



Universidad de Jaén

Escuela Politécnica Superior de Jaén

Sistema de Monitorización y Adquisición de Datos para Aerogenerador

Autor: Antonio Montiel Joyanes

Grado: Ingeniería Electrónica Industrial

Director: Carlos Luis Sánchez Martos
Departamento del director: Ingeniería Eléctrica

Fecha: 26/06/2024

Licencia CC



CREA

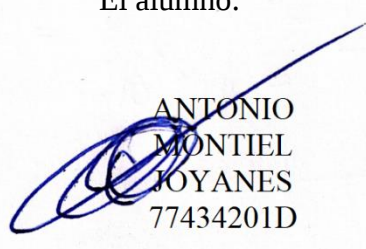


Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Electrónica Industrial

Don *CARLOS LUIS SÁNCHEZ MARTOS*, tutor del Proyecto Fin de Carrera titulado: *SISTEMA DE MONITORIZACIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS PARA AEROGENERADOR*, que presenta *ANTONIO MONTIEL JOYANES*, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, junio de 2024

El alumno:


ANTONIO
MONTIEL
JOYANES
77434201D

Los tutores:

ANTONIO MONTIEL JOYANES

CARLOS LUIS SÁNCHEZ MARTOS

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA	4
1. OBJETIVOS DEL TFG.	10
2. INTRODUCCIÓN: GENERADORES EÓLICOS.	11
3. DESCRIPCIÓN DEL AEROGENERADOR A MONITORIZAR.	21
4. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	23
5. SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE LOS DATOS.	52
6. CONTROL MEDIANTE ORDENADOR PERSONAL.	57
7. ENSAYOS Y PRUEBAS DEL SISTEMA COMPLETO.	62
8. CONCLUSIONES.	77
PLANOS Y ESQUEMAS.	78
PLANO 1: ESQUEMÁTICO TEÓRICO DEL GENERADOR.....	79
PLANO 2: ESQUEMÁTICO DE LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA	80
PLANO 3: DIAGRAMA DE FLUJOS DEL CÓDIGO	81
ANEXOS	82
ANEXO 1: CÓDIGO DE ARDUINO IDE.....	83
ANEXO 2: HOJAS DE CARACTERÍSTICAS.....	86
BIBLIOGRAFÍA	121



MEMORIA

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. OBJETIVOS DEL TFG.....	10
2. INTRODUCCIÓN: GENERADORES EÓLICOS.....	11
2.1. DEFINICIÓN.....	11
2.2. FUNCIONAMIENTO.....	11
2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES.....	13
2.3.1. LAS PALAS.....	14
2.3.2. LA GÓNDOLA / NACELLE.....	14
2.3.3. LA MULTIPLICADORA.....	15
2.3.4. EL GENERADOR ELÉCTRICO.....	16
2.3.5. EL TRANSFORMADOR.....	16
2.3.6. EL EJE PRIMARIO.....	17
2.3.7. EL SISTEMA DE BLOQUEO Y EL SISTEMA DE FRENADO.....	18
2.3.8. EL EJE RÁPIDO.....	18
2.3.9. EL BASTIDOR MECÁNICO.....	18
2.3.10. EL SISTEMA MECÁNICO-HIDRÁULICO DE GIRO DE LA GÓNDOLA.....	19
2.3.11. EL SISTEMA HIDRONEUMÁTICO PARA LA VARIACIÓN DEL ÁNGULO DE ATAQUE DE PALAS.....	19
2.3.12. EL ANEMÓMETRO Y LA VELETA.....	20
3. DESCRIPCIÓN DEL AEROGENERADOR A MONITORIZAR.....	21
4. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	23
4.1. HARDWARE.....	23
4.1.1. ESP32-WROOM 32.....	23
4.1.2. PZEM-004T V30.....	26
4.1.3. ADS1115.....	28
4.1.4. AUTOTRANSFORMADORES.....	30
125/220V 500VA / 115/230V 100VA.....	30
4.1.6. ACS712ELCTR-30A-T.....	34
3.2. SOFTWARE.....	37
ARDUINO IDE.....	37

4.2. METODOLOGÍA.	38
4.2.1. SISTEMA DE MEDIDA DE CORRIENTE ALTERNA (CA).	38
4.2.2. SISTEMA DE MEDIDA DE CORRIENTE CONTINUA (CC).	39
4.2.3. INSTALACIÓN DE ARDUINO IDE Y SUS LIBRERIAS.	40
4.2.4. CALIBRACIÓN DEL MÓDULO PZEM004T v30.	46
4.2.5. CALIBRACIÓN DEL ACS712.	46
4.2.6. CONEXIONES DEL ADS1115 (pines ADDR y ALERT).	51
5. SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE LOS DATOS..	52
4.1. HARDWARE.	52
5.1.1. Cable TIPO C – USB.	52
4.2. SOFTWARE.	53
EXCEL	53
4.3. METODOLOGÍA.	54
6. CONTROL MEDIANTE ORDENADOR PERSONAL.	57
7. ENSAYOS Y PRUEBAS DEL SISTEMA COMPLETO.	62
1º SIMULACIÓN (1260 rpm)	65
2º SIMULACIÓN (1370 rpm)	68
3º SIMULACIÓN (1440 rpm)	71
ANÁLISIS DE LAS SIMULACIONES	74
8. CONCLUSIONES.	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Componentes generales del aerogenerador.	13
Figura 2: Las palas.	14
Figura 3: La góndola / nacelle.	15
Figura 4: La multiplicadora.	15
Figura 5: El generador eléctrico.	16
Figura 6: El transformador.	17
Figura 7: El eje primario.	17
Figura 8: El sistema de bloqueo y el sistema de frenado.	18
Figura 9: El bastidor mecánico.	19
Figura 10: El anemómetro y la veleta.	20
Figura 11: Controlador del generador eólico.	22
Figura 12: ESP32-WROOM 32	23
Figura 13: PINOUT del Kit de desarrollo de la ESP32-WROOM 32.	24
Figura 14: Módulo PZEM-0004t v30.	26
Figura 15: PINOUT del módulo PZEM-0004t v30.	26
Figura 16: ADS1115.	28
Figura 17: PINOUT del ADS1115.	29
Figura 18: Autotransformadores 125/220V 500VA y 115/230V 100VA.	31
Figura 19: LM7805.	32
Figura 20: PINOUT de LM7805.	33
Figura 21: ACS712ELCTR-30A-T.	34
Figura 22: Gráfica de la relación lineal de la sensibilidad del ACS712.	36
Figura 23: Logo de ARDUINO.	37
Figura 24: Cableado del sistema de adquisición, “Jumpers”.	38
Figura 25: Conexiones del sistema de medida de corriente alterna (CA).	39
Figura 26: Conexiones del sistema de medida de corriente continua (CC).	40
Figura 27: Descarga del ejecutable de Arduino IDE en la web oficial.	41
Figura 28: Pestaña principal de Arduino IDE.	41
Figura 29: Selección de la opción “Preferencias” de Arduino IDE.	42
Figura 30: Pestaña “Preferencias” de Arduino IDE.	42
Figura 31: Selección de la opción “Gestor de tarjetas” de Arduino IDE.	43

Figura 32: Instalación de “Arduino ESP32 Boards” y “ESP32” de Arduino IDE.	43
Figura 33: Selección de la “ESP32 Dev Module” de Arduino IDE.	44
Figura 34: Selección de la opción “Administrar Bibliotecas” de Arduino IDE.	45
Figura 35: Instalación de la librería “PZEM004T v30” de Arduino IDE.....	45
Figura 36: Lectura del monitor serial para una corriente de 0A (1).	47
Figura 37: Lectura del monitor serial para una corriente de 0A (2).	48
Figura 38: Lectura del monitor serial para una corriente de 9.74 A (Sin calibrar).	49
Figura 39: Relación entre sensibilidad teórica y experimental del ACS712.	50
Figura 40: Lectura del monitor serial para una corriente de 9.74 A (Calibrado).....	50
Figura 41: Cable TIPO C – USB.	52
Figura 42: Ordenador (PC).	52
Figura 43: Logo de EXCEL.....	53
Figura 44: Selección del menú “Archivo” de Excel.	54
Figura 45: Selección de la opción “Opciones” de Excel.	55
Figura 46: Pestaña “Opciones de Excel” de Excel.	55
Figura 47: Pestaña “Complementos COM” de Excel.	56
Figura 48: Selección del menú “Transmisor de datos” de Excel.	56
Figura 49: Selección del “Puerto COM4” en Arduino IDE y Excel.....	57
Figura 50: Hoja “Entrada de datos” de la herramienta “Transmisor de datos” de Excel.	58
Figura 51: Hoja “Salida de datos” de la herramienta “Transmisor de datos” de Excel.	59
Figura 52: Hoja “Configuración” de la herramienta “Transmisor de datos” de Excel.	60
Figura 53: Hoja “Manifiesto” de la herramienta “Transmisor de datos” de Excel.....	60
Figura 54: Hoja “Representación de datos” de la herramienta “Transmisor de datos” de Excel.	61
Figura 55: Máquina en derivación de corriente continua de la simulación.	62
Figura 56: Máquina síncrona trifásica de rotor de núcleo de la simulación.	62
Figura 57: Conexión mecánica de los ejes de la simulación.	63
Figura 58: Puente rectificador de diodos de la simulación.	63
Figura 59: Transformador reductor trifásico de la simulación.	64
Figura 60: Representación de la variación de las cargas en las simulaciones.	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características del generador eólico de 1kW a monitorizar.	21
Tabla 2: Características del controlador del generador eólico.	22
Tabla 3: Características principales del módulo PZEM-0004t v30.	27
Tabla 4: Características principales del ADS1115.	28
Tabla 5: Valores de PGA, tensión de referencia y factor de escala del ADS1115.	30
Tabla 6: Características del autotransformador 125/220V 500VA.	31
Tabla 7: Características del autotransformador 115/230V 100VA.	32
Tabla 8: Características del regulador de tensión LM7805CT.	33
Tabla 9: Valores típicos de corriente del regulador de tensión tipo 78XX.	34
Tabla 10: Rangos de operación del ACS712.	35
Tabla 11: Sensibilidad de operación del ACS712.	35
Tabla 12: Conexiones del pin ADDR del ADS1115.	51

1. OBJETIVOS DEL TFG.

El objetivo principal del trabajo es el análisis, diseño y montaje de un sistema de adquisición y base de datos del generador eólico ubicado en el edificio “A3” de la universidad de Jaén.

Para ello, se ha realizado el estudio, diseño e implementación de dos sistema de medida de potencia, uno para la parte de corriente alterna y otro para la parte de corriente continua, puesto que la generación eléctrica de dicho generador está formada por: una turbina eólica que alimenta un controlador con una red trifásica de corriente alterna donde esta es rectificadora a una red de continua. Algunos de los objetivos de esta parte del sistema son:

- Diseño e implementación de un sistema de medida de corriente, tensión, potencia y otras características (frecuencia, fdp, etc) de una línea AC.
- Diseño e implementación de un sistema de medida de corriente, tensión y potencia de una línea CC.
- Búsqueda, selección y adecuación de los componentes que formarán el montaje final.
- Desarrollo del código del microprocesador seleccionado.
- Calibración y corrección de los diferentes componentes del sistemas de medida.
- Puesta en marcha del equipo y realización de las mediciones para comprobar que realiza sus funciones de forma correcta.

También, se ha realizado el estudio e implementación de un sistema de transmisión y representación de datos en tiempo real. Algunos objetivos de esta parte del sistema son:

- Implementación de una base de datos.
- Implementación de la comunicación entre el sistema de medida y la base de datos.
- Representación de los datos obtenidos por el sistema de medida.
- Diseño de una interfaz de representación de datos en tiempo real.
- Análisis de las mediciones obtenidas por el sistema de medida.

Por último, otro de los objetivos es la superación con éxito del Trabajo Fin de Grado de la rama de Electrónica Industrial del Doble Grado en Ingeniería Eléctrica y Electrónica Industrial de la Universidad de Jaén.

2. INTRODUCCIÓN: GENERADORES EÓLICOS.

2.1. DEFINICIÓN.

Un generador eólico o aerogenerador es un dispositivo capaz de transformar la energía cinética del viento en energía mecánica gracias al movimiento que provoca en las palas y en el rotor. Los aerogeneradores pueden aprovechar esta energía mecánica, accionando directamente una máquina, o mediante un generador de corriente alterna que transforme esta energía mecánica en energía eléctrica.

El viento debe mantenerse dentro de unos límites para conseguir un correcto funcionamiento del aerogenerador. Estos empiezan a funcionar para velocidades de 3 a 4 m/s, y llegan a la máxima producción de energía eléctrica para velocidades de 13 a 14 m/s. Si el viento es excesivamente fuerte, se habla de valores de velocidad de 25 m/s de media durante intervalos de tiempo de diez minutos, los generadores se frenan y bloquean para evitar quemar el generador o los componentes eléctricos e incluso, en casos muy extremos, la destrucción total del mismo generador.

Los generadores eólicos son capaces de trabajar de forma aislada y en parques eólicos o plantas de generación eólica. Hoy en día, el principal uso de la energía eólica es la generación de energía eléctrica gracias a dichos parques eólicos.

El funcionamiento del aerogenerador será estudiado más detenidamente en el siguiente apartado de la Introducción del presente Trabajo Fin de Grado.

Los distintos tipos de generadores eólicos serán estudiados en el apartado 4 de la Introducción del presente Trabajo Fin de Grado.

2.2. FUNCIONAMIENTO.

Cada aerogenerador lleva una veleta en su parte superior de la góndola o nacelle que indica la dirección del viento y un anemómetro para medir la velocidad del viento (herramienta no disponible en nuestro aerogenerador). Esto le permite a la nacelle girar sobre la torre y orientarse de manera automática gracias al sistema mecánico-hidráulico de giro de la góndola. Las aletas aerodinámicas giran sobre su eje para la variación del ángulo de ataque, y ofrecer la máxima resistencia al viento. La energía cinética contenida en el movimiento de las corrientes de aire hace girar las palas, las cuales están diseñadas para captar el máximo de energía por medio del viento fuerte que las atraviesan y con materiales muy ligeros y resistentes para facilitar su movimiento. Pueden producir energía con vientos muy suaves, 11 km/h, hasta con vientos muy fuertes, por encima de los 90 km/h, donde las aspas se bloquean y el aerogenerador se frena por motivos de seguridad. El movimiento giratorio que produce el viento en las paletas es comunicado al eje lento a través del buje.

El buje es la pieza de unión entre las aspas y el eje principal, por lo tanto, es el transmisor de la fuerza del viento al interior de la góndola. Dicha unión debe ser de forma rígida. Los aerogeneradores bipala necesitan que la unión entre palas y buje permita una ligera oscilación de hasta tres grados respecto al plano normal del eje de rotación. En su interior éste contiene un diseño para cortar los vientos que lo atraviesan. Se le denomina eje lento porque gira a la misma velocidad que las aletas, entre unas 7 a 12 vueltas por minuto. Para la producción de electricidad es necesario aumentar la velocidad a la que gira el eje lento. Esa es la misión de la multiplicadora que eleva dicha velocidad más de 100 veces y la transfiere a un eje rápido. El eje rápido que gira hasta más de 1500 vueltas por minuto está unido a un generador. El generador aprovecha la energía cinética del eje rápido para transformarla en electricidad. Una forma de energía más sencilla de transformar y utilizar.

La electricidad producida en el generador es conducida por el interior de la torre hasta su base. La torre la cual alberga los elementos eléctricos tanto de control, operación y mantenimiento del generador eólico. Un transformador eleva la tensión para que pueda transportarse por el interior del parque. Desde cada aerogenerador la corriente alterna es conducida por cables soterrados hasta la subestación donde se eleva nuevamente la tensión con un transformador elevador para poder incorporarla a la red eléctrica, en España las redes de distribución se encuentran entre 20 y 132 kV.

Teóricamente, el rotor eólico del aerogenerador se mueve gracias a una fuerza perpendicular a la dirección del viento denominada “fuerza de sustentación” que se produce en las palas. La sustentación se produce debido a la diferencia de presiones a ambos lados de la pala, el aire que se desliza a lo largo de la superficie superior de la pala se mueve más rápido que el de la superficie inferior. Si la inclinación de las palas es muy elevada se puede producir el fenómeno conocido como “pérdida de sustentación”, en el que el flujo de aire de la superficie superior deja de estar en contacto con la superficie del ala, y por tanto, las palas dejan de girar. Para evitar este fenómeno, las palas de los aerogeneradores están alabeadas con el fin de que el ángulo de ataque sea el óptimo a lo largo de toda la longitud de las mismas.

Como cualquier máquina real de transformación de energía, los aerogeneradores no son capaces de transformar toda la energía eólica disponible del viento en energía mecánica. Esta capacidad de transformación se calcula con un coeficiente de potencia, C_p , dependiente de la velocidad del viento donde se observa que para bajas velocidades el rendimiento es mayor que para altas velocidades.

Los generadores eólicos tienen que poseer un sistema de sincronización para poder aportar energía a las redes regionales de distribución. La frecuencia de la electricidad generada tiene que mantenerse constante y perfectamente sincronizada con la frecuencia de la red para no generar problemas de estabilidad en la Red.

2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES.

Se desarrollarán los componentes generales del aerogenerador y, a su vez, los subcomponentes por los que estos están formados. Los componentes generales son las palas, la góndola, el buje, el mástil y la base.

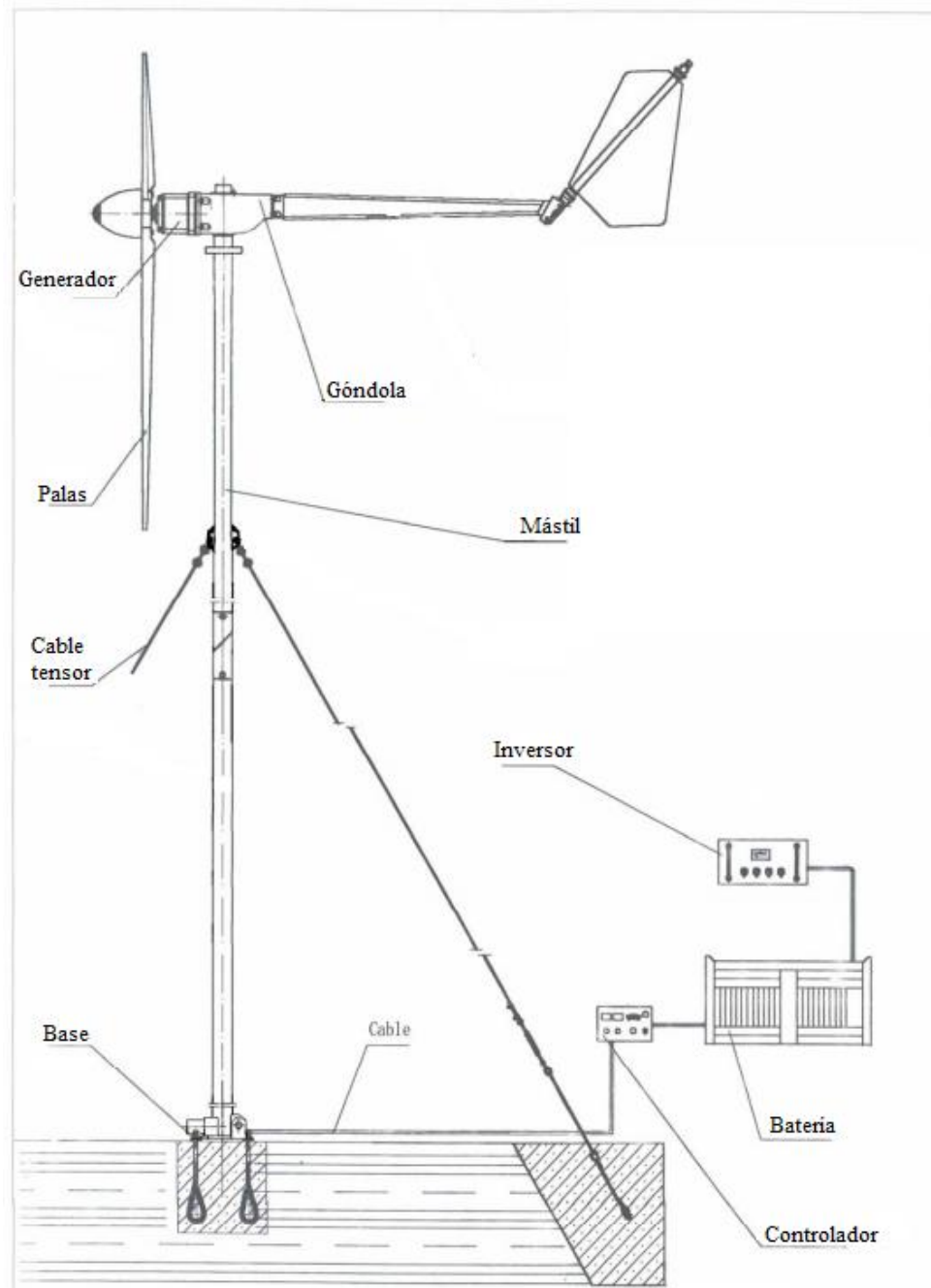


Figura 1: Componentes generales del aerogenerador.

2.3.1. LAS PALAS.

Las palas, conocidas también como aspas o paletas, son los elementos de los generadores eólicos cuya función es captar la energía cinética del viento que gracias a su aerodinámica capturan dicha energía y la transmiten hacia el buje al que se encuentran conectadas. Su correcto estudio ha permitido un gran desarrollo del aprovechamiento de la energía eólica, puesto que se trata de uno de los componentes más críticos del aerogenerador.

Suelen estar fabricados con fibra de vidrio y poliéster, materiales que tienen una muy buena relación resistencia/peso que permiten diseñar palas de mayor longitud capaces de soportar grandes esfuerzos en los extremos de las mismas que deriva en un mayor aprovechamiento de la energía.

Los tamaños de las palas varían en función de la potencia de la instalación, del espacio disponible, de la fuerza que pueda ejercer el viento. Por lo general, las palas pueden tener tamaños en torno a 1 metro de longitud, en pequeños aerogeneradores como el que se va a estudiar, y hasta 40 y 50 metros de longitud, en aerogeneradores de parques eólicos.



Figura 2: Las palas.

2.3.2. LA GÓNDOLA / NACELLE.

La góndola o nacelle es la parte del aerogenerador que contiene los componentes clave del aerogenerador, incluyendo tanto los elementos mecánicos como los eléctricos. Formada por una carcasa superior y otra inferior, cierran todo el conjunto insonorizando los componentes de la máquina. Además, incluye unos orificios de ventilación para que esta sea lo más efectiva posible.

Todos los componentes por los que está compuesta la nacelle son: la multiplicadora, el generador eléctrico, el transformador, el eje primario (lento) y su sistema de bloqueo, el eje rápido y su sistema de frenado, el bastidor mecánico, el

sistema mecánico-hidráulico de giro de la góndola, el sistema hidroneumático para la variación del ángulo de ataque de las palas, el anemómetro y la veleta.

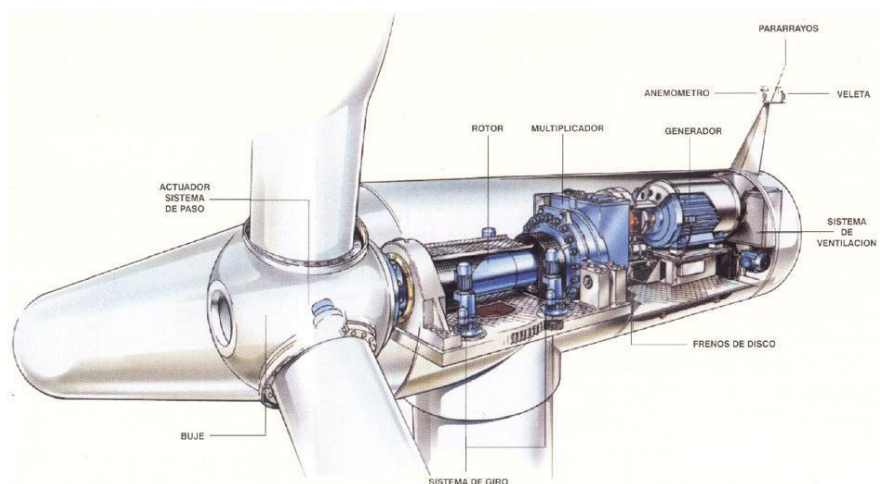


Figura 3: La góndola / nacelle.

2.3.3. LA MULTIPLICADORA.

La multiplicadora es la encargada de transformar la baja velocidad con la que gira el rotor para que el generador sea capaz de producir electricidad. Esta conecta el eje primario o lento del rotor con el eje rápido del generador, el cuál gira hasta 50 veces más rápido que el lento.

En ella tiene lugar la conversión entre la potencia de alto par torsor del eje lento, y la potencia de bajo par torsor del eje rápido que es la utilizada por el generador. Se caracteriza por su relación de transformación, definida como la relación entre la velocidad de giro del eje de entrada y la del eje de salida.

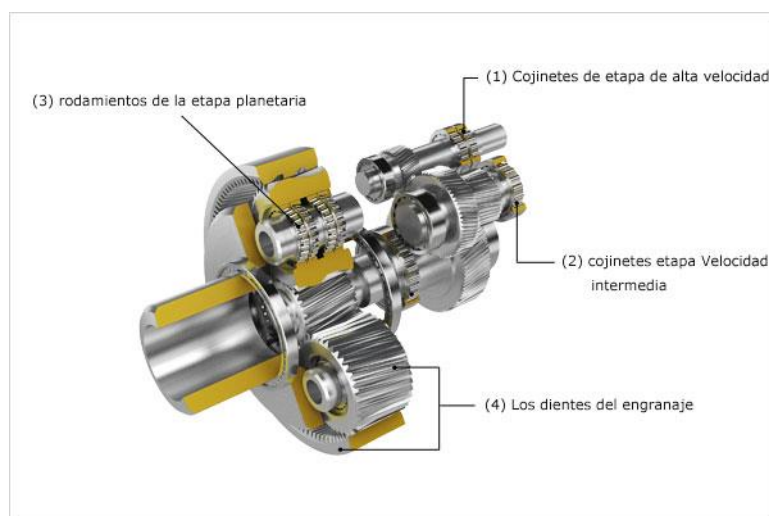


Figura 4: La multiplicadora.

2.3.4. EL GENERADOR ELÉCTRICO.

Es el encargado de la generación eléctrica, convierte la energía mecánica de la multiplicadora procedente del rotor en energía eléctrica CA, actuando como un alternador eléctrico trifásico.

Los tipos de generadores eléctricos más utilizados en los aerogeneradores son: asíncronos, asíncronos con rotor bobinado y síncronos. Nuestro generador es síncrono, de forma más específica un generador de imanes permanentes. Este tipo de máquinas eléctricas no necesitan una excitación separada, de modo que las pérdidas en la excitación (en torno al 30% del total de pérdidas del generador) se eliminan.

Debido a las variaciones de la velocidad del viento el generador eléctrico trabaja bajo niveles de cargas fluctuantes. La energía eléctrica convertida se vertirá a la red eléctrica o se usará en algún centro de consumo anexionado a la instalación.

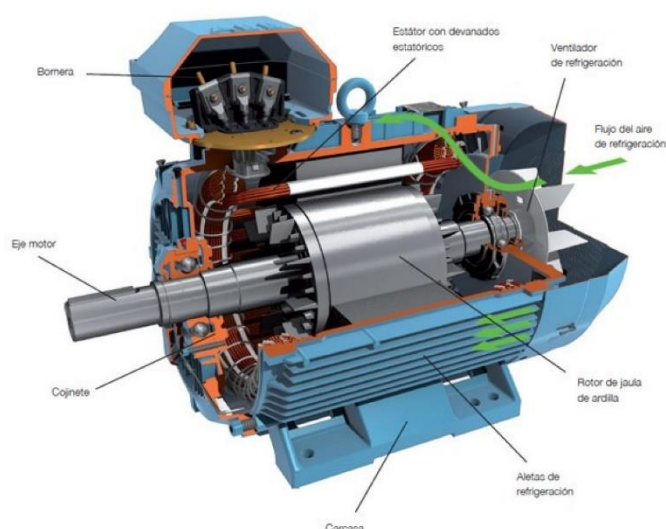


Figura 5: El generador eléctrico.

2.3.5. EL TRANSFORMADOR.

El transformador de un aerogenerador se utiliza como enlace entre el generador eólico y las redes de distribución. Pueden situarse tanto en el exterior como en el interior del aerogenerador, siendo más común su instalación en el interior. La conversión de la energía dependerá tanto de la potencia nominal del generador como de la relación de transformación del propio transformador. Las redes de distribución suelen estar a 20-132 kV.



Figura 6: El transformador.

2.3.6. EL EJE PRIMARIO.

El eje primario, también llamado eje lento, es el mecanismo de conexión entre el buje del rotor y la multiplicadora. Su función es transmitir la energía captada por las palas desde el buje hasta la multiplicadora. El eje primario tiene una velocidad de giro de entre 19-30 rpm.



Figura 7: El eje primario.

2.3.7. EL SISTEMA DE BLOQUEO Y EL SISTEMA DE FRENADO.

El sistema de bloqueo consiste en el uso de dispositivos de bloqueo que eviten el giro de partes móviles del aerogenerador. Dichos dispositivos de bloqueo comprenden uno o más pivotes de bloqueo que quedan dispuestos de manera fija.

Cuando es necesario realizar operaciones de mantenimiento en el aerogenerador, se acciona un sistema de frenado para detener el aerogenerador en funcionamiento. Una vez que el generador eólico se ha detenido, el dispositivo de bloqueo puede activarse para bloquear el rotor con el fin de evitar que este gire. El accionamiento del pivote de bloqueo puede llevarse a cabo manualmente o hidráulicamente a lo largo del eje del pivote de bloqueo.



Figura 8: El sistema de bloqueo y el sistema de frenado.

2.3.8. EL EJE RÁPIDO.

El eje rápido es el transmisor del movimiento giratorio a alta velocidad necesario para el correcto funcionamiento del generador eléctrico. La velocidad de giro del aerogenerador a estudiar es de 500 rpm, pero los ejes rápidos de algunos aerogeneradores pueden alcanzar velocidades de hasta 1500 rpm.

2.3.9. EL BASTIDOR MECÁNICO

El bastidor es el componente sobre el que se acoplan el resto de elementos mecánicos principales, como el rotor, la multiplicadora o el generador. Se sitúa sobre la torre del aerogenerador. Este bastidor se encuentra protegido por una carcasa de fibra de vidrio y poliéster, reforzada con perfiles de acero inoxidable.



Figura 9: El bastidor mecánico.

2.3.10. EL SISTEMA MECÁNICO-HIDRÁULICO DE GIRO DE LA GÓNDOLA.

Se trata de un sensor que tiene como finalidad la orientación en el plano horizontal del rotor eólico de la góndola, para que las palas queden colocadas perpendiculares a la dirección del viento y se tenga la mayor superficie posible de captación de fuerza del viento. Normalmente, la turbina sólo se orienta unos pocos grados cada vez, cuando el viento varía su dirección.

Es activado por un controlador electrónico, que sigue la dirección del viento gracias a la veleta, que se encarga de la protección del aerogenerador cuando la velocidad del viento pueda dañar la instalación.

2.3.11. EL SISTEMA HIDRONEUMÁTICO PARA LA VARIACIÓN DEL ÁNGULO DE ATAQUE DE PALAS.

Se trata de un sensor que tiene como finalidad la orientación en el plano vertical del rotor eólico de la góndola, para que las palas queden colocadas perpendiculares a la dirección del viento y se tenga el mejor ángulo de ataque posible y la mayor superficie posible de captación de la fuerza del viento.

2.3.12. EL ANEMÓMETRO Y LA VELETA.

El anemómetro y la veleta son dos componentes simples que se sitúan en la parte exterior y más alta de la góndola, y que se utilizan para medir tanto la velocidad como la dirección del viento, respectivamente. Son los encargados de comunicarse con los sistemas de giro de góndola y de variación de ángulo de ataque para un correcto funcionamiento del aerogenerador.



Figura 10: El anemómetro y la veleta.

En el aerogenerador a estudiar no existe ni anemómetro ni veleta incorporados directamente a la góndola.

3. DESCRIPCIÓN DEL AEROGENERADOR A MONITORIZAR.

El aerogenerador a monitorizar está compuesto de una máquina síncrona de imanes permanentes capaz de producir una potencia máxima de 1kW. La generación de este tipo de generadores se produce por el movimiento de un conjunto de imanes frente a unas bobinas fijas (Ley de Lorentz).

Las principales características del aerogenerador son:

Característica	Valor
Diametro del Rotor	2.8 m
Material de las aspas	Fibra de vidrio reforzada
Número de aspas	3
Potencia nominal	1000 kW
Velocidad nominal del viento	9 m/s
Velocidad de puesta en marcha del viento	3 m/s
Velocidad de funcionamiento del viento	25 m/s
Velocidad de supervivencia del viento	40 m/s
Velocidad nominal de rotación	500 rpm
Voltaje de funcionamiento	DC 48 V
Tipo de generador	Imanes permanentes, 3 fases
Método de carga	Ahorro de corriente de voltaje constante
Método de regulación de velocidad	"Tail turning" y electroimán
Método de frenado	Freno de "hand drag"
Altura de la torre	6 m
Peso (Baterías y Inversor no incluidos)	175 kg
Esperanza de vida	20 años

Tabla 1: Características del generador eólico de 1kW a monitorizar.

