte la CC en una forma de onda cuadrada o rectangular.

- Generación de frecuencia: A través de la manipulación del ancho y el tiempo de encendido de los pulsos, se crea una frecuencia específica de corriente alterna. En este caso, se busca generar una frecuencia de 50 o 60 Hz, que son los estándares de frecuencia para la alimentación eléctrica en la mayoría de los países.
- Filtrado y regulación: La señal de corriente alterna generada puede tener irregularidades y contener armónicos. Por lo tanto, el inversor incorpora circuitos de filtrado y regulación para suavizar la forma de onda y ajustar la tensión para obtener una salida cercana a 240V.

2.3.3 Lámpara AC

Lámpara de escritorio de corriente alterna que se utilizará como piloto indicador en tiempo real de la generación de corriente eléctrica mediante el generador, la cual se encenderá cuando la corriente generada sea positiva. Será alimentada por la corriente alterna proveniente de la salida del inversor, que alimentará a las tomas de corriente, donde estará enchufada esta lámpara. Dispone de una bombilla de luz amarilla cuya potencia es de 50 W, por lo que la corriente consumida a 230 V será de unos 217 mA. En las figuras de debajo se puede observar la lámpara a la izquierda, y la bombilla de la lámpara desde más cerca a la derecha.

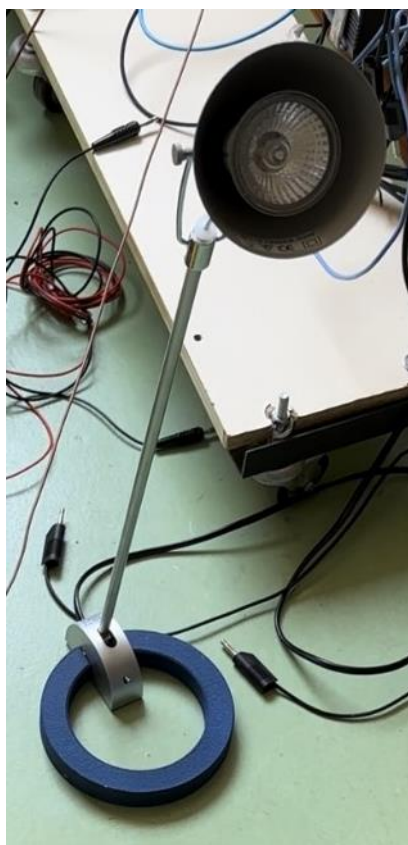


Figura 7. Lámpara (fuente: Elaboración propia)



Figura 8. Bombilla (fuente: Elaboración propia)

2.3.4 Fuente de alimentación

Para el funcionamiento del transductor de corriente es necesaria su alimentación, por lo que otro componente a utilizar ha sido una fuente de alimentación de la marca RS, que proporciona 15 V de corriente continua, siendo alimentada con 230 V de corriente alterna. Tiene una potencia máxima de 15 W a una corriente límite de 1 A. Esta corriente es muy superior a la que consume el transductor de corriente, que solo absorbe unos 15 miliamperios durante su funcionamiento, por lo que la fuente es suficiente para nuestras necesidades.

El dispositivo consta de un conector DC barrel de 2.1 x 5.5 mm que se ha separado cortando los conductores, ya que este no era válido para conectarse a los pines del transductor.

Para finalizar, añadir que existe la posibilidad de alimentar la fuente del sensor a partir de la electricidad generada por el propio sistema. Basta con enchufar la fuente al enchufe dispuesto a la salida del inversor.



Figura 9. Fuente de alimentación (fuente: Elaboración propia)

2.4 ELEMENTOS MECÁNICOS

2.4.1 Correa

Correa lisa de alternador de material fibroso cuya función es el acople entre el alternador a través de su polea y la bicicleta estática a través de la hendidura en la periferia de su llanta. Se ha decidido utilizar una correa lisa debido a la geometría de la hendidura que presenta la llanta de la bicicleta estática, la cual es lisa. Otra opción podría haber sido utilizar una correa con protuberancias (acanalada) que encajasen en las ranuras de la polea del alternador, pero no se implementó esto por si dichas protuberancias pudieran haber causado un acople incorrecto en la rueda de la bicicleta, o el desencaje de la correa durante el pedaleo. En la siguiente figura se puede ver la forma de la hendidura de la bicicleta y de la correa, y como se ha realizado el acople entre el alternador y la rueda a través de dicha correa.



Figura 6. Correa (fuente: Elaboración propia)

2.4.2 Soporte del alternador

Se trata de un soporte prismático de metal cuya función es mantener fijo el alternador a una distancia adecuada de la rueda de la bicicleta para que

la correa se mantenga tensa. Además, debe de estar alineado correctamente de manera que pueda fijarse el alternador para que su polea quede alineada con la rueda de la bicicleta. Se han soldado a él dos pletinas con agujeros para tornillos con el fin de fijar el alternador al soporte de manera robusta. Se ha utilizado un soporte lo suficientemente rígido para aguantar los esfuerzos de trabajo durante el funcionamiento del generador.

2.5 ELEMENTOS INFORMÁTICOS

2.5.1 Placa programable

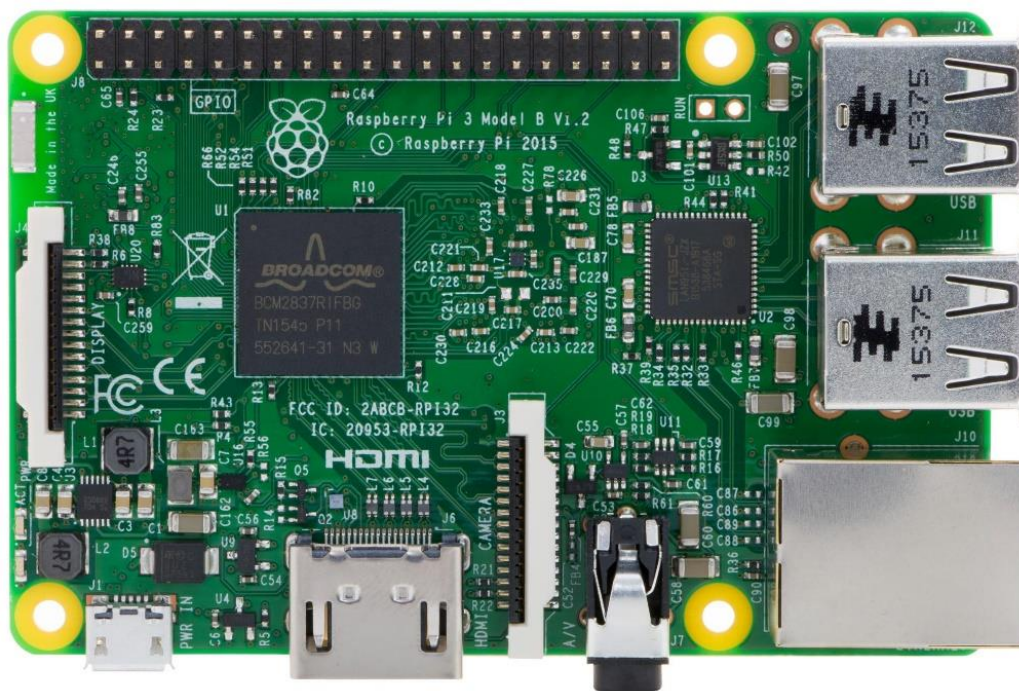
Para este proyecto se va a emplear una placa programable de la marca Raspberry, modelo "Pi 3 model B". Sus principales características son:

- Procesador Cortex A53 de 64 bit capaz de funcionar a 1.2 GHz.
- 1 GB de memoria RAM.
- Conectividad Ethernet, WIFI y Bluetooth.
- Ranura para una tarjeta de memoria SD que funcionará como su disco duro.
- 4 puertos USB 2.0 tipo A.
- Puerto micro-USB para alimentación.
- Entrada para cámara, salida HDMI, salida DSI para pantalla y salida de audio.

Como se puede ver, realmente es un pequeño ordenador de pequeña potencia, pero suficiente para muchas tareas.

Sin embargo y pese todo lo anterior, lo que le hace realmente interesante es que también cuenta con 40 pines de entradas y salidas GPIO (General Purpose Input/Output) las cuales se pueden configurar para realizar diferentes funciones. Estos pines son cruciales para este y muchos otros proyectos que emplean esta placa en todo el mundo, ya que a través de

La función de la placa será la de procesar los datos de entrada de ciertos puertos GPIO, provenientes del circuito eléctrico del proyecto para proporcionar los valores de salida necesarios a un pequeño monitor táctil (a través del puerto display) de 7 pulgadas que muestre las magnitudes deseadas del circuito como corriente o potencia generadas. Para hacer esto posible, se deberá realizar la programación de dichos puertos GPIO mediante el lenguaje de programación Python a través de la interfaz gráfica de la placa tras haber instalado un sistema operativo en ella, que en este caso será Raspbian, una distribución de Linux basada en Devian, creada específicamente para la Raspberry Pi.



21

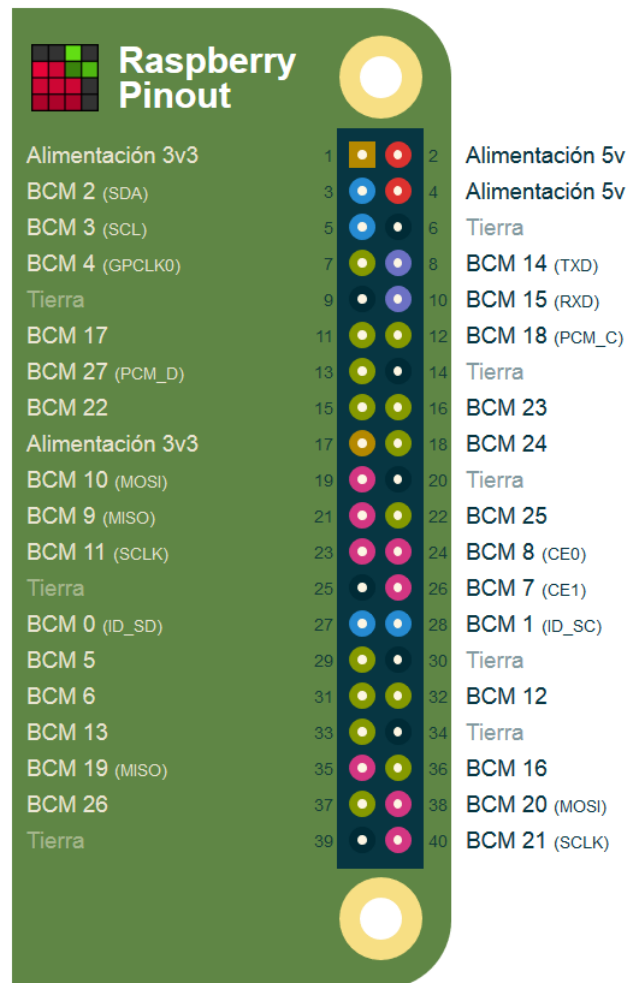


Figura 8. Pines de la Raspberry (fuente: chitoraspberry) [5]

Arriba se puede observar un esquema de los pines GPIO de la Raspberry Pi donde figuran con diferentes colores según su tipo. Por un lado, están los pines que únicamente sirven de alimentación, de 5 V en rojo y de 3.3 V en amarillo, además de pines de tierra en negro. El resto son pines que servirán de entradas que soportan hasta 3.3 V y salidas que proporcionan 3.3 V o 5 V según el caso con algunas diferencias entre ellos, como el protocolo de comunicación que son capaces de utilizar (I2C: pines azules; SPI: pines rosas). Los pines morados son UART (sirven para comunicarse con la placa a través del puerto serie), y los verdes son pines estándar que no tienen una función específica. Por último, los pines verdes 12 y 13 son capaces de trabajar con PWM (Modulación por ancho de pulsos), que nos

permite variar el ciclo de trabajo de la señal emitida para regular la tensión media simulando una señal analógica.

La elección de la Raspberry Pi 3 Model B sobre otras placas, como Arduino, presenta notables ventajas en términos de versatilidad y potencia de procesamiento. Mientras que Arduino se destaca por su simplicidad y enfoque en proyectos electrónicos básicos, la Raspberry Pi ofrece un nivel superior de funcionalidad al incorporar un procesador más potente, permitiendo ejecutar aplicaciones más complejas y computacionalmente intensivas, ofreciendo una plataforma más completa y capaz para proyectos que requieren un mayor procesamiento, y aplicaciones más avanzadas.

Debajo figura la placa Arduino Uno Rev 3, la cual podría haber sido una alternativa a la Raspberry Pi 3.



Figura 9. Arduino Uno Rev 3 (fuente: Prometec) [6]

Además de las funcionalidades que trae de serie la Raspberry, se han añadido otras adicionales mediante la expansión de esta con un módulo HAT (Hardware Attached on Top, es un tipo de placa de expansión diseñada para conectarse directamente sobre los pines GPIO de la Raspberry Pi).