Las tres fases del generador se conectan a un controlador denominado “Control System Manual”. Este sistema de control se compone por un controlador separado y una carga de descarga/desvío separada; las dos unidades trabajan juntas para formar un sistema completo de control del generador eólico. Está diseñado para una fácil operación con funciones de protección adicionales.

Las principales características del controlador del aerogenerador son:

MODELO	C481000
Potencia Nominal de la turbina eólica	1 kW
Potencia Solar	100 W
Tensión de conexión del banco de baterías (Estandar)	48 V
Tensión de carga (Estandar)	60±1 V
Tensión de parada de la turbina (Estandar)	60±1 V
Tensión de recuperación de la carga (Estandar)	54±1 V
Tensión de indicador de baja tensión (Estandar)	21±1 V
Cables	> 4 mm ²
Fusible	30 A

Tabla 2: Características del controlador del generador eólico.

El sistema de control convierte y rectifica la energía CA variable trifásica de la turbina eólica en voltaje CC, y carga los bancos de baterías de almacenamiento al mismo tiempo que descarga la energía adicional a través de la carga de descarga para proteger el banco de baterías contra daños. La carga de descarga está compuesta por un grupo de resistencias. Además, el controlador cuenta con un fusible incorporado para proteger el banco de baterías contra sobrecorrientes.

El sistema de frenado está compuesto por un freno eléctrico automático incorporado y, también, por un freno manual que es conveniente para la instalación y mantenimiento.

Por último, el controlador tiene una luces LEDs indicadoras y un medidor de tensión del banco de baterías incorporados para poder comprender claramente las condiciones de trabajo de la turbina eólica.

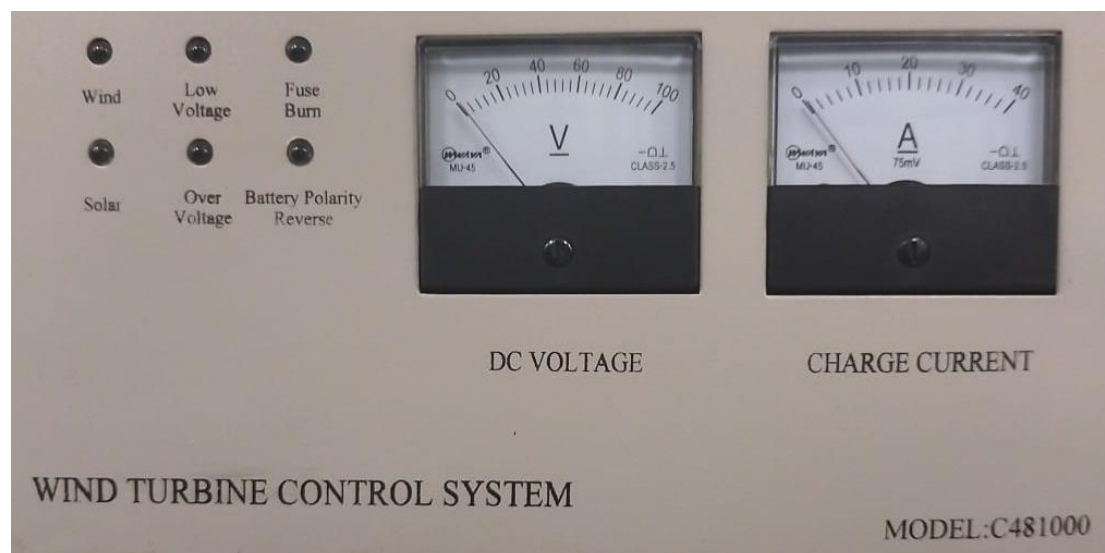


Figura 11: Controlador del generador eólico.

4. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

En este apartado, se va a presentar las tecnologías utilizadas para el montaje del sistema de adquisición de datos.

Para poder realizar un análisis completo de la producción del generador, se quiere poder representar datos de potencia antes y después del controlador del generador. Para ello, el sistema de adquisición de datos se encuentra dividido principalmente en dos sistemas de medida independientes:

- Un sistema de medida de alterna.
- Un sistema de medida de continua.

Esta división permite realizar una comparación entre la potencia de generación y la suministrada viendo las pérdidas de potencias existentes en el sistema total.

4.1. HARDWARE.

Para el montaje del sistema de adquisición de datos del generador eólico se han utilizado las siguientes PCBs (Printed Circuit Board), sensores, resistencias, cableados y componentes electrónicos:

4.1.1. ESP32-WROOM 32



Figura 12: ESP32-WROOM 32

ESP-32 es un chip de la familia SoC, desarrollada por la familia china ESPRESSIF System. Este incluye WiFi, Bluetooth y algunas características interesantes para nuestro montaje que se indicarán con más detalle. ESP-32 se considera el sucesor de ESP-8266,

este chip se puede utilizar de dos maneras diferentes, de forma independiente para agregarlo a nuestras placas personalizadas o montado en una placa o kit de desarrollo. En el montaje, se utilizará el kit de desarrollo: ESP-WROOM 32 DEV, es la opción más rápida y sencilla a la hora de programarlo.

Su pequeño tamaño, 28x54.5 mm, es una clara ventaja frente a otros kits de desarrollo como puede ser la placa de Arduino UNO. La placa dispone de 32 pines de conexión GPIO (+16 ADC 12 bits, +2 I2C, +3 UART, +4 SPI, +2 DAC 8bits y + 16 PWM). Dispone de un puerto Tipo-C que se usará de manera simultánea para su alimentación y para la comunicación bidireccional con un PC, programación y envío de datos. El voltaje de entrada es de 5V cuando es alimentado por el puerto Tipo-C o el PIN V_{in} . Sin embargo, todos sus pines de entradas y salidas funcionan a 3,3V lo que nos influirá para su conexionado con otras PCBs que se utilizarán en el montaje.

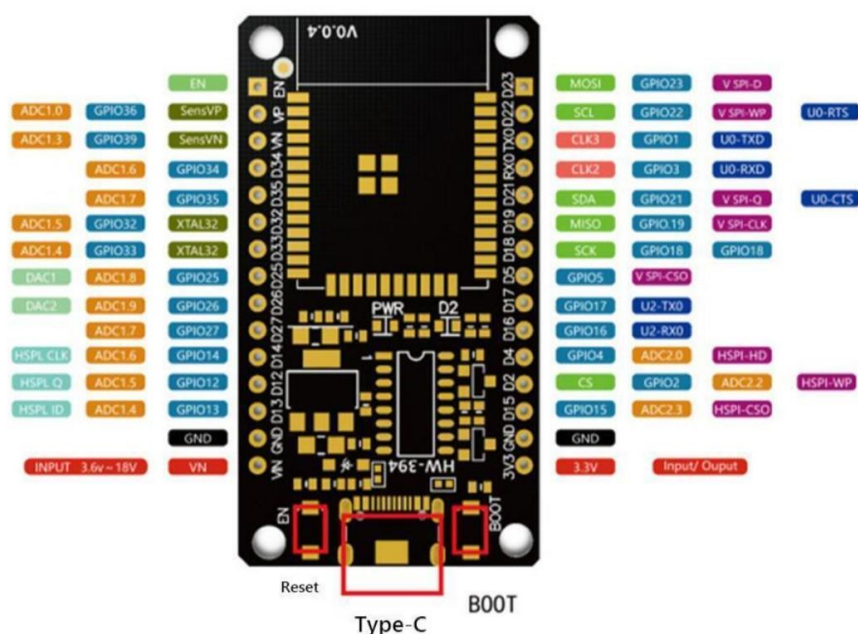


Figura 13: PINOUT del Kit de desarrollo de la ESP32-WROOM 32.

El cerebro principal de esta placa es un procesador de dos núcleos de **32 bits**, **Xtensa Dual-Core 32-bit LX6 con 600 DMIPS**. También dispone de un **co-procesador de ultra-bajo consumo** que es utilizado para ciertas operaciones cuando el dispositivo se encuentra en modo “Deep Sleep”, modo en el que el chip reduce su consumo energético a unos 10uA lo que lo hace ideal para el uso de baterías debido a su bajo consumo. Estos procesadores ofrecen grandes ventajas típicas de un procesador digital de señales como su velocidad de funcionamiento de su reloj interno de **240Mhz**, hasta 15 veces más rápido que la placa de Arduino UNO. Además, nos permite realizar operaciones con números reales de forma muy eficiente.

El chip ESP-32 cuenta con varios tipos de memorias, las cuales se clasifican en memorias internas y memorias externas. Las memorias internas se encuentran ya incluidas dentro del chip mientras que las externas son las que se pueden añadir para expandir la capacidad del sistema. Dispone de:

- **Memoria ROM (448 KiB)**, solo escritura, no reprogramable, almacena los códigos que gestionan el arranque y la comunicación del WiFi y el Bluetooth.
- **Memoria SRAM interna (520 KiB)**, es utilizada por el procesador para almacenar tanto datos como instrucciones temporales. Tiene la ventaja de que para el procesador es mucho más fácil acceder a esta que a la SRAM externa lo que aumenta la velocidad de procesamiento de la placa.
- **Memoria RTC SRAM (16 KiB)**, es utilizada por el co-procesador cuando el dispositivo se encuentra en modo “Deep Sleep”.
- **Memoria Efuse (1 Kbit)**, 256 bits de esta memoria son utilizados por el propio sistema y los 768 bits restantes son reservados para otras aplicaciones.
- **Memoria Flash empotrada (Embedded flash)**, es utilizada para el almacenamiento del código de nuestra aplicación. Esta memoria varía en función del chip que se utilice, en el montaje dispone de 4 Mb.

En el caso de que la memoria no fuera suficiente para nuestra aplicación, es posible añadir más memoria de forma externa. Se pueden agregar hasta 16 MiB de memoria flash externa y hasta 8 MiB de memoria SRAM externa. Esto permite el desarrollo de aplicaciones aún más complejas.

El ESP32-WROOM actuará como único procesador, este chip permite una fácil toma e interpretación de los valores de tensión obtenidos de los distintos sensores del sistema gracias a su gran número de entradas analógicas. Es económico, fiable y existe una gran variedad de ejemplos de sus diferentes usos en diversos sistemas electrónicos que lo hacen ideal para nuestra instalación.

Se incluyen las hojas de características del producto en el apartado de los ANEXOS para un mayor detalle.

4.1.2. PZEM-004T V30



Figura 14: Módulo PZEM-004t v30.

PZEM-004T V30 es un sensor AC que permite medir intensidad, tensión, potencia, energía, frecuencia y factor de potencia. El sensor utiliza un anillo toroidal que actúa como una pinza amperimétrica, puede ser cerrado o de pinza. El anillo cerrado obliga la desconexión del cableado en la parte a medir del sistema mientras que la pinza permite una mayor comodidad a la hora de incorporar el sensor al sistema, a cambio de un mayor coste económico. Se utilizará el PZEM-004T v30 con anillo cerrado para la medida de la parte de corriente alterna de este montaje.

Este dispositivo posee un total de ocho pines. Cuatro de ellos se encuentran en una bornera y se utilizan para la medición, de los cuales se utilizan dos para la conexión de los extremos del anillo toroidal y los otros dos que se conectan en los bornes de la carga a medir para conocer la caída de tensión de la misma. Por otro lado, los otros cuatro restantes son la alimentación del módulo (Vcc) a 5V, la tierra (GND) y dos pines digitales, un receptor y un transmisor de datos (Rx y Tx, respectivamente) que se utilizan para la comunicación con la placa de desarrollo, en nuestro caso con la ESP32-WROOM 32.

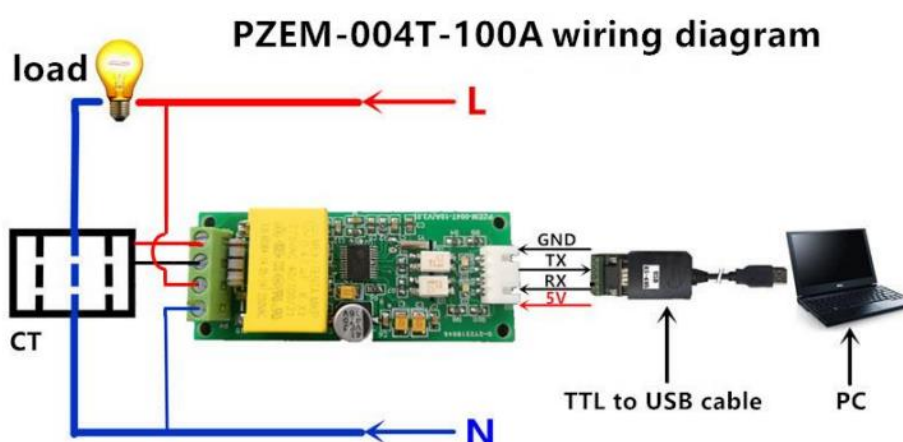


Figura 15: PINOUT del módulo PZEM-004t v30.

La comunicación del sensor con el microcontrolador se realiza mediante el mismo protocolo con el que éstos intercambian datos con el ordenador. Es decir, como se ha mencionado anteriormente los dos pines de comunicación digital, Rx y Tx se conectarán a dos pines del ESP32-WROOM 32 que deberán ser definidos a nivel de software.

Las características principales del módulo PZEM-004T v30 son:

FUNCIÓN	RANGO	RESOLUCIÓN
VOLTAJE	80 - 260 V	0.1 V
INTENSIDAD	0 - 100 A	0.001 A
POTENCIA	0 - 23 kW	0.1 W
ENERGÍA	0 - 9999.99 kWh	1 Wh
FRECUENCIA	45 - 65 Hz	0.1 Hz
FACTOR DE POTENCIA	0 - 1	0.01

Tabla 3: Características principales del módulo PZEM-0004t v30.

El generador eólico genera a una tensión de 48 V, valor que se encuentra fuera del rango de medida del sensor por lo que será necesario utilizar un transformador elevador que eleve la tensión a la hora de la medida. Esto también es necesario tenerlo en cuenta a nivel de código.

Este sensor dispone de librerías existentes que permiten obtener los datos de una manera super sencilla sin necesidad de una calibración manual del dispositivo a nivel de código, como ocurre con otros tipos de sensores.

El módulo PZEM004T es el sensor que se utilizará para la obtención de todos los valores de medida AC. El principal motivo de su elección es el sencillo conexionado y rápida implementación de sus librerías al código del procesador que mediante la medida directa de la tensión y corriente AC es capaz de auto calcular la potencia, frecuencia y fdp de AC. Además, su método de comunicación digital evita problemas de ruido y oscilaciones en las medidas que tendrían que ser corregidas.

Se incluyen las hojas de características del producto en el apartado de los ANEXOS para un mayor detalle.

4.1.3. ADS1115

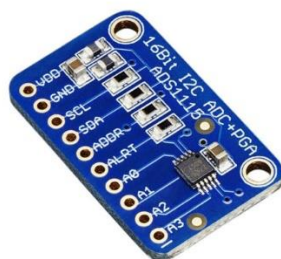


Figura 16: ADS1115.

ADS1115 es un convertidor analógico digital (ADC) externo ideal cuando se requiere de una mayor resolución o de un mayor número de pines analógicos. El ESP32-WROOM 32 dispone de un total de 16 ADC (12 bits) por lo que el motivo principal del uso de este convertidor analógico digital es el disponer de una mayor resolución. El ADS1115 tiene una resolución de 16 bits.

Un convertidor analógico digital con una mayor resolución proporciona una mayor cantidad de detalles de la señal analógica que otro convertidor analógico digital con una menor resolución. El objetivo de nuestro sistema de adquisición de datos es ser lo más exacto posible por lo que una mayor resolución de nuestro convertidor analógico digital externo nos permite medir variaciones de voltaje más pequeña que con el convertidor analógico digital interno en el ESP32-WROOM 32.

Las características principales del ADS1115 son:

Característica	Valor
Voltaje de operación	de 2 V a 5,5 V
Consumo de corriente	150 μ A
Velocidad de muestreo programable	de 8 Hz a 860 Hz
Resolución	16-bit
Canales	4 canales de entrada o 2 diferenciales
Interfaz de comunicación	I2C

Tabla 4: Características principales del ADS1115.

El ADC se encuentra en chip de diferentes formas y formatos, uno de los más conocidos es el Adafruit. El chip tiene un total de diez pines. Dos de los pines son la alimentación (VDD) de 2 – 5,5V, y la tierra (GND). Un pin de reloj de I2C (SCL) y otro pin de datos de I2C (SDA). Cuatros de los pines para las entradas analógicas (A0, A1, A2 y A3). Por último, otros dos pines especiales (ADDR y ALERT) que se verán en mayor profundidad en el apartado de “Metodología”.

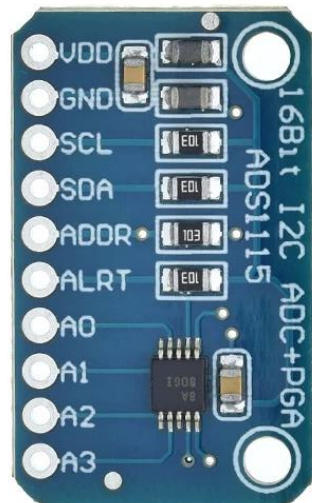


Figura 17: PINOUT del ADS1115.

Además, el ADS1115 lleva incorporado un amplificador de ganancia programable (PGA) que lo dota de una mayor precisión y fiabilidad. Un amplificador de ganancia programable es un amplificador operacional al que le podemos modificar la ganancia a través del código, programando. Es decir, permite modificar el valor de la escala completa. La escala viene determinada por el voltaje de referencia, en el caso de nuestro ESP32-WROOM 32 este valor está limitado a 3,3V. Sin embargo, en el ADS1115 lo establece el PGA, cuyo voltaje de referencia por defecto es 6,144V. Esto quiere decir que en el ESP32-WROOM 32 el valor de 3,3V corresponde con el valor de 4.095 (Valor máximo con 12-bit) mientras que el 6,144V corresponde con el valor de 32.677 (Valor máximo con 15-bit).

El factor de escala de la ESP32-WROOM 32 es:

$$\text{Factor de escala} = \frac{3,3V}{4.095} = 0,8058 \text{ mV}$$

El factor de escala del ADS1115 es:

$$\text{Factor de escala} = \frac{6,144V}{32.677} = 0,1875 \text{ mV}$$

Lo que significa una mejora significativa con respecto al ADC del ESP32, en torno a 4 veces mejor. Esto es para el peor de los valores de referencia, puesto que el valor de referencia puede programarse a valores menores, se pueden obtener mejores valores de factor de escala.

La siguiente tabla incluye todos los posibles valores de la PGA:

PGA	V. REFERENCIA	FACTOR DE ESCALA
2/3	6,144 V	0,1875 mV
1	4,096 V	0,1250 mV
2	2,048 V	0,0625 mV
4	1,024 V	0,0312 mV
8	0,512 V	0,0156 mV
16	0,256 V	0,0078 mV

Tabla 5: Valores de PGA, tensión de referencia y factor de escala del ADS1115.

Mientras mayor sea el valor del PGA, menor será el valor de referencia y menores serán las variaciones de voltaje que se pueden detectar, por tanto, mayor será la precisión de nuestro ADS1115. En el montaje se utilizará un factor de escala adecuado a la medición que se va a realizar que no tiene por qué ser el de menor factor de escala puesto este no siempre es indicativo de mejores resultados en la medición.

La referencia en voltios no significa que podamos medir señales en ese rango de valores. El rango de tensión de la medición en los pines analógicos la define la tensión de alimentación más 0,3V. En nuestro montaje la alimentación del ADS1115 es de 5V, lo que significa que se podrán medir tensiones de hasta 5,3V por los pines analógicos. Aplicar una tensión superior a este valor por los pines analógicos puede dañar el chip.

Este convertidor analógico también dispone de librerías existentes que permiten obtener los datos de una manera super sencilla sin necesidad de una calibración manual del dispositivo.

Se incluyen las hojas de características del producto en el apartado de los ANEXOS para un mayor detalle.

4.1.4. AUTOTRANSFORMADORES

125/220V 500VA

/

115/230V 100VA



Figura 18: Autotransformadores 125/220V 500VA y 115/230V 100VA.

El autotransformador monofásico se utiliza en el sistema de medida de corriente alterna para elevar la tensión generada por el generador eólico hasta una tensión que sea capaz de medir el módulo PZEM004T v30 puesto que el mínimo valor de tensión que puede ser medido por este es de 80V. El uso de ambos transformadores permite que el sistema sea capaz de realizar mediciones superiores a 24V.

El autotransformador posee un único devanado alrededor de su núcleo ferromagnético ideal para transferir corriente alterna o tensión de una parte del circuito eléctrico a otro mediante la inducción electromagnética sin modificar su frecuencia. Debido a su peso y tamaño reducido permite un fácil transporte e instalación, además, de ser bastante más económico que un transformador convencional.

Las características principales de los autotransformador se encuentran en la siguientes tablas:

Característica	Valor
Potencial Nominal	500 VA
Tensiones Nominales Reversibles	125/220 V
Frecuencia	50/60 Hz
Material principal	Acero
Protección contra el cortocircuito	No
Grado de protección	IP20
Clase de protección	I
Clase de aislamiento	T40/B
Normativa	EN 61558-2-13
Dimensiones	96x126x50 mm
Peso	2.29 kg
Familia de color	Blanco
Tipo de producto	Transformador universal

Tabla 6: Características del autotransformador 125/220V 500VA.

Característica	Valor
Potencial Nominal	100 VA
Tensiones Nominales Reversibles	115/230 V
Frecuencia	50/60 Hz
Material principal	Carcasa de Plastico
Protección contra el cortocircuito	No
Fusible de salida	Protegido
Conexión de entrada	2m y 3 núcleos, macho de 13 A (BS1363)
Conexión de salida	1m y 3 núcleos, hembra de 15 A, US
Normativa	VDE 0550
Dimensiones	166x76x77 mm
Tipo de producto	Transformador universal

Tabla 7: Características del autotransformador 115/230V 100VA.

Se incluyen las hojas de características del producto en el apartado de los ANEXOS para un mayor detalle.

4.1.5. LM7805CT

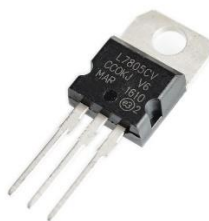


Figura 19: LM7805.

LM78XXCT es un dispositivo electrónico diseñado para mantener un nivel de tensión constante a la salida de uno de sus pines. Es decir, es un regulador de tensión lineal positivo comúnmente utilizado en las fuentes de alimentación de los computadores, puesto que permiten estabilizar las tensiones de entrada en Corriente Continua usadas por procesadores y otros elementos. En nuestro caso específico, el LM7805, el valor de la tensión de salida es de 5V.

Sus principales características son:

Característica	Valor
Corriente de Salida máxima	1A
Tipo de regulador	Tensión Lineal
Tensión de Salida	5V
Número de Salidas	1
Regulación de Línea	150mV
Regulación de Carga	150mV
Polaridad	Positivo
Tipo de Montaje	Montaje en orificio pasante
Corriente Quiescente	8.5mA
Tipo de Encapsulado	TO-220
Conteo de Pines	3
Tipo de Salida	Fijo
Dimensiones	10.16x4.7x8.89 mm
Tensión Mínima de Entrada	7.5V
Tensión Máxima de Entrada	35V
Temperatura Máxima de funcionamiento	+70 °C
Temperatura Mínima de funcionamiento	0 °C

Tabla 8: Características del regulador de tensión LM7805CT.

El regulador de tensión LM7805 tiene un total de tres pines. Un pin para la alimentación (Vcc), otro pin para la tierra (GND) y otro pin para la tensión de salida (Vout) a 5V. La alimentación del LM7805 en nuestro montaje se realizará a través de una fuente de alimentación de 12V.

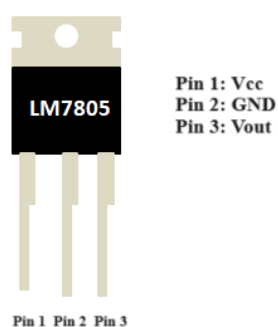


Figura 20: PINOUT de LM7805.

Los reguladores de tensión, tipo 78XX, se dividen en función del valor de corriente que tienen a la salida. Los valores de corrientes típicos son:

CÓDIGO	INTENSIDAD
78XX	1 A
78LXX	0,1 A
78MXX	0,5 A
78SXX	2 A
78TXX	3 A
78HXX	5 A (Híbrido)
78PXX	10 A (Híbrido)

Tabla 9: Valores típicos de corriente del regulador de tensión tipo 78XX.

En el caso del LM7805CT, la intensidad de corriente máxima en la alimentación de nuestros dispositivos será de hasta 1A. Este tipo de reguladores no requieren de componentes externos. Sin embargo, si los valores de tensión y corriente que proporciona el regulador no son los deseados se pueden ajustar la tensión y la corriente con dispositivos externos.

La incorporación de este chip al montaje de la instalación añade una protección frente a sobrecargas térmicas internas, además de actuar como un limitador de corriente ante corrientes de cortocircuito.

Se incluyen las hojas de características del producto en el apartado de los ANEXOS para un mayor detalle.

4.1.6. ACS712ELCTR-30A-T

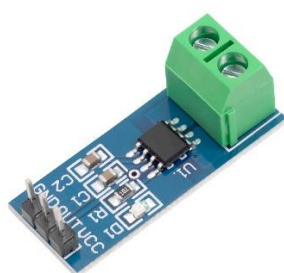


Figura 21: ACS712ELCTR-30A-T.

ACS712 es un sensor de corriente que trabaja internamente con un sensor de efecto Hall, este detecta el campo magnético inducido por la corriente de la línea que se desea medir. El sensor reinterpreta la medida del campo magnético y entrega una salida de voltaje proporcional a la corriente. En función de la intensidad de la corriente a medir se pueden usar el ACS712-05B-T, ACS712-20A-T o ACS712-30A-T para corrientes inferiores a 5A, 20A o 30A, respectivamente. Para nuestro montaje haremos uso del

último de ellos debido a que el aerogenerador eólico tiene una potencia nominal de 1kW y una tensión de funcionamiento de 48V, lo que puede generar corrientes cerca de los 21A.

El sensor se puede encontrar en módulos que nos facilitan las conexiones a sus pines. Los módulos tienen un total de cinco pines. Dos de ellos se encuentran en una bornera que se utilizan para la conexión en serie de la línea que se desea medir. Los otros tres pines son la alimentación del módulo (Vcc) a 5V, la tierra (GND) y la salida analógica (OUT) del sensor que permite la comunicación con nuestra ESP32-WROOM 32.

En función de la conexión de los pines del bornero, se obtendrán mediciones positivas o negativas. Es decir, el rango de nuestro ACS712 es:

MODELO	RANGO
ACS712-05B-T	±5 A
ACS712-20A-T	±20 A
ACS712-30A-T	±30 A

Tabla 10: Rangos de operación del ACS712.

Además, la sensibilidad de nuestro sensor también varía en función del modelo elegido. La sensibilidad de nuestro ADCS712 es:

MODELO	SENSIBILIDAD
ACS712-05B-T	185 mV/A
ACS712-20A-T	100 mV/A
ACS712-30A-T	66 mV/A

Tabla 11: Sensibilidad de operación del ACS712.

Esta sensibilidad es la indicada por el fabricante, pero como se explicará más adelante será necesario un ajuste en este valor para poder hacer un uso eficaz de este sensor.

La señal analógica del sensor será un valor de 2,5V para una corriente de 0A, este valor coincide con la mitad del valor de la tensión de alimentación. Este valor de tensión aumentará o disminuirá a medida que la corriente aumente o disminuya de acuerdo a la sensibilidad, con una relación lineal entre el valor del voltaje y la corriente.

La fórmula típica de una recta lineal es:

$$y = m \cdot x + n$$

donde:

- m es la pendiente
- n es el punto de corte de la recta con el eje Y

Conociendo que la pendiente es igual que la sensibilidad de nuestro sensor, 66 mV/A, y que el punto de corte con el eje Y de nuestra recta es en 2,5V. La fórmula de nuestra recta lineal es:

$$y = 0,066x + 2,5$$

Representando esta ecuación se obtiene la siguiente gráfica:

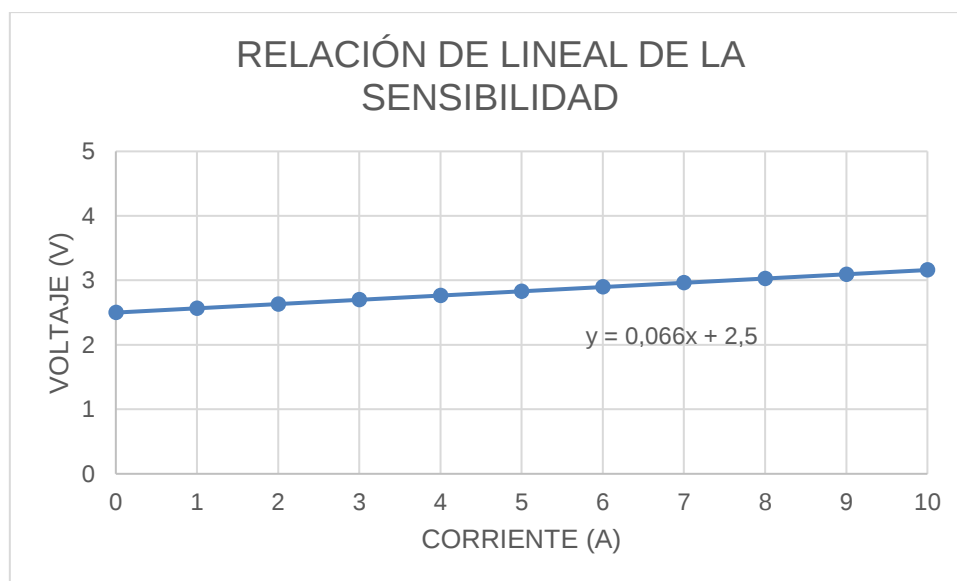


Figura 22: Gráfica de la relación lineal de la sensibilidad del ACS712.

Despejando la x de la ecuación, se obtiene la ecuación que relaciona la tensión, la corriente y la sensibilidad:

$$I = \frac{V - 2.5}{\text{Sensibilidad}}$$

La idea inicial para la toma de medidas de continua era utilizar un divisor de tensión para la medida de tensión y una resistencia shunt para la medida de corriente. La caída de tensión en las resistencias se tomaría como un “input” en los pines analógicos del ESP32-Wroom. Los valores de tensión de la resistencia shunt se transformarían en valores de corriente mediante el uso de la ley de Ohm. El problema es que los valores de tensión medidos en la resistencia shunt tenían mucho ruido.

El ruido en la medida de tensión se soluciona con un condensador de 1uF entre los bornes de la resistencia puesto que el valor de la resistencia es elevado. Pero para valores de resistencias como la shunt es necesario condensadores muy superiores a 1uF.

Este problema se decide solucionar con el ACS712 como sensor de corriente continua que elimina el problema del ruido, y produce una tensión en función de la corriente medida por el sensor. Esta tensión es leída por uno de los pines analógicos auxiliares del ADS1115 y, posteriormente, comunicada con la ESP32-Wroom. Además, su gran rango de medida lo hace idóneo para las grandes corrientes que puede llegar a producir el generador.

Se incluyen las hojas de características del producto en el apartado de los ANEXOS para un mayor detalle.

3.2. SOFTWARE.

ARDUINO IDE



Figura 23: Logo de ARDUINO.

ARDUINO es una plataforma de creación electrónica de código abierto de hardware y software libre. Esta comunidad internacional diseña y manufactura placas de desarrollo de hardware que permiten construir dispositivos digitales e interactivos que permiten detectar y controlar objetos del mundo real. Se caracteriza por ser flexible y fácil de utilizar para los desarrolladores y creadores.

Se van a explicar los conceptos de hardware y software libre para poder comprender un poco mejor que es Arduino:

- **Hardware libre**, son todos los dispositivos cuyas especificaciones y diagramas electrónicos son de acceso público, de manera que cualquiera pueda replicarlos. Arduino ofrece los planos para que cualquier persona pueda crear sus propias placas, placas que serán diferentes, pero igual de funcionales a partir de la misma base.
- **Software libre**, son todos los programas informáticos cuyo código es accesible para que cualquiera pueda utilizarlo y modificarlo, Arduino ofrece la plataforma ARDUINO IDE. Es un entorno de programación con el que cualquiera puede crear aplicaciones para las placas Arduino y será el software que se utilizará para el código de nuestra placa de desarrollo.

ARDUINO IDE es un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) de Arduino, es multiplataforma (para Windows, macOS, Linux) y está escrita en el lenguaje de programación de Java. Su código fuente se publica bajo la Licencia Pública General de GNU (licencia de derecho de autor ampliamente usada en el mundo del software libre y código abierto, que garantiza la libertad de usar, estudiar, copiar y modificar el software por los propios usuarios). Además, también permite los lenguajes de C y C++ mediante el uso de algunas reglas especiales de estructuración de códigos.

La interfaz es muy intuitiva y simple lo que le hace perfecta para usuarios principiantes, facilitando tanto la escritura del código como su compilación y carga en

las placas de desarrollo. Arduino IDE también ofrece una amplia variedad de librerías y ejemplos de código para diferentes componentes electrónicos que facilitan enormemente la incorporación de nuevas funcionalidades y dispositivos a nuestra aplicación, como es el caso de los sensores PZEM o el ACS712.

Por último, la comunidad de Arduino cuenta con un enorme número de usuarios y desarrolladores activos que comparten sus diferentes trabajos y soluciones a través de video-explicaciones en plataformas como YouTube y exponen sus dudas en foros como GitHub, lo que simplifica mucho la búsqueda de información durante el desarrollo del montaje electrónico de nuestra aplicación.

4.2. METODOLOGÍA.

El primer paso para la instalación del sistema de adquisición de datos es la conexión de todos los kits de desarrollo, chips, microchips y sensores mencionados en el apartado anterior. Estas conexiones se realizarán mediante un tipo de cables denominados jumpers. Los extremos de estos cables serán del tipo jumper “hembra” o “macho”, en función de donde se conecten.

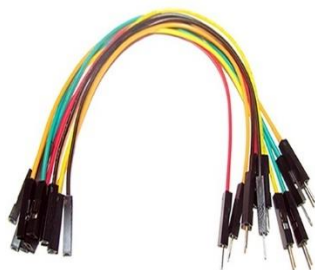


Figura 24: Cableado del sistema de adquisición, “Jumpers”.

El alternador del generador eólico produce una corriente trifásica equilibrada que llega a un controlador mediante un cableado compuesto por tres fases sin neutro (3F). En el controlador se transforma en una corriente monofásica (F+N). Se divide el sistema de adquisición en dos partes para facilitar la explicación de las conexiones de la instalación, una parte de medida de Corriente Alterna (CA) y otra parte de Corriente Continua (CC).

4.2.1. SISTEMA DE MEDIDA DE CORRIENTE ALTERNA (CA).

Los componentes que forman el sistema de medida de corriente alterna son: la ESP32-WROOM 32, el módulo PZEM-004T v30 y el autotransformador. Las conexiones del sistema de medida de corriente alterna son las siguientes:

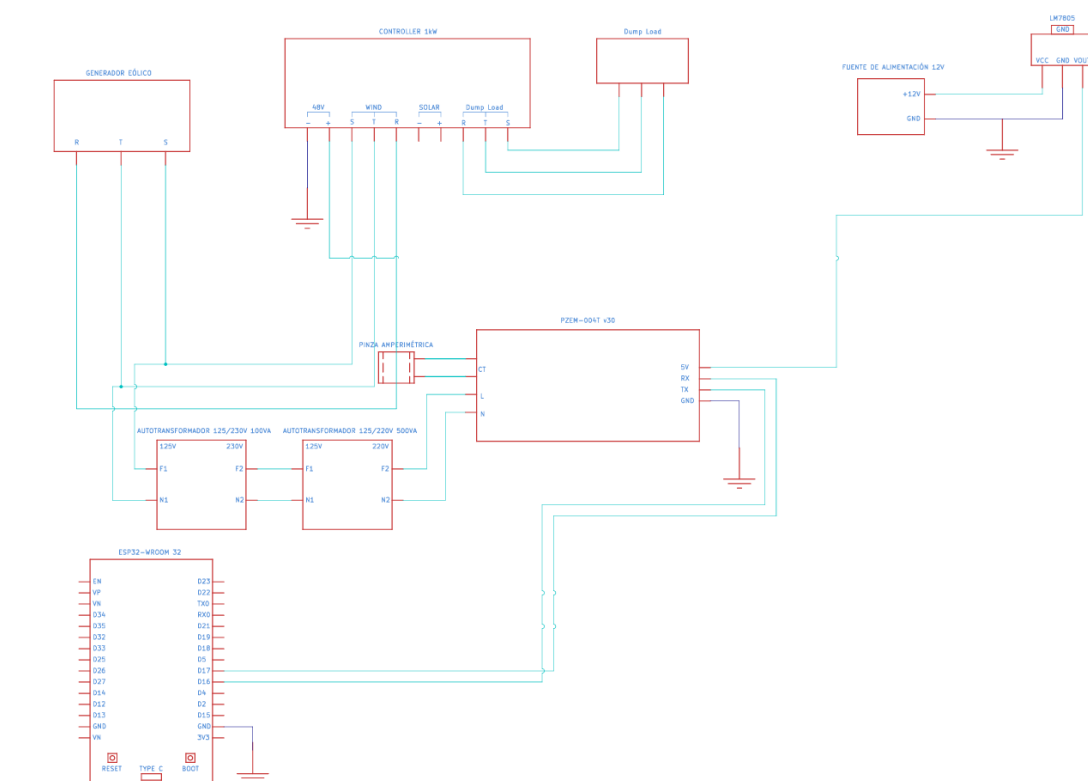


Figura 25: Conexiones del sistema de medida de corriente alterna (CA).

4.2.2. SISTEMA DE MEDIDA DE CORRIENTE CONTINUA (CC).

Los componentes que forman el sistema de medida de corriente continua son: la ESP32-WROOM 32, el convertidor analógico digital ADS1115, el regulador de tensión LM7805 y el sensor ACS712ELCTR-30A-T. Además, se harán uso de resistencias y condensadores necesarios para completar el circuito electrónico del sistema de medida. Las conexiones del sistema de medida de corriente continua son las siguientes:

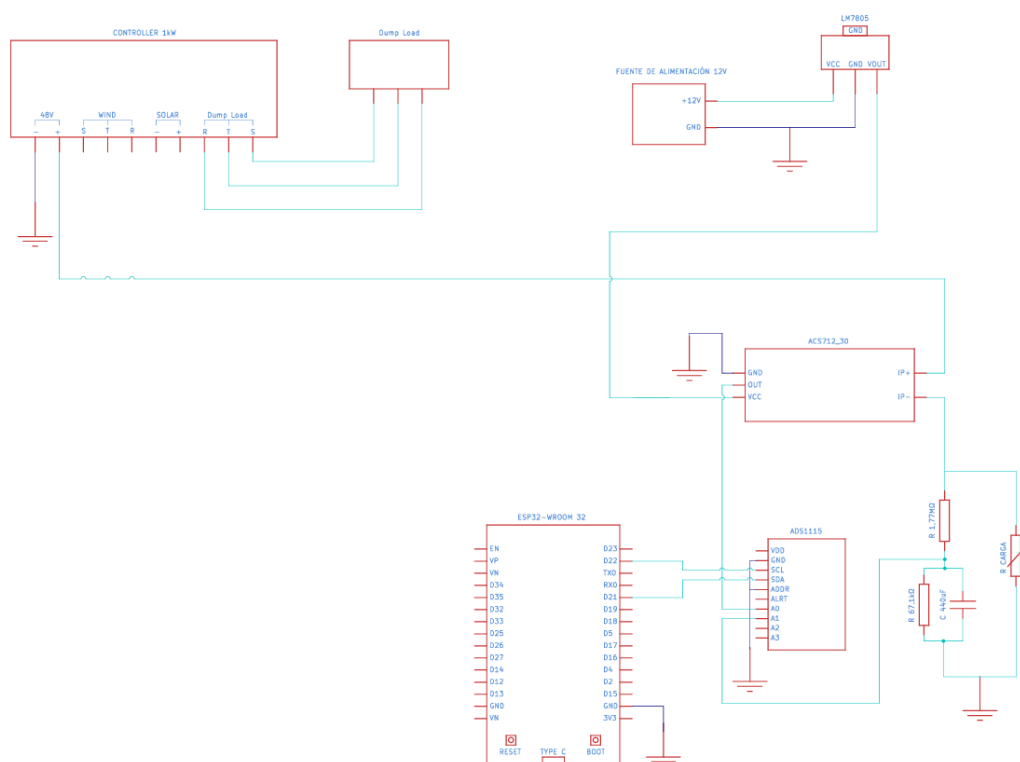


Figura 26: Conexiones del sistema de medida de corriente continua (CC).

El sistema de medida de corriente continua se basa en: un divisor de tensión que mide la tensión de corriente continua y el sensor ACS712 que mide la intensidad de corriente continua.

4.2.3. INSTALACIÓN DE ARDUINO IDE Y SUS LIBRERIAS.

Una vez se han realizado todas las conexiones de ambos sistemas de medición se procede a la instalación y puesta en marcha de la plataforma de programación, Arduino IDE.

En la página oficial de Arduino (<https://www.arduino.cc/>) dentro de la pestaña de Software se encuentra el acceso a la descarga del ejecutable de Arduino IDE disponible para Windows, Linux y macOS. La versión utilizada para el desarrollo del sistema de medida es la “**versión 1.8.10**” aunque no debe haber problemas en la utilización de versiones más actualizadas. Se descarga el ejecutable y se procede a la instalación.



Figura 27: Descarga del ejecutable de Arduino IDE en la web oficial.

Una vez instalado Arduino IDE, es necesario instalar el núcleo del chip ESP32 debido a que las placas basadas en este tipo de placas, como la ESP32-WROOM 32, no se encuentran definidas por defecto entre las placas incluidas en el Arduino IDE. Para ello es necesario ejecutar Arduino IDE.

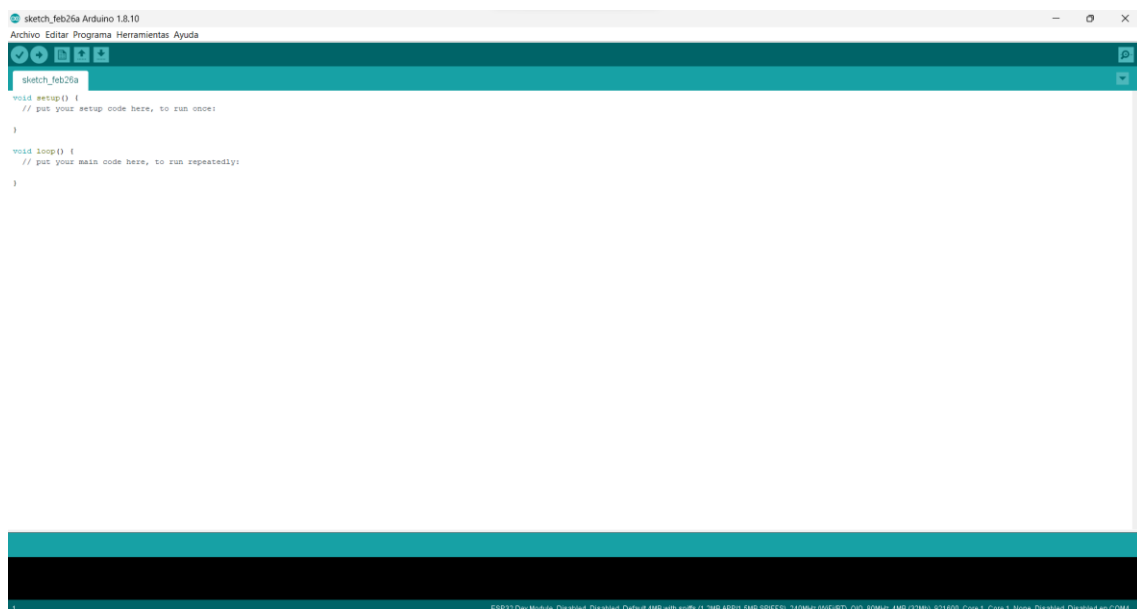


Figura 28: Pestaña principal de Arduino IDE.

En el menú “Archivo”, se selecciona la opción de “Preferencias”.

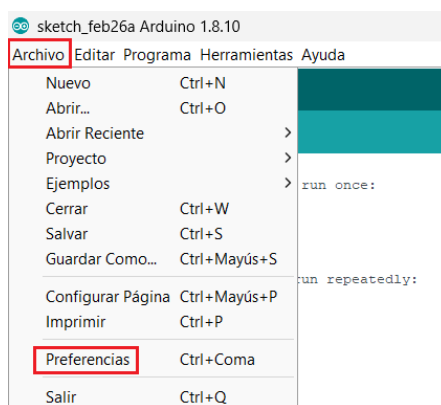


Figura 29: Selección de la opción “Preferencias” de Arduino IDE.

Se abre la pestaña “Preferencias”. Para añadir la información relativa a las tarjetas del tipo ESP32 se hace “click” en el icono del “Gestor de URLs Adicionales de Tarjetas”.

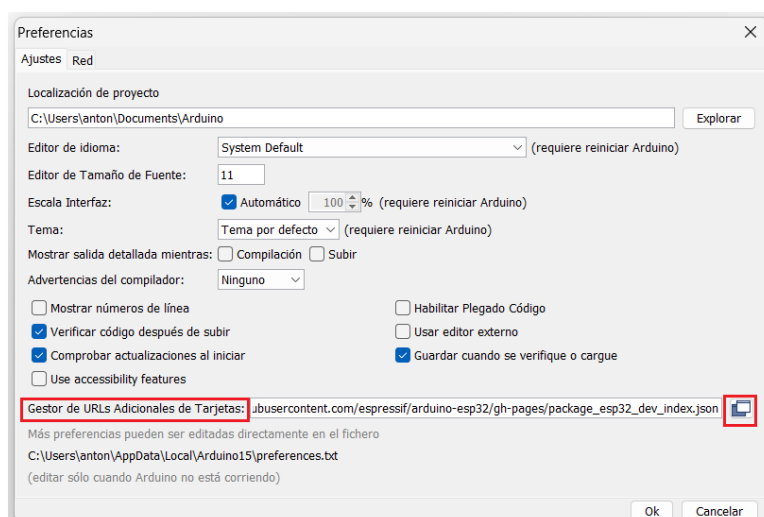


Figura 30: Pestaña “Preferencias” de Arduino IDE.

Dentro del Gestor de URLs Adicionales de Tarjetas, se debe copiar y pegar el siguiente enlace: “https://raw.githubusercontent.com/espressif/arduino-esp32/gh-pages/package_esp32_dev_index.json”. Una vez copiado este enlace, hacer “click” en el botón “Ok”. Este enlace es únicamente válido para tarjetas que se encuentren dentro del conjunto del ESP32. Si se utilizara otra tarjeta, como la ESP8266 o la de Arduino UNO, se debe utilizar otro enlace distinto.

Arduino IDE cuenta ahora con un repositorio adicional donde buscar las placas que se van a utilizar. A continuación, se procede a la instalación de la ESP32-WROOM

32. Para ello, en el menú “Herramientas”, se selecciona la opción de “Placa”, dentro de esta opción se selecciona “Gestor de tarjetas”.

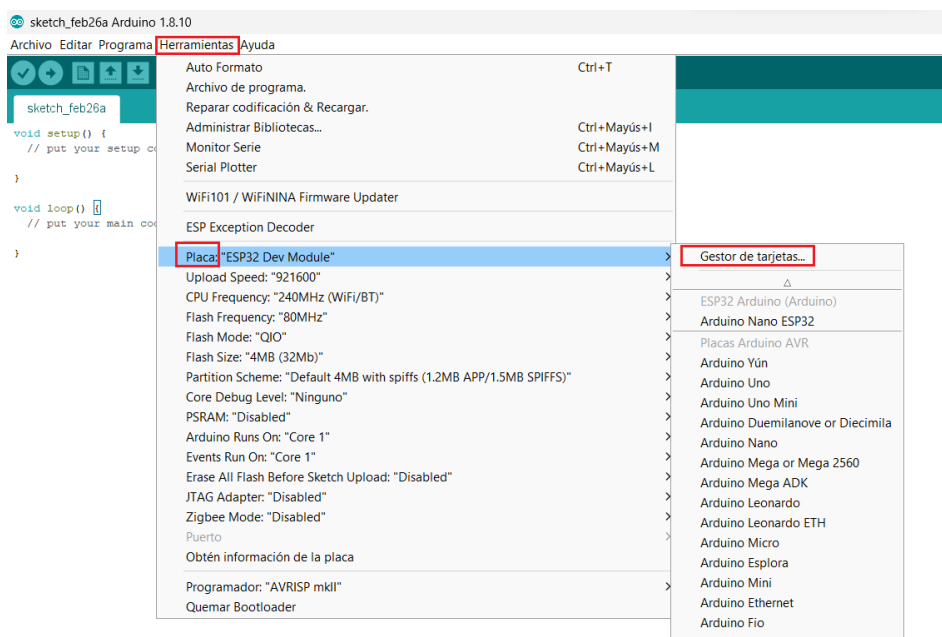


Figura 31: Selección de la opción “Gestor de tarjetas” de Arduino IDE.

Se abre una pestaña con un buscador, donde buscaremos “Esp32”. Dentro de los resultados obtenidos, se va a instalar “Arduino ESP32 Boards” de Arduino y “esp32” de Espressif Systems. Para ello, se selecciona la última versión disponible y se hace “click” en el botón “Instalar”, para ambas opciones.

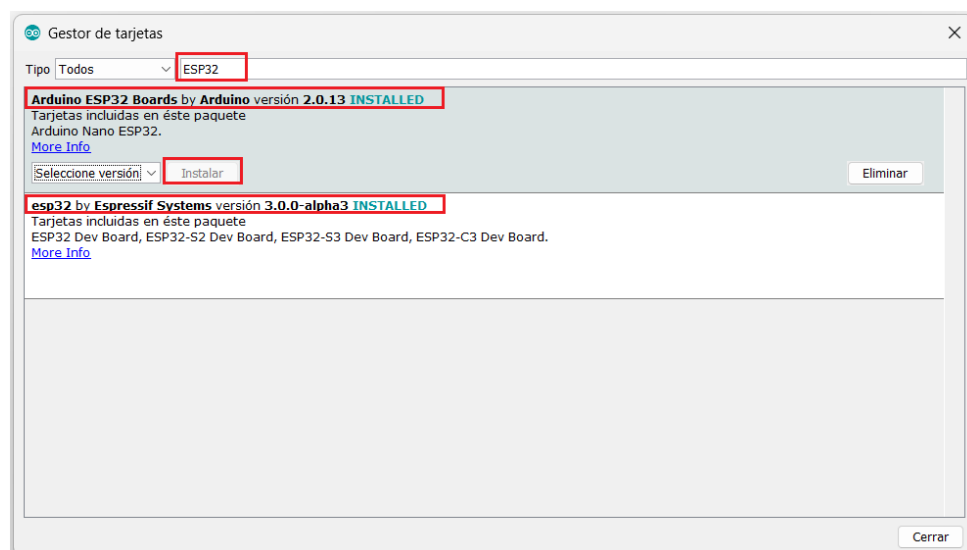


Figura 32: Instalación de “Arduino ESP32 Boards” y “ESP32” de Arduino IDE.

Finalizada la instalación, Arduino IDE dispone del núcleo de la tarjeta ESP32 y, por tanto, ya se puede seleccionar la tarjeta en el gestor de tarjetas. En el menú “Herramientas”, se selecciona la opción de “Placa”, dentro de esta opción se busca la tarjeta que hace referencia a nuestro kit de desarrollo. La tarjeta que se selecciona para la ESP32-WROOM 32 es la “ESP32 Dev Module”.

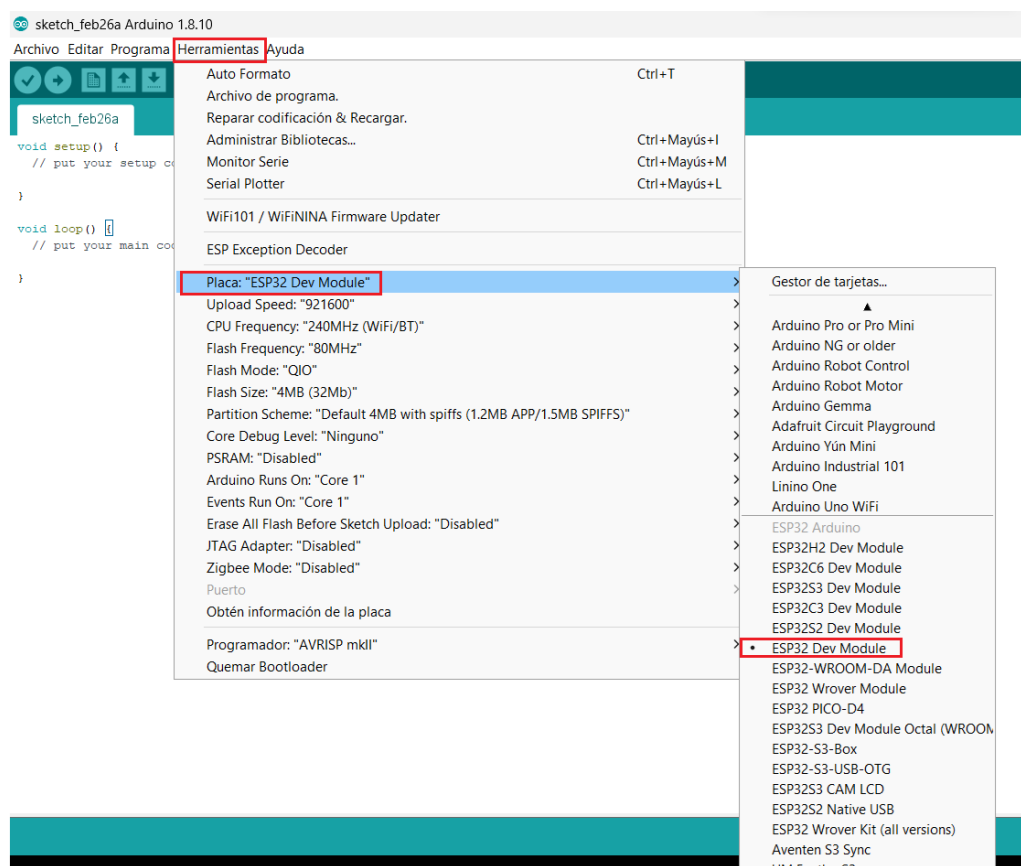


Figura 33: Selección de la “ESP32 Dev Module” de Arduino IDE.

Definida la tarjeta ESP32, se procede a la instalación de todas las librerías de las que se va a hacer uso. La mayoría de librerías se pueden instalar directamente puesto que se encuentran disponibles directamente desde la aplicación de Arduino IDE pero también se pueden instalar librerías añadiendo la carpeta de dicha librería a la carpeta de instalación de Arduino.

Van a ser necesarias la instalación de tres librerías, una para el módulo PZEM-004T v30 es, otra para el ADS1115 y otra la comunicación I2C. Las librerías son las siguientes:

- Librería “PZEM004Tv30” de Jakub Mandula.
- Librería “ADS1115-Lite” de Terry J Myers.
- Librería “Wire” de Hristo Gochkov.

Para la instalación de la librería “PZEM004Tv30”, dentro del menú “Herramientas”, seleccionamos “Administrar Bibliotecas”.

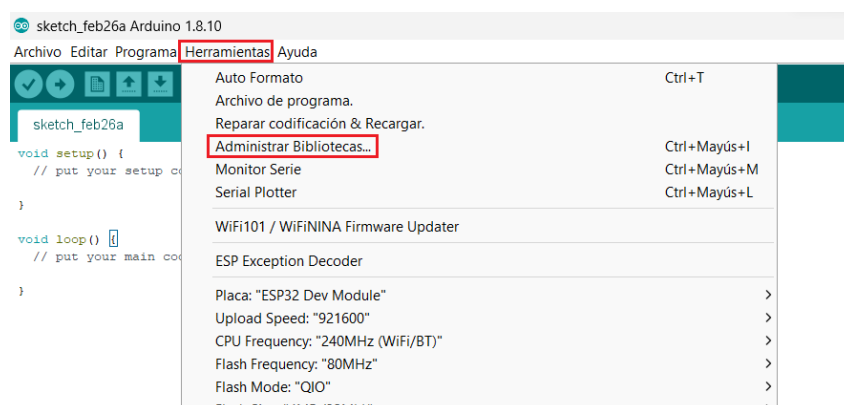


Figura 34: Selección de la opción “Administrar Bibliotecas” de Arduino IDE.

Se abre una pestaña con un buscador, donde buscaremos “PZEM”. Dentro de los resultados obtenidos, se va a instalar “PZEM004Tv30” de Jakub Mandula. Para ello, se selecciona la última versión disponible y se hace “click” en el botón “Instalar”.

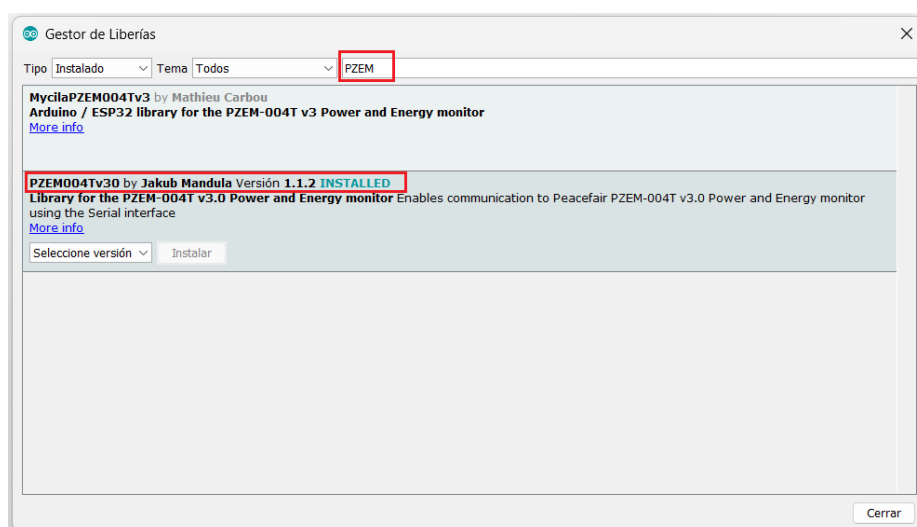


Figura 35: Instalación de la librería “PZEM004T v30” de Arduino IDE.

Para las otras dos librerías, desde la página oficial de GitHub (<https://github.com/>) se descargan los archivos “.zip” de las librerías “ADS1115-Lite” de Terry J Myers y la librería “Wire” de Hristo Gochkov.

Dentro de la carpeta de “Archivos del programa” del disco local del ordenador se busca la carpeta “Arduino-1.8.10”. Dentro de esta carpeta existe una carpeta denominada “libraries” donde se copiarán las carpetas con los archivos ya descomprimidos de las librerías descargadas.

4.2.4. CALIBRACIÓN DEL MÓDULO PZEM004T v30.

La tensión del generador eólico es de 48V mientras que el rango de medida de tensión del módulo PZEM004T v30 va desde los 80V hasta los 260V. Este problema de rango de tensiones se consigue solucionar mediante la incorporación de un autotransformador que sea capaz de elevar la tensión lo suficiente para que se puedan realizar las medidas por el módulo PZEM004T.

Tras intentar realizar las mediciones de la simulación con un único autotransformador se decide incorporar otro autotransformador elevador. La variación de las cargas de las simulaciones disminuían el valor de la tensión medida lo suficiente como para pasar el límite de los 80V provocando errores en las medidas. Las opciones para corregir este problema son utilizar un único autotransformador con una mayor relación de transformación o incorporar otro autotransformador extra.

Puesto que no se disponía de un autotransformador con una relación de transformación mucho mayor, se decide utilizar dos, uno detrás de otro, en su lugar. Conectando el generador al lado de menor tensión del primer autotransformador, los bornes de mayor tensión del primer autotransformador con los bornes de menor tensión del segundo autotransformador y el sistema de medida al lado de mayor tensión del segundo autotransformador. La relación de transformación de ambos transformador es:

$$m = \frac{220V}{125V} \cdot \frac{230V}{115V} = 3,52$$

La tensión medida será la multiplicación de la tensión del generador eólico multiplicada por la relación de transformación:

$$V_{medida} = V_{generada} \cdot m$$

$$V_{medida} = 48V \cdot 3,52 = 168,96V$$

Este valor sí que puede ser medido por el módulo PZEM004T v30 pero debe ser corregido en el código para poder mostrar valores reales de la medida que se está realizando. Para corregir la medida se divide el valor obtenido del sensor entre la relación de transformación.

4.2.5. CALIBRACIÓN DEL ACS712.

Realizadas todas las conexiones del sistema medida de corriente continua y partiendo de la ecuación que calcula la corriente medida en función de la tensión obtenida y la sensibilidad del sensor.

$$I = \frac{\text{Voltage0} - 2.5V}{\text{Sensibilidad}}$$

Se realiza una medición inicial para una corriente de 0A. La lectura obtenida en el monitor serial es la siguiente:

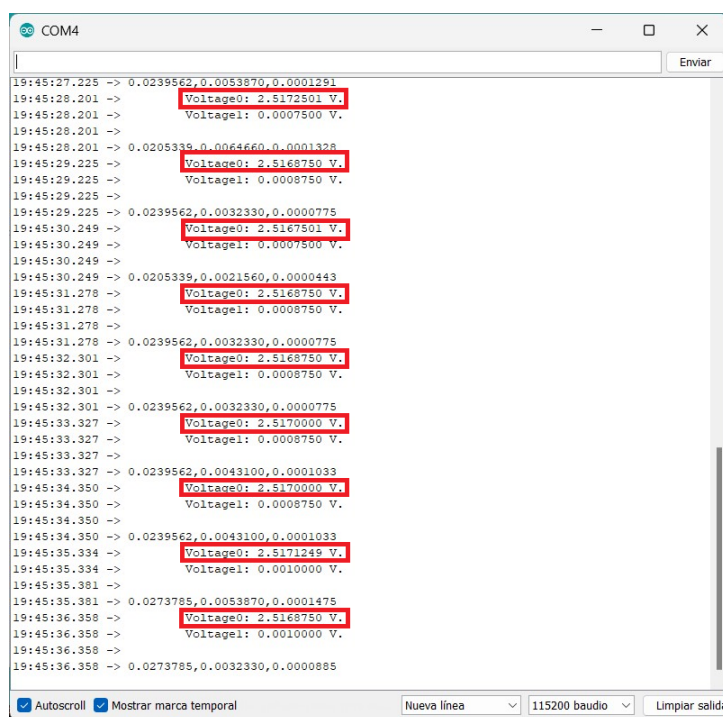


Figura 36: Lectura del monitor serial para una corriente de 0A (1).

El “Voltage0” es el valor tensión obtenido directamente de la medida del sensor ACS712. Para la corriente de 0A, este valor “2.517V”, corresponde con la mitad de la tensión de alimentación del sensor y sustituye al “2.5V” de la fórmula teórica. Puesto que este valor cambia en función de la fuente de alimentación utilizada para la alimentación del sensor se utiliza un regulador de tensión, LM7805CT, que la estabiliza. Mientras más estable sea este valor más fiable será la medida obtenida.

El segundo valor de los tres datos consecutivos indica el valor de la intensidad, en amperios, transformando la tensión en intensidad con la fórmula ya modificada.

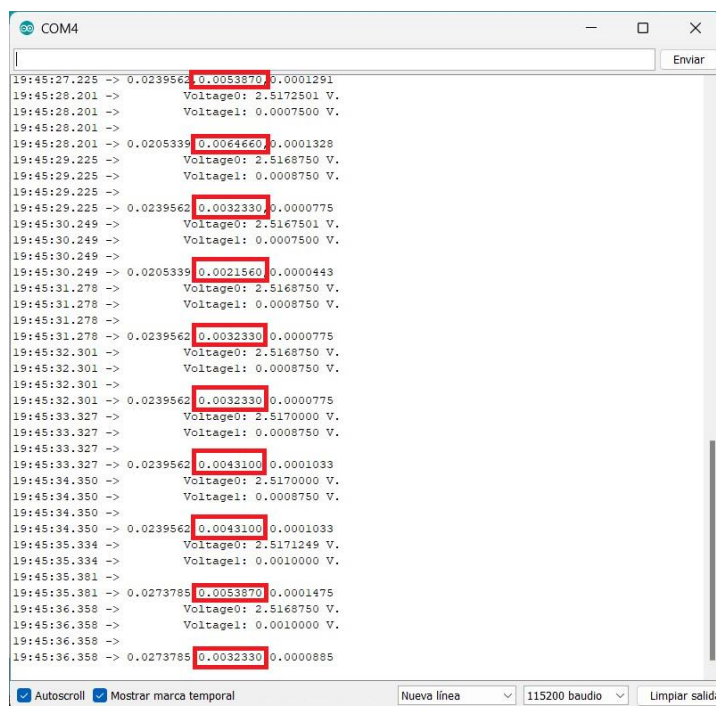


Figura 37: Lectura del monitor serial para una corriente de 0A (2).

El generador eólico puede llegar a generar corrientes de hasta 21 A, para esos valores de corriente la variación de menos de 5 mA en la medida supone un error prácticamente despreciable.

Se menciona en el apartado del sensor que la función teórica de la intensidad del sensor es una recta lineal ($y = m \cdot x + n$) donde “m” es la pendiente y “n” el punto de corte con el “eje Y”. Se acaba de mostrar como conocer el valor experimental de $n = 2.517V$.

Para conocer el valor experimental de la sensibilidad de cualquier función lineal se necesitan dos puntos de dicha recta.

- 1º Punto inicial (conocido): [2.517V, 0A]
- 2º Punto (desconocido): Es necesario medir una carga, tanto con el sistema de medida como con un multímetro y un voltímetro calibrados que permitan comparar los valores obtenidos por nuestro sensor.