Estas funcionalidades son las de medir tensión y corriente, algo necesario en este proyecto para monitorizar la generación de energía. Este módulo es en concreto el sensor de corriente y tensión que se describe en detalle en el siguiente apartado.

En la imagen de debajo se observa el módulo de expansión nombrado (sensor de tensión y corriente), ya acoplado a la Raspberry Pi.

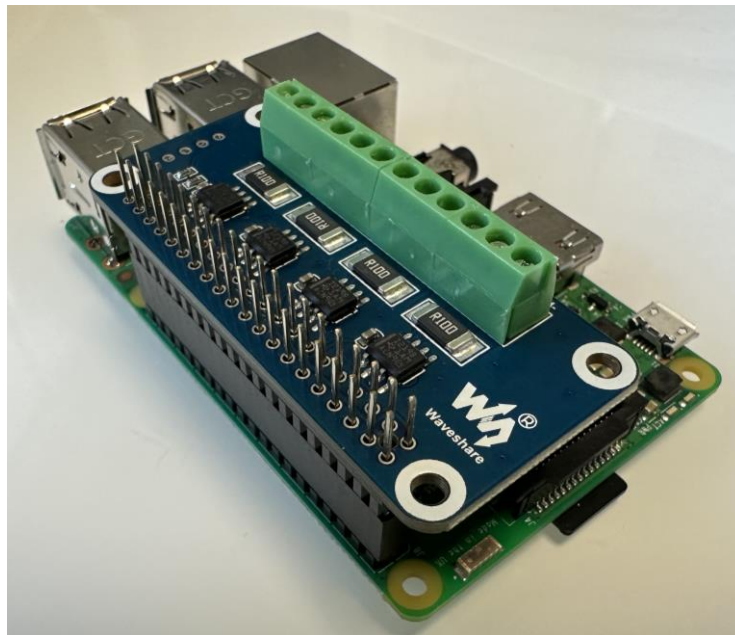


Figura 10. Sensor de tensión y corriente acoplado a Raspberry
(fuente: Elaboración propia)

2.5.2 Monitor y teclado

Necesarios para trabajar en el entorno gráfico de la placa, ya que esta no consta de teclado ni pantalla propios. Solo han sido necesarios para hacer una primera configuración de la placa, ya que después de conectarla a internet a través de wifi, el trabajo posterior de programación y configuración de la placa se ha realizado utilizando el monitor y teclado de un ordenador portátil personal conectado a la misma red wifi, mediante la función de escritorio remoto de Windows.

2.5.3 Pantalla táctil.

Se trata una pantalla táctil de 7 pulgadas de la marca oficial Raspberry, diseñada para utilizarse con la Raspberry Pi. Consta de un conector FFC, un pin de alimentación de 5V, un pin de tierra (GND), un pin SDA (serial data: pin de datos) y SCL (serial clock: pin del reloj). Al conectarse a la Raspberry Pi, muestra su entorno gráfico al igual que si la placa se conectase a un monitor cualquiera. Su función será la de mostrar los valores medidos por los sensores al individuo que esté sentado encima de la bicicleta pedaleando y produciendo energía. Además, cuenta con una placa electrónica propia sobre la que se sitúan los conectores nombrados y ciertos componentes electrónicos que permiten el funcionamiento de la pantalla. Dicha placa tiene 4 agujeros en las esquinas que permiten el acople mediante 4 tornillos de la Raspberry Pi a la placa de la pantalla.

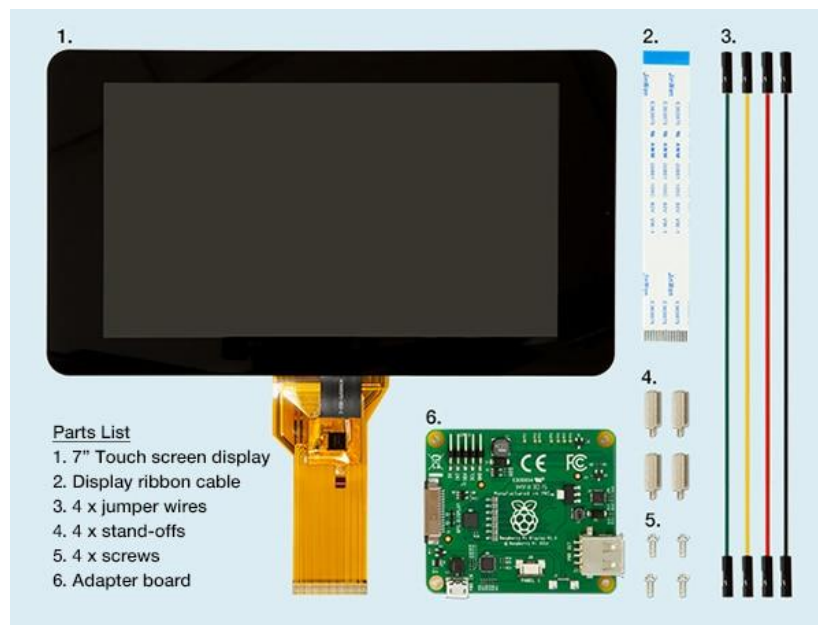


Figura 11. Componentes de la pantalla (fuente: element14) [7]

Además, se dispone de una carcasa diseñada para colocar dentro la pantalla y la Raspberry Pi, una vez atornillada la Raspberry Pi a la placa de la pantalla.

2.6 ELEMENTOS ELECTRÓNICOS

2.6.1 Sensor de tensión y corriente

La medida de corriente y tensión se había pensado que la realizase únicamente este componente, capaz de funcionar como amperímetro y como voltímetro, que está diseñado específicamente para funcionar con la placa programable a usar Raspberry Pi.

Este sensor múltiple de la marca Waveshare consta de 4 canales independientes de 3 terminales cada uno, cada canal está conectado a un chip integrado modelo INA219 de la marca Texas Instruments. Para el proyecto se iban a utilizar 2 de los canales nombrados, uno que funcionaría midiendo corriente (amperímetro), y otro que funcionaría midiendo tensión (voltímetro).

Finalmente, este medidor solo se ha podido utilizar para medir tensión ya que la corriente medible máxima que admite es demasiado pequeña, relegando esta función al transductor de corriente. Cada canal tiene 3 bornes de entrada, el borne positivo (IN+), el borne negativo (IN-) y tierra (GND). Como salidas tiene 2, una salida SCA de datos y otra SCL de reloj, las cuales permiten trabajar mediante el protocolo I2C (bus de datos). Además, tiene un pin de alimentación y otro de tierra.

Este componente también cuenta con 40 pines GPIO que permiten acoplarlo de manera directa a la placa (se trata de un módulo HAT), quedando conectadas las salidas SCA y SCL a los pines GPIO de la Raspberry compatibles con I2C, además de la alimentación y tierra a los pines correspondientes de la placa.

El chip INA219 es un integrado de medición de corriente y voltaje de alta precisión. Es ampliamente utilizado en aplicaciones donde se necesita supervisar y controlar la corriente eléctrica que fluye a través de un circuito o carga.

El chip ofrece una interfaz de comunicación digital, como I2C o SMBus, lo que facilita la integración con microcontroladores como Arduino y otros dispositivos digitales como la Raspberry Pi.

El INA219 incorpora una resistencia shunt interna de valor bajo, que permite medir la caída de tensión a través de ella para calcular la corriente con precisión. Una resistencia shunt se conecta en paralelo al componente o circuito del que se desea medir la corriente. Debido a que la mayoría de la corriente fluye a través de la ruta de menor resistencia (el camino principal), solo una pequeña fracción de la corriente pasa a través de dicha resistencia. Esta pequeña fracción genera una caída de tensión proporcional a la corriente total que fluye a través del circuito. Midiendo esta caída de tensión, se puede determinar la corriente total utilizando la Ley de Ohm ($V=I \cdot R$).

También incluye funciones de protección para evitar daños en el circuito debido a sobre corrientes o tensiones excesivas. Se puede alimentar con valores de tensión de 3 a 5.5 V.

Debajo se muestra un chip INA219 genérico desconectado.



Figura 12. Chip INA219 (fuente: mouser) [8]

A continuación, se indican las posiciones de los 4 chips INA219 en amarillo y las posiciones de las 4 resistencias shunt en rojo, en el módulo descrito de Waveshare.

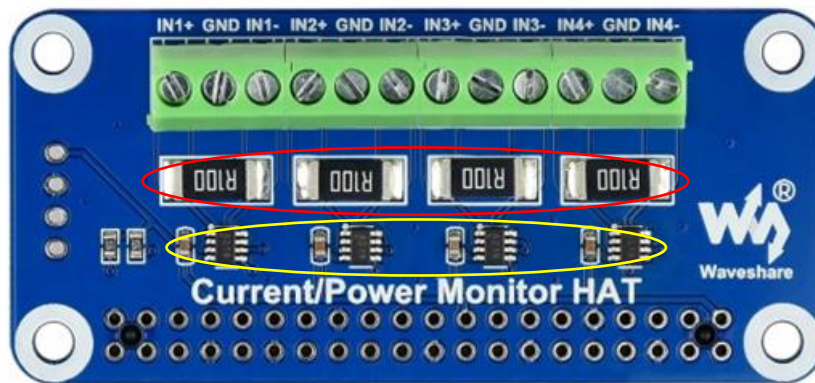


Figura 13. Sensor de tensión y corriente (fuente: Waveshare) [9]

2.6.2 Transductor de corriente.

Para este proyecto se ha elegido el transductor de corriente de efecto Hall de la marca LEM, modelo HAS 50S, el cual sirve para transformar la corriente de entrada de un conductor que pase por el interior de su núcleo, en una tensión de salida de pequeño valor para poder ser medida por un instrumento de medida simple, en nuestro caso el sensor HAT de waveshore para Raspberry Pi, que no es capaz de soportar directamente las corrientes tan altas generadas por el pedaleo a la salida del alternador. En caso de que la corriente de entrada sea pequeña, es posible hacer pasar varias vueltas del conductor a medir por el interior del núcleo y de esta manera se medirá la corriente multiplicada por el número de vueltas del conductor medido.

La tensión de salida del dispositivo tiene un rango de $\pm 4V$, mientras su rango de temperaturas de funcionamiento es de entre -10 y 80 °C. Esto lo hace adecuado para este proyecto, donde la temperatura estará bastante alejada de estos valores límite del componente y el rango de tensión es adecuado para ser medido con pequeña electrónica.

Este sensor necesita ser alimentado para funcionar con una tensión de 15 V, consumiendo una corriente continua de 15 mA, para lo cual se dispone

de la fuente de alimentación anteriormente descrita. Además, está diseñado para trabajar con una corriente de entrada nominal de 50 A, pero es capaz de medir valores de hasta 150 A.



Figura 13. Lem HAS 50S (fuente: rs) [10]

Por último, cuenta con un conector Molex conformado por 4 pines, los cuales son: pin 1 de alimentación positivo, pin 2 de alimentación negativo, pin 3 de tierra, pin 4 de salida. Dichos pines se representan en el dibujo de debajo, para aclarar la posición de estos.

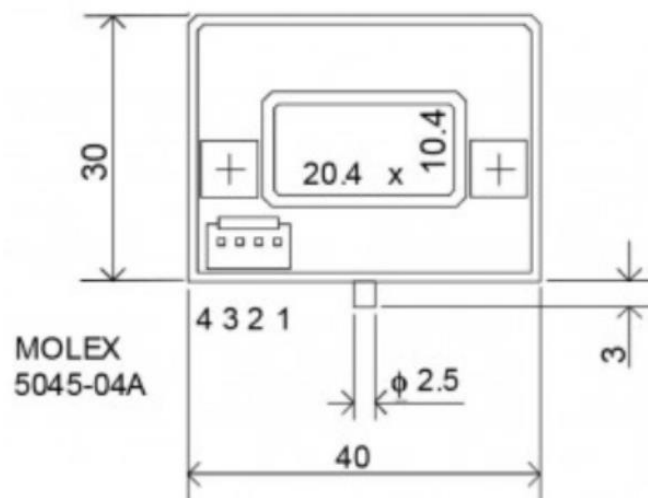


Figura 14. Esquema transductor (fuente: Kit Elec)[11]

Como ya se ha mencionado, este sensor se basa en el llamado efecto Hall. Este efecto, que fue descubierto por Edwin Hall en 1879, es el fenómeno por el cual se genera una diferencia de tensión en el interior de un conductor, en una dirección perpendicular tanto al flujo de corriente eléctrica como a un campo magnético aplicado. Esto permite medir la magnitud de la corriente eléctrica a través de la magnitud de la tensión generada ya que son proporcionales. En el transductor de corriente Lem HAS 50S, el campo magnético es producido por el conductor que atraviesa su núcleo, cuya corriente es la que se pretende medir.