Mientras más amperios consuma la carga que se procede a medir, valores más exactos de pendiente se obtendrán. Puesto que el multímetro utilizado para la medición de la corriente tiene de límite de corriente máxima 10 A, la carga utilizada para la calibración de la sensibilidad consumía entorno a los 9,74 A para no sobrepasar dicho límite. La lectura obtenida en el monitor serial es:

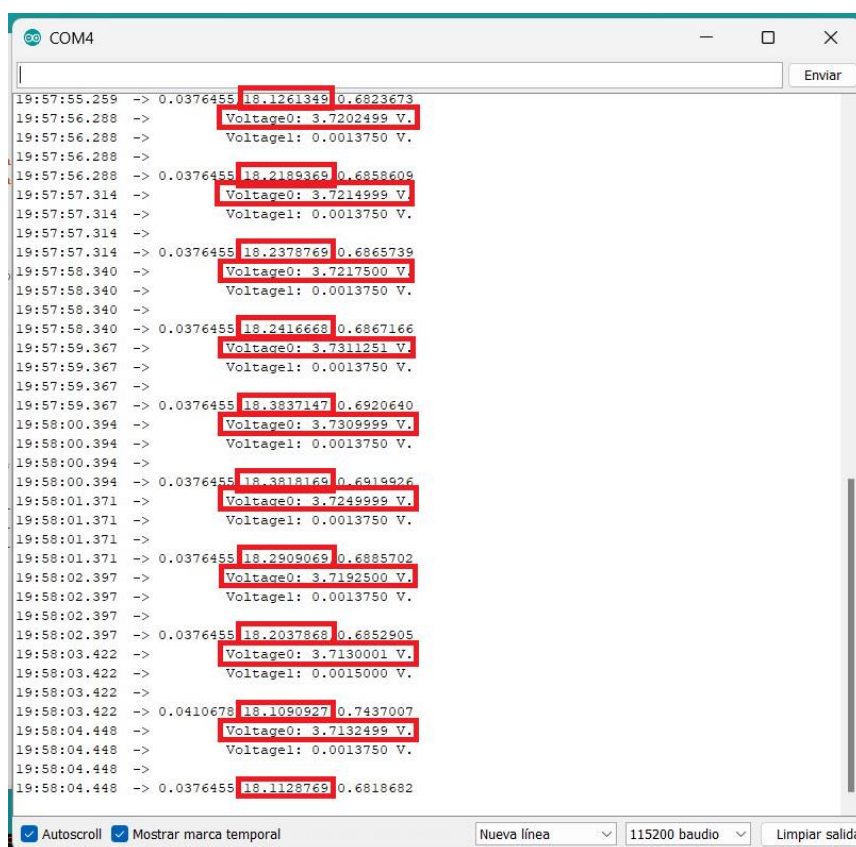


Figura 38: Lectura del monitor serial para una corriente de 9.74 A (Sin calibrar).

Se observa que el sistema de medida para la sensibilidad teórica, 66 mV/A obtiene valores de 3,72V que corresponde con unos 18,12 A, para una corriente real de 9,74 A. Es decir, se están midiendo valores el doble de grandes de la medida real obtenida con el multímetro. Gracias a esta medida, se conoce que el 2º Punto es [3.72V, 9.74A]. Uniendo estos dos puntos y representando esta recta, se obtiene la siguiente gráfica:

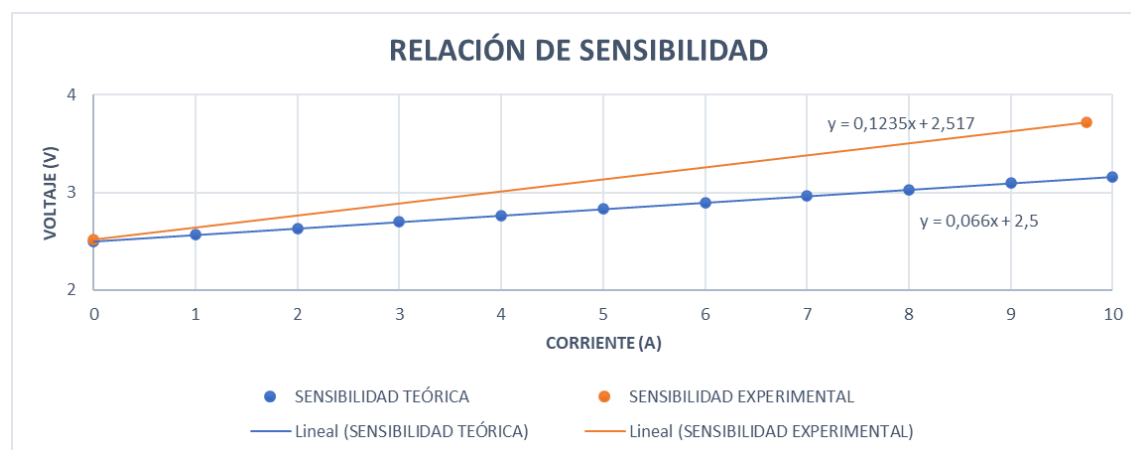


Figura 39: Relación entre sensibilidad teórica y experimental del ACS712.

La ecuación de la función lineal experimental es: $y = 0.1235x + 2.517$. Es decir, la sensibilidad del sensor cambia de 66 mV/A (teórico) a 123,5 mV/A (experimental). Una vez implementada estos nuevos valores en el código del sistema de medida y realizando la misma medida de la carga de 9,74 A se obtiene la siguiente lectura en el monitor serial:

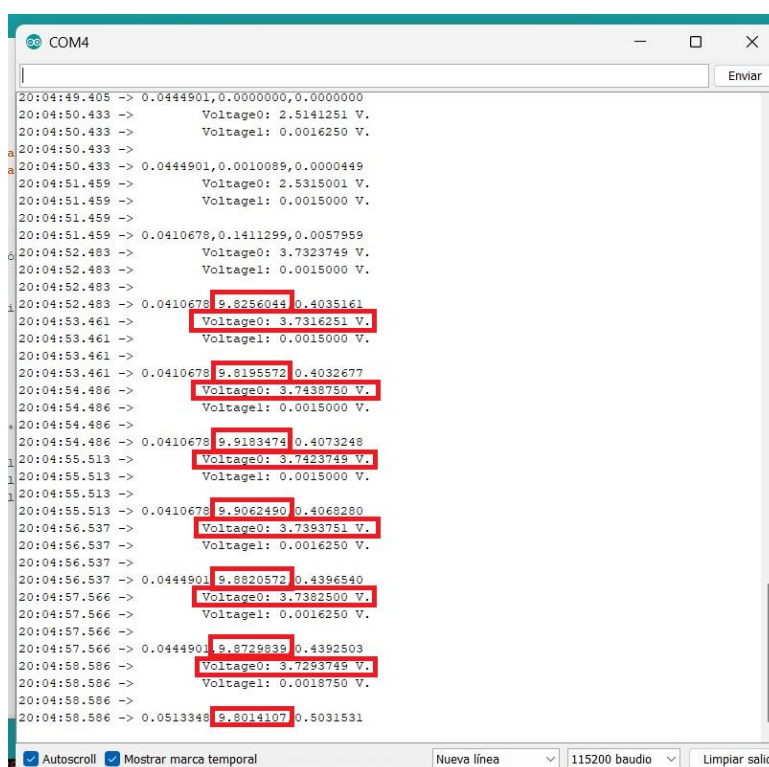


Figura 40: Lectura del monitor serial para una corriente de 9.74 A (Calibrado).

Se obtienen valores que difieren como máximo 0,15 A de la medida real de 9,74 A. El error absoluto de la medida es:

$$E_{\text{absoluto}} = \frac{0.15 \text{ A}}{9.74 \text{ A}} \times 100 \text{ A} = 1.54\%$$

Este valor se considera adecuado para poder considerar el sistema de medida como calibrado. El valor del error será menor en medidas de corriente cercanas a los 9,74 A y será mayor a medida que las corrientes medidas se alejen de este valor, tanto por arriba como por abajo.

4.2.6. CONEXIONES DEL ADS1115 (pines ADDR y ALERT).

El convertidor analógico digital ADS1115 permite conectar hasta 4 ADS1115 en un mismo bus I2C. Para elegir una dirección de las cuatro posibles se utiliza el pin **ADDR**, éste en función de donde sea conectado utilizará una dirección u otra. Las cuatro posibles direcciones son:

Conexión ADDR	Dirección
GND	0x48
5V	0x49
SDA	0x4A
SCL	0x4B

Tabla 12: Conexiones del pin ADDR del ADS1115.

En nuestra instalación, el pin del ADDR se conecta con la tierra (GND) para obtener la dirección I2C correspondiente, “0x48”.

Además, el pin **ALERT** actúa como un comparador personalizable que emite una alerta cuando el sensor mide por encima o por debajo de un valor establecido. Es decir, permite mantener el microcontrolador en “sleep mode” hasta que el valor del sensor no entre en un umbral establecido a nivel de software, reduciendo mucho el consumo del dispositivo. El pin ALERT no es utilizado en esta instalación, no se entrará en mayor detalle.

5. SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y ALMACENAMIENTO DE LOS DATOS.

4.1. HARDWARE.

5.1.1. Cable TIPO C – USB



Figura 41: Cable TIPO C – USB.

El cable TIPO C – USB es el encargado de realizar las conexiones entre el sistema de adquisición de datos y el sistema de base de datos. Esta conexión permite la transferencia del código desde Arduino IDE hasta el microprocesador de la ESP32-WROOM 32. Además, sirve de alimentación de la placa de desarrollo. Si esta conexión se interrumpe el sistema de adquisición y base de datos dejará de funcionar por completo.

5.1.2. ORDENADOR (PC)



Figura 42: Ordenador (PC).

El ordenador se utiliza como dispositivo de desarrollo del código para el sistema de adquisición de datos y como disco duro de la base de datos. Las únicas características necesarias de este dispositivo es que posea la aplicación de Arduino IDE y de Excel. A continuación, se mencionan las características básicas del ordenador utilizado para el desarrollo del código:

- Intel(R) Core (TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz
- 8,00 GB RAM
- Sistema operativo de 64 bits, procesador basado en x64
- Windows 11 Home

Estas características pueden diferir y el sistema seguir funcionando correctamente.

4.2. SOFTWARE.

EXCEL



Figura 43: Logo de EXCEL.

EXCEL es una hoja de cálculo electrónica desarrollada por la conocida empresa Microsoft y forma parte de plataforma OFFICE. EXCEL va a ser el programa que se utilizará para el almacenamiento y la representación de todas las medidas tomadas con nuestro sistema de adquisición de datos.

El principal motivo por el que se va a utilizar EXCEL como base de datos es por su disponibilidad, su rápida instalación y el fácil manejo de las funciones que se van a utilizar (EXCEL puede llegar a ser una herramienta bastante complicada de masterizar).

EXCEL dispone de un montón de herramientas con distintas funcionalidades, las dos herramientas principales que se utilizarán son:

- **Transmisor de Datos (Data Streamer)**, es una herramienta que permite la transferencia de datos bidireccional entre EXCEL y un microcontrolador, el ESP32-WROOM 32, a través de un puerto serie (USB).

- **Gráficos**, es una herramienta visual que permite representar los datos almacenados en su hoja de cálculo, facilitando la comprensión e interpretación de la información a estudiar.

Por tanto, se hace uso de EXCEL como una base de datos donde se almacenarán los datos de las mediciones y en el que se representarán las mediciones en tiempo real gracias al uso simultaneo de las dos herramientas mencionadas anteriormente.

Para poder hacer uso de la herramienta “Transmisor de Datos” es necesario tener una licencia **activada** del tipo “**Microsoft Office Professional Plus**”. Este tipo de licencia es de pago, pero hay algunas formas de conseguirla gratuitamente.

4.3. METODOLOGÍA.

La única conexión en el sistema de tratamiento y almacenamiento de datos es la existente entre el conector Tipo C (hembra) de la tarjeta de desarrollo ESP32-WROOM 32 y el conector Tipo USB (hembra) del ordenador mediante el cable de conexión tipo C – USB (macho a macho).

Se procede a la explicación de la incorporación de la herramienta del “Transmisor de Datos” de Excel en el mismo. Para dicha explicación se considera el propio programa Excel y su licencia como instalados correctamente.

Se abre Excel, y se accede al menú “Archivo”.

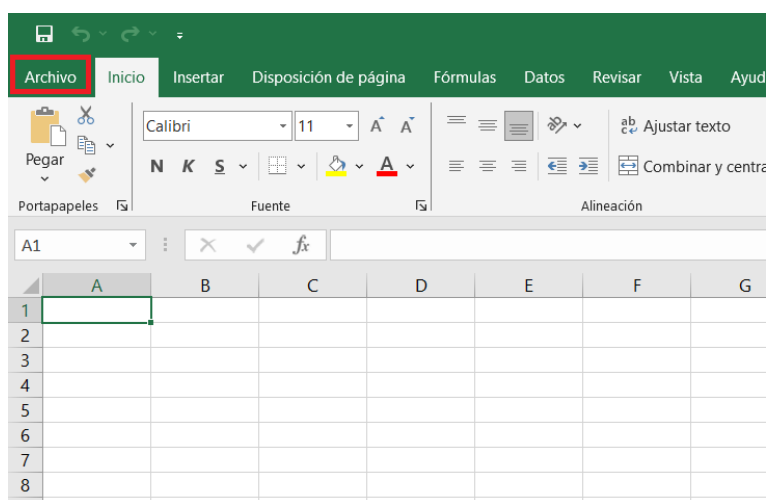


Figura 44: Selección del menú “Archivo” de Excel.

Se abre una barra de opciones, se hace “click” en la última de ellas, el botón de “Opciones”.

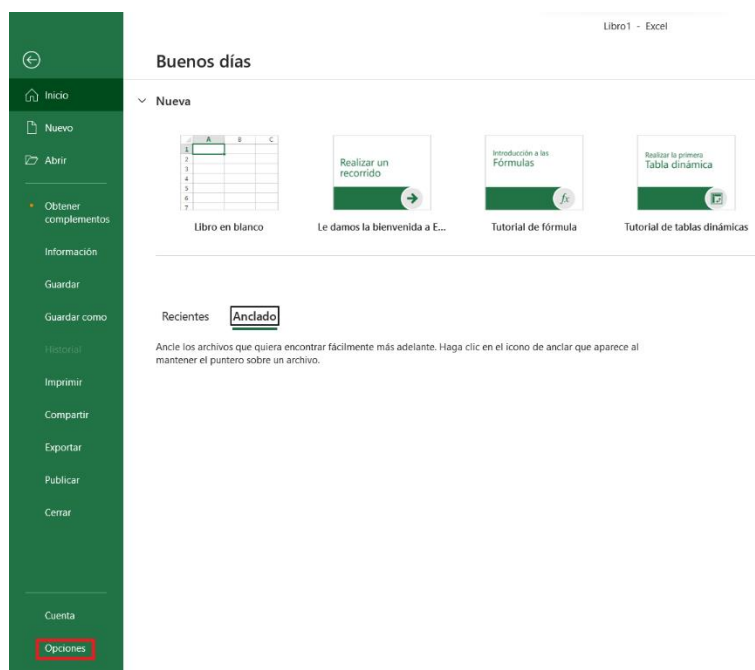


Figura 45: Selección de la opción “Opciones” de Excel.

Se abre una pestaña de “Opciones de Excel” como la que se muestra en la siguiente imagen. Dentro de la pestaña, se hace “click” en “Complementos” de la barra de opciones. En el desplegable “Administrar” seleccionamos la opción de “Complementos COM” puesto que la transmisión de datos se va a realizar por uno de los puertos COM (USB) del ordenador.

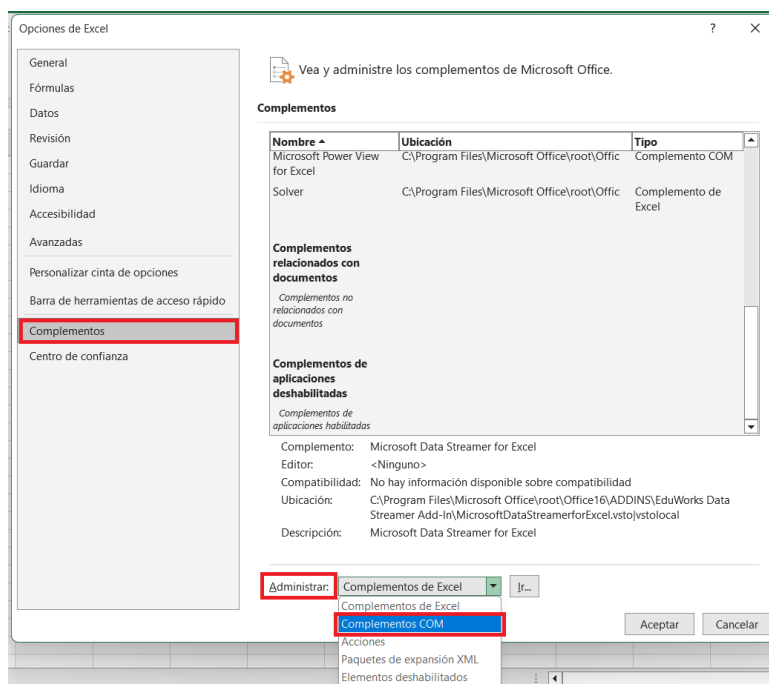


Figura 46: Pestaña “Opciones de Excel” de Excel.

Aparece una pestaña de “Complementos COM” donde se marca con un “✓” la opción de “Microsoft Data Streamer for Excel”. Es normal que aparezcan algunas opciones ya marcadas, no es necesario desmarcarlas.

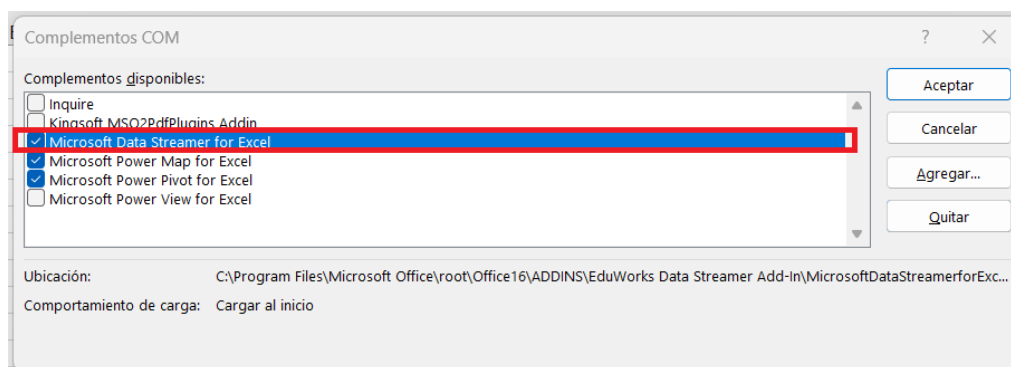


Figura 47: Pestaña “Complementos COM” de Excel.

Se hace “click” en el botón de “Aceptar”. Para comprobar la correcta incorporación de esta herramienta, en la pestaña principal de Excel nos debe aparecer un nuevo menú denominado “Transmisor de datos”.

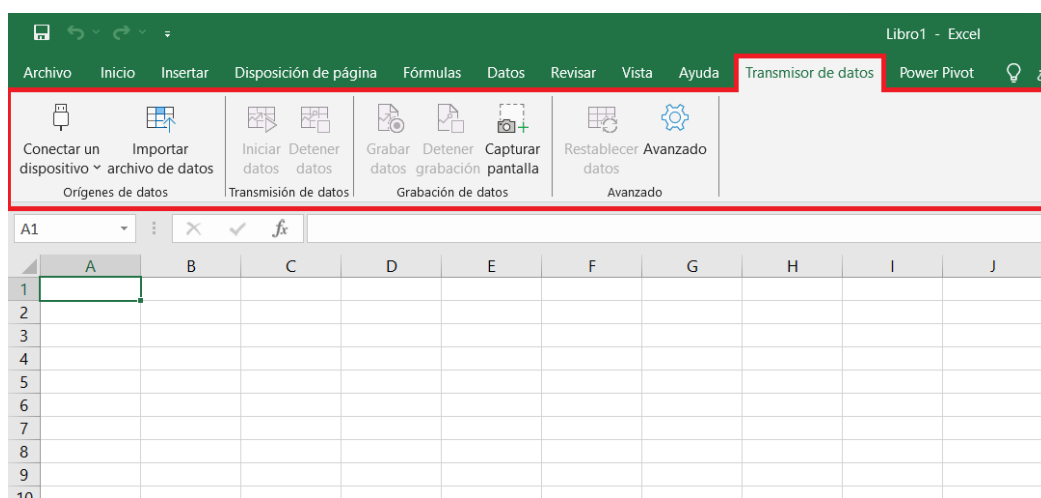


Figura 48: Selección del menú “Transmisor de datos” de Excel.

6. CONTROL MEDIANTE ORDENADOR PERSONAL.

El primer paso es conectar el dispositivo emisor de datos (ESP32-WROOM 32) con el receptor de datos (ordenador). Estando conectado el cable tipo C - USB, se abre el desplegable “Conectar un dispositivo” y se selecciona el puerto COM con el que se ha establecido la conexión con la ESP32, puerto “COM4” para el ordenador del sistema de transmisión y base de datos de la instalación.

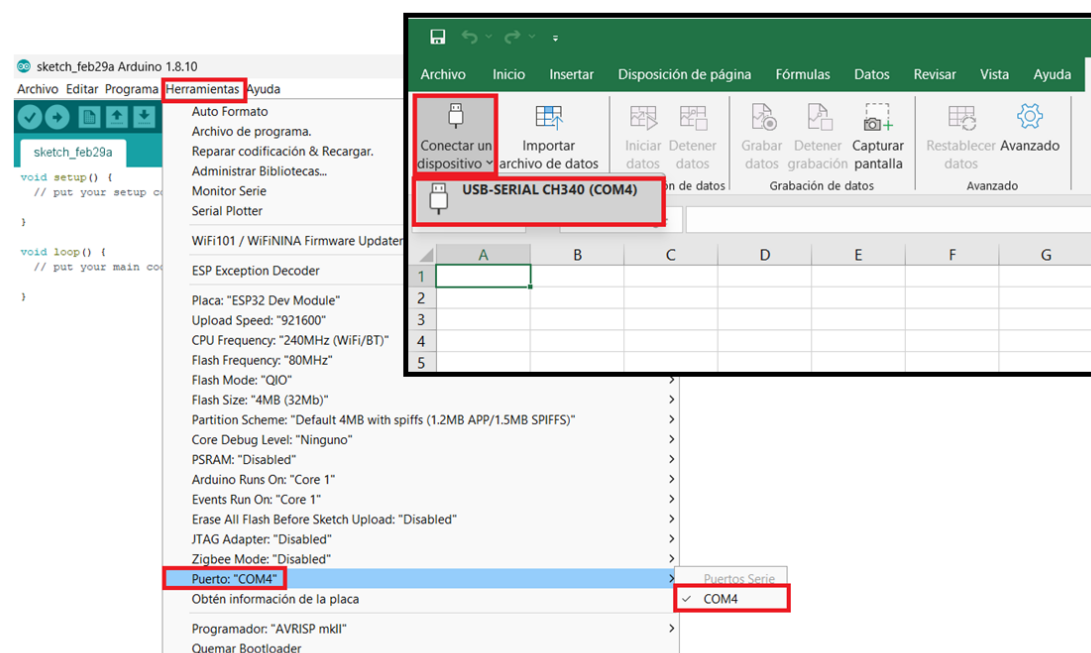


Figura 49: Selección del “Puerto COM4” en Arduino IDE y Excel.

Seleccionado el puerto COM, se transforma la plantilla típica de Excel a una plantilla predeterminada por el “Transmisor de datos” que incluye cuatro hojas, una hoja para la “Entrada de datos”, otra para la “Salida de datos”, otra para la “Configuración” y, la última, para el “Manifiesto”.

La hoja de “**Entrada de datos**” es donde se almacenan todos los datos recibidos por el Arduino. Se divide en dos apartados: un apartado de “Datos actuales” donde se registran los nuevos valores enviados por el Arduino y otro apartado de “Información histórica” donde se van almacenando todos los datos que se han obtenido del Arduino durante un periodo de tiempo.

Los datos se registran en las columnas “CH1”, “CH2”, etc junto con la hora de registro en la columna “TIME”, lo que permite conocer en que momento del tiempo ha ocurrido alguna desviación en los mismos. El registro de los datos en las columnas tipo CH es directo mediante el uso del comando “Serial.print()” para mostrar por el monitor

serie de Arduino IDE. Es decir, los valores de la primera variable que se muestre por el monitor serie con este comando se almacenarán en la columna CH1, los valores de la segunda variable que se muestre por el monitor serie con este comando se almacenará en la columna CH2, etc.

Los datos almacenados en el histórico pueden ser exportados en un archivo “.csv”, formato de gran utilidad en el mundo de tratamiento de datos.

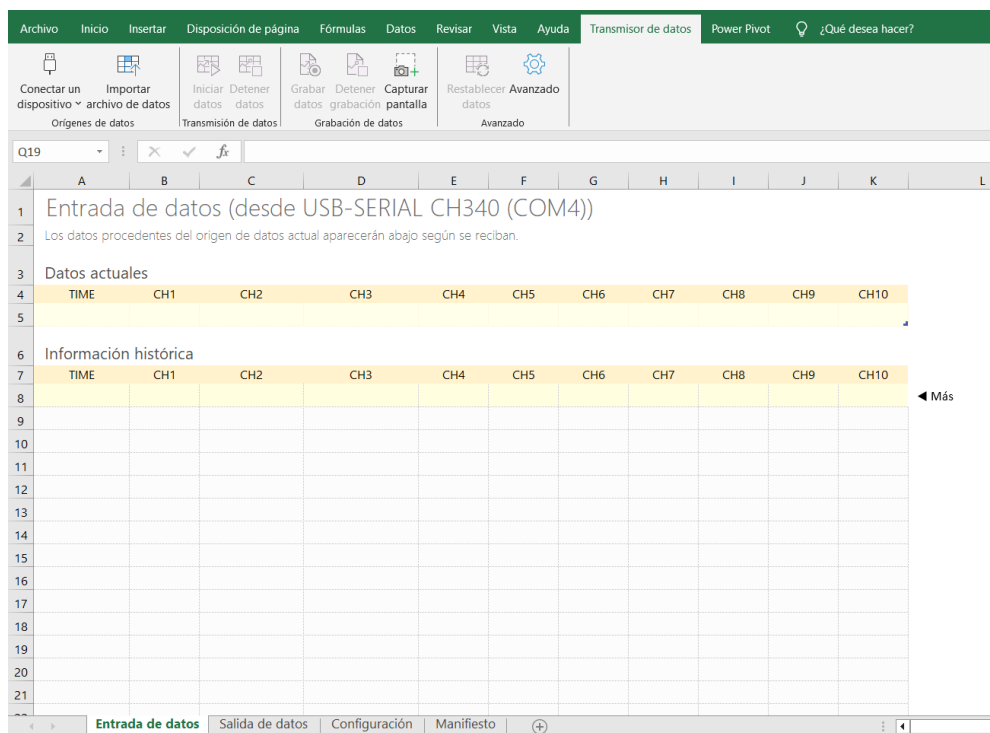


Figura 50: Hoja “Entrada de datos” de la herramienta “Transmisor de datos” de Excel.

La hoja de “**Salida de datos**” permite el envío de datos desde el ordenador hasta el ESP32-WROOM 32. Esta comunicación invertida completa la comunicación bidireccional de datos. Esta pestaña puede llegar a tener grandes utilidades, pero no se utiliza en nuestro sistema de transmisión y almacenamiento de datos puesto que solo se va a utilizar Excel para el registro de datos.

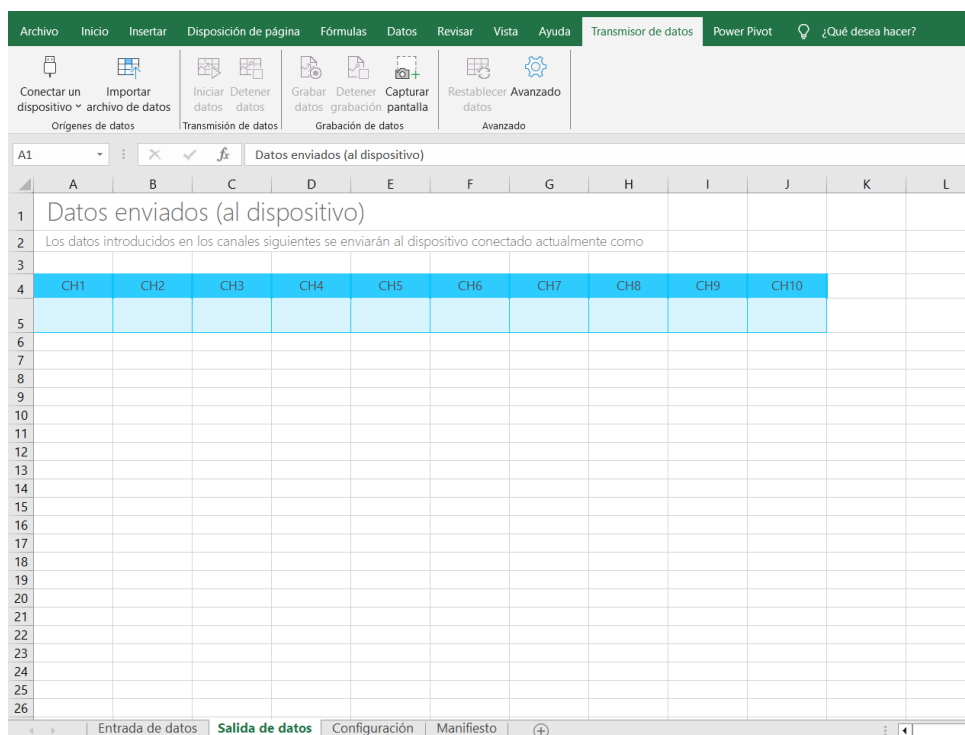


Figura 51: Hoja “Salida de datos” de la herramienta “Transmisor de datos” de Excel.

La hoja de “**Configuración**” permite configurar tanto la lectura como el envío de los datos de las hojas de entrada y salida de datos. Se pueden modificar cuatros parámetros principales:

- **Intervalo de datos**, es el tiempo de lectura y registro de los datos obtenidos desde el Arduino IDE en milisegundos (entre 10 y 1.000ms).
- **Filas de datos**, es el número de filas de datos de los que se quiere almacenar información (entre 1 y 1.000.000 de filas).
- **Canales de datos**, es el número de columnas de variables que se quiere leer (entre 1 y 1.000 columnas)
- **Orientación de los datos**, indica el lado de la hoja de datos empieza a registrar los datos de las variables (“El más reciente primero” o “El más reciente al final”).

Esta hoja es la que nos permite definir nuestro sistema de adquisición, transmisión y base de datos puesto que permite modificar la cantidad de datos, el intervalo entre medidas y el orden de registro en cada ensayo. Es decir, permite adaptar estos valores para poder registrar información durante una hora, un día o una semana de la potencia generada por el generador eólico.

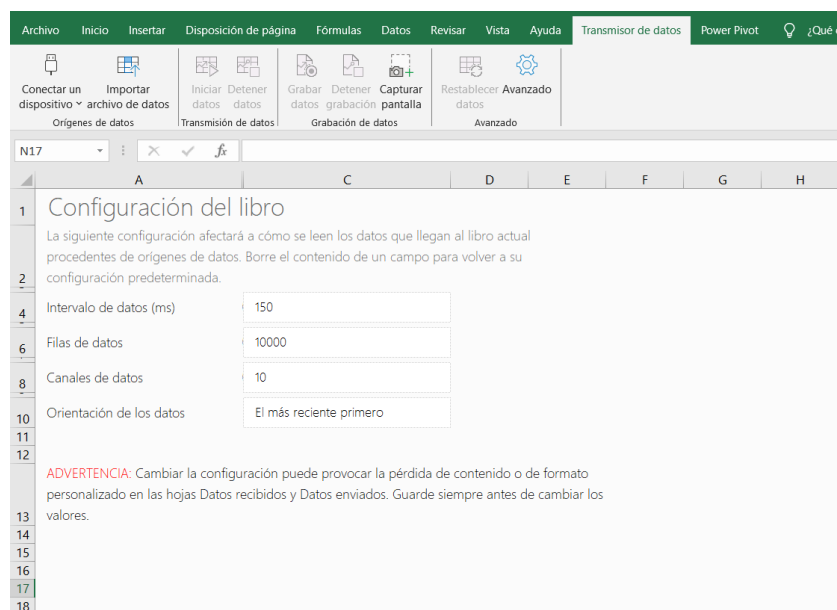


Figura 52: Hoja “Configuración” de la herramienta “Transmisor de datos” de Excel.

La hoja de “Manifiesto” permite configurar parámetros del dispositivo como el nombre del mismo o la velocidad en baudios cuyo valor debe coincidir con la utilizada en el código y en el monitor serie.

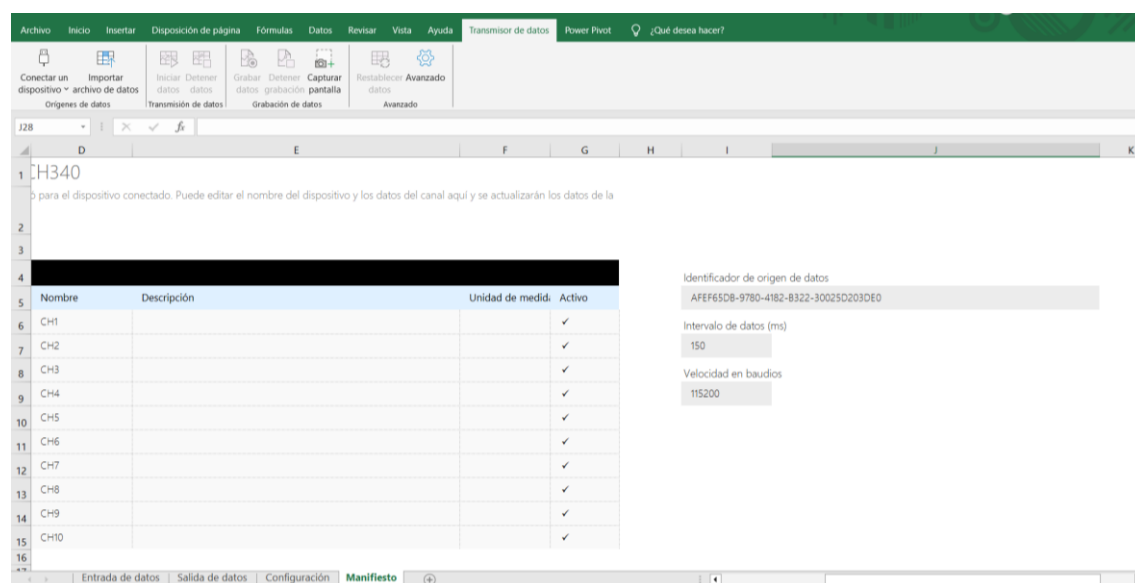


Figura 53: Hoja “Manifiesto” de la herramienta “Transmisor de datos” de Excel.