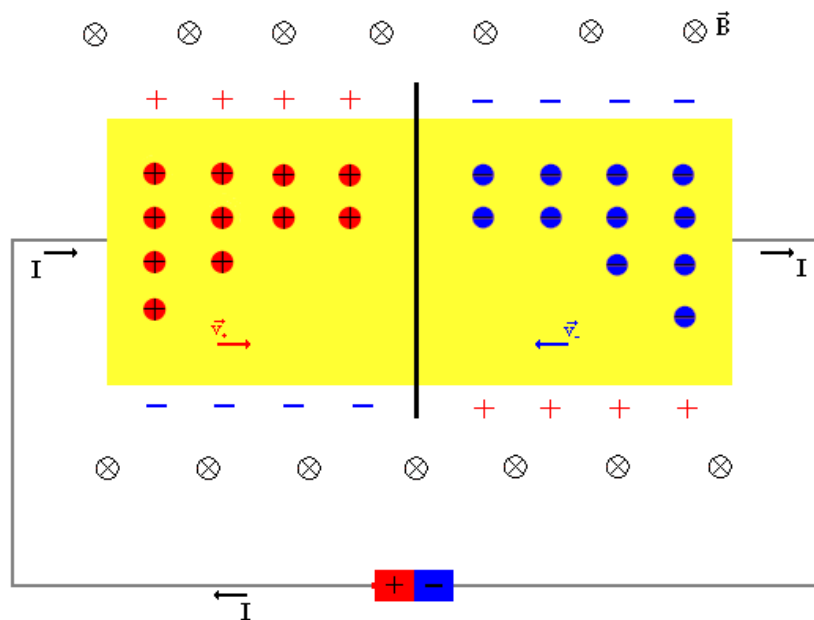


Figura 15. Efecto Hall (fuente: wikimedia commons) [12]

2.7 ELEMENTOS AUXILIARES

2.7.1 Equipo de soldadura TIG.

Este equipo de soldadura ha sido necesario para fijar mediante soldadura el soporte del alternador a la bicicleta estática, teniendo que ser una unión sólida para aguantar esfuerzos significativos durante el pedaleo. Este

proceso requiere preparación específica y ha sido realizado por una persona entrenada en el uso del equipo.

Un equipo de soldadura TIG (Tungsten Inert Gas) es una herramienta utilizada en procesos de soldadura que emplea un arco eléctrico para unir metales. El proceso TIG es conocido por producir soldaduras de alta calidad y precisión en una variedad de metales, incluyendo acero inoxidable, aluminio, cobre y aleaciones de níquel, entre otros.

Un equipo de soldadura TIG se compone por los siguientes elementos:

- Fuente de alimentación: Esta es la unidad principal del equipo y proporciona la energía eléctrica necesaria para crear el arco de soldadura. Puede funcionar con corriente continua (DC) o corriente alterna (AC), dependiendo del tipo de metal que se esté soldando.
- Antorcha TIG: La antorcha es la parte de la herramienta que sostiene el electrodo de tungsteno y permite la regulación del flujo de gas de protección. El electrodo es el conductor que lleva la corriente eléctrica al arco de soldadura. El gas de protección (generalmente argón) se utiliza para proteger el área de soldadura de la contaminación atmosférica, lo que ayuda a producir soldaduras limpias y de alta calidad.
- Pantalla de seguridad: Elemento fundamental para garantizar la seguridad del operador durante el soldado. Protege de chispas o partículas calientes que puedan ser proyectadas, y de la radiación ultravioleta que puede dañar los ojos del operador mediante un filtro.
- Suministro de gas: Se requiere un suministro constante de gas de protección para crear una atmósfera inerte alrededor del arco y evitar la oxidación y contaminación de la soldadura. El argón es el gas más comúnmente utilizado debido a su naturaleza inerte (no reacciona químicamente con otros elementos o sustancias bajo condiciones normales).
- Regulador de gas: Este componente controla la presión del gas que fluye desde el cilindro de gas al sistema de la antorcha. La presión

debe ajustarse adecuadamente para garantizar un flujo constante y adecuado de gas de protección.

- Pedal o interruptor de control: Muchos equipos de soldadura TIG permiten ajustar la corriente de soldadura y otras configuraciones mediante un pedal o un interruptor de control manual. Esto brinda al soldador un mayor control sobre el proceso de soldadura y la capacidad de ajustar la intensidad del arco en tiempo real.
- Sistema de refrigeración (opcional): Algunos equipos de soldadura TIG, especialmente los utilizados para soldar durante períodos prolongados, pueden incluir un sistema de refrigeración que mantiene la antorcha y otros componentes fríos para evitar el sobrecalentamiento.

En la siguiente figura, se puede observar un equipo de soldadura TIG con sus componentes.

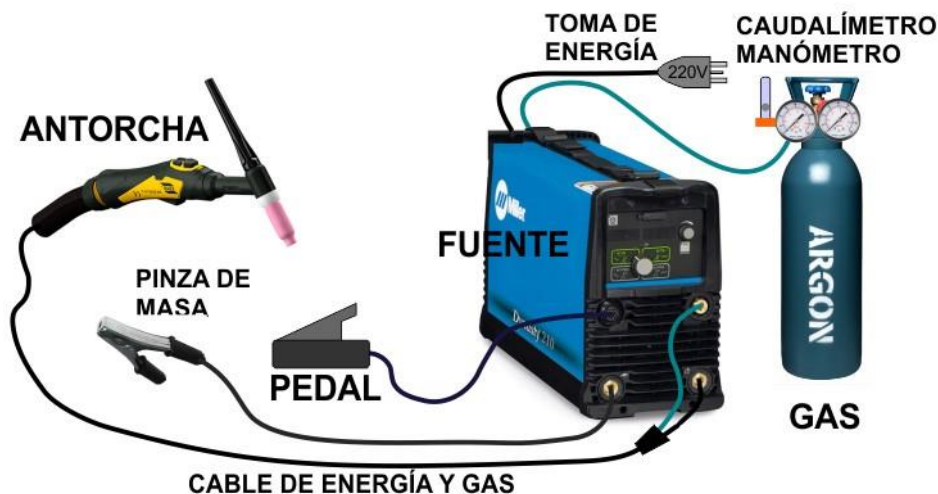


Figura 16. Equipo de soldadura TIG (fuente: herreros argentinos) [13]

3 DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 CONFIGURACIÓN DE LA PLACA

Para empezar, lo primero en llevarse a cabo ha sido la configuración de la placa, para ello, se ha descargado e instalado un sistema operativo en la placa para poder navegar por el entorno gráfico y programar en Python las entradas y salidas GPIO. El sistema operativo instalado ha sido Raspberry Pi OS, anteriormente conocido como Raspbian [14]. Este sistema operativo es una distribución de Linux basada en Devian diseñada específicamente para la Raspberry Pi, la cual incluye algunas herramientas útiles para trabajar con la placa, como xrdp de Microsoft, que nos permite trabajar con la Raspberry a través de la función de escritorio remoto de Windows.

Para la instalación del sistema operativo se ha necesitado una tarjeta microSD en la que instalar el sistema mediante un programa específico al efecto. En este caso, el software elegido ha sido Win32Diskimager, editado por Gruemaster y Tuxinator2009 y proporcionado gratuitamente a través de Sourceforge [15]. El sistema operativo se ha instalado a partir de un archivo de imagen de Raspbian, el cual se puede obtener también gratuitamente de la página oficial raspberrypi.com.

Un paso previo necesario a la instalación es el formateo de dicha tarjeta SD. Debido a que Windows no incluye (o al menos no en todas sus versiones) la funcionalidad de formateo de tarjetas SD, ha sido necesario emplear un software auxiliar. En este caso se ha empleado el programa de libre acceso SDFormatter, proporcionado por la SD Association [16].

Una vez resuelto esto, se ha conectado el monitor mediante el puerto de salida HDMI y el teclado mediante el puerto USB a la placa, además de la fuente de alimentación para dar energía a la Raspberry. Posteriormente, se introdujeron el usuario y contraseña por defecto tras ser requeridos en el monitor, para así entrar en el entorno gráfico de Raspbian. Lo siguiente fue conectar la placa a internet a través de wifi, y activar el protocolo SSH (Secure Shell) en el menú de ajustes, para poder luego trabajar de manera remota mediante el programa Putty, que, a diferencia del escritorio remoto,

nos permite ejecutar comandos directamente en el terminal de Raspbian desde Windows, sin necesidad de navegar por Raspbian a través del monitor de nuestro pc.

Después de haber seguido los pasos anteriores, se procedió a realizar la configuración de la herramienta de escritorio remoto. Para ello, lo primero fue instalar la herramienta xrdp escribiendo en el terminal de Raspbian:

```
sudo apt-get install xrdp
```

Una vez hecho esto se procedió a obtener la dirección IP de la Raspberry en la red wifi a la cual estaba conectado mi ordenador portátil además de la placa, para después abrir el programa Escritorio Remoto en mi pc con Windows e introducir dicha IP y pinchar en conectar para establecer la conexión. Habiendo llegado hasta aquí, ya no era necesario volver a utilizar el monitor y teclado externos, ya que se disponía del pc conectado a la placa mediante escritorio remoto, lo único necesario era que la placa estuviese alimentada y conectada al mismo wifi que el portátil. En algún momento se tuvo que volver a utilizar un monitor y teclado externos para poder trabajar en otra red wifi, ya que hubo que ingresar en Raspbian para configurar la conexión de nuevo (conectar Raspberry a nueva red wifi y obtener nueva dirección IP).

Para utilizar el programa Putty (controlar placa desde terminal mediante protocolo SSH) o el programa WinSCP, que es de gran utilidad, ya que nos permite intercambiar archivos entre placa y pc directamente arrastrando a través de un administrador de archivos doble en el que figuran los archivos de ambos dispositivos, será necesario únicamente introducir la dirección IP de la Raspberry.

Una vez que se disponía del control necesario sobre el sistema operativo de la placa, lo siguiente fue instalar la última versión de Python en dicho sistema e importar una librería de Python que permitiese la programación de los pines GPIO (librería RPi.GPIO). Python es un lenguaje de programación, el cual se ha utilizado para el desarrollo del proyecto. Para

ello primero se descargó la librería desde la página pypi.org y se guardó en el escritorio, luego se abrió el terminal de la placa y se escribieron los siguientes comandos:

```
sudo apt-get install python3  
sudo apt-get install idle3  
sudo apt-get install python3-dev  
cd RPi.GPIO-0.7.1  
sudo python3 setup.py install
```

Con esto también se instaló IDLE de Python, lo cual nos permite crear, editar y ejecutar los archivos de programas de Python cuya extensión es .py.

3.2 ACOUPLE DEL ALTERNADOR A LA BICICLETA

Para el acoplamiento del alternador a la rueda trasera se valoraron 2 posibles opciones.

La primera opción era unir el eje de dicha rueda con el del alternador para que rotasen solidarios.

La segunda opción era el acoplamiento mediante una correa, en cuyo caso el sistema de transmisión actuaría como multiplicador de velocidad, proporcionando una velocidad angular de salida al alternador mayor que la velocidad angular de entrada de la rueda, debido a la relación de transmisión superior a la unidad entre la rueda y el eje del alternador (de hecho, muy superior a la unidad). A continuación, se muestra la fórmula para el cálculo de dicha relación, en la cual se muestra que la relación de transmisión (i) se calcula como el cociente entre el diámetro de la rueda de

entrada (D_1 : rueda trasera de la bicicleta) entre el diámetro de la rueda de salida (D_2 : eje del alternador). Esta relación de transmisión es a su vez la relación entre las velocidades angulares de salida (n_2 : velocidad angular del eje del alternador) y entrada (n_1 : velocidad angular de la rueda de la bicicleta), respectivamente.

$$i = \frac{D_1}{D_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Además de esto, sabemos que la potencia de rotación de la rueda trasera de la bicicleta se transmite al eje del alternador, siendo el valor de esta el mismo a la entrada que a la salida (despreciando potencia disipada por fricción y calor). La potencia de rotación se calcula con la fórmula que figura debajo, donde se puede observar que la potencia (P) se calcula multiplicando el par de rotación (τ) por la velocidad angular (ω).

$$P = \tau \cdot \omega$$

Dicho esto, se puede ver que, al ser la potencia de entrada y salida constante, nuestro sistema de transmisión además de multiplicar la velocidad angular de entrada reducirá el par de salida. Por esto, para aplicar un par que sea capaz de vencer el par resistente del alternador necesitaremos aplicar un par de entrada mucho mayor debido a la enorme relación entre diámetros, lo que se traduce en un pedaleo del usuario bastante fatigante que incluso podría ser difícil o imposible de llevar a cabo. Una posible solución a esto es realizar el acoplamiento añadiendo una rueda de pequeño diámetro soldada al eje del alternador, cuyo diámetro sea lo suficientemente mayor al del eje del alternador para reducir el par necesario de entrada sin reducir en gran cantidad la velocidad angular de salida, al colocarse la correa entre la rueda de la bicicleta y la pequeña rueda nombrada, llegándose a un compromiso entre ambos parámetros.

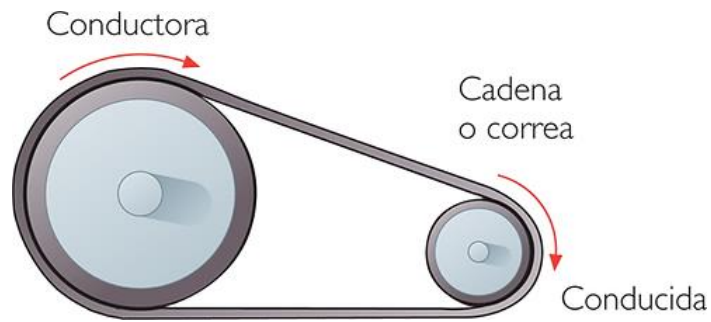


Figura 17. Transmisión por correa (fuente: El pato tecnológico) [17]

Finalmente se optó por la transmisión mediante una correa, sin soldar ninguna rueda al eje del alternador, ya que la relación de transmisión entre la rueda de la bicicleta y la polea del alternador era la adecuada para el proyecto.

Como detalle curioso en relación con el esfuerzo necesario para generar electricidad a partir del pedaleo, se referencia un video de Robert_Förstemann [18], medallista olímpico y campeón de Europa y del mundo de ciclismo en pista en sprint por equipos. En el video se puede observar el inmenso esfuerzo que le supone alimentar una tostadora de 700 W durante un minuto. Robert requirió tumbarse y recibir atención muscular tras haber generado un total de solo 0,021 kWh.

Para el acople del alternador con la bicicleta, se ha realizado la soldadura de un soporte prismático de metal a la base de la bicicleta estática, y a su vez se han soldado a dicho soporte dos pletinas cuadradas metálicas con dos agujeros para que pasen por su interior dos tornillos para fijar el alternador a la bicicleta estática. Para fijar los tornillos se han colocado 2 arandelas y 2 tuercas de la medida correspondiente a los tornillos.

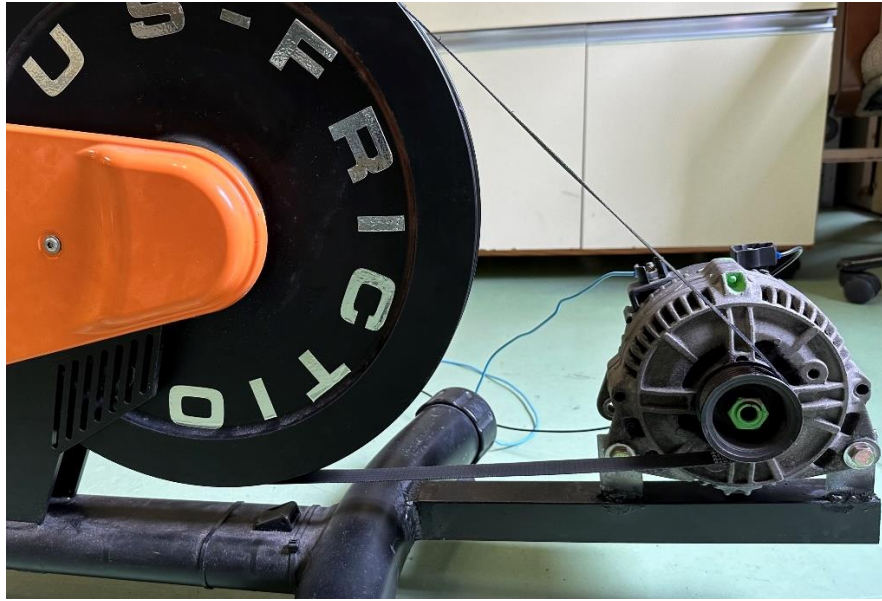


Figura 18. Bicicleta y alternador acoplados (fuente: Elaboración propia)

La longitud del soporte soldado a la base de la bicicleta se ha elegido a medida, fijándose en la longitud de la correa a utilizar, por lo que este ha sido uno de los pasos más complicados dentro del acople entre alternador y bicicleta. Otro aspecto difícil durante la soldadura ha sido soldar el soporte y las pletinas que van soldadas a este, de forma que quedasen perfectamente alineadas la polea del alternador con la rueda trasera de la bicicleta, ya que, de no ser así, la correa presentaría fuerzas normales de apoyo sobre ella que la enviarían fuera de su posición de acople, haciendo que esta se salga de las hendiduras del alternador o bicicleta.

Cabe mencionar que el trabajo de soldadura y acople de la correa lo ha realizado un miembro del departamento con experiencia previa en soldadura (Pablo Gómez Cagigas), por motivos de seguridad y calidad, ya que el proyectante no dispone de formación en soldadura.

Una vez finalizada la soldadura y el encaje de la correa se continuó con una prueba de pedaleo para comprobar la adherencia de la correa a la rueda y polea del alternador, y correcto funcionamiento del acople durante la rotación. Esta prueba concluyó exitosamente, observándose un perfecto acople en todo el rango de velocidades de rotación, manteniéndose una

tensión adecuada en la correa, un agarre correcto sin deslizamiento en la polea ni en la rueda, y una alineación correcta sin movimientos radiales de la correa. Además, en la prueba se pudo comprobar que el momento resistente al pedaleo era el adecuado, localizándose en un punto de compromiso entre facilidad de pedaleo (resistencia baja) y generación de potencia (resistencia alta).

Las 4 figuras que se presentan a continuación se corresponden con 4 fotogramas de un video en el que se muestra la prueba de pedaleo. Estos fotogramas son 4 instantes durante la realización de una vuelta completa.



Figuras 19-22. Prueba de pedaleo (fuente: Elaboración propia)

3.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL ALTERNADOR

Una vez realizado el acople entre alternador y bicicleta, el siguiente paso fue la conexión y prueba del alternador, para comprobar su correcto funcionamiento en la generación de energía eléctrica a partir de la energía mecánica de entrada (pedaleo).

Para llevar esta prueba a cabo, se comenzó por la realización de las conexiones del alternador. Estas fueron únicamente en un primer momento entre los 2 bornes del alternador y los 2 bornes de medida del multímetro correspondientes a su funcionamiento como voltímetro para la medida de tensión (bornes V y COM). Además, se seleccionó modo de medida adecuado para la prueba (tensión en corriente continua, para medidas del orden de amperios).

Durante esta primera prueba se observó que el alternador no generaba la tensión que debía de generar en caso de funcionar correctamente. En dicho caso debería de entregar a la salida unos 14 V, mientras que durante el pedaleo aumentaba hasta picos de menos de 0,3 V para luego caer a 0 V después de detener el pedaleo. La tensión de salida no era 0 V en el primer instante en que el pedaleo se detenía y con ello la rotación del alternador, sino que bajaba lentamente hasta llegar a un valor nulo, manteniendo algo de tensión entre sus bornes después de la frenada. Debajo se puede ver la conexión de los cables con los bornes del alternador en la imagen de la izquierda, y la conexión del multímetro, además de la selección del modo de medición en la imagen de la derecha, con un valor que se obtuvo durante la prueba. El color de los cables de las 2 imágenes no coincide debido a que son fotos de distintos intentos de la misma prueba en diferentes días, pero corresponden con la prueba descrita.



Figura 23. Conexión del alternador
(fuente: Elaboración propia)



Figura 24. Conexión del multímetro
(fuente: Elaboración propia)

En un primer momento se pensó que el problema nombrado podía ser debido a que no se hacía girar el rotor del alternador con un valor suficientemente grande de revoluciones por minuto, por lo que se recurrió al uso de un tacómetro del laboratorio para medir el número de vueltas por minuto de la polea del alternador que gira solidaria con el rotor. Para realizar la medición con este tacómetro que funciona por láser, fue necesario la colocación de un trozo pequeño de cinta aislante en la polea del alternador, que sirviese como indicador para el tacómetro para medir las rpm al apuntar con el rayo láser hacia dicho indicador.

Después de colocar el indicador en la polea, se dispuso a hacer girar el rotor pedaleando de manera suave con la mano, obteniendo valores de unas 600 revoluciones por minuto en el rotor. Fijándose en esto, se deduce que, si

se obtenía este valor con un pedaleo tan suave, al estar pedaleando a máxima capacidad como se había realizado en la prueba de pedaleo se tenían que obtener unas rpm muy superiores y más que suficientes para generar la tensión de salida esperada (bastante por encima de los valores de menos de 0.3 V que se habían obtenido).

Después de la prueba fallida de comprobación de la generación de energía eléctrica, se buscó información externa preguntando a mecánicos con experiencia en el sector de la electromecánica, y se descubrió que el problema se debía a la ausencia de una alimentación inicial de la bobina del rotor.

Los alternadores de los coches son auto excitables como se había pensado en un principio, pero no en un momento inicial, en el que precisan de una alimentación de la bobina del rotor por parte de una batería para generar un campo magnético en su dirección axial que al girar comience a generar una tensión en el estator. Una vez iniciada la generación de energía eléctrica, basta con establecer una conexión entre las bobinas del rotor y el estator para que la bobina del rotor sea alimentada por la corriente saliente del estator, quedando así establecida la autoexcitación sin necesidad de recibir energía de la batería.

Después de creer saber dónde estaba el problema de generación, se dispuso a realizar de nuevo la prueba de funcionamiento del generador. Para ello se volvió a revisar las conexiones y se pudo ver que había un pequeño error en ellas y es que los dos bornes que se habían conectado anteriormente al multímetro eran el positivo de la bobina del rotor y el positivo de la bobina del estator, y no el positivo del estator y la tierra.

A continuación, se volvieron a realizar las conexiones de manera correcta. Para ello, se conectó el borne positivo del rotor al borne positivo de una batería de 12 V de coche de la que se disponía en el laboratorio, y el borne negativo o tierra de la batería a la tierra del alternador que es la carcasa. Con esto quedaba alimentada la bobina del rotor.

Lo siguiente fue conectar el borne positivo del estator al borne de medida de tensión del multímetro y la tierra del alternador al borne de tierra del multímetro. Para las conexiones, se utilizaron cables con terminales de banana para el multímetro y la batería, de anilla para bornes del alternador, y de pinza para la tierra del alternador, ya que esta es la carcasa metálica. En la figura siguiente se aprecian las conexiones de los bornes positivos de rotor y estator (cable negro y cable azul respectivamente), y de la tierra (cable rojo).

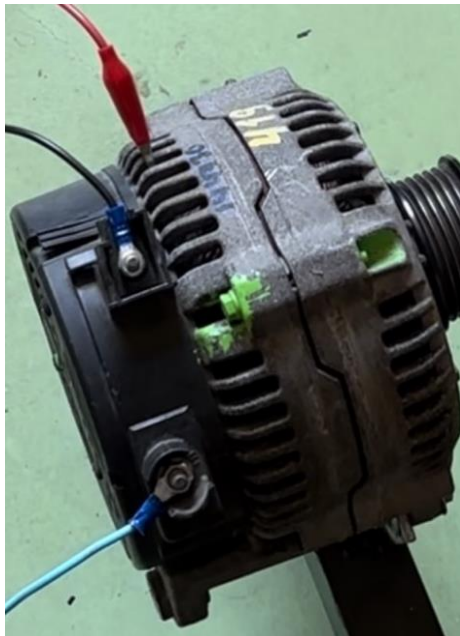


Figura 25. Conexión del alternador (fuente: Elaboración propia)

Con las conexiones ya dispuestas correctamente, se dispuso a comenzar la prueba de generación, pero se detectó otro inconveniente. Se trataba de la tensión de la correa, la cual era insuficiente por haberse dado de sí la correa durante pruebas anteriores, lo que sumándose al hecho de que la correa era lisa en vez de acanalada, causaba que al pedalear la correa patinase sobre la polea del alternador impidiendo la transmisión y con ello la rotación del rotor. Se intentó para solucionarlo pegar varias vueltas de cinta aislante sobre la periferia de la rueda trasera de la bicicleta con el fin de aumentar

ligeramente el diámetro de la rueda y así aumentar ligeramente la tensión de la correa y con ello la adherencia. Esto funcionó en un primer momento y produjo que la correa hiciese girar el rotor sin patinar, pero a su vez hacía que la correa se saliese de las hendiduras tras unas vueltas debido a la irregularidad en la planicidad de la periferia de la rueda con la cinta puesta sobre ella, a pesar de haberse puesto meticulosamente para que no presentase asimetrías.

Por ello, se prosiguió con la prueba haciendo girar el alternador con un taladro en vez de con el pedaleo. Para hacer esto posible sin sacrificar seguridad, se colocó una punta macho de destornillador eléctrico donde se colocan las brocas, con la misma forma y medida que el hueco hembra que presentaba la polea del alternador en su centro. La punta era en concreto una punta tipo torx M8, cuya forma figura en la imagen siguiente.