Terminada la configuración de la entrada de datos del transmisor de datos de Excel, se inicia la entrada de datos haciendo “click” en el botón de “Iniciar datos” de la pestaña de “Transmisor de datos”. Los datos se registran en la hoja “Entrada de datos”

como se ha explicado anteriormente. Para parar la entrada de datos se hace “click” en el botón “Detener datos” de la pestaña de “Transmisor de datos”.

La hoja de “**Representación de Datos**” es la interfaz donde se representan todos los datos almacenados de las medidas, esta representación es en tiempo real. Esta pestaña representa un total de nueve variables, tres variables de la medida de corriente continua (tensión, corriente y potencia) y seis variables de corriente alterna (tensión, corriente, potencia activa, potencia reactiva, frecuencia y factor de potencia).

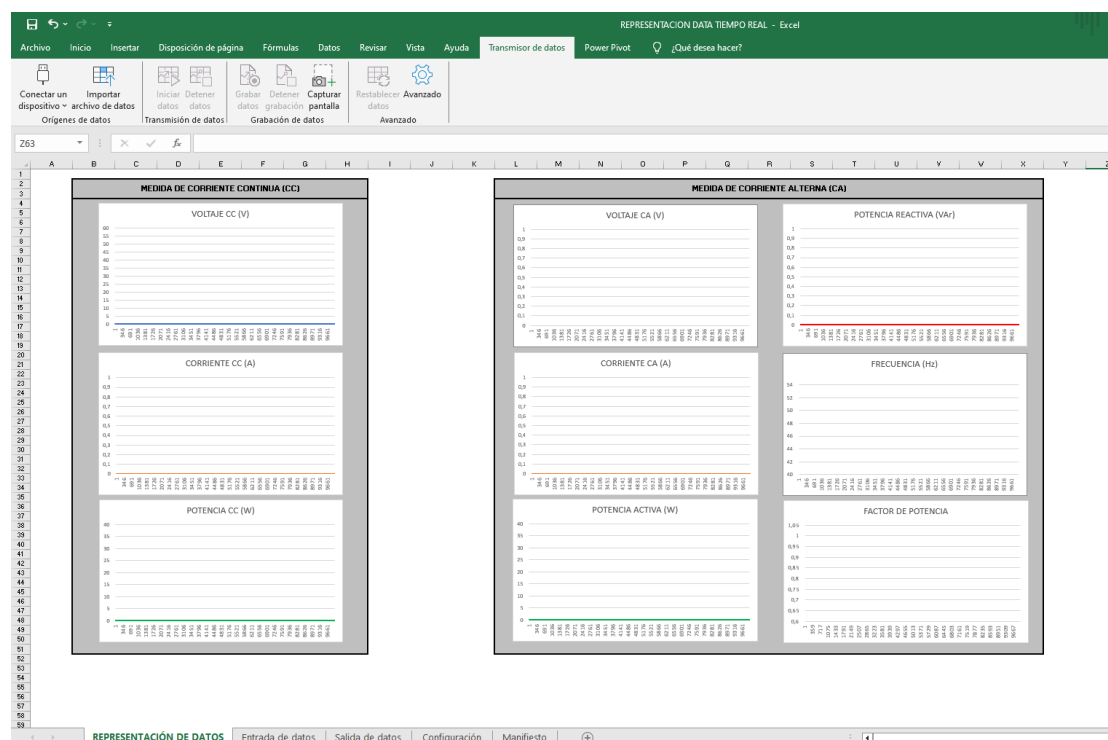


Figura 54: Hoja “Representación de datos” de la herramienta “Transmisor de datos” de Excel.

7. ENSAYOS Y PRUEBAS DEL SISTEMA COMPLETO.

Debido a una baja intensidad del viento en la zona de la Universidad de Jaén durante los últimos meses, zona donde se encuentra instalada el generador eólico, se ha decido realizar una simulación de la generación del molino eólico.

La simulación del generador eólico se llevará a cabo mediante el uso de una máquina síncrona trifásica conectada mecánicamente a una máquina en derivación de corriente continua la cual proporcionará el giro mecánico. Las características de la máquina en derivación de corriente continua son:



Figura 55: Máquina en derivación de corriente continua de la simulación.

Las características de la máquina síncrona trifásica son:



Figura 56: Máquina síncrona trifásica de rotor de núcleo de la simulación.

La máquina en derivación se alimenta con una fuente de alimentación de corriente continua, generando el giro mecánico que se transmite a la máquina síncrona trifásica mediante el conexionado mecánico de sus ejes. La conexión mecánica es la siguiente:



Figura 57: Conexión mecánica de los ejes de la simulación.

La máquina síncrona trifásica necesita estar excitada por una corriente continua para empezar con la generación de corriente alterna que simulará a la proporcionada por el generador eólico. Esta excitación se llevará a cabo mediante una excitatriz variable de corriente alterna alimentada de la red eléctrica, que se transforma en corriente continua mediante el uso de un puente rectificador de diodos. La generación trifásica es directamente proporcional a la excitación recibida en el rotor, es decir, una mayor excitación en el rotor del generador, genera mayores valores de tensión en la generación trifásica.

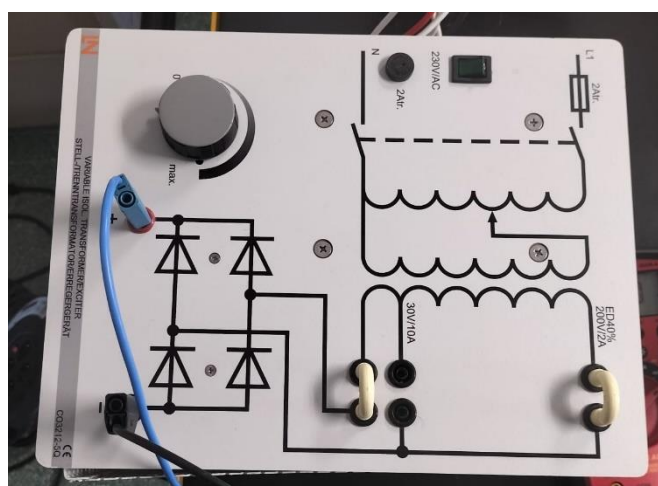


Figura 58: Puente rectificador de diodos de la simulación.

La salida del generador se conecta con un transformador trifásico reductor que permite proteger el controlador del generador para no superar sus valores límites. Las conexiones de ambos devanados se encuentran conectados en triángulo.

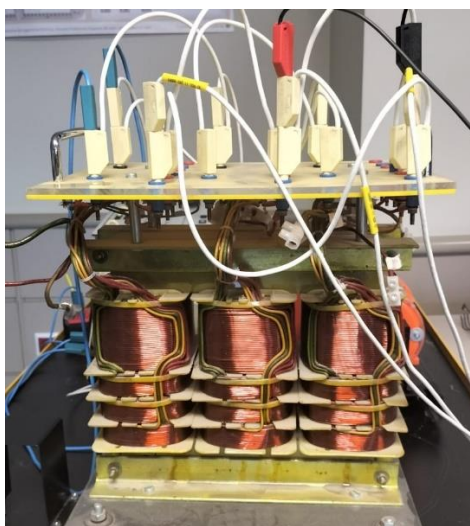


Figura 59: Transformador reductor trifásico de la simulación.

Del devanado secundario del transformador trifásico salen las tres fases que simulan el generador eólico, y que se conectan directamente al controlador del generador en los bornes de “wind”. La medida de la tensión (AC) se realizará entre las fases del transformador, mientras que la medida de la corriente (AC) se realizará de una fase. Esto implica una corrección del factor de potencia y de la potencia obtenidos directamente por el módulo PZEM004t.

Las medidas se tomarán en función de distintos valores de giro del motor para simular los distintos valores de viento a los que podría estar sometido el generador eólico. Los valores de giro serán: 1260 rpm, 1370 rpm y 1440 rpm. Para cada velocidad de giro, se variará una resistencia variable que se podrá regular para simular las diferentes cargas que se podrían llegar a conectar al lado de corriente continua del controlador.

Las cargas varían de mayor a menor desde los 1050 Ω , 750 Ω , 435 Ω , 300 Ω , , 213 Ω , 150 Ω hasta 123 Ω . En la escala del tiempo de las gráficas, el 1 hace referencia al último valor medido por lo que los valores cercanos a 1 corresponden con la carga de 123 Ω . Y los valores más grandes a la carga de 1050 Ω . Es decir, como el siguiente ejemplo:

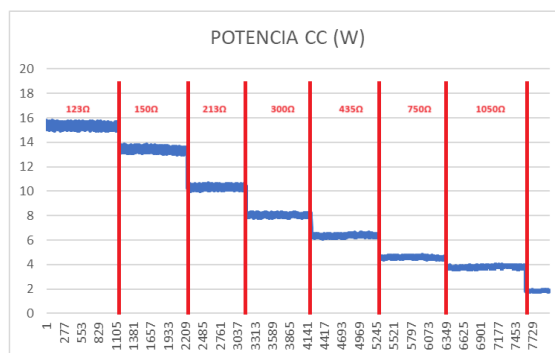
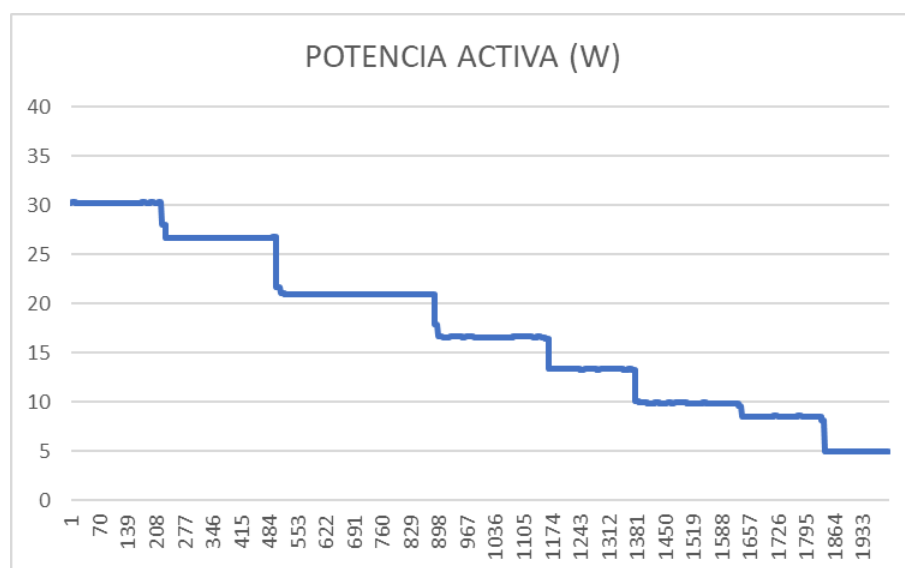
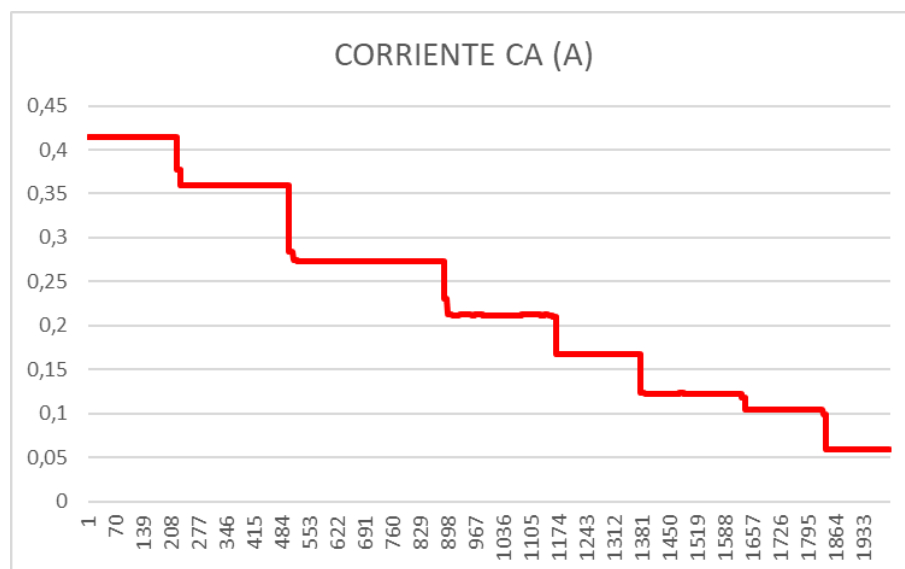
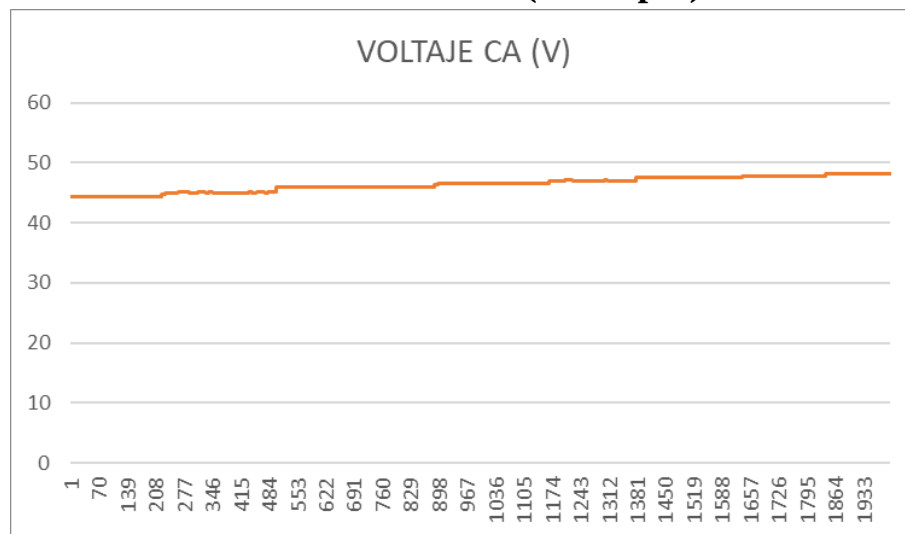
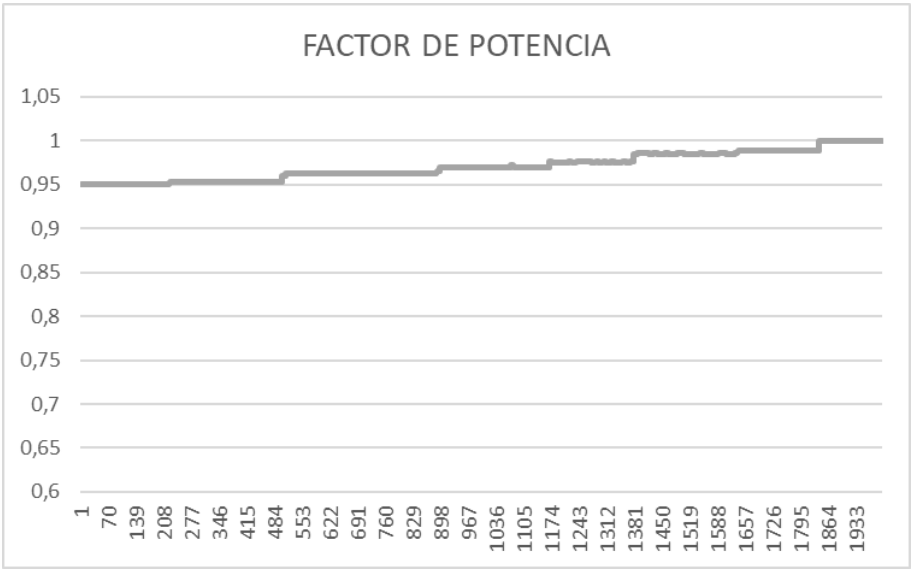
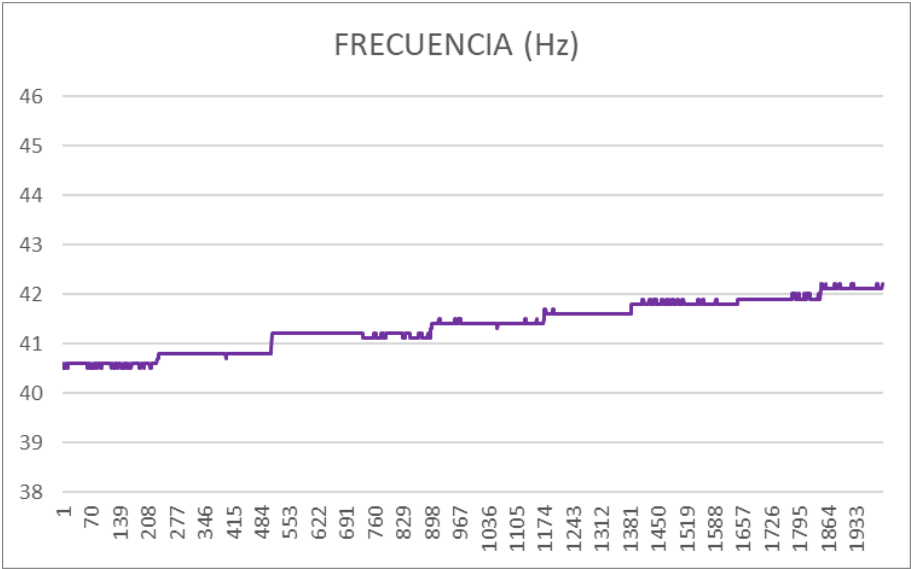
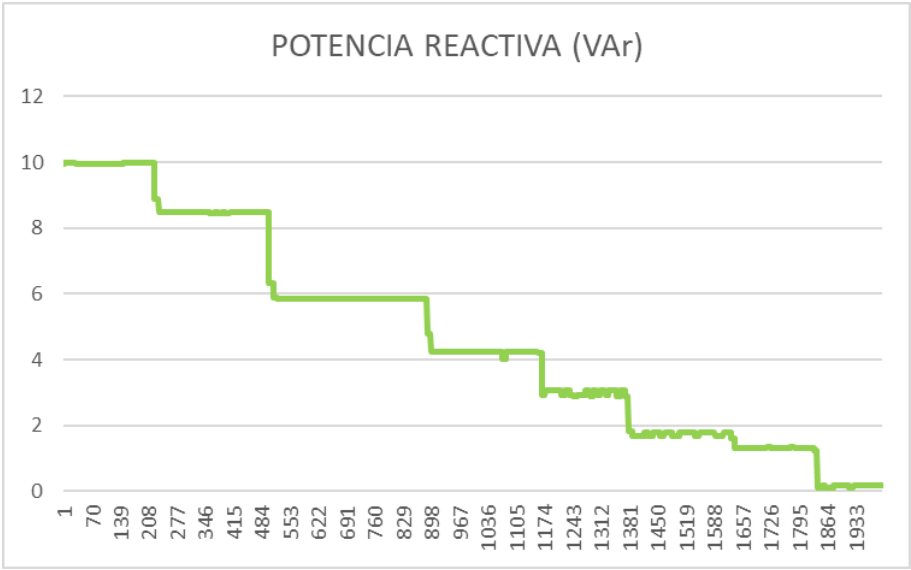
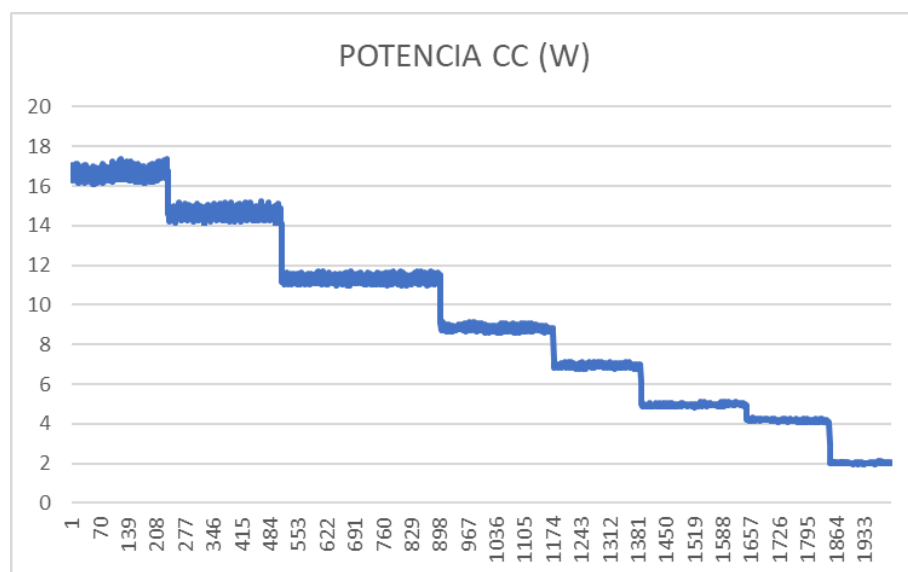
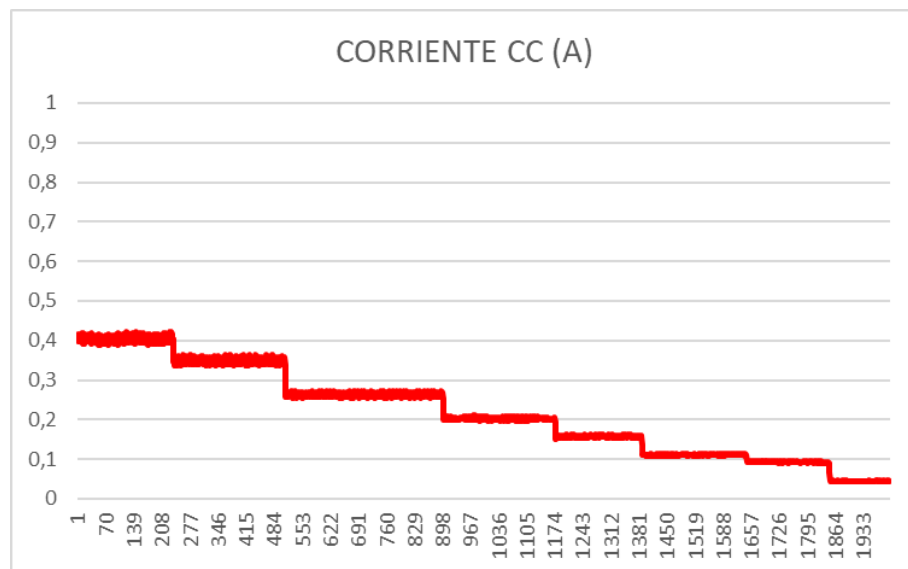
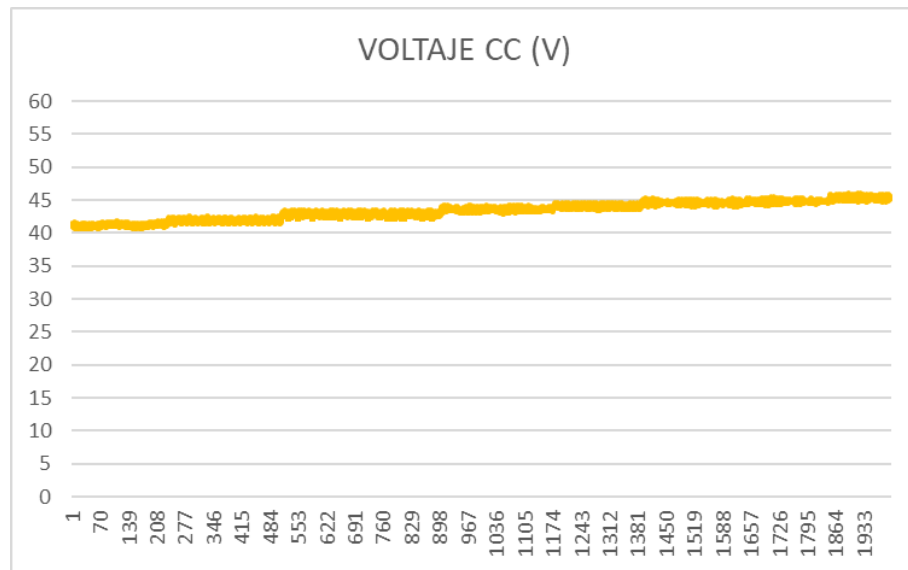
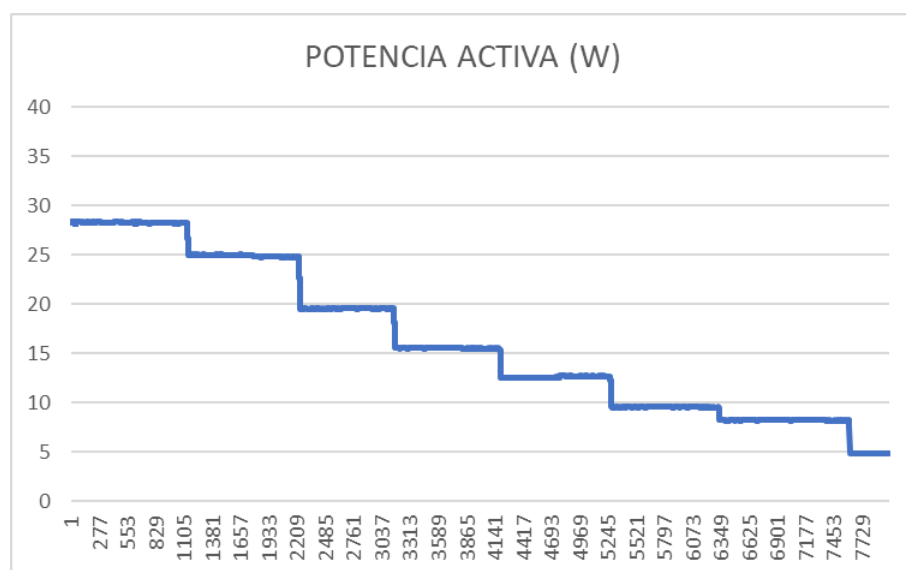
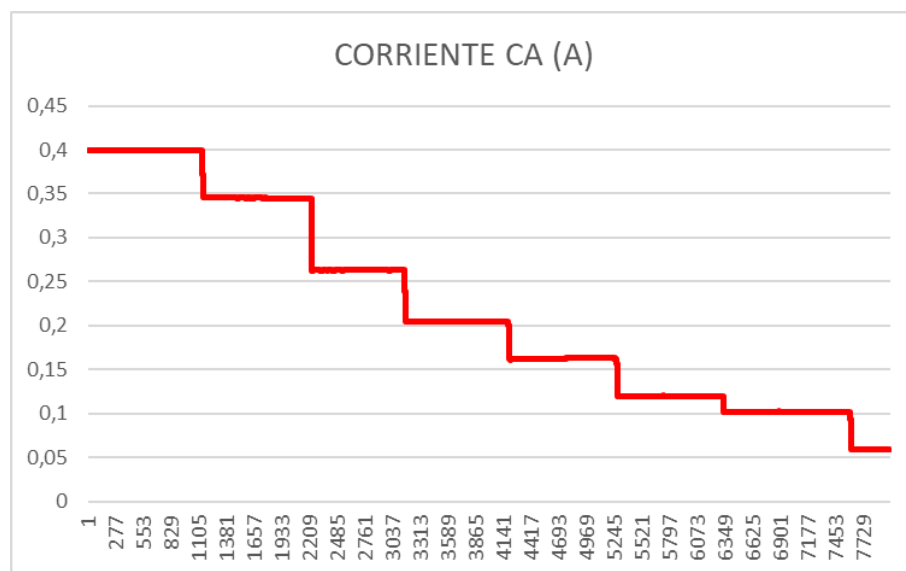
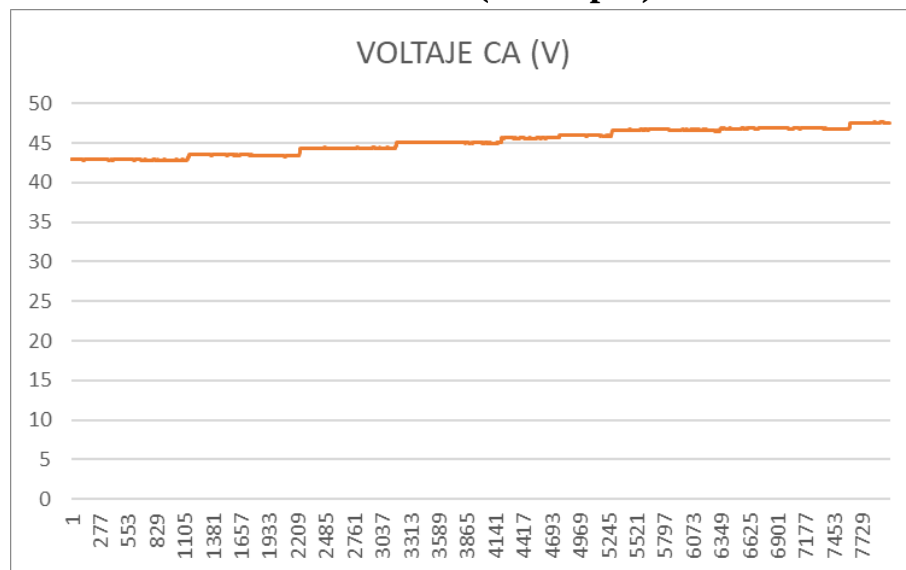


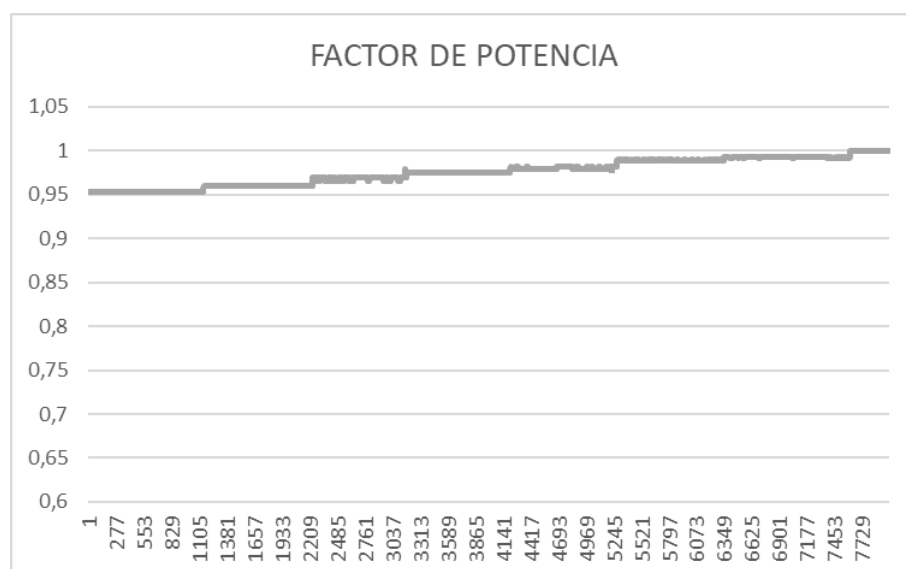
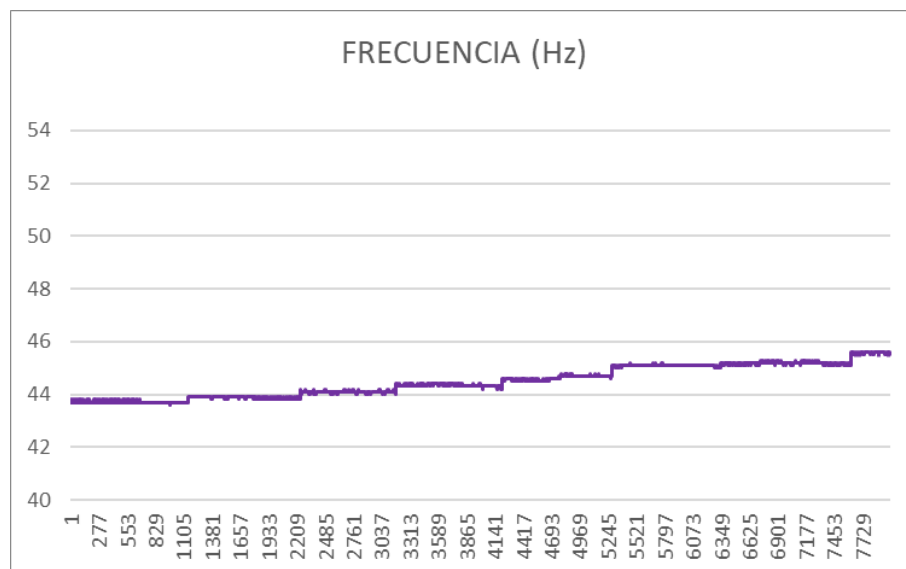
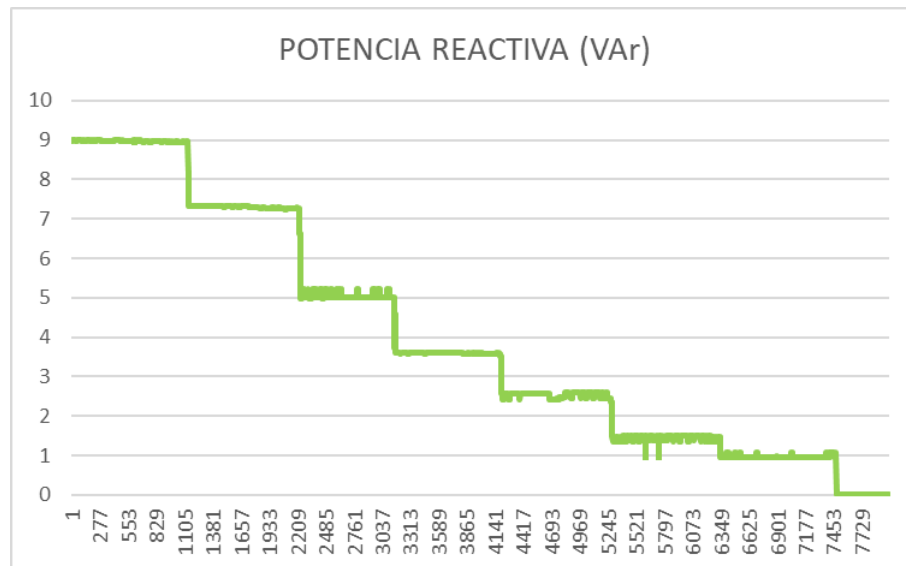
Figura 60: Representación de la variación de las cargas en las simulaciones.