Figura 26. Punta torx (fuente: ferretería Central) [19]

Esto permitió un acople perfecto entre el taladro y el rotor, que hacía posible la rotación sin dañar la polea ni poner en riesgo la seguridad de la persona que accionaba el taladro.

A continuación, se inició la prueba accionando el taladro para hacer girar el rotor del alternador, ya conectado a batería y multímetro, como se ha descrito anteriormente. Además, la salida del estator se había conectado a

la entrada del inversor (corriente continua), y la salida de este (corriente alterna) alimentando una toma a la que estaba enchufada la lámpara con la bombilla de 50 W. Antes de accionar el taladro, la bombilla se encendía al estar alimentada por la batería. Después de accionar el taladro y desconectar la batería, la bombilla seguía encendida y el multímetro mostraba los valores de tensión esperados de más de 13 V, superando los 12 V que la batería entregaba al inicio y que es la tensión nominal de entrada del inversor. En conclusión, el alternador funcionaba correctamente generando una tensión adecuada, y el inversor también.

En las imágenes siguientes, se puede observar el instante en el que el alternador alimentaba exitosamente la bombilla de la lámpara. A la izquierda se puede ver el alternador con el taladro acoplado, la lámpara y el multímetro, además de la batería de 12 V, la cual se encuentra desconectada del alternador (realmente la tierra sigue conectada pero no influye ya que el borne positivo de la batería está desconectado). A la derecha se observa un recorte ampliado del multímetro de la imagen de la izquierda.

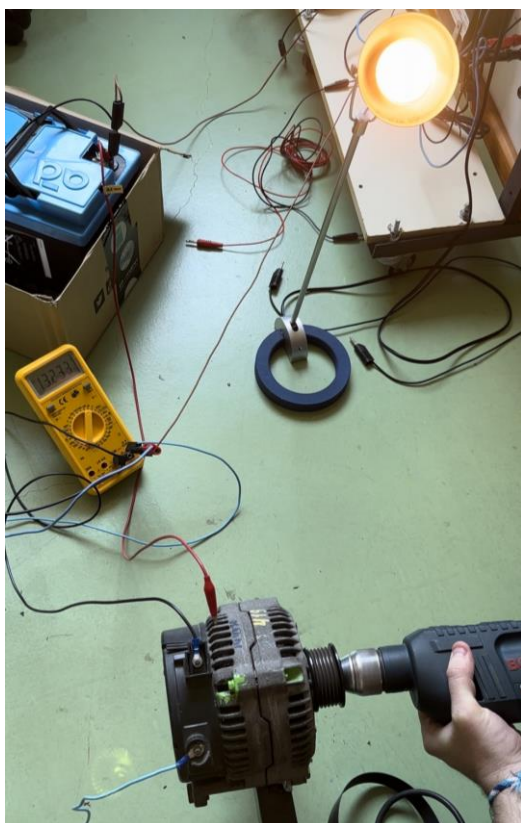


Figura 27. Prueba del alternador
(fuente: Elaboración propia)



Figura 28. Medida de tensión DC en multímetro
(fuente: Elaboración propia)

Además de medir tensión a la salida del alternador (CC), se realizaron también medidas de corriente a la salida del alternador, y de tensión y corriente a la salida del inversor (CA).

Para la medida de corriente se usó el multímetro en la parte de corriente continua y una pinza amperimétrica en la parte de corriente alterna. El uso del multímetro o pinza en cada caso no se eligió por ningún motivo, simplemente se disponía de ambos aparatos de medida, y se usaron indistintamente.

Se utilizaron los dos aparatos de medida simultáneamente, cada uno conectado a un lado del inversor. La pinza amperimétrica funciona midiendo la corriente de un conductor que atraviesa su núcleo, al igual que nuestro sensor, gracias al efecto Hall. En las figuras de debajo se observan los valores de corriente que fueron obtenidos durante la prueba, de unos 5 A

de CC antes del inversor (izquierda), y unos 0.2 A de CA después de inversor (derecha). Los dos cables azules de la imagen de la derecha están conectados al rotor y estator, por lo que al conectarse entre ellos permiten la autoexcitación del rotor.



Figura 29. Medida de corriente AC en pinza Figura 30. Medida de corriente DC en multímetro
(fuente: Elaboración propia) (fuente: Elaboración propia)

Por último, a la salida del inversor se obtuvo un valor máximo superior a 260 V, ya que se estaban suministrando a la entrada unos 13 V (relación de transformación de 20). Debajo, en la imagen, se puede ver un valor obtenido durante la generación y alimentación de la carga.

En teoría, el inversor debería de disponer de una regulación interna de la tensión de entrada y/o de salida para garantizar que no se envían sobretensiones a la carga, pero parece que no era el caso del dispositivo utilizado, o bien no estaba funcionando correctamente.



Figura 31. Medida de tensión AC en multímetro (fuente: Elaboración propia)

3.4 CONEXIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LOS SENSORES

El siguiente paso fue la programación y conexión de los sensores de tensión y corriente que se han utilizado en el circuito de medida, tenemos por un lado el sensor de tensión y corriente de Waveshare de 4 canales y por otro el sensor de corriente por efecto hall LEM HAS 50S.

En el sensor de Waveshare finalmente se han utilizado dos canales en vez de uno, como se indicaba en la descripción de componentes, ambos canales para medir tensión. Uno de ellos se ha utilizado para medir la tensión en bornes del alternador, y el otro para medir la tensión de salida del transductor de corriente, al tratarse de una salida analógica que la Raspberry Pi es incapaz de leer directamente ya que solo puede leer entradas digitales. Esto se soluciona transformando la salida analógica del transductor en salidas SCA y SCL digitales que la placa pueda leer, haciendo pasar la señal por uno de los 4 canales del sensor de tensión y corriente.

Las salidas SCA y SCL trabajan con un bus de datos llamado I2C (Inter-Integrated Circuit), el cual permite la transmisión de datos provenientes de diferentes dispositivos electrónicos (los 4 integrados ina219 de cada uno de los 4 canales en este caso). No se necesita disponer de salidas para cada uno de ellos, ya que los datos provenientes de cada canal tienen una dirección de identificación diferente, la cual permite distinguir a que canal corresponden los datos y dirigirlos hacia la placa a través de un mismo canal. A los dispositivos que dirigen y solicitan la información a través del bus de datos I2C se les denomina dispositivos maestros (la Raspberry), y a los que proporcionan los datos se les denomina dispositivos esclavos (chips ina219 del sensor de tensión y corriente).

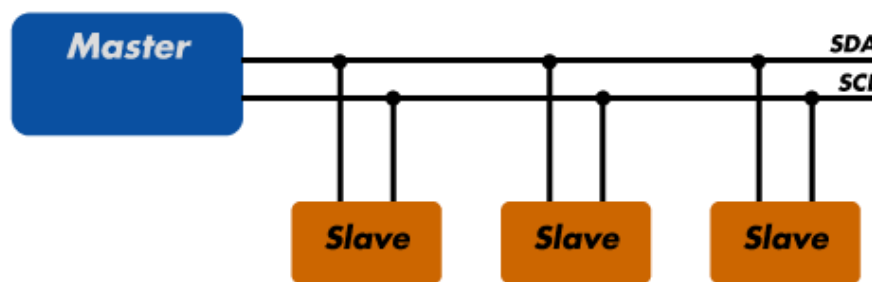


Figura 32. Bus I2C (fuente: Dignal) [20]

Para medir tensión en ambos casos, se conectan los bornes positivos en cada caso a los pines IN+ de cada canal, y los negativos a los pines GND (tierra) de cada canal, los cuales están conectados con la tierra de la Raspberry (ya que el sensor de tensión y corriente se acopla a través de los 40 pines GPIO con la Raspberry como figura en la imagen de debajo, conectándose las tierras de ambos componentes, además de la alimentación y las tomas SCA y SCL), para asegurar unas referencias de potencial comunes, una correcta alimentación del sensor, y una correcta transferencia de datos del sensor a la placa.

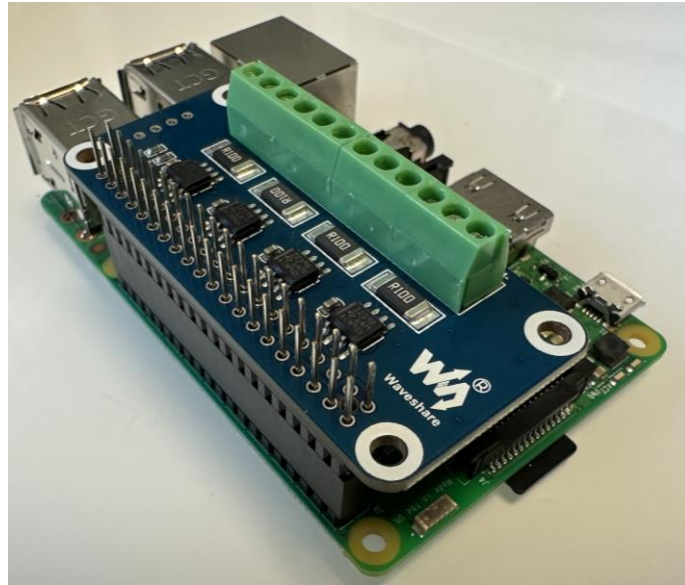


Figura 10. Sensor de tensión y corriente acoplado a Raspberry
(fuente: Elaboración propia)

La conexión del transductor se realiza conectando los bornes de potenciales positivo y negativo de la fuente de alimentación de 15 V a los bornes de alimentación positivo (pin 1) y negativo (pin 2) del transductor, también conectando el pin de tierra (pin 4) a la entrada IN- de un canal del sensor de tensión, y por último conectando el pin de salida (pin 3) al borne IN+ del canal correspondiente de dicho sensor. Los números de los pines entre paréntesis se corresponden con los mostrados en la siguiente figura.

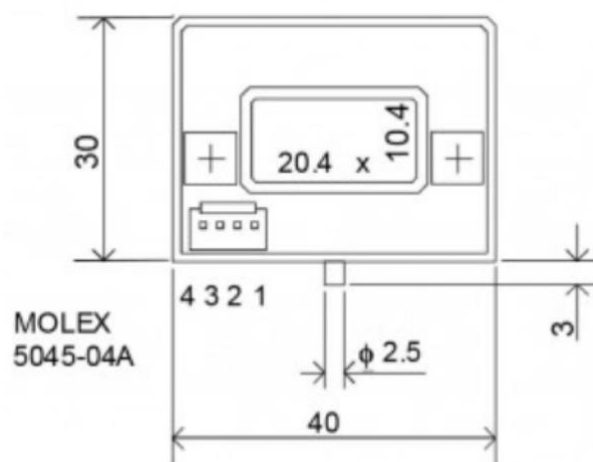


Figura 14. Esquema transductor (fuente: Kit Elec)[11]

Cabe nombrar el procedimiento que hubo que seguir para la conexión de la fuente de alimentación de 15 V con el transductor de corriente. La fuente de alimentación venía con un conector DC Barrel que no era válido para conectarlo a los pines de alimentación del transductor, los cuales formaban un conector tipo molex, por lo que hubo que cortar el conector de la fuente de alimentación y pelar los extremos de los conductores positivo y negativo para poder realizar la conexión del sensor. Debajo se muestra un conector DC Barrel de 5,5x2,1 mm y un conector tipo molex de 4 pines.



Figura 33. Conector DC Barrel
(fuente: RS) [21]

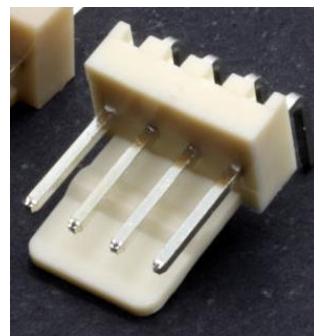


Figura 34. Conector Molex
(fuente: Complubot) [22]

Una vez programado el sensor de tensión, se continuó realizando una prueba de medida de tensión utilizando como sujeto la fuente de alimentación de 15 V del transductor de corriente. Para ello se conectó la fuente a uno de los canales del sensor de la forma descrita anteriormente para la medida de tensión.

En este paso se cometió un fallo al suponer que dicho sensor devolvería un valor de tensión negativo en caso de conectar el borne negativo de la fuente al pin IN+ del sensor y el pin positivo al IN-. Al contrario, este sensor no es capaz de medir tensiones negativas.

Al conectar los bornes de esta manera, el chip ina219 del canal que estaba trabajando comenzó a calentarse súbitamente a gran temperatura mientras que la lectura no daba ningún valor. Debido a esto, se procedió a la

desconexión de la fuente lo más rápido posible desenchufándola de la red, luego esta del sensor, y a continuación desacoplando el sensor de la Raspberry a la que estaba unido mediante los 40 puertos GPIO.