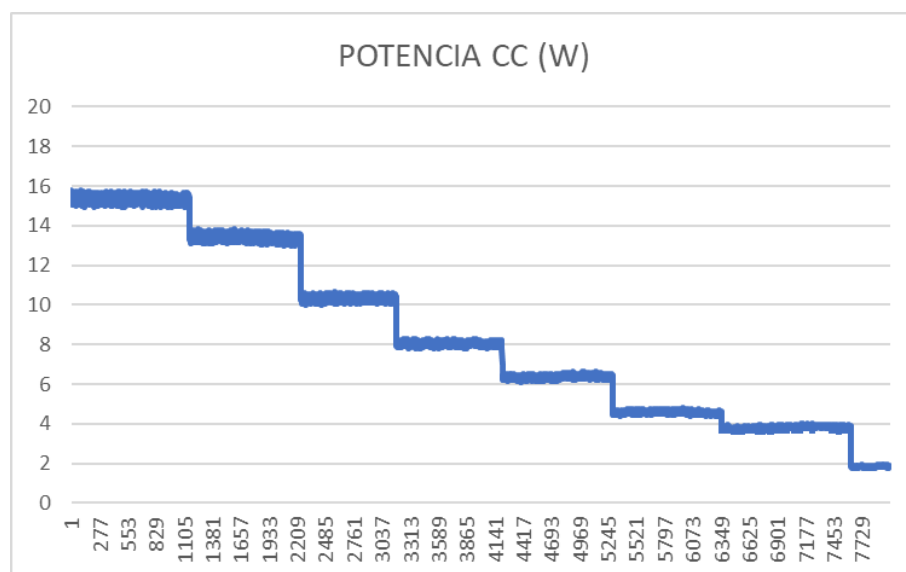
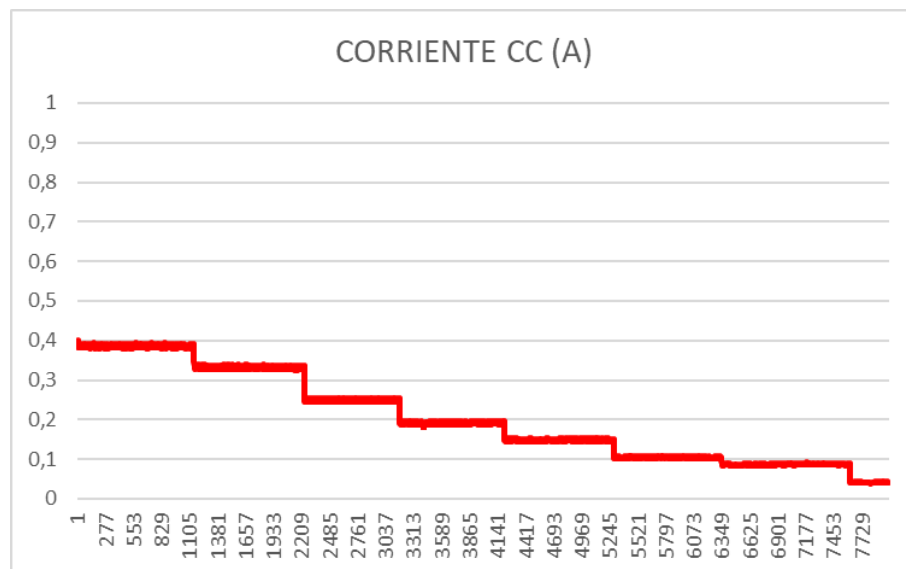
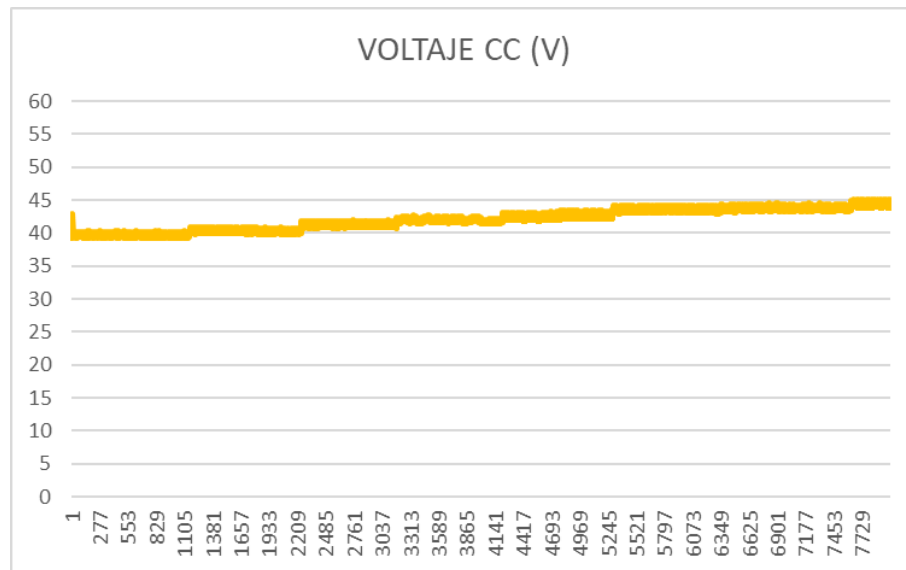
1º SIMULACIÓN (1260 rpm)

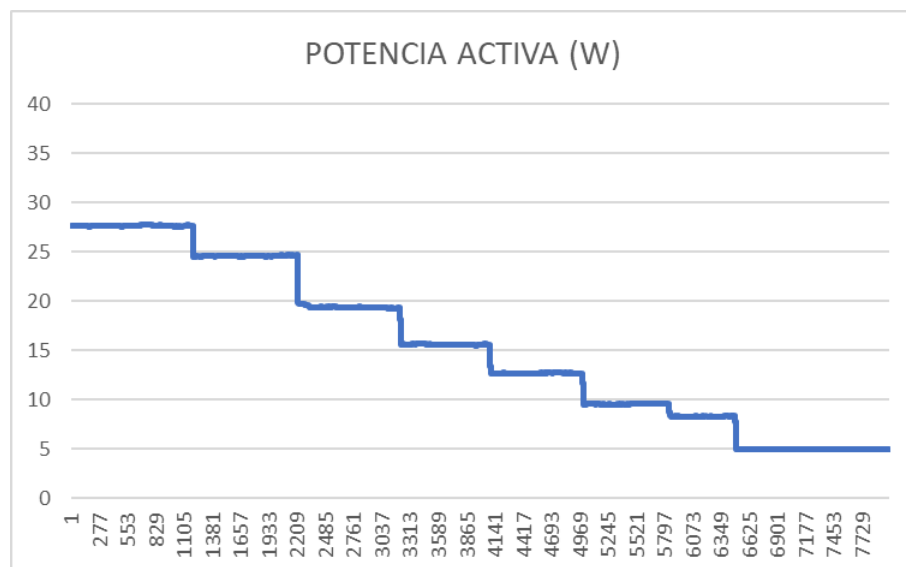
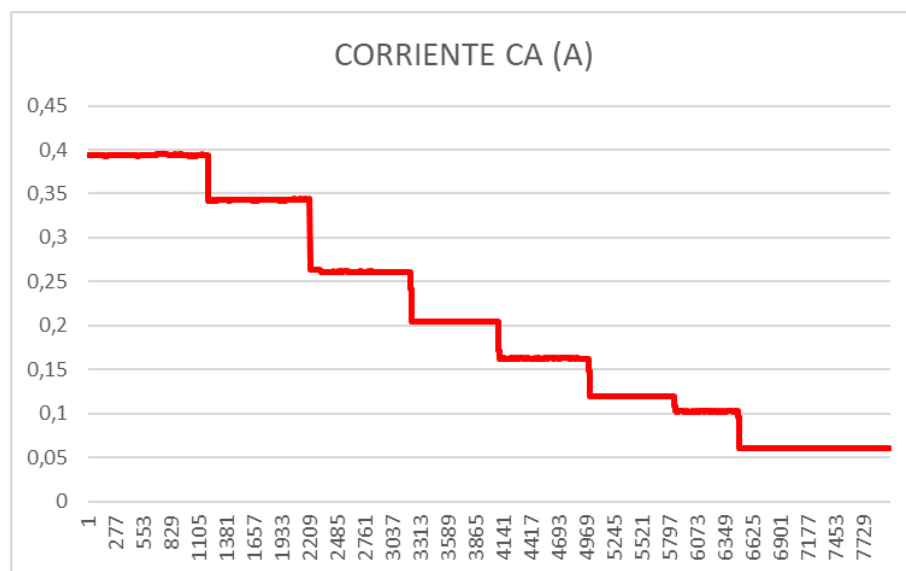
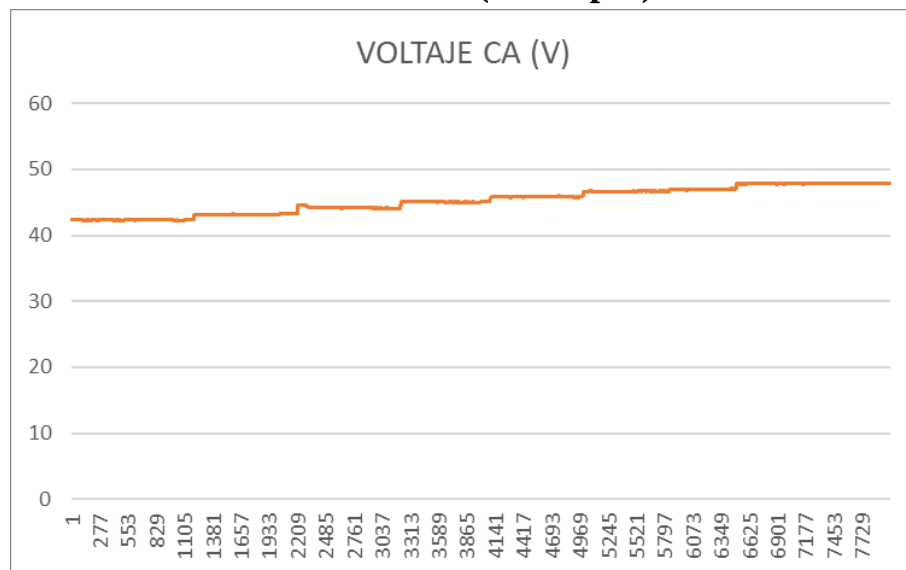


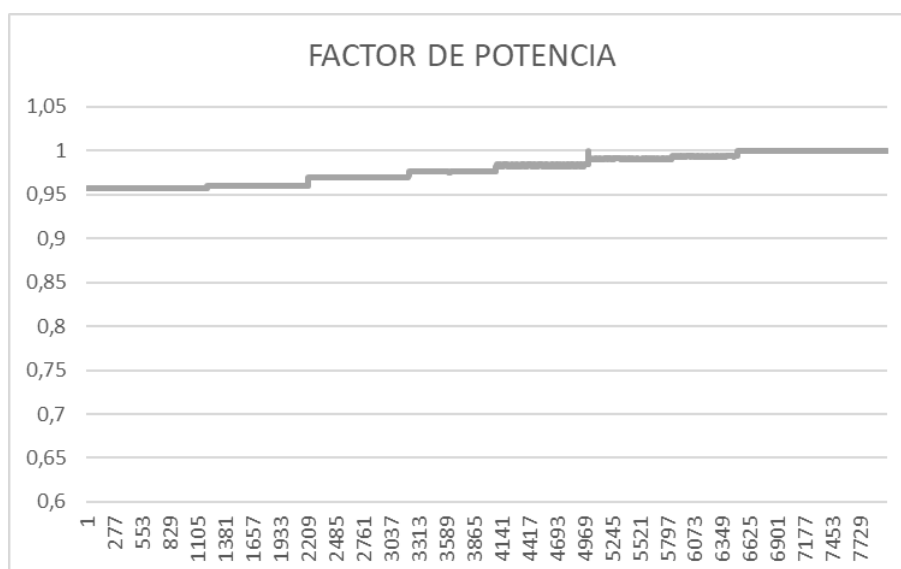
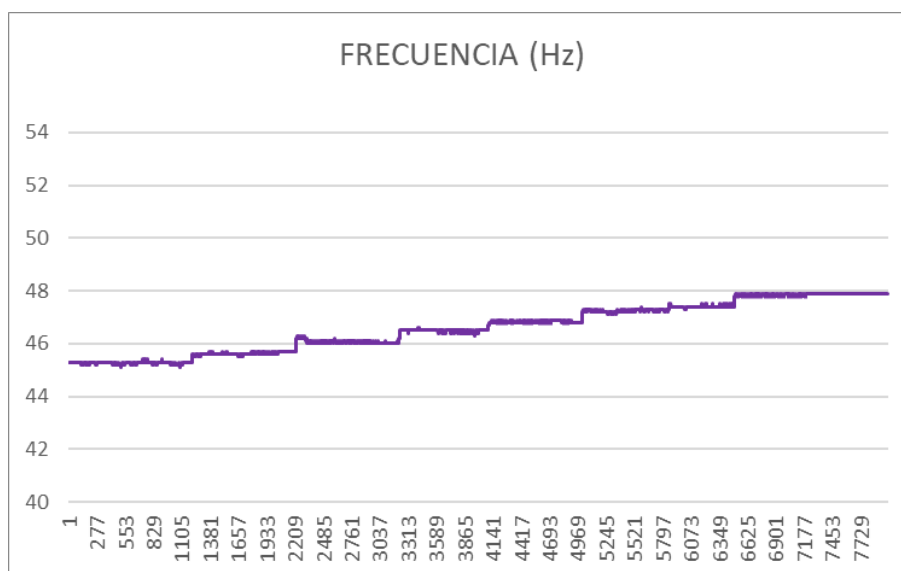
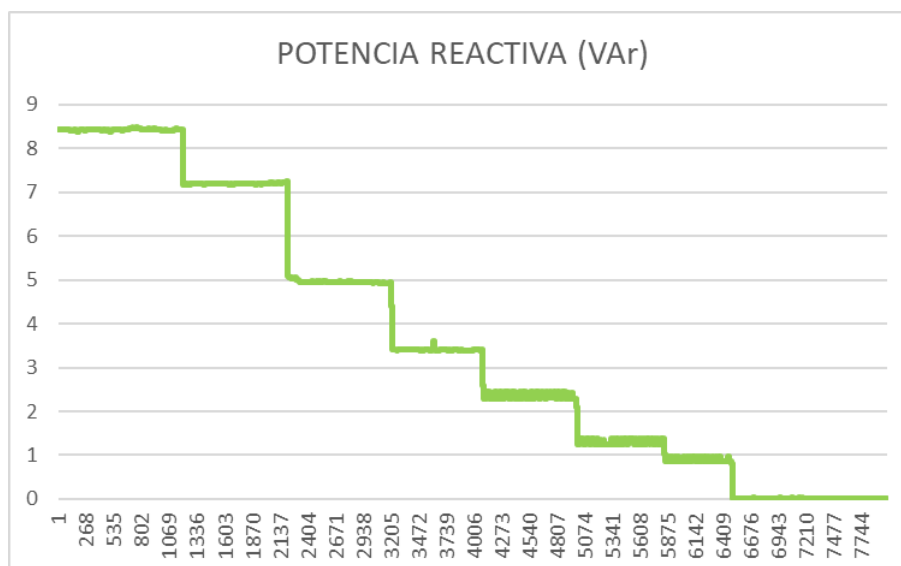


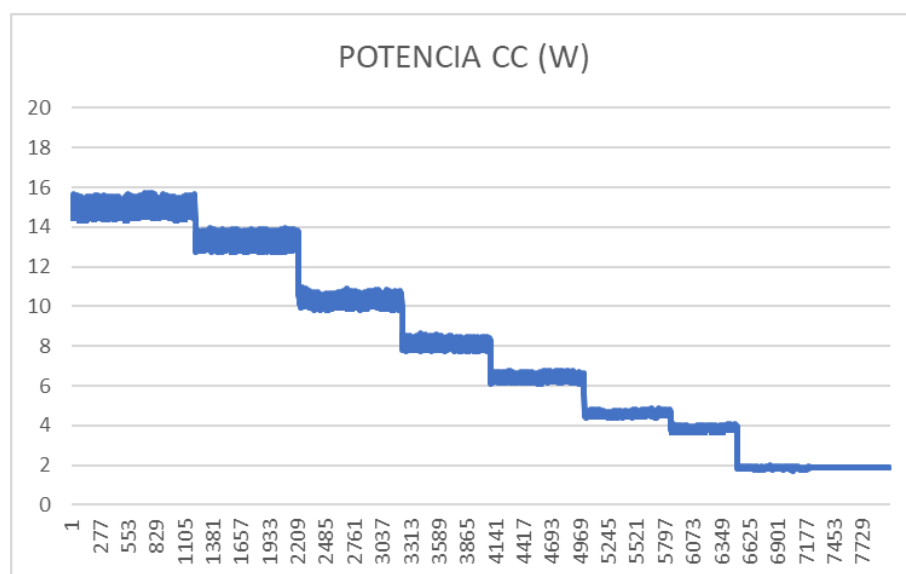
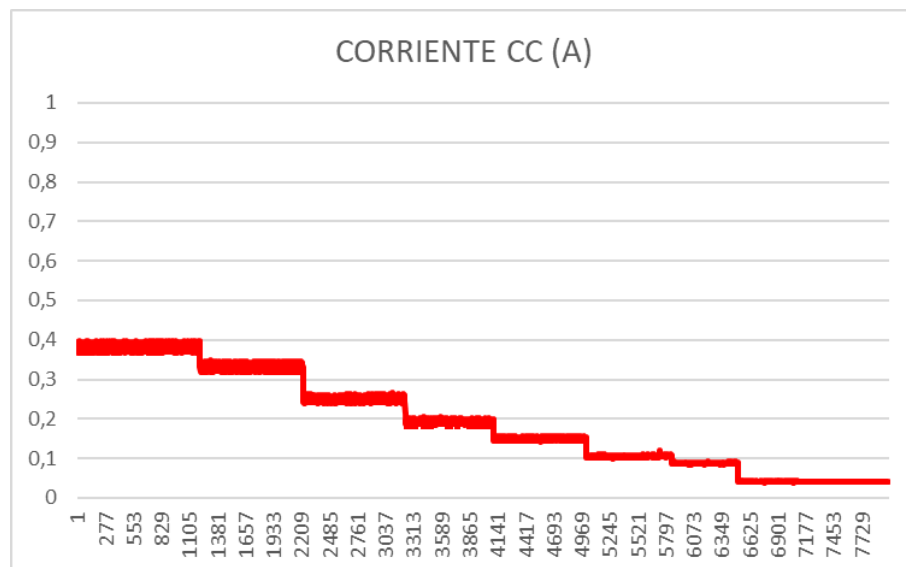
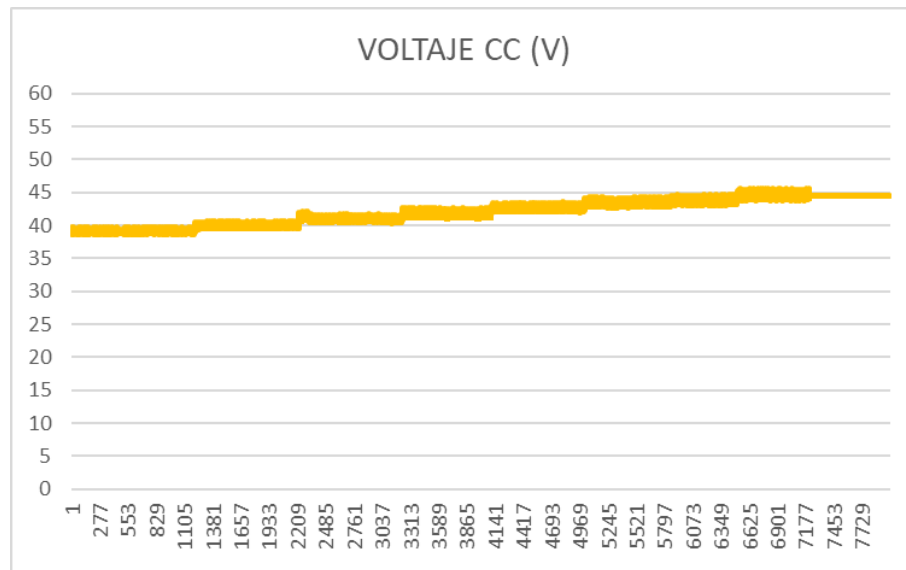
2º SIMULACIÓN (1370 rpm)





3º SIMULACIÓN (1440 rpm)





ANÁLISIS DE LAS SIMULACIONES

FRECUENCIA: La fórmula de la frecuencia depende de la velocidad del viento, o del giro de la aspas en su defecto, y del número de polos de la máquina:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}$$

Donde:

n – Velocidad de rotación (rpm)

f – Frecuencia de la red eléctrica (Hz)

p – Número de pares de polos de la máquina síncrona

La frecuencia es directamente proporcional a la velocidad de giro del eje del alternador. Puesto que la maquina síncrona que estamos utilizando como generador tiene 50 Hz a una velocidad nominal de 1.500 rpm, la frecuencia es menor de 50 Hz para valores de velocidad menores a 1.500 rpm y es mayor de 50 Hz para valores de velocidad mayores a 1.500 rpm. Esto es fácilmente observable en las simulaciones realizadas:

- 1260 rpm – 42 a 40,5 Hz
- 1370 rpm – 46 a 44 Hz
- 1440 rpm – 48 a 45,5 Hz

VOLTAJE AC: La tensión o f.e.m. generada por la máquina síncrona cumple la ley de Faraday:

$$V_{\varepsilon} = -N \frac{\partial \Phi_B}{\partial t}$$

Donde:

V_{ε} - Tensión inducida (V)

$\frac{\partial \Phi_B}{\partial t}$ - Tasa de variación temporal del flujo magnético en una espira.

N - N.º de espiras

La tensión de corriente alterna es directamente proporcional a la variación temporal del flujo magnético, lo que significa que para menores valores de velocidad de giro del generador eólico se obtendrán menores valores de tensión generados. Esto en las simulaciones ha sido “corregido” mediante un aumento del campo magnético del generador para mantener una tensión de salida constante en todas las simulaciones.

Está tensión sí que cambia en función de la carga conectada como se aprecia en las gráficas de la simulación. Al conectar la carga se produce una reducción en la tensión de salida del generador debida a la aparición de una corriente en el inducido

que provoca una caída de tensión en este circuito a la par que produce una f.m.m. que reacciona con la del inductor modificando el flujo del entrehierro de la máquina. Es decir, a menor impedancia de carga menor es la tensión generada por el generador.

CORRIENTE AC: La “Ley de Ohm” relaciona la tensión y la impedancia con la corriente:

$$I = \frac{V}{R}$$

Donde:

V - Tensión (V)

I – Corriente eléctrica (A)

R – Resistencia eléctrica (Ω)

Puesto que la corriente de corriente es directamente proporcional a la tensión e inversamente proporcional a la carga conectada, a menor impedancia mayor es la corriente generada por el generador. Esto también se puede observar fácilmente en las gráficas obtenidas en las simulaciones.

POTENCIA ACTIVA AC: La potencia es la relación de multiplicación entre la tensión y la intensidad. Haciendo uso de la “Ley de Ohm” la potencia puede obtenerse de las siguientes formas:

$$P = V \cdot I$$

$$P = \frac{V^2}{R}$$

Donde:

V - Tensión (V)

P – Potencia eléctrica (W)

R – Resistencia eléctrica (Ω)

La potencia activa de corriente alterna es directamente proporcional a la tensión de generación e inversamente proporcional a la carga conectada. Anteriormente se ha comentado que la tensión generada se ve reducida por la introducción de una carga, lo que debería de traducirse en una reducción de la potencia. Sin embargo, la potencia crece a medida que la carga se hace menos resistiva. Esto es debido a que la variación de la tensión es menor que el aumento de corriente producido porque la tensión se encuentra elevada al cuadrado.

POTENCIA REACTIVA AC: La potencia reactiva es inversamente proporcional a la impedancia de la carga conectada, a mayor impedancia mayor es la carga resistiva del sistema por lo que la potencia reactiva tiende a ser cero.

fdp: El factor de potencia es la función coseno de la potencia de corriente alterna, lo que le hace directamente proporcional a la potencia activa e inversamente proporcional a la potencia reactiva. Esto se traduce a que es directamente proporcional a la impedancia, para cargas puramente resistivas el factor de potencia tiende a ser la unidad.

En el caso de la parte de continua ocurre exactamente igual que en la parte de corriente alterna:

VOLTAJE CC: La tensión de corriente continua es directamente proporcional a la impedancia de carga conectada, a mayor impedancia mayor es la tensión demandada por la carga.

CORRIENTE CC: La corriente de corriente continua es inversamente proporcional a la impedancia de carga conectada, a mayor impedancia menor es la corriente demanda por la carga.

POTENCIA CC: La potencia de corriente continua es inversamente proporcional a la carga conectada, a mayor impedancia de carga mayor es la potencia demandada al generador. En este caso, los valores de potencia son relativamente inferiores por las pérdidas de potencia del sistema, principalmente en forma de calor.

$$P_{AC} = P_{perdidas} + P_{CC}$$

8. CONCLUSIONES.

PROS

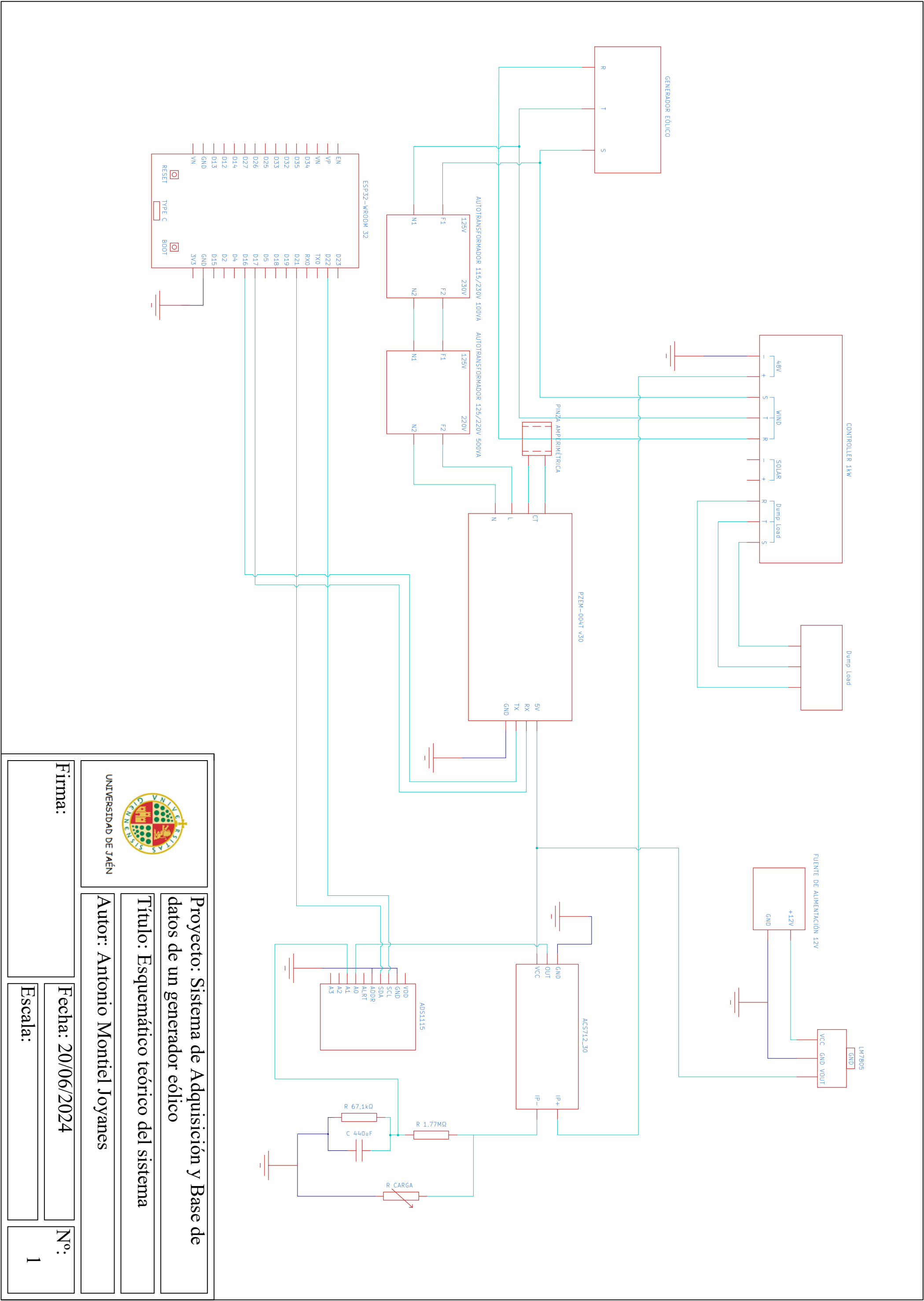
- La mayor cualidad del sistema es la gran facilidad de instalación y uso del mismo.
- El rango de medida de tensiones y corrientes está diseñado para valores muy amplios, lo que permite que pueda ser implementado en generadores de distintas magnitudes y potencias.
- Excel es la mejor herramienta para el tratamiento y análisis de datos, usarlo como base de datos permite tratar y analizar los datos de una manera directa, sencilla e inmediata. Además, permite el almacenamiento de los datos en formato “.csv”.
- El sistema registra la hora exacta de cada medida lo que permite conocer el momento exacto en el que se produzca alguna anomalía en la producción de energía para poder analizar la causa raíz de la misma.
- El sistema permite la modificación mediante Excel del intervalo de muestreo de las medidas para poder seleccionar la más adecuada en función del tipo de ensayo que se quiera relacionar.

CONTRAS

- El principal problema del sistema es la necesidad de estar “*in situ*” para poder realizar las mediciones. Esto podría solucionarse mediante una conexión a internet del módulo, un almacenamiento y representación de las mediciones en una base de datos de la nube que pueda ser visualizada desde cualquier dispositivo conectado a la red.
- La medición está limitada para valores de tensión bajos debido a las limitaciones de tensión del módulo PZEM004t. La implementación de dos autotransformadores que aumentan la tensión de medida para luego ser corregida por el código para resolver este problema supone un encarecimiento del precio y un aumento del espacio del montaje.
- El módulo PZEM004t elegido no posee una pinza amperimétrica, lo que implica la apertura obligatoria del circuito para introducir el anillo toroidal para la medida de la corriente de AC. Esto supone un problema en sistemas donde no pueden desconectarse de la red.
- El sistema prescinde de un sensor de medición de la velocidad y dirección del viento (Velea y anemómetro). Contar con este tipo de sensor permitiría la representación de la potencia respecto de la velocidad del viento, y ayudaría en la selección lugares futuros donde se podrían instalar más generadores eólicos.



PLANOS Y ESQUEMAS.