Después de que esto sucediera, al cabo de un rato, se volvió a acoplar el sensor a la Raspberry a través de los puertos GPIO, y el chip ina219 que antes se había calentado súbitamente comenzó al instante a calentarse del mismo modo que antes (no se podía tocar más de 1 segundo porque quemaba la piel), pero esta vez sin estar conectada la fuente de alimentación al sensor ni ninguna otra entrada.

Más tarde, en otro sensor de repuesto se probó a conectar una pila de 1.5 V a los pines IN+ e IN- de un canal de manera incorrecta como antes, para verificar que el fallo se debía a esto (se repitió con una pila de 1.5 V que no pudiese dañar el sensor ya que la tensión era muy inferior a 15 V). Efectivamente, al conectar la pila de manera incorrecta, el chip ina219 del nuevo sensor se comenzó a calentar, aunque de manera mucho más leve que en el caso de la fuente de 15 V. Estos calentamientos no ocurrían cuando se conectó de manera correcta la fuente de 15 V y la pila de 1.5 V (el chip no se calentaba nada), obteniéndose los valores correctos (unos 15 V) de tensión en la pantalla del pc que estaba conectado a la Raspberry Pi mediante escritorio remoto, y a través del cual se estaba ejecutando el programa de Python de medición que figura más abajo.

Debido a todo esto, se dedujo que la conexión errónea de la fuente había provocado un cortocircuito en el chip ina219 y por ello se calentaba tanto al estar conectado únicamente a la Raspberry. Esto no supuso un gran problema ya que se disponía como se ha dicho antes de un sensor de repuesto.

Además de realizar de manera adecuada las conexiones de ambos sensores a la placa, fue necesario la programación de estos con Python en el entorno de Idle dentro del entorno gráfico de la Raspberry.

Para la programación del sensor de tensión se creó el programa con los comandos que figuran en la imagen de debajo.

```
1  import smbus
2  from ina219 import INA219

3  ina=INA219(0.1,address=0x40)
4  ina.configure(voltage_range=ina.RANGE_16V)
5  voltage=ina.voltage()
6  print("Voltage: %.2f V" % voltage)
```

Figura 35. Programa de medida de tensión (fuente: Elaboración propia)

A continuación, se describen las funciones que realiza cada comando. Las descripciones están numeradas acorde con la numeración de la figura superior del programa a describir.

- 1) Se importa la biblioteca SMBus (SMBus es una variante del protocolo I2C con ciertas características adicionales, como un tiempo de espera de respuesta más estricto, lo que lo hace más adecuado para aplicaciones de gestión de energía como en este caso).
- 2) Se importa la clase INA219 desde el módulo ina219, el cual se tuvo que instalar previamente escribiendo el siguiente comando en el terminal de Raspbian:

```
sudo pip3 install pi-ina219
```

Este módulo permite programar el chip ina219, el cual está presente en nuestro sensor de tensión.

- 3) Se crea una instancia del objeto INA219 cuyos argumentos son el valor de calibración del sensor (0.1) y la dirección I2C del dispositivo esclavo referido (0x40: dirección del chip ina219 perteneciente al primer canal del sensor de tensión).
- 4) Establecemos el rango de tensión que nuestro sensor podrá medir con precisión, definiéndolo para la instancia *ina* creada en el comando 3, mediante el método *configure* de la clase INA219.

- 5) Se le ordena al sensor que lea el valor de tensión del canal cuya dirección es la correspondiente a la instancia *ina* (0x40) cuyo valor de tensión queremos saber, utilizando el método *voltage()* de la clase INA219, y asignando este valor a la variable *voltage*.
- 6) Ordenamos que se muestre en pantalla el valor de la variable *voltage* con 2 decimales y mostrado después de escribirse 'Voltaje:' antes, y escribiendo la unidad 'V' después.

3.5 MONTAJE DE LA PANTALLA

En este sencillo paso se conectó la pantalla táctil de 7" a la Raspberry Pi, mediante los conectores necesarios, para luego también acoplarse a esta mediante 4 tornillos que venían con la pantalla.

En primer lugar, para la conexión, se conecta el cable plano flexible (DSI) a la Raspberry Pi por un extremo, y a la placa de la pantalla por otro, mediante los conectores FCC de ambas placas. Para realizar dichas conexiones, hay que levantar unas pequeñas pestañas, introducir el cable DSI y a continuación bajar las pestañas dejando bloqueado el cable plano.

El siguiente paso es conectar los pines de alimentación (5V) y tierra (GND) de la placa de la pantalla a los pines GPIO correspondientes de la Raspberry Pi. Hay varias opciones válidas, y en este caso se escogieron los pines 4 (5V) y 6 (GND). Los últimos pines a conectar son el pin de datos (SDA) y el pin de reloj (SCL), los cuales se conectaron a los pines 3 y 5 respectivamente de la Raspberry Pi.

Una vez completadas las conexiones, ya se pueden fijar la pantalla con su placa a la Raspberri Pi mediante tornillos. Estos tornillos se disponen en las 4 esquinas de ambas placas, las cuales cuentan con 4 agujeros para realizar dicha función. Entre ambas placas se colocan 4 cilindros metálicos, los cuales permiten la separación de las placas con el fin de evitar que haya contacto entre ellas. Estas están situadas en las cuatro esquinas y

concéntricas con los agujeros, ya que a través de estos cilindros pasan los tornillos.

En la figura siguiente, se puede ver la parte trasera de la pantalla, la cual está conectada y acoplada a la Raspberry a través de las conexiones arriba descritas y los tornillos. Además, también está acoplado el sensor de tensión a la Raspberry.

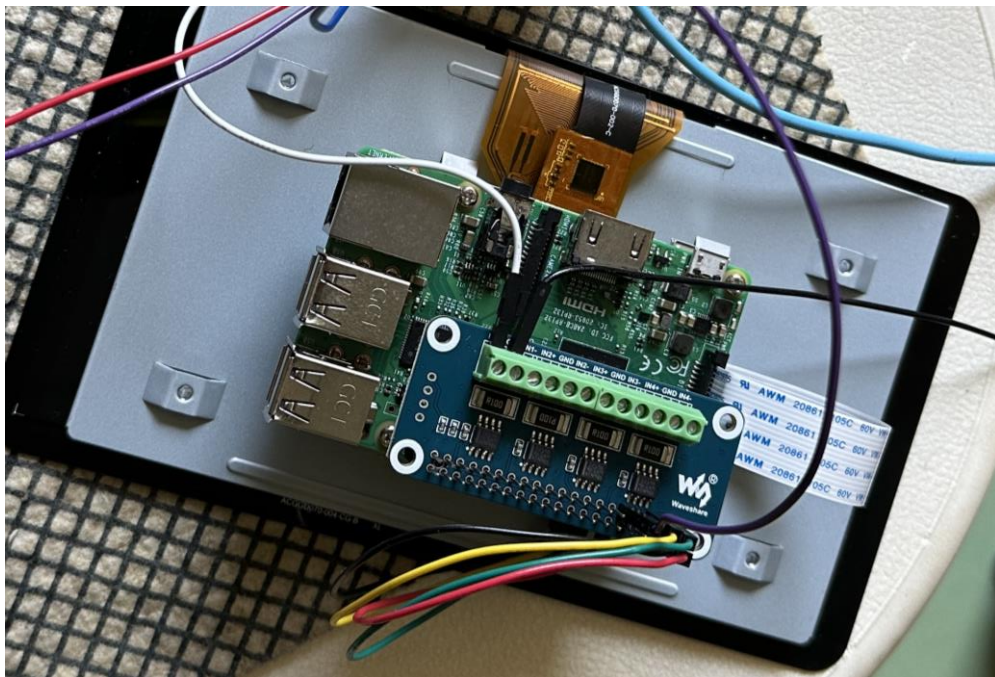


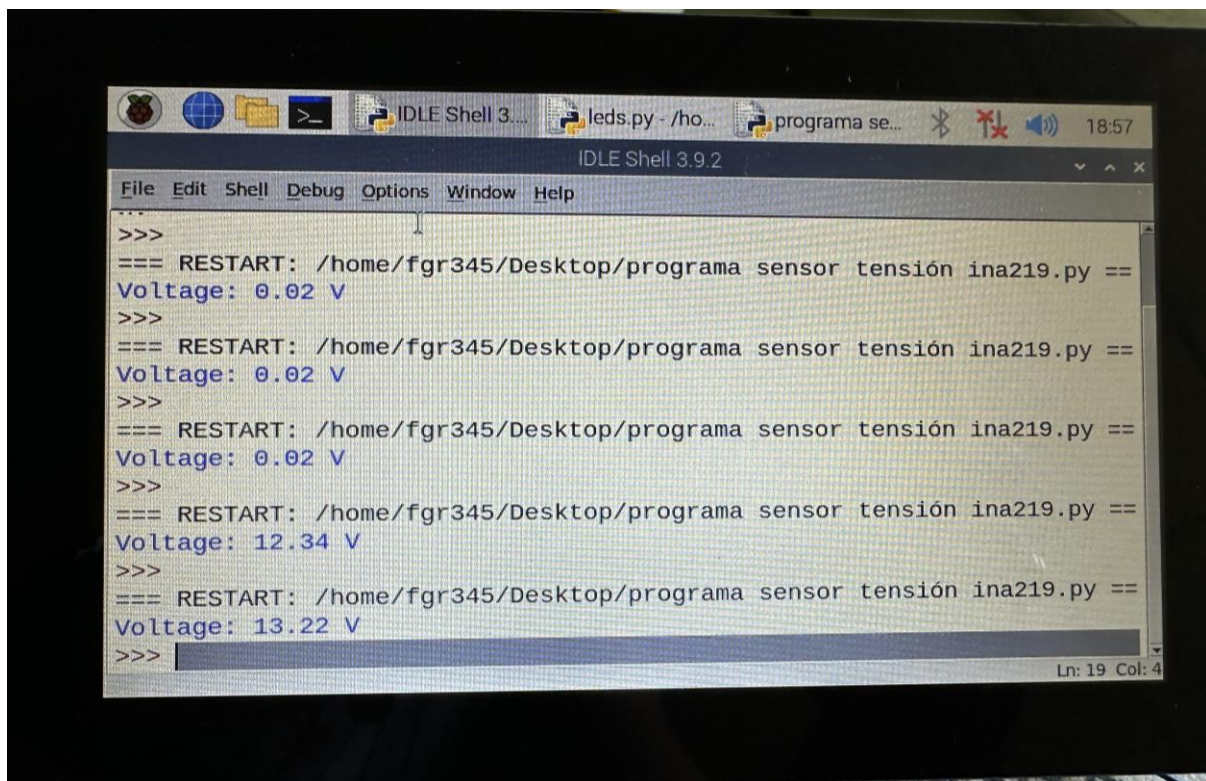
Figura 36. Acoplamiento entre pantalla y Raspberry (fuente: Elaboración propia)

3.6 PRUEBA DE MEDIDA CON SENSORES EN LABORATORIO

Una vez configurados los sensores, y comprobado el funcionamiento del sensor de tensión, lo siguiente fue acudir al laboratorio y realizar pruebas de medida para ambos sensores.