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Proyecto: Sistema de Adquisición y Base de
datos de un generador eólico

Título: Esquemático teórico del sistema

Autor: Antonio Montiel Joyanes

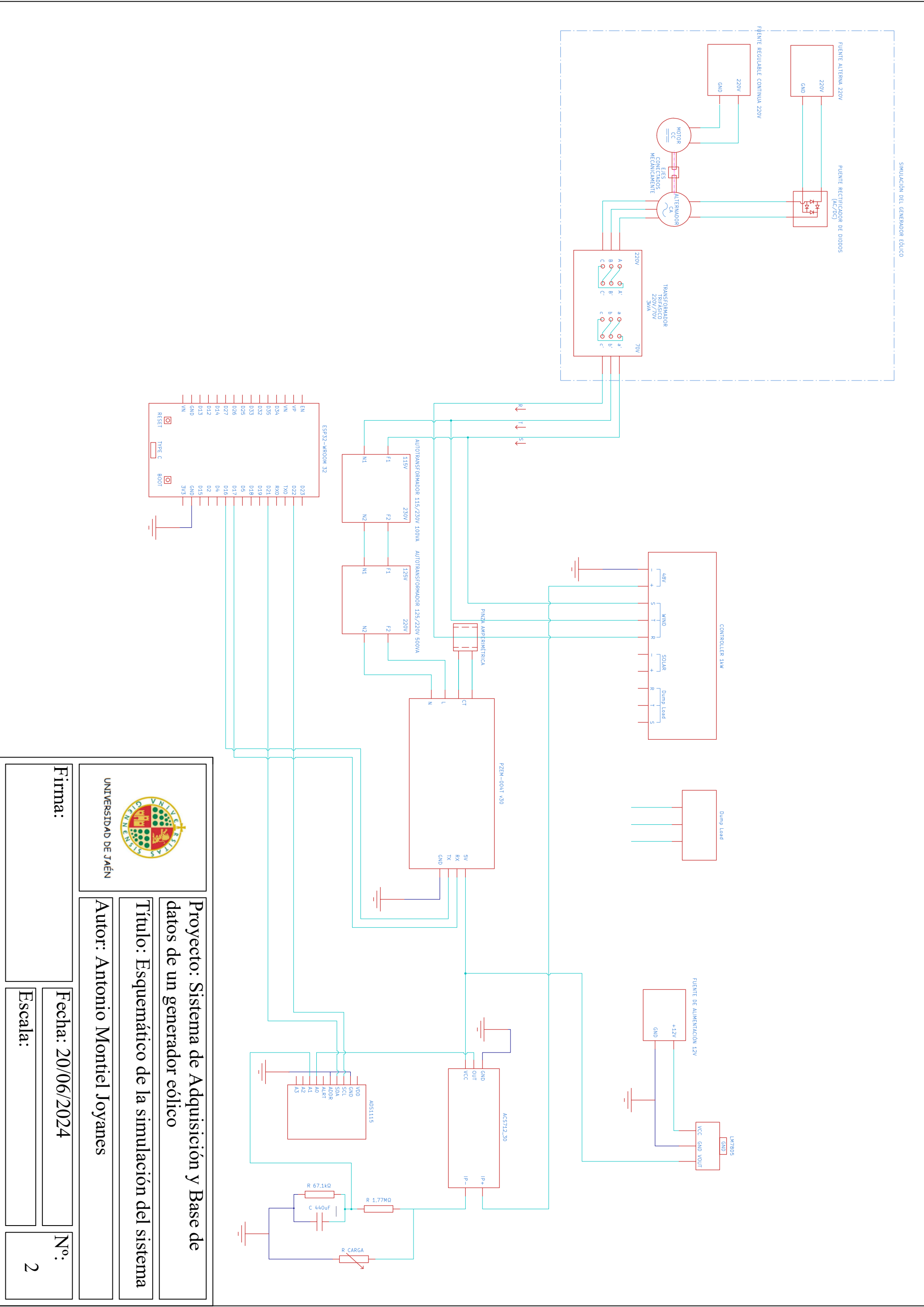
Firma:

Fecha: 20/06/2024

Nº:

Escala:

1



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Proyecto: Sistema de Adquisición y Base de datos de un generador eólico

Título: Esquemático de la simulación del sistema

Autor: Antonio Montiel Joyanes

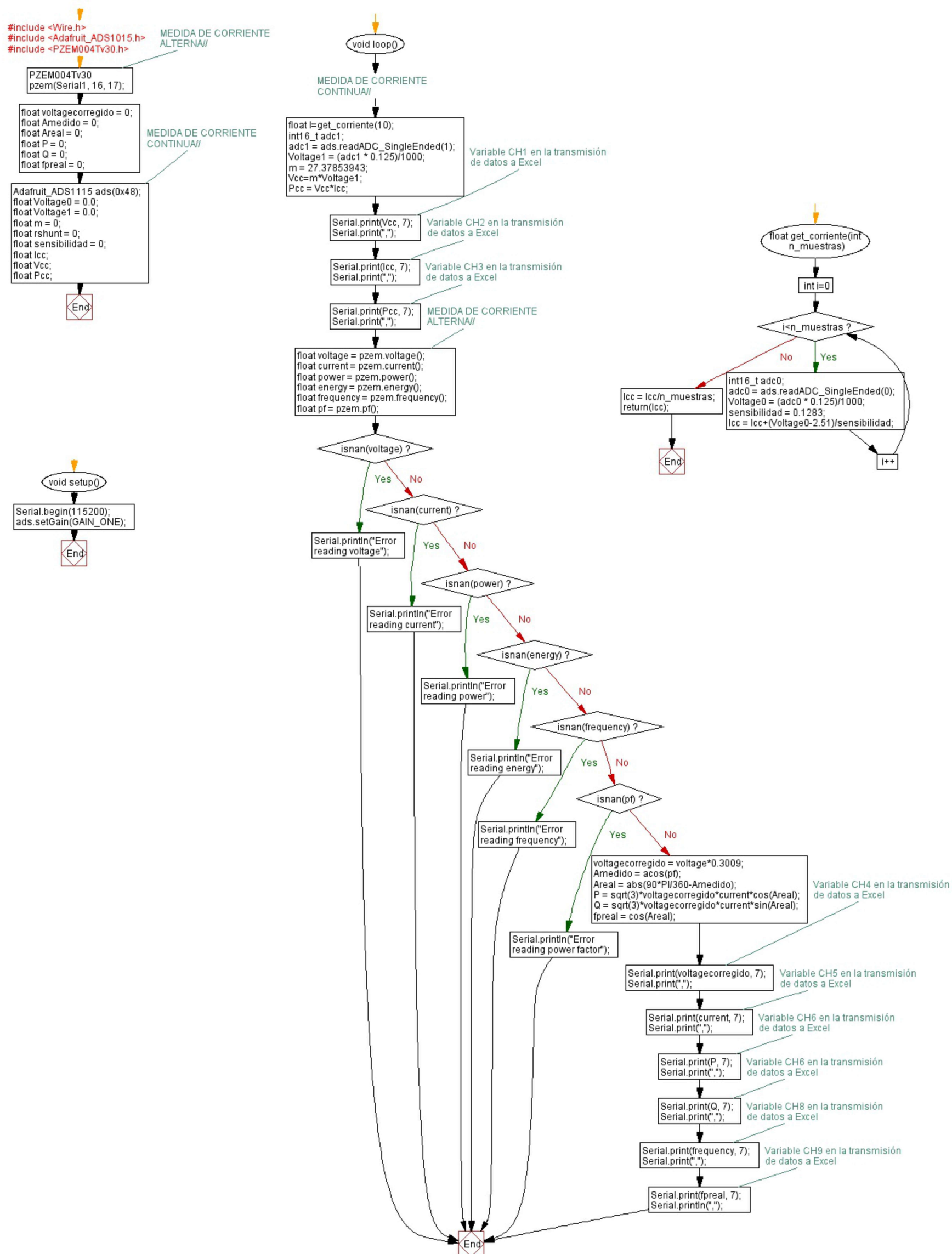
Firma:

Fecha: 20/06/2024

Nº:

Escala:

2



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Proyecto: Sistema de Adquisición y Base de datos de un generador eólico

Título: Diagrama de flujos del código

Autor: Antonio Montiel Joyanes

Firma:

Fecha: 20/06/2024

Nº:

Escala:

3



ANEXOS

ANEXO 1: CÓDIGO DE ARDUINO IDE

```
//include <Wire.h> //Incluimos las librerías en el código*/
#include <Adafruit_ADS1015.h>
#include <PZEM004Tv30.h>

//MEDIDA DE CORRIENTE ALTERNA//

PZEM004Tv30 pzem(Serial1, 16, 17); //Llamamos a la función del módulo de medida de CA*/

float voltagecorregido = 0; //Definimos la variable de la medida corregida de tensión*/
float Amedido = 0; //Definimos la variable del ángulo medido entre V y I*/
float Areal = 0; //Definimos la variable del ángulo real entre V y I*/
float P = 0; //Definimos la variable de la potencia activa*/
float Q = 0; //Definimos la variable de la potencia reactiva*/
float fpreal = 0; //Definimos la variable del factor de potencia real*/

//MEDIDA DE CORRIENTE CONTINUA//

Adafruit_ADS1115 ads(0x48); //Llamamos a la función del sensor de medida de CC*/

float Voltage0 = 0.0; //Definimos la variable del valor analógico del voltage de CC*/
float Voltage1 = 0.0; //Definimos la variable del valor analógico de la corriente de CC*/

float m = 0; //Definimos la variable de la relación del divisor de tensión*/
float rshunt = 0; //Definimos la variable de la rshunt de medida de CC*/
float sensibilidad = 0; //Definimos la variable de la sensibilidad del sensor de CC*/
float Icc; //Definimos la variable de la intensidad de CC*/
float Vcc; //Definimos la variable de la tensión de CC*/
float Pcc; //Definimos la variable de la tensión de medida de CC*/

void setup() {
    Serial.begin(115200); //Inicia el puerto serie*/

//MEDIDA DE CORRIENTE CONTINUA// /*Seleccionamos la ganancia del ADS1115*/

//          ADS1015   ADS1115
//          -----   -----
// ads.setGain(GAIN_TWOTHIRDS); // 2/3x gain +/- 6.144V 1 bit = 3mV      0.1875mV (default)
//     ads.setGain(GAIN_ONE);      // 1x gain +/- 4.096V 1 bit = 2mV      0.125mV  (Seleccionado)
// ads.setGain(GAIN_TWO);         // 2x gain +/- 2.048V 1 bit = 1mV       0.0625mV
// ads.setGain(GAIN_FOUR);        // 4x gain +/- 1.024V 1 bit = 0.5mV      0.03125mV
// ads.setGain(GAIN_EIGHT);       // 8x gain +/- 0.512V 1 bit = 0.25mV   0.015625mV
// ads.setGain(GAIN_SIXTEEN);     // 16x gain +/- 0.256V 1 bit = 0.125mV  0.0078125mV
//
//     ads.begin();
}

void loop() {

//MEDIDA DE CORRIENTE CONTINUA//

float I=get_corriente(10); //Llama la función donde se obtiene la corriente promedio de n° muestras*/

int16_t adcl; //Declara el pin de comunicación del ESP32 WROOM del adc1*/
adcl = ads.readADC SingleEnded(1); //Realiza una lectura de AIN1 del sensor de CC*/
```

```

Voltage1 = (adc1 * 0.125)/1000;          /*Transforma la lectura analógica en digital del AIN1 del sensor de CC*/
//Serial.print("\tVoltage1: "); Serial.print(Voltage1, 7); Serial.println(" V."); /*Imprime en pantalla AIN1*/
m = 27.37853943;                          /*Rel. entre las resistencias del divisor de tensión (1.77 MOhm y 67.1 kOhm)*/

Vcc=m*Voltage1;                            /*Cálculo de la tensión de CC**/
Pcc = Vcc*Icc;                             /*Cálculo de la potencia de CC*, Ley de Ohm*/

/*Serial.print("\tVoltage (CC): "); Serial.print(Vcc,7); Serial.println(" V");          /*Imprime en pantalla Vcc*/
/*Serial.print("\tCurrent (CC): "); Serial.print(Icc,7); Serial.println(" A");          /*Imprime en pantalla Icc*/
/*Serial.print("\tPower (CC): "); Serial.print(Pcc,7); Serial.println(" W");          /*Imprime en pantalla Pcc*/
/*Serial.println();*/

Serial.print(Vcc, 7);                      /*Variable CH1 en la transmisión de datos a Excel*/
Serial.print(",");
Serial.print(Icc, 7);                      /*Variable CH2 en la transmisión de datos a Excel*/
Serial.print(",");
Serial.print(Pcc, 7);                      /*Variable CH3 en la transmisión de datos a Excel*/
Serial.print(",");

//MEDIDA DE CORRIENTE ALTERNA//

// Serial.print("Custom Address:"); /*Imprime la dirección del módulo PZEM0004T v30*/
// Serial.println(pzem.readAddress(), HEX);

float voltage = pzem.voltage();             /*Realiza la lectura del voltaje*/
float current = pzem.current();             /*Realiza la lectura de la corriente*/
float power = pzem.power();                 /*Realiza la lectura de la potencia*/
float energy = pzem.energy();               /*Realiza la lectura de la energía*/
float frequency = pzem.frequency();         /*Realiza la lectura de la frecuencia*/
float pf = pzem.pf();                      /*Realiza la lectura del factor de potencia*/

    if(isnan(voltage)) {
        Serial.println("Error reading voltage"); /*Comprueba que la lectura de voltaje sea correcta*/
    } else if (isnan(current)){
        Serial.println("Error reading current"); /*Comprueba que la lectura de corriente sea correcta*/
    } else if (isnan(power)) {
        Serial.println("Error reading power"); /*Comprueba que la lectura de potencia sea correcta*/
    } else if (isnan(energy)) {
        Serial.println("Error reading energy"); /*Comprueba que la lectura de energia sea correcta*/
    } else if (isnan(frequency)) {
        Serial.println("Error reading frequency"); /*Comprueba que la lectura de frecuencia sea correcta*/
    } else if (isnan(pf)) {
        Serial.println("Error reading power factor"); /*Comprueba que la lectura de fdp sea correcta*/
    } else {

voltagecorregido = voltage*0.3009;          /*Se aplica la relación de transformación de los autotransformador*/

Amedido = acos(pf);                        /*Calcula el ángulo medido*/
Areal = abs(90*PI/360-Amedido);            /*Calcula el ángulo real mediante una corrección de la
medida*/
P = sqrt(3)*voltagecorregido*current*cos(Areal); /*Calcula el potencia activa*/
Q = sqrt(3)*voltagecorregido*current*sin(Areal); /*Calcula el potencia reactiva*/
fpreal = cos(Areal);                       /*Calcula el factor de potencia real*/

//Serial.print("Voltage: "); Serial.print(voltagecorregido, 3); Serial.println("V");/*Imprime en pantalla Vca*/

```

```

//Serial.print("Current: "); Serial.print(current); Serial.println("A"); //Imprime en pantalla Ica*/
//Serial.print("Power: "); Serial.print(power); Serial.println("W"); //Imprime en pantalla Pca*/
//Serial.print("Energy: "); Serial.print(energy,3); Serial.println("kWh"); //Imprime en pantalla Eca*/
//Serial.print("Frequency: ");Serial.print(frequency, 1); Serial.println("Hz"); //Imprime en pantalla fre*/
//Serial.print("PF: "); Serial.println(pf); //Imprime en pantalla fdp*/

Serial.print(voltagecorregido, 7); //Variable CH4 en la transmisión de datos a Excel*/
Serial.print(",");
Serial.print(current, 7); //Variable CH5 en la transmisión de datos a Excel*/
Serial.print(",");
//Serial.print(Power, 7); //Variable no mostrada en la transmisión de datos a Excel*/
//Serial.print(",");
Serial.print(P, 7); //Variable CH6 en la transmisión de datos a Excel*/
Serial.print(",");
Serial.print(Q, 7); //Variable CH6 en la transmisión de datos a Excel*/
Serial.print(",");
//Serial.print(energy, 7); //Variable no mostrada en la transmisión de datos a Excel*/
//Serial.print(",");
Serial.print(frequency, 7); //Variable CH8 en la transmisión de datos a Excel*/
Serial.print(",");
//Serial.print(pf, 7); //Variable no mostrada en la transmisión de datos a Excel*/
//Serial.println();
Serial.print(fpreal, 7); //Variable CH8 en la transmisión de datos a Excel*/
Serial.println(",");
}

//delay(1000); //Añade un delay entre cada toma de datos*/

}

float get_corriente(int n_muestras) //Función para corregir los valores tomados de la intensidad CC*/
{
    for(int i=0;i<n_muestras;i++) //Durante n_muestras el */
    {

        int16_t adc0; //Declara el pin de comunicación del ESP32 WROOM del adc0*/
        adc0 = ads.readADC_SingleEnded(0); //Realiza una lectura de AIN0 del sensor de CC*/
        Voltage0 = (adc0 * 0.125)/1000; //Transforma la lectura analógica en digital del AIN0 del sensor de CC*/

        //Serial.print("\tVoltage0: "); Serial.print(Voltage0, 7); Serial.println (" V."); //Imprime en pantalla AIN0*/
        //Serial.println();

        sensibilidad = 0.1283; //La sensibilidad teórica es 0.066 V/A, la real es 0.1283 V/A*/

        Icc = Icc+(Voltage0-2.517)/sensibilidad; //Cálculo de la intensidad de CC, Ley de Ohm*/

    }

    Icc = Icc/n_muestras; //Cálcula una media aritmética de la intensidad de CC*/

    return(Icc); //Devuelve el valor de la intensidad de CC corregida*/
}

```

ANEXO 2: HOJAS DE CARACTERÍSTICAS

2 Pin Definitions

2.1 Pin Layout

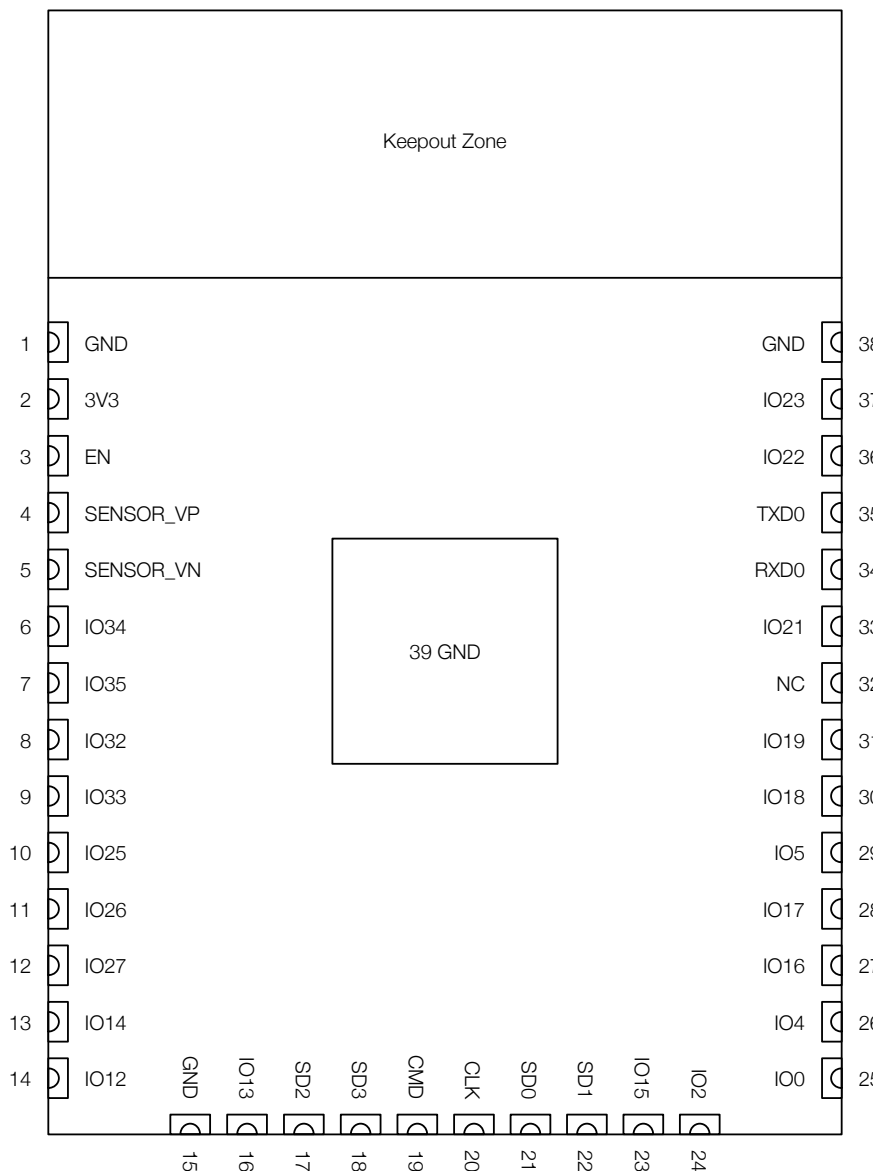


Figure 1: ESP32-WROOM-32 Pin Layout (Top View)

2.2 Pin Description

ESP32-WROOM-32 has 38 pins. See pin definitions in Table 2.

Table 2: Pin Definitions

Name	No.	Type	Function
GND	1	P	Ground
3V3	2	P	Power supply
EN	3	I	Module-enable signal. Active high.

[Not Recommended For New Designs \(NRND\)](#)

Name	No.	Type	Function
SENSOR_VP	4	I	GPIO36, ADC1_CH0, RTC_GPIO0
SENSOR_VN	5	I	GPIO39, ADC1_CH3, RTC_GPIO3
IO34	6	I	GPIO34, ADC1_CH6, RTC_GPIO4
IO35	7	I	GPIO35, ADC1_CH7, RTC_GPIO5
IO32	8	I/O	GPIO32, XTAL_32K_P (32.768 kHz crystal oscillator input), ADC1_CH4, TOUCH9, RTC_GPIO9
IO33	9	I/O	GPIO33, XTAL_32K_N (32.768 kHz crystal oscillator output), ADC1_CH5, TOUCH8, RTC_GPIO8
IO25	10	I/O	GPIO25, DAC_1, ADC2_CH8, RTC_GPIO6, EMAC_RXD0
IO26	11	I/O	GPIO26, DAC_2, ADC2_CH9, RTC_GPIO7, EMAC_RXD1
IO27	12	I/O	GPIO27, ADC2_CH7, TOUCH7, RTC_GPIO17, EMAC_RX_DV
IO14	13	I/O	GPIO14, ADC2_CH6, TOUCH6, RTC_GPIO16, MTMS, HSPICLK, HS2_CLK, SD_CLK, EMAC_TXD2
IO12	14	I/O	GPIO12, ADC2_CH5, TOUCH5, RTC_GPIO15, MTDI, HSPIQ, HS2_DATA2, SD_DATA2, EMAC_TXD3
GND	15	P	Ground
IO13	16	I/O	GPIO13, ADC2_CH4, TOUCH4, RTC_GPIO14, MTCK, HSPID, HS2_DATA3, SD_DATA3, EMAC_RX_ER
SHD/SD2*	17	I/O	GPIO9, SD_DATA2, SPIHD, HS1_DATA2, U1RXD
SWP/SD3*	18	I/O	GPIO10, SD_DATA3, SPIWP, HS1_DATA3, U1TXD
SCS/CMD*	19	I/O	GPIO11, SD_CMD, SPICS0, HS1_CMD, U1RTS
SCK/CLK*	20	I/O	GPIO6, SD_CLK, SPICLK, HS1_CLK, U1CTS
SDO/SD0*	21	I/O	GPIO7, SD_DATA0, SPIQ, HS1_DATA0, U2RTS
SDI/SD1*	22	I/O	GPIO8, SD_DATA1, SPID, HS1_DATA1, U2CTS
IO15	23	I/O	GPIO15, ADC2_CH3, TOUCH3, MTDO, HSPICS0, RTC_GPIO13, HS2_CMD, SD_CMD, EMAC_RXD3
IO2	24	I/O	GPIO2, ADC2_CH2, TOUCH2, RTC_GPIO12, HSPIWP, HS2_DATA0, SD_DATA0
IO0	25	I/O	GPIO0, ADC2_CH1, TOUCH1, RTC_GPIO11, CLK_OUT1, EMAC_TX_CLK
IO4	26	I/O	GPIO4, ADC2_CH0, TOUCH0, RTC_GPIO10, HSPICLK, HS2_DATA1, SD_DATA1, EMAC_TX_ER
IO16	27	I/O	GPIO16, HS1_DATA4, U2RXD, EMAC_CLK_OUT
IO17	28	I/O	GPIO17, HS1_DATA5, U2TXD, EMAC_CLK_OUT_180
IO5	29	I/O	GPIO5, VSPICS0, HS1_DATA6, EMAC_RX_CLK
IO18	30	I/O	GPIO18, VSPICLK, HS1_DATA7
IO19	31	I/O	GPIO19, VSPIQ, U0CTS, EMAC_TXD0
NC	32	-	-
IO21	33	I/O	GPIO21, VSPIHD, EMAC_TX_EN
RXD0	34	I/O	GPIO3, U0RXD, CLK_OUT2
TXD0	35	I/O	GPIO1, U0TXD, CLK_OUT3, EMAC_RXD2
IO22	36	I/O	GPIO22, VSPIWP, U0RTS, EMAC_TXD1
IO23	37	I/O	GPIO23, VSPID, HS1_STROBE
GND	38	P	Ground

Notice:

* Pins SCK/CLK, SDO/SD0, SDI/SD1, SHD/SD2, SWP/SD3 and SCS/CMD, namely, GPIO6 to GPIO11 are connected to the integrated SPI flash integrated on the module and are not recommended for other uses.

2.3 Strapping Pins

ESP32 has five strapping pins, which can be seen in Chapter 6 Schematics:

- MTDI
- GPIO0
- GPIO2
- MTDO
- GPIO5

Software can read the values of these five bits from register “GPIO_STRAPPING”.

During the chip’s system reset release (power-on-reset, RTC watchdog reset and brownout reset), the latches of the strapping pins sample the voltage level as strapping bits of “0” or “1”, and hold these bits until the chip is powered down or shut down. The strapping bits configure the device’s boot mode, the operating voltage of VDD_SDIO and other initial system settings.

Each strapping pin is connected to its internal pull-up/pull-down during the chip reset. Consequently, if a strapping pin is unconnected or the connected external circuit is high-impedance, the internal weak pull-up/pull-down will determine the default input level of the strapping pins.

To change the strapping bit values, users can apply the external pull-down/pull-up resistances, or use the host MCU’s GPIOs to control the voltage level of these pins when powering on ESP32.

After reset release, the strapping pins work as normal-function pins.

Refer to Table 3 for a detailed boot-mode configuration by strapping pins.

Table 3: Strapping Pins

Voltage of Internal LDO (VDD_SDIO)					
Pin	Default	3.3 V		1.8 V	
MTDI	Pull-down	0		1	
Bootling Mode					
Pin	Default	SPI Boot		Download Boot	
GPIO0	Pull-up	1		0	
GPIO2	Pull-down	Don't-care		0	
Enabling/Disabling Debugging Log Print over U0TXD During Bootling					
Pin	Default	U0TXD Active		U0TXD Silent	
MTDO	Pull-up	1		0	
Timing of SDIO Slave					
Pin	Default	FE Sampling FE Output	FE Sampling RE Output	RE Sampling FE Output	RE Sampling RE Output
MTDO	Pull-up	0	0	1	1
GPIO5	Pull-up	0	1	0	1

5 Electrical Characteristics

5.1 Absolute Maximum Ratings

Stresses beyond the absolute maximum ratings listed in Table 5 below may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and do not refer to the functional operation of the device that should follow the [recommended operating conditions](#).

Table 5: Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
VDD33	Power supply voltage	-0.3	3.6	V
I_{output}^1	Cumulative IO output current	-	1,100	mA
T_{store}	Storage temperature	-40	105	°C

1. The module worked properly after a 24-hour test in ambient temperature at 25 °C, and the IOs in three domains (VDD3P3_RTC, VDD3P3_CPU, VDD_SDIO) output high logic level to ground. Please note that pins occupied by flash and/or PSRAM in the VDD_SDIO power domain were excluded from the test.
2. Please see Appendix IO_MUX of [ESP32 Datasheet](#) for IO's power domain.

5.2 Recommended Operating Conditions

Table 6: Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Min	Typical	Max	Unit
VDD33	Power supply voltage	3.0	3.3	3.6	V
I_{VDD}	Current delivered by external power supply	0.5	-	-	A
T	Operating ambient temperature	-40	-	85	°C

5.3 DC Characteristics (3.3 V, 25 °C)

Table 7: DC Characteristics (3.3 V, 25 °C)

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
C_{IN}	Pin capacitance		-	2	-	pF
V_{IH}	High-level input voltage		$0.75 \times VDD^1$	-	$VDD^1 + 0.3$	V
V_{IL}	Low-level input voltage		-0.3	-	$0.25 \times VDD^1$	V
I_{IH}	High-level input current		-	-	50	nA
I_{IL}	Low-level input current		-	-	50	nA
V_{OH}	High-level output voltage		$0.8 \times VDD^1$	-	-	V
V_{OL}	Low-level output voltage		-	-	$0.1 \times VDD^1$	V
I_{OH}	High-level source current ($VDD^1 = 3.3\text{ V}$, $V_{OH} \geq 2.64\text{ V}$, output drive strength set to the maximum)	VDD3P3_CPU power domain ^{1, 2}	-	40	-	mA
		VDD3P3_RTC power domain ^{1, 2}	-	40	-	mA
		VDD_SDIO power domain ^{1, 3}	-	20	-	mA

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
I_{OL}	Low-level sink current ($V_{DD}^1 = 3.3\text{ V}$, $V_{OL} = 0.495\text{ V}$, output drive strength set to the maximum)	-	28	-	mA
R_{PU}	Resistance of internal pull-up resistor	-	45	-	$k\Omega$
R_{PD}	Resistance of internal pull-down resistor	-	45	-	$k\Omega$
V_{IL_nRST}	Low-level input voltage of CHIP_PU to shut down the chip	-	-	0.6	V

Notes:

1. Please see Appendix IO_MUX of [ESP32 Datasheet](#) for IO's power domain. VDD is the I/O voltage for a particular power domain of pins.
2. For VDD3P3_CPU and VDD3P3_RTC power domain, per-pin current sourced in the same domain is gradually reduced from around 40 mA to around 29 mA, $V_{OH} \geq 2.64\text{ V}$, as the number of current-source pins increases.
3. Pins occupied by flash and/or PSRAM in the VDD_SDIO power domain were excluded from the test.

5.4 Wi-Fi Radio

Table 8: Wi-Fi Radio Characteristics

Parameter	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Center frequency range of operating channel ^{note1}	-	2412	-	2484	MHz
Output impedance ^{note2}	-	-	<i>note 2</i>	-	Ω
TX power ^{note3}	11n, MCS7	12	13	14	dBm
	11b mode	17.5	18.5	20	dBm
Sensitivity	11b, 1 Mbps	-	-98	-	dBm
	11b, 11 Mbps	-	-89	-	dBm
	11g, 6 Mbps	-	-92	-	dBm
	11g, 54 Mbps	-	-74	-	dBm
	11n, HT20, MCS0	-	-91	-	dBm
	11n, HT20, MCS7	-	-71	-	dBm
	11n, HT40, MCS0	-	-89	-	dBm
	11n, HT40, MCS7	-	-69	-	dBm
Adjacent channel rejection	11g, 6 Mbps	-	31	-	dB
	11g, 54 Mbps	-	14	-	dB
	11n, HT20, MCS0	-	31	-	dB
	11n, HT20, MCS7	-	13	-	dB

1. Device should operate in the center frequency range of operating channel allocated by regional regulatory authorities. Target center frequency range of operating channel is configurable by software.
2. For the modules that use external antennas, the output impedance is 50 Ω . For other modules without external antennas, users do not need to concern about the output impedance.
3. Target TX power is configurable based on device or certification requirements.