En primer lugar se procedió a realizar la prueba de media de tensión a la salida del alternador. Para ello, se conectó el borne positivo del estator y la

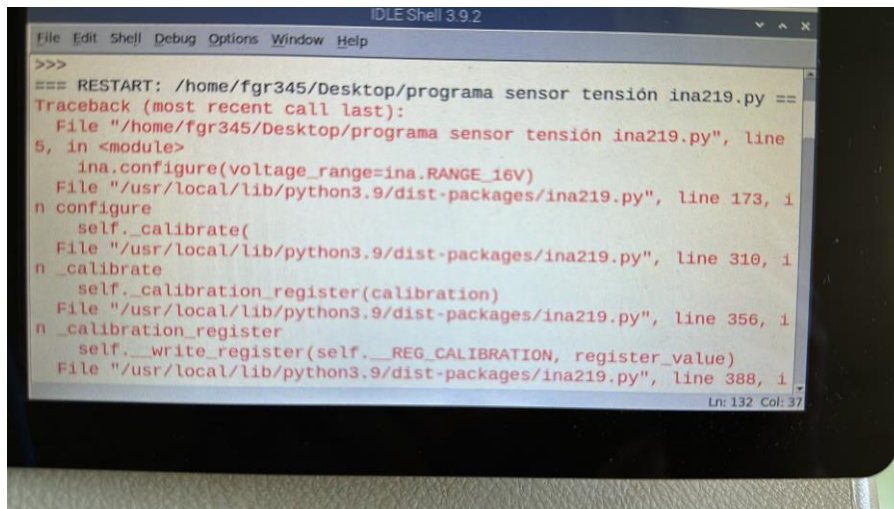
tierra del alternador a los bornes IN+ e IN- respectivamente de uno de los canales del sensor de tensión. Después se hizo funcionar el alternador con el taladro y se ejecutó el programa. El resultado fue exitoso, entregando valores razonables en torno a 12 y 13 V. Dichos valores se pueden observar en la parte de abajo de la figura siguiente, donde se muestran en la pantalla táctil que se conectó previamente a la placa. Los valores de 0.2 V fueron entregados antes de hacer funcionar el alternador.



```
>>>
=== RESTART: /home/fgr345/Desktop/programa sensor tensión ina219.py ==
Voltage: 0.02 V
>>>
=== RESTART: /home/fgr345/Desktop/programa sensor tensión ina219.py ==
Voltage: 0.02 V
>>>
=== RESTART: /home/fgr345/Desktop/programa sensor tensión ina219.py ==
Voltage: 0.02 V
>>>
=== RESTART: /home/fgr345/Desktop/programa sensor tensión ina219.py ==
Voltage: 12.34 V
>>>
=== RESTART: /home/fgr345/Desktop/programa sensor tensión ina219.py ==
Voltage: 13.22 V
>>>
```

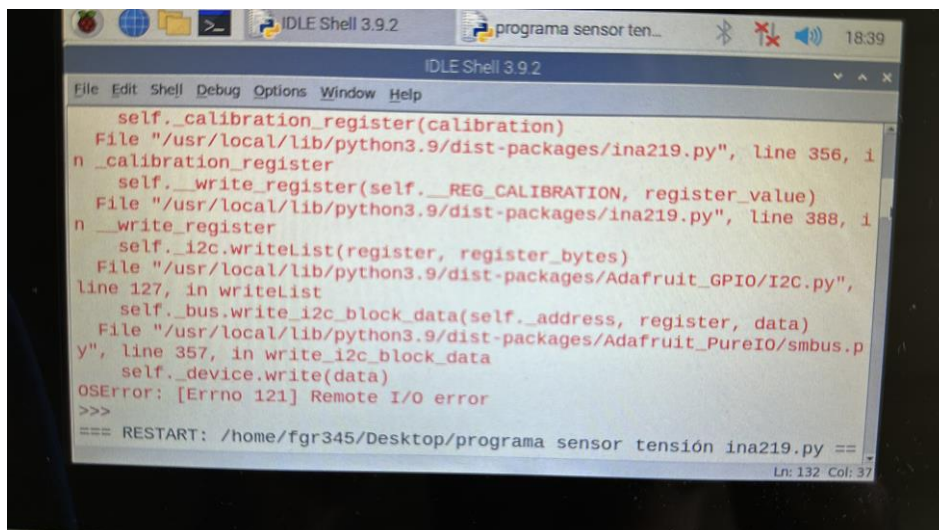
Figura 37. Medidas de tensión (fuente: Elaboración propia)

En este momento, se pudo verificar el correcto funcionamiento del sensor de tensión, pero al volver a probarle en un día posterior al de la prueba exitosa, no se obtuvo el mismo resultado. Lo que ocurrió fue que al conectar de nuevo el sensor para medir de igual forma que se había hecho el día que funcionó, el programa entregaba siempre un error de comunicación entre la placa y el sensor. El error es el que figura en las imágenes siguientes.



```
>>>
=== RESTART: /home/fgr345/Desktop/programa sensor tensión ina219.py ==
Traceback (most recent call last):
  File "/home/fgr345/Desktop/programa sensor tensión ina219.py", line
5, in <module>
    ina.configure(voltage_range=ina.RANGE_16V)
  File "/usr/local/lib/python3.9/dist-packages/ina219.py", line 173, i
n configure
    self._calibrate(
  File "/usr/local/lib/python3.9/dist-packages/ina219.py", line 310, i
n _calibrate
    self._calibration_register(calibration)
  File "/usr/local/lib/python3.9/dist-packages/ina219.py", line 356, i
n _calibration_register
    self._write_register(self.__REG_CALIBRATION, register_value)
  File "/usr/local/lib/python3.9/dist-packages/ina219.py", line 388, i
Ln: 132 Col: 37
```

Figura 38. Error (fuente: Elaboración propia)



```
self._calibration_register(calibration)
  File "/usr/local/lib/python3.9/dist-packages/ina219.py", line 356, i
n _calibration_register
    self._write_register(self.__REG_CALIBRATION, register_value)
  File "/usr/local/lib/python3.9/dist-packages/ina219.py", line 388, i
n _write_register
    self._i2c.writeList(register, register_bytes)
  File "/usr/local/lib/python3.9/dist-packages/Adafruit_GPIO/I2C.py",
line 127, in writeList
    self._bus.write_i2c_block_data(self._address, register, data)
  File "/usr/local/lib/python3.9/dist-packages/Adafruit_PureIO/smbus.p
y", line 357, in write_i2c_block_data
    self._device.write(data)
OSError: [Errno 121] Remote I/O error
>>>
=== RESTART: /home/fgr345/Desktop/programa sensor tensión ina219.py ==
Ln: 132 Col: 37
```

Figura 39. Continuación error (fuente: Elaboración propia)

Al ver que se trataba de un error de comunicación en el protocolo I2C, entre la placa y el sensor, se procedió al ejecutar el comando

sudo i2cdetect -y 1

el cual muestra los dispositivos que detecta la placa como compatibles con el bus de datos I2C y sus direcciones en dicho bus. Como se puede observar en la figura siguiente, al ejecutar dicho comando se muestra la detección de los 4 canales del sensor (del 40 al 43), por lo que la comunicación entre placa y sensor debería funcionar correctamente.

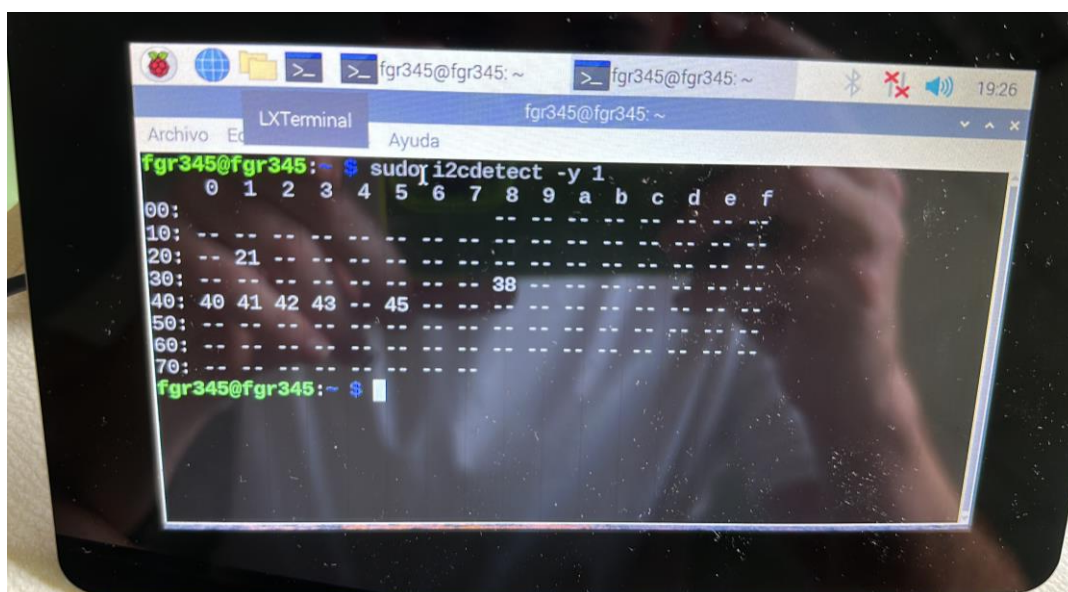
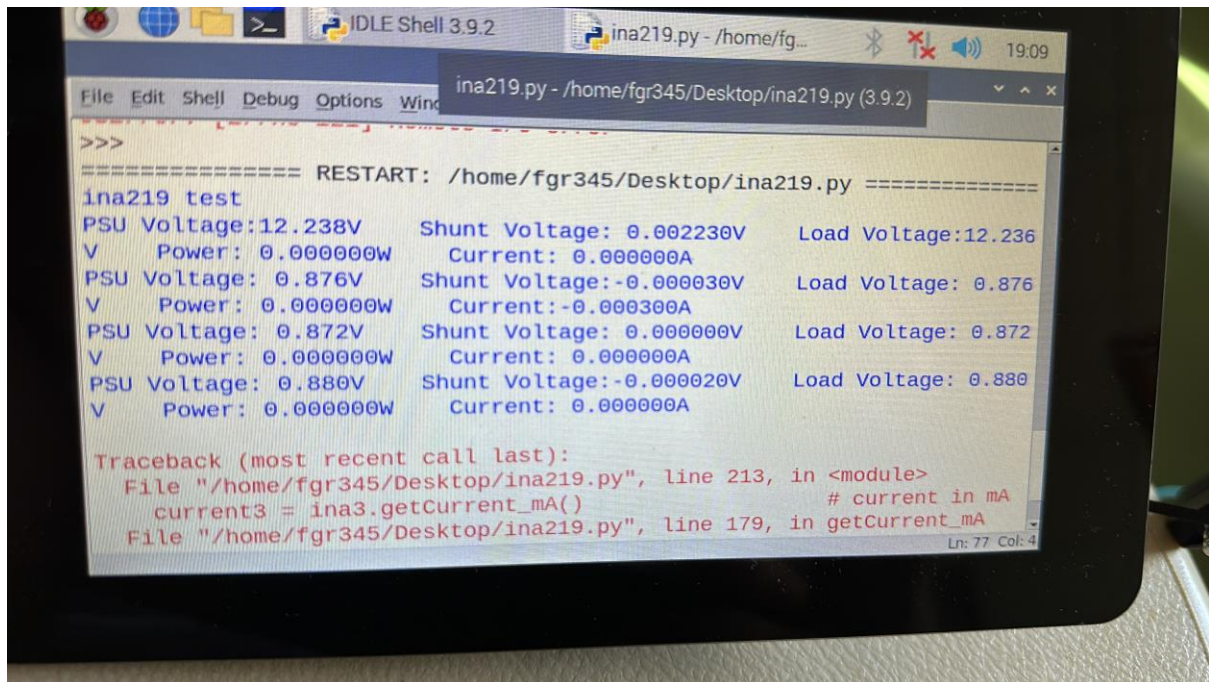


Figura 40. Dispositivos I2C detectados (fuente: Elaboración propia)

Lo raro de este error, es que, aunque sucedía la mayoría de las veces, en algunas ocasiones no sucedía, y el programa funcionaba correctamente, por lo que se especula que no debería ser un error en el código. Además, el código era el mismo utilizado en las otras pruebas exitosas de medida de tensión. Se comprobó varias veces la comunicación entre componentes ejecutando el comando de la última figura y siempre mostraba una correcta detección de los 4 canales del sensor. Como último recurso, se cambió el programa por el que proporcionaba el fabricante, que es el que se muestra en la figura siguiente, pero seguía sucediendo lo mismo: al ejecutarse entregaba en ocasiones escasas valores correctos, y en la mayoría entregaba el mismo error. En este caso se había conectado el sensor a la batería de coche.



```
>>>
===== RESTART: /home/fgr345/Desktop/ina219.py =====
ina219 test
PSU Voltage:12.238V      Shunt Voltage: 0.002230V      Load Voltage:12.236
V      Power: 0.000000W      Current: 0.000000A
PSU Voltage: 0.876V      Shunt Voltage:-0.000030V      Load Voltage: 0.876
V      Power: 0.000000W      Current:-0.000300A
PSU Voltage: 0.872V      Shunt Voltage: 0.000000V      Load Voltage: 0.872
V      Power: 0.000000W      Current: 0.000000A
PSU Voltage: 0.880V      Shunt Voltage:-0.000020V      Load Voltage: 0.880
V      Power: 0.000000W      Current: 0.000000A

Traceback (most recent call last):
  File "/home/fgr345/Desktop/ina219.py", line 213, in <module>
    current3 = ina3.getCurrent_mA()          # current in mA
  File "/home/fgr345/Desktop/ina219.py", line 179, in getCurrent_mA
Ln: 77 Col: 4
```

Figura 41. Programa de medición nuevo (fuente: Elaboración propia)

Debido a esto, se llegó a la conclusión de que o el sensor estaba defectuoso, o había un fallo que no se conseguía encontrar. El primero de estos supuestos pierde fuerza al obtener el mismo error con placas de reserva. En cuanto al segundo supuesto, más adelante se barajó que pudiera haber algún tipo de conflicto con la pantalla táctil, la cual se comunica también por I2C. Alternativamente, podría tratarse de un problema propio de la Raspberry Py. En el momento de la redacción de este informe, aun no se ha podido determinar cuál ha sido el problema.

Como la salida del sensor de corriente de efecto Hall necesitaba pasar por el sensor de tensión para poder ser leída por la Raspberry Pi ya que se trataba de una señal analógica, y el sensor de tensión no funcionaba correctamente, no ha sido posible la utilización del transductor de corriente.

4 CONCLUSIONES

4.1 IMPLEMENTACIONES REALES Y LINEAS FUTURAS

Finalmente, se ha pensado sobre posibles implementaciones de generadores de este tipo en el ámbito real, como por ejemplo la instalación en puntos urbanos de generadores de energía eléctrica a partir del pedaleo de una persona, que sirvan para cargar la batería de dispositivos como smartphones, ordenadores portátiles, tablets u otros dispositivos similares, que no requieran mucha potencia. Ya se han instalado generadores de este tipo en aeropuertos, como en el de Alicante-Elche que cuenta con 4 de estos, en el de Bruselas, o en el de Ámsterdam Schiphol.

En las figuras siguientes se puede ver los generadores en aeropuertos de Alicante-Elche (Arriba), Ámsterdam Schiphol (Abajo izquierda) y Bruselas (Abajo derecha).



Figura 42. Aeropuerto de Alicante-Elche (fuente: Ondacero) [23]



Figura 43. Aeropuerto Ámsterdam Schiphol (fuente: npr) [24]



Figura 44. Aeropuerto internacional de Bruselas (fuente: Facebook) [25]

En el enlace de la referencia 25 puede reproducirse un video donde se muestra de cerca el generador de la figura 44

Otra aplicación real que se ha llevado a cabo con este tipo de generadores ha sido la disposición de estos en gimnasios, para producir energía con el pedaleo en clases de spinning o en un entrenamiento casual de pedaleo en bicicleta estática. Esto se ha llevado a cabo por ejemplo en un gimnasio de Nueva York llamado Eco Gym, el cual se muestra en la siguiente figura donde se pueden ver las bicicletas generadoras.



Figura 45. Gimnasio Eco Gym (fuente: El País) [26]

Volviendo al diseño de este proyecto, en caso de proseguir con él en un futuro, se podrían incluir nuevos aspectos en el diseño como la adición de un ventilador que refrigere al individuo, alimentado por su propio pedaleo, o un sistema de marchas para que la persona pueda modificar la relación de transmisión entre rueda de la bicicleta y polea del alternador, para cambiar la resistencia al pedaleo. Además, se podrían añadir mejoras estéticas, como la colocación de una carcasa que cubra el alternador y los sensores, o cambiar la pintura de la bicicleta a un color más estético.

4.2 REFLEXIÓN FINAL

Durante este proyecto se ha trabajado en un amplio abanico de ámbitos, desde la mecánica hasta la informática, pasando por la electrotecnia y la electrónica. Se puede decir que se trata de un proyecto bastante completo en cuanto a la aplicación de distintos conocimientos aprendidos durante los estudios de este grado. Por otro lado, se han realizado labores tanto teóricas como prácticas, lo cual es algo positivo en cuanto al carácter formativo del proyecto, ya que el alumno en primer lugar desarrolla el aspecto teórico durante el diseño aplicando los conocimientos aprendidos

sin problemas mayores, pero al llegar a la parte física y real del proyecto surgen numerosas complicaciones para las cuales hay que encontrar constantes soluciones.

Otro aspecto en el que el proyecto hace énfasis es en el reciclado de componentes, algo fundamental que todo alumno debería aprender de cara a un futuro sostenible. Para el prototipo del generador, se ha reciclado tanto la bicicleta estática en desuso perteneciente a la universidad, como el alternador de coche que residía en un desguace de piezas usadas.

Este proyecto finalmente ha terminado siendo un trabajo de diseño teórico-práctico de un prototipo cuya construcción se ha llevado a cabo, pero su funcionamiento no ha podido concluir exitosamente debido a problemas técnicos. En un principio la idea era presentar un prototipo funcional terminado, pero para ello hubiese sido necesario la adquisición de algunos componentes nuevos como los sensores y la correa, los cuales deberían ser distintos a los descritos en este proyecto por no cumplir estos con un estándar de calidad y funcionalidad. En caso de haber procedido a la adquisición de nuevos y distintos componentes, se tendría que haber realizado el proyecto de nuevo casi por completo al basarse la gran mayoría de este en la descripción de dichos componentes, en un diseño del prototipo a partir de ellos, y en una descripción del proceso llevado a cabo a partir del trabajo con ellos. Por ello, se ha decidido entregar el proyecto como un trabajo de carácter divulgativo y experimental, sin llegar a presentar un prototipo funcional como se tenía previsto.

REFERENCIAS

Todos los enlaces de las referencias fueron revisados por última vez en agosto de 2023.

[1] La noche de los investigadores, Unidad de Cultura Científica y de la Innovación (UCC+i), Universidad de Cantabria, 2017.

<https://web.unican.es/unidades/cultura-cientifica/Paginas/La-noche-de-los-investigadores.aspx>

[2] Stan Zurek, Carbon brushes, Wikimedia commons, 2006.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carbon_brushes.jpg?uselang=es

[3] ¿Cómo diagnosticar una avería del alternador sin desmontarlo del coche?, Redacción Infotaller, 2022.

https://www.infotaller.tv/informacion_tecnica/diagnosticar-averia-alternador-desmontarlo-coche_0_1653734661.html

[4] Placas Raspberry Pi, Farnell. <https://es.farnell.com/Raspberri-pi/raspberrypi3-modb-1gb/sbc-Raspberri-pi-3-modelo-b-ram/dp/2525225>

[5] Los GPIO en la Raspberry Pi, Chitoraspberrypi, 2017.

<https://chitoraspberrypi.blogspot.com/2017/05/los-gpio-en-la-Raspberri-pi.html>

[6] Arduino Uno Rev 3, Prometec.

<https://store.prometec.net/producto/arduino-uno-rev-3/>

[7] Raspberry Pi 7" Touchscreen Display, element i4.

<https://community.element14.com/products/Raspberri-pi/w/documents/888/Raspberri-pi-7-touchscreen-display>

[8] Texas Instruments INA219 High-Side Current Shunt & Power Monitor, Mouser. [https://www.mouser.es/new/texas-instruments/ti-ina219-current-shunt-power-](https://www.mouser.es/new/texas-instruments/ti-ina219-current-shunt-power-monitor/?_gl=1*zss0uz*_ga*OTI5OTEwLjE2OTM0MjM2NzA.*_ga_1KQLCY)

[monitor/?_gl=1*zss0uz*_ga*OTI5OTEwLjE2OTM0MjM2NzA.*_ga_1KQLCY](https://www.mouser.es/new/texas-instruments/ti-ina219-current-shunt-power-monitor/?_gl=1*zss0uz*_ga*OTI5OTEwLjE2OTM0MjM2NzA.*_ga_1KQLCY)

[monitor/?_gl=1*zss0uz*_ga*OTI5OTEwLjE2OTM0MjM2NzA.*_ga_1KQLCY](https://www.mouser.es/new/texas-instruments/ti-ina219-current-shunt-power-monitor/?_gl=1*zss0uz*_ga*OTI5OTEwLjE2OTM0MjM2NzA.*_ga_1KQLCY)

[KRX3*MTY5MzQ0MzE5Mi4zLjAuMTY5MzQ0MzE5My41OS4wLjA.* ga 15W
4STQT4T*MTY5MzQ0MzE5Mi4zLjAuMTY5MzQ0MzE5My4wLjAuMA](#)

[9] Current/Power Monitor HAT, WaveShare.

https://www.waveshare.com/wiki/Current/Power_Monitor_HAT

[10] Transformador de corriente LEM HAS, RS. <https://es.rs-online.com/web/p/transformadores-de-corriente/3019489>

[11] LEM HAS 50-S CURRENT SENSOR, Kit Elec. <https://www.kit-elec-shop.com/gb/gauges-and-sensors/3032-lem-has-50-s-current-sensor.html>

[12] Hall effect-comparison, Wikimedia Commons, 2005.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hall_effect-comparison.png

[13] El proceso de soldadura TIG, Herreros Argentinos, 2019.

<https://herrerargentinos.com.ar/articulo-98-el-proceso-de-soldadura-tig/>

[14] Raspberry Pi OS, Raspberry Pi.

<https://www.raspberrypi.com/software/>

[15] Win32 Disk Imager, Sourceforge, 2018.

<https://sourceforge.net/projects/win32diskimager/>

[16] SD Memory Card Formatter for Windows/Mac, SD Association.

<https://www.sdcard.org/downloads/formatter/>

[17] Mecanismos de transmisión circular, El pato tecnológico, 2019.

<https://elpatotecnologico.wordpress.com/2019/05/10/mecanismos-de-transmission-circular/>

[18] Olympic Cyclist Vs. Toaster: Can He Power It?, The Toaster

Challenge, 2015. <https://www.youtube.com/watch?v=S4O5voOCqAQ>

[19] Punta atornillar TORX XZN 5/16 M8 X 30MM, Central.

[http://www.ferreteria-central.es/producto/punta-atornillar-torx-xzn-5\\$\\$\\$16-m8-x-30mm-193983](http://www.ferreteria-central.es/producto/punta-atornillar-torx-xzn-5$$$16-m8-x-30mm-193983)

- [20]** El Bus I2C, Dignal, 2015. <https://dignal.com/el-bus-i2c/>
- [21]** Conector DC macho RS PRO, Ø int. 2.1mm, Ø ext. 5.5mm, RS. <https://es.rs-online.com/web/p/conectores-de-alimentacion-dc/7719186>
- [22]** Kit conectores tipo Molex 4 pines, Complubot. <https://shop.complubot.com/kit-conectores-tipo-molex-4-pines-p-1-50-255/>
- [23]** El Aeropuerto de Alicante-Elche instala cuatro bicicletas estáticas para la carga de teléfonos móviles, Ondacero, 2018. https://www.ondacero.es/emisoras/comunidad-valenciana/elche/audios-podcast/noticias/aeropuerto-alicanteelche-instala-cuatro-bicicletas-estaticas-carga-telefonos-moviles_201807295b5d97180cf267fe6b5c3afd.html
- [24]** The Cycling Desk: Work Out And Charge Your Phone During A Trip, npr, 2014. <https://www.npr.org/sections/alltechconsidered/2014/10/02/353252021/the-cycling-desk-work-out-and-charge-your-phone-during-a-trip>
- [25]** Miguel Ángel Arévalo, 2019. https://www.facebook.com/ArevaloRMiguel/videos/aqu%C3%AD-en-el-aeropuerto-de-bruselas-puedes-cargar-tu-m%C3%B3vil-generando-t%C3%BA-la-energ%C3%ADa/319324518957501/?locale=es_ES
- [26]** El gimnasio que genera su propia electricidad con el ejercicio de sus deportistas, El País, David G. Bolaños, 2018. <https://cincodias.elpais.com/cincodias/2018/03/13/lifestyle/1520938280812311.html>

ANEXO 1: PRESUPUESTO

Se muestra a continuación una tabla con los costes de material y servicios asociados al proyecto. Los costes no incluyen la mano de obra del proyectante ni del director del proyecto.

Se han diferenciado dos columnas de coste. La primera indica el coste de mercado de materiales y servicios, mientras que la segunda tiene en cuenta solo el coste real que ha supuesto realizar el proyecto. Esto se debe a que algunos elementos estaban ya disponibles en el laboratorio y a que la soldadura se ha realizado por personal propio del departamento.

	CONCEPTO	COSTE (€)	COSTE REAL (€)	NOTAS
<u>EQUIPAMIENTO BÁSICO</u>	Bicicleta estática	0 €	0 €	Cedida gratuitamente por la Universidad de Cantabria. No se le aplica ningún coste tampoco en la primera columna pues el objetivo es reciclarla.
-				
<u>EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO</u>	Alternador de coche	25 €	25 €	Adquirido en depósito de chatarra
	Inversor	150 €	0 €	Disponible en el laboratorio
	Lamapara AC	20 €	0 €	Disponible en el laboratorio
	Fuente de Alimentación	10 €	10 €	
-				
<u>ELEMENTOS MECÁNICOS</u>	Correa	5 €	5 €	
	Soporte del alternador	10 €	0 €	Coste del perfil metálico. Disponible en el laboratorio
-				
<u>ELEMENTOS INFORMÁTICOS</u>	Placa programable	40 €	0 €	Disponible en el laboratorio
	Monitor y teclado	0 €	0 €	Solo se necesitan puntualmente y se encuentra comunmente en cualquier hogar y laboratorio
	Pantalla táctil	100 €	0 €	Disponible en el laboratorio
-				
<u>ELEMENTOS ELECTRÓNICOS</u>	Sensor de tensión	30 €	32 €	
	Sensor de corriente	32 €	32 €	
-				
<u>ELEMENTOS AUXILIARES</u>	Soldadura TIG	150 €	0 €	Se realizó por un miembro del departamento con equipo del departamento
	Otros (cable, cinta, etc)	20 €	20 €	Disponible en el laboratorio. Sin embargo, se considera real por ser consumible
<u>TOTAL</u>		<u>592 €</u>	<u>124 €</u>	