5.5 Bluetooth LE Radio

5.5.1 Receiver

Table 9: Receiver Characteristics – Bluetooth LE

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Sensitivity @30.8% PER	-	-	-97	-	dBm
Maximum received signal @30.8% PER	-	0	-	-	dBm
Co-channel C/I	-	-	+10	-	dB
Adjacent channel selectivity C/I	$F = F_0 + 1 \text{ MHz}$	-	-5	-	dB
	$F = F_0 - 1 \text{ MHz}$	-	-5	-	dB
	$F = F_0 + 2 \text{ MHz}$	-	-25	-	dB
	$F = F_0 - 2 \text{ MHz}$	-	-35	-	dB
	$F = F_0 + 3 \text{ MHz}$	-	-25	-	dB
	$F = F_0 - 3 \text{ MHz}$	-	-45	-	dB
Out-of-band blocking performance	30 MHz ~ 2000 MHz	-10	-	-	dBm
	2000 MHz ~ 2400 MHz	-27	-	-	dBm
	2500 MHz ~ 3000 MHz	-27	-	-	dBm
	3000 MHz ~ 12.5 GHz	-10	-	-	dBm
Intermodulation	-	-36	-	-	dBm

5.5.2 Transmitter

Table 10: Transmitter Characteristics – Bluetooth LE

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
RF transmit power	-	-	0	-	dBm
Gain control step	-	-	3	-	dBm
RF power control range	-	-12	-	+9	dBm
Adjacent channel transmit power	$F = F_0 \pm 2 \text{ MHz}$	-	-52	-	dBm
	$F = F_0 \pm 3 \text{ MHz}$	-	-58	-	dBm
	$F = F_0 \pm > 3 \text{ MHz}$	-	-60	-	dBm
$\Delta f_{1\text{avg}}$	-	-	-	265	kHz
$\Delta f_{2\text{max}}$	-	247	-	-	kHz
$\Delta f_{2\text{avg}}/\Delta f_{1\text{avg}}$	-	-	-0.92	-	-
ICFT	-	-	-10	-	kHz
Drift rate	-	-	0.7	-	kHz/50 μs
Drift	-	-	2	-	kHz

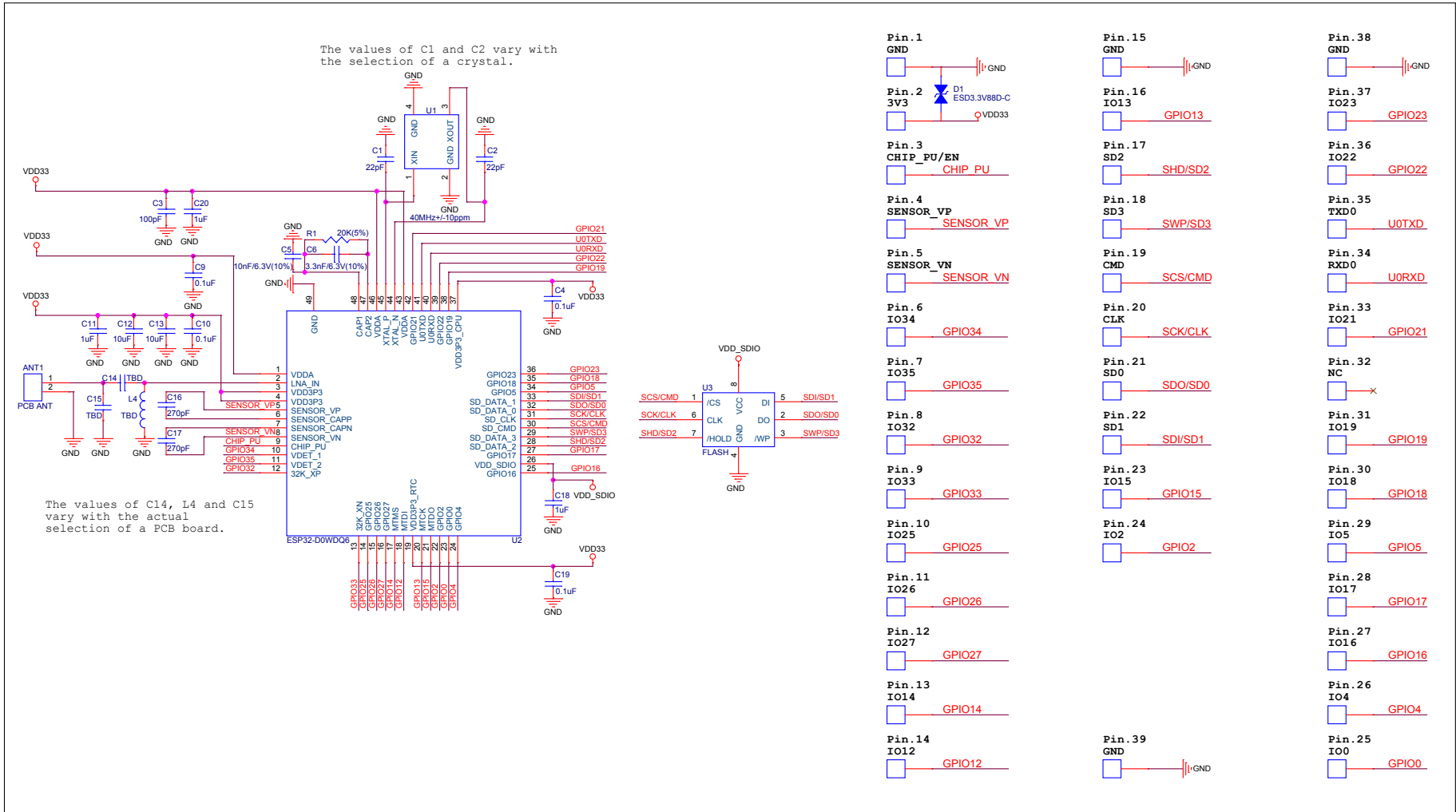


Figure 3: ESP32-WROOM-32 Schematics

7 Peripheral Schematics

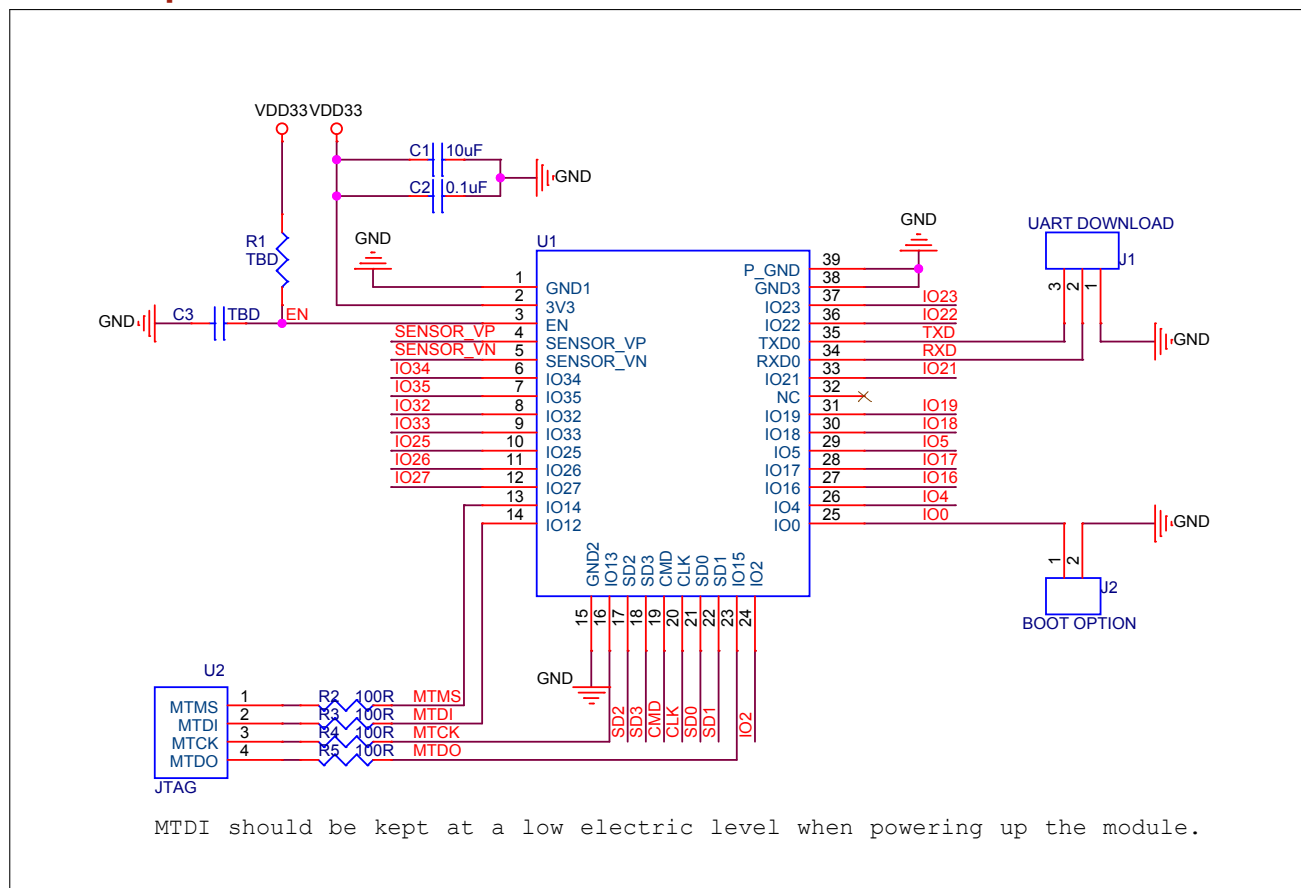


Figure 4: ESP32-WROOM-32 Peripheral Schematics

Note:

- Soldering Pad 39 to the Ground of the base board is not necessary for a satisfactory thermal performance. If users do want to solder it, they need to ensure that the correct quantity of soldering paste is applied.
- To ensure the power supply to the ESP32 chip during power-up, it is advised to add an RC delay circuit at the EN pin. The recommended setting for the RC delay circuit is usually $R = 10\text{ k}\Omega$ and $C = 1\text{ }\mu\text{F}$. However, specific parameters should be adjusted based on the power-up timing of the module and the power-up and reset sequence timing of the chip. For ESP32's power-up and reset sequence timing diagram, please refer to Section *Power Scheme* in [ESP32 Datasheet](#).

8 Physical Dimensions

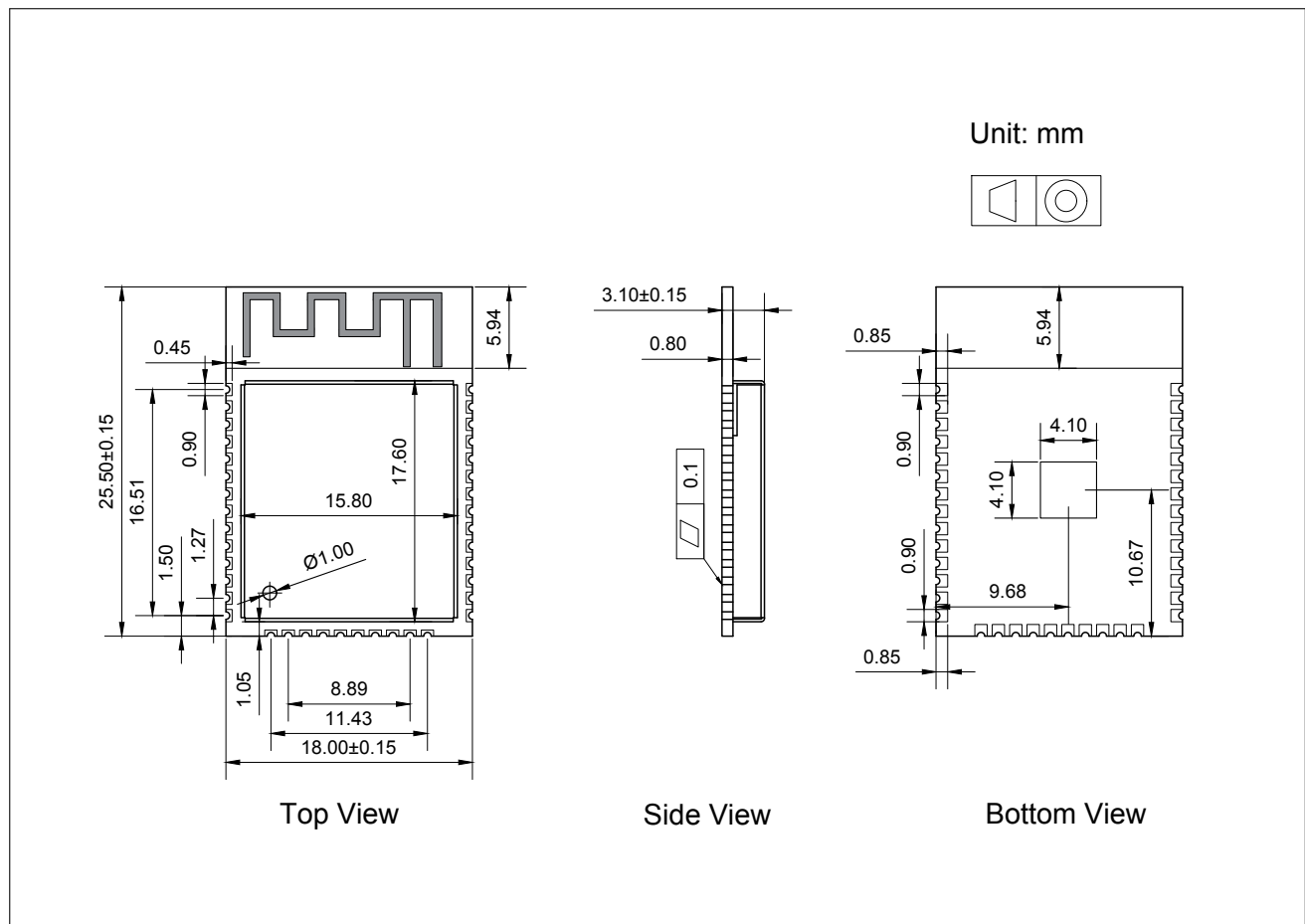


Figure 5: Physical Dimensions of ESP32-WROOM-32

Note:

For information about tape, reel, and product marking, please refer to [Espressif Module Package Information](#).

PZEM-004T V3.0 User Manual

Overview

This document describes the specification of the **PZEM-004T** AC communication module, the module is mainly used for measuring AC voltage, current, active power, frequency, power factor and active energy, the module is without display function, the data is read through the **TTL** interface.

PZEM-004T-10A: Measuring Range 10A (Built-in Shunt)

PZEM-004T-100A: Measuring Range 100A (external transformer)

1. Function description

1.1 Voltage

1.1.1 Measuring range: 80~260V

1.1.2 Resolution: 0.1V

1.1.3 Measurement accuracy: 0.5%

1.2 Current

1.2.1 Measuring range: 0~10A (**PZEM-004T-10A**) ; 0~100A (**PZEM-004T-100A**)

1.2.2 Starting measure current: 0.01A (**PZEM-004T-10A**) ; 0.02A (**PZEM-004T-100A**)

1.2.3 Resolution: 0.001A

1.2.4 Measurement accuracy: 0.5%

1.3 Active power

1.3.1 Measuring range: 0~2.3kW (**PZEM-004T-10A**) ; 0~23kW (**PZEM-004T-100A**)

1.3.2 Starting measure power: 0.4W

1.3.3 Resolution: 0.1W

1.3.4 Display format:

<1000W, it display one decimal, such as: 999.9W

≥1000W, it display only integer, such as: 1000W

1.3.5 Measurement accuracy: 0.5%

1.4 Power factor

1.4.1 Measuring range: 0.00~1.00

1.4.2 Resolution: 0.01

1.4.3 Measurement accuracy: 1%

1.5 Frequency

1.5.1 Measuring range: 45Hz~65Hz

1.5.2 Resolution: 0.1Hz

1.5.3 Measurement accuracy: 0.5%

1.6 Active energy

1.6.1 Measuring range: 0~9999.99kWh

1.6.2 Resolution: 1Wh

1.6.3 Measurement accuracy: 0.5%

1.6.4 Display format:

<10kWh, the display unit is Wh(1kWh=1000Wh), such as: 9999Wh

≥10kWh, the display unit is kWh, such as: 9999.99kWh

1.6.5 Reset energy: use software to reset.

1.7 Over power alarm

Active power threshold can be set, when the measured active power exceeds the threshold, it can alarm

1.8 Communication interface

RS485 interface。

2 Communication protocol

2.1 Physical layer protocol

Physical layer use UART to RS485 communication interface

Baud rate is 9600, 8 data bits, 1 stop bit, no parity

2.2 Application layer protocol

The application layer use the Modbus-RTU protocol to communicate. At present, it only supports function codes such as 0x03 (Read Holding Register), 0x04 (Read Input Register), 0x06 (Write Single Register), 0x41 (Calibration), 0x42 (Reset energy).etc.

0x41 function code is only for internal use (address can be only 0xF8), used for factory calibration and return to factory maintenance occasions, after the function code to increase 16-bit password, the default password is 0x3721

The address range of the slave is 0x01 ~ 0xF7. The address 0x00 is used as the broadcast address, the slave does not need to reply the master. The address 0xF8 is used as the general address, this address can be only used in single-slave environment and can be used for calibration etc.operation.

2.3 Read the measurement result

The command format of the master reads the measurement result is(total of 8 bytes):

Slave Address + 0x04 + Register Address High Byte + Register Address Low Byte + Number of Registers High Byte + Number of Registers Low Byte + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte.

The command format of the reply from the slave is divided into two kinds:

Correct Reply: Slave Address + 0x04 + Number of Bytes + Register 1 Data High Byte + Register 1 Data Low Byte + ... + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte

Error Reply: Slave address + 0x84 + Abnormal code + CRC check high byte + CRC check low byte

Abnormal code analyzed as following (the same below)

- 0x01,Illegal function
- 0x02,Illegal address
- 0x03,Illegal data
- 0x04,Slave error

The register of the measurement results is arranged as the following table

Register address	Description	Resolution
0x0000	Voltage value	1LSB correspond to 0.1V
0x0001	Current value low 16 bits	1LSB correspond to 0.001A
0x0002	Current value high 16 bits	
0x0003	Power value low 16 bits	1LSB correspond to 0.1W
0x0004	Power value high 16 bits	
0x0005	Energy value low 16 bits	1LSB correspond to 1Wh
0x0006	Energy value high 16 bits	
0x0007	Frequency value	1LSB correspond to 0.1Hz
0x0008	Power factor value	1LSB correspond to 0.01
0x0009	Alarm status	0xFFFF is alarm, 0x0000is not alarm

For example, the master sends the following command (CRC check code is replaced by 0xHH and 0xLL, the same below)

0x01 + 0x04 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x0A + 0xHH + 0xLL

Indicates that the master needs to read 10 registers with slave address 0x01 and the start address of the register is 0x0000

The correct reply from the slave is as following:

0x01 + 0x04 + 0x14 + 0x08 + 0x98 + 0x03 + 0xE8 + 0x00 + 0x00 + 0x08 + 0x98 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x00 + 0x01 + 0xF4 + 0x00 + 0x64 + 0x00 + 0x00 + 0xHH + 0xLL

The above data shows

- Voltage is 0x0898, converted to decimal is 2200, display 220.0V
- Current is 0x000003E8, converted to decimal is 1000, display 1.000A
- Power is 0x00000898, converted to decimal is 2200, display 220.0W
- Energy is 0x00000000, converted to decimal is 0, display 0Wh
- Frequency is 0x01F4, converted to decimal is 500, display 50.0Hz
- Power factor is 0x0064, converted to decimal is 100, display 1.00
- Alarm status is 0x0000, indicates that the current power is lower than the alarm power threshold

2.4 Read and modify the slave parameters

At present, it only supports reading and modifying slave address and power alarm threshold

The register is arranged as the following table

Register address	Description	Resolution
0x0001	Power alarm threshold	1LSB correspond to 1W
0x0002	Modbus-RTU address	The range is 0x0001~0x00F7

The command format of the master to read the slave parameters and read the measurement results are same (described in details in Section 2.3), only need to change the function code from 0x04 to 0x03.

The command format of the master to modify the slave parameters is (total of 8 bytes):

Slave Address + 0x06 + Register Address High Byte + Register Address Low Byte + Register Value High Byte + Register Value Low Byte + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte.

The command format of the reply from the slave is divided into two kinds:

Correct Response: Slave Address + 0x06 + Number of Bytes + Register Address Low Byte + Register Value High Byte + Register Value Low Byte + CRC Check High Byte + CRC Check Low Byte.

Error Reply: Slave address + 0x86 + Abnormal code + CRC check high byte + CRC check low byte.

For example, the master sets the slave's power alarm threshold:

0x01 + 0x06 + 0x00 + 0x01 + 0x08 + 0xFC + 0xHH + 0xLL

Indicates that the master needs to set the 0x0001 register (power alarm threshold) to 0x08FC (2300W).

Set up correctly, the slave return to the data which is sent from the master.

For example, the master sets the address of the slave

0x01 + 0x06 + 0x00 + 0x02 + 0x00 + 0x05 + 0xHH + 0xLL

Indicates that the master needs to set the 0x0002 register (Modbus-RTU address) to 0x0005

Set up correctly, the slave return to the data which is sent from the master.

2.5 Reset energy

The command format of the master to reset the slave's **energy** is (total 4 bytes):

Slave address + 0x42 + CRC check high byte + CRC check low byte.

Correct reply: slave address + 0x42 + CRC check high byte + CRC check low byte.

Error Reply: Slave address + 0xC2 + Abnormal code + CRC check high byte + CRC check low byte

2.6 Calibration

The command format of the master to calibrate the slave is (total 6 bytes):

0xF8 + 0x41 + 0x37 + 0x21 + CRC check high byte + CRC check low byte.

Correct reply: 0xF8 + 0x41 + 0x37 + 0x21 + CRC check high byte + CRC check low byte.

Error Reply: 0xF8 + 0xC1 + Abnormal code + CRC check high byte + CRC check low byte.

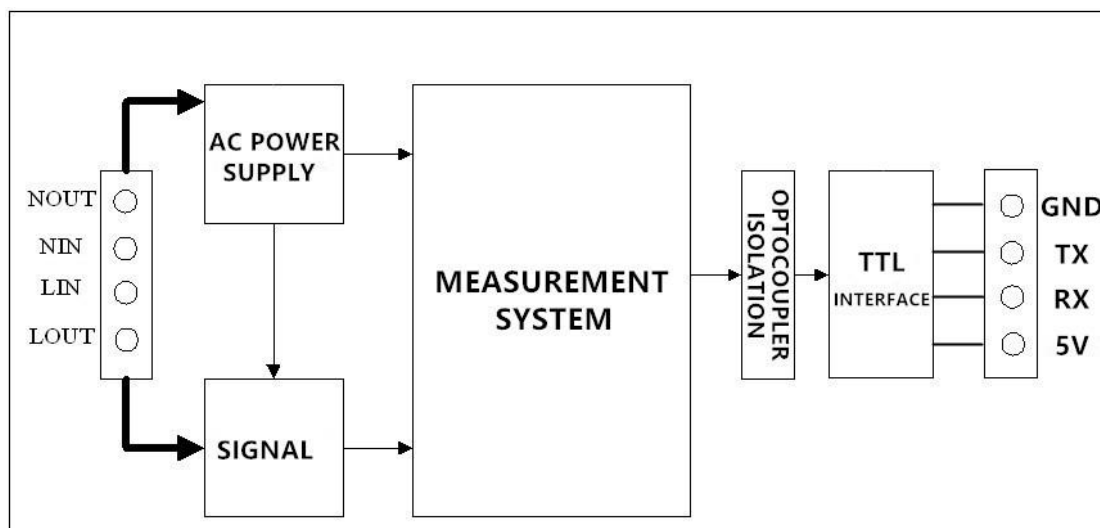
It should be noted that the calibration takes 3 to 4 seconds, after the master sends the command, if the calibration is successful, it will take 3 ~ 4 seconds to receive the response from the slave.

2.7 CRC check

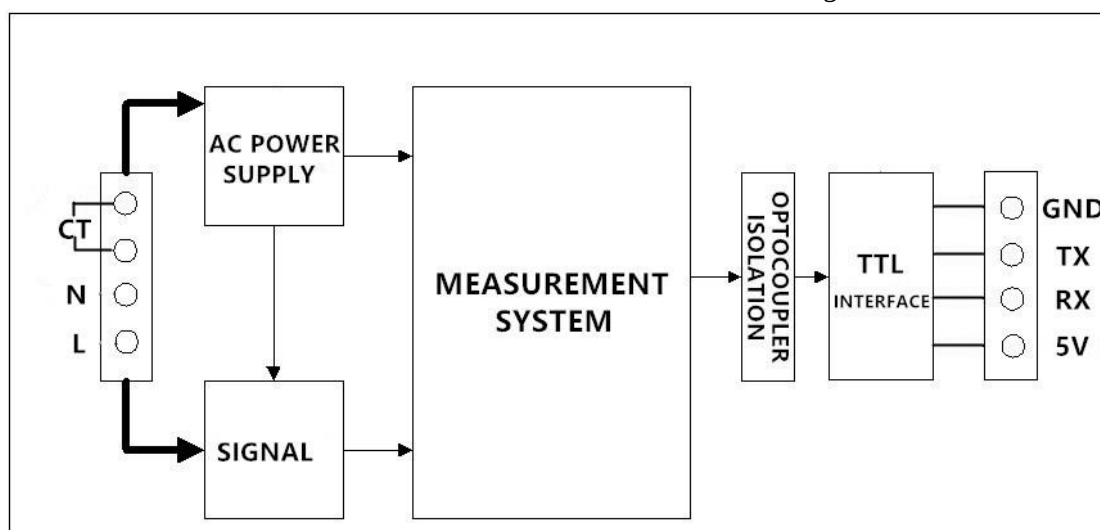
CRC check use 16bits format, occupy two bytes, the generator polynomial is $X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$, the polynomial value used for calculation is 0xA001.

The value of the CRC check is a frame data divide all results of checking all the bytes except the CRC check value.

3 Functional block diagram

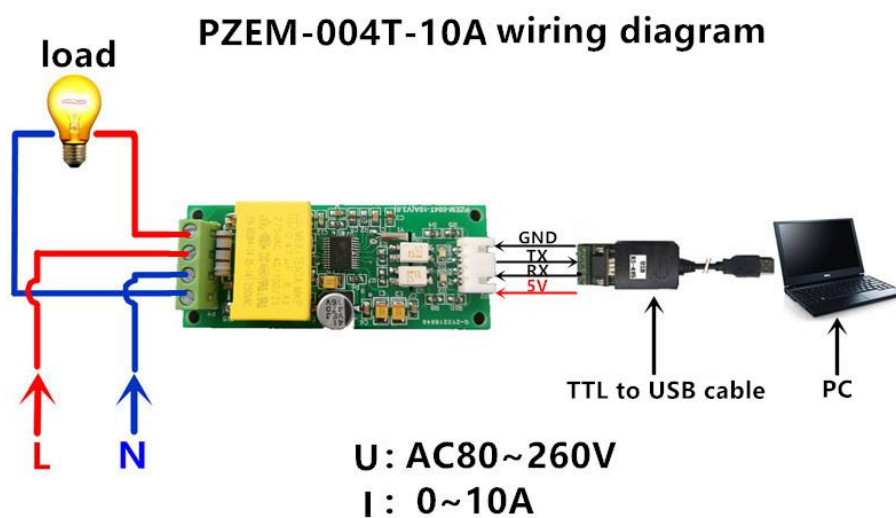


Picture 3.1 PZEM-004T-10A Functional block diagram

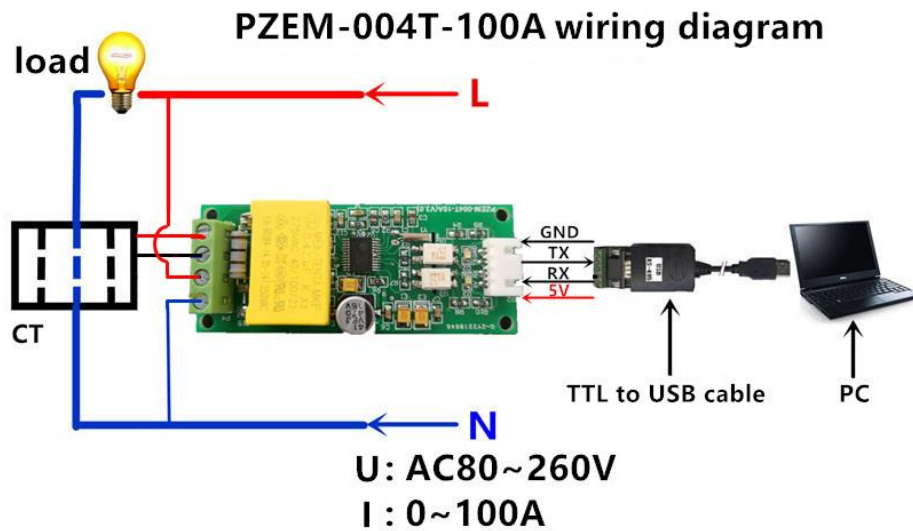


Picture 3.2 PZEM-004T-100A Functional block diagram

4 Wiring diagram



Picture 4.1 PZEM-004T-10A wiring diagram



Picture 4.2 PZEM-004T-100A wiring diagram

5 Other instructions

5.1 The TTL interface of this module is a passive interface, it requires external 5V power supply, which means, when communicating, all four ports must be connected (5V, RX, TX, GND), otherwise it cannot communicate.

5.2 Working temperature

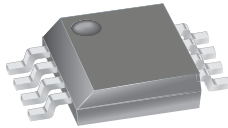
-20°C ~ +60°C。

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 50 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$, and 4% at -40°C to 85°C
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kV_{RMS} minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage

Package: 8 pin SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1



Description

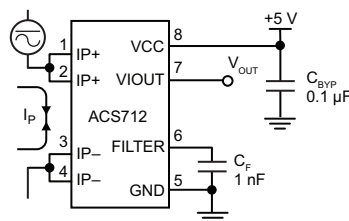
The Allegro[®] ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, automotive, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switched-mode power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{IOUT(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sensed current, I_P , within the range specified. C_F is recommended for noise management, with values that depend on the application.

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Description (continued)

loss. The thickness of the copper conductor allows survival of the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 current sensor to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

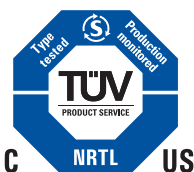
Selection Guide

Part Number	Packing*	T _{OP} (°C)	Optimized Range, I _P (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	–40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	–40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	–40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		–0.1	V
Output Voltage	V _{IOUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{RIOUT}		–0.1	V
Output Current Source	I _{IOUT(SOURCE)}		3	mA
Output Current Sink	I _{IOUT(SINK)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _P	100 total pulses, 250 ms duration each, applied at a rate of 1 pulse every 100 seconds.	60	A
Maximum Transient Sensed Current	I _{R(max)}	Junction Temperature, T _J < T _{J(max)}	60	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	–40 to 85	°C
Maximum Junction	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{stg}		–65 to 170	°C



TÜV America
Certificate Number:
U8V 06 05 54214 010

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

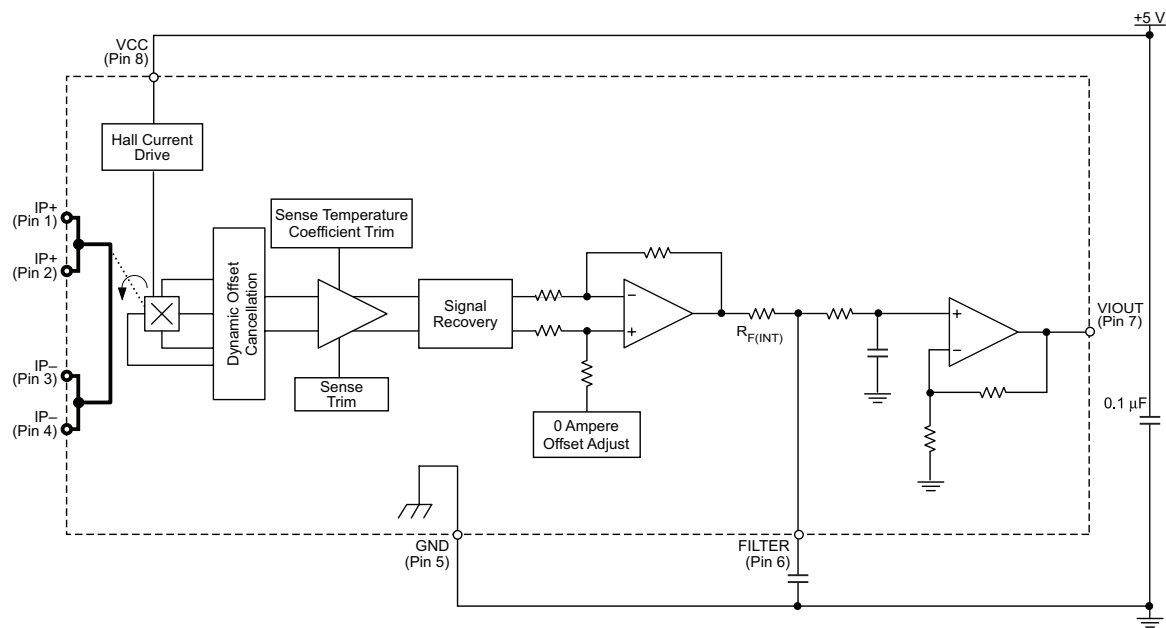


Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
www.allegromicro.com

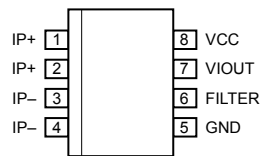
ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with
2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sensed; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sensed; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

COMMON OPERATING CHARACTERISTICS¹ over full range of T_{OP} , $C_F = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	6	8	11	mA
Output Zener Clamp Voltage	V_Z	$I_{CC} = 11$ mA, $T_A = 25^\circ\text{C}$	6	8.3	—	V
Output Resistance	R_{IOUT}	$I_{IOUT} = 1.2$ mA, $T_A = 25^\circ\text{C}$	—	1	2	Ω
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	V _{IOUT} to GND	—	—	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	V _{IOUT} to GND	4.7	—	—	k Ω
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	—	1.2	—	m Ω
RMS Isolation Voltage	V_{ISORMS}	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, $T_A = 25^\circ\text{C}$	2100	—	—	V
DC Isolation Voltage	V_{ISODC}	Pins 1-4 and 5-8; 1 minute, $T_A = 25^\circ\text{C}$	—	5000	—	V
Propagation Time	t_{PROP}	$I_P = I_P(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	—	3	—	μs
Response Time	$t_{RESPONSE}$	$I_P = I_P(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	—	7	—	μs
Rise Time	t_r	$I_P = I_P(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	—	5	—	μs
Frequency Bandwidth	f	−3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$; I_P is 10 A peak-to-peak	50	—	—	kHz
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_P	—	±1	±1.5	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_P	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(Q)}$	Bidirectional; $I_P = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	—	$V_{CC} \times 0.5$	—	V
Magnetic Offset Error	V_{ERROM}	$I_P = 0$ A, after excursion of 5 A	—	0	—	mV
Clamping Voltage	V_{CH}		Typ. −110	$V_{CC} \times 0.9375$	Typ. +110	mV
	V_{CL}		Typ. −110	$V_{CC} \times 0.0625$	Typ. +110	mV
Power-On Time	t_{PO}	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$, 20 A present on leadframe	—	35	—	μs
Magnetic Coupling ²			—	12	—	G/A
Internal Filter Resistance ³	$R_{F(INT)}$			1.7		k Ω

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient, T_A , and internal leadframe temperatures, T_{OP} , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²1G = 0.1 mT.

³ $R_{F(INT)}$ forms an RC circuit via the FILTER pin.

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS¹

			Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	T_{OP}	E range	−40	—	85	$^\circ\text{C}$
Junction-to-Lead Thermal Resistance ²	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEK 712 evaluation board			5	$^\circ\text{C/W}$
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board			23	$^\circ\text{C/W}$

¹Additional thermal information is available on the Allegro website.

²The Allegro evaluation board has 1500 mm² of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.

x05A PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_{OP} = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C^1 , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-5	—	5	A
Sensitivity ²	$Sens_{TA}$	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	—	185	—	mV/A
	$Sens_{TOP}$	Over full range of I_P	178	—	193	mV/A
Noise	$V_{NOISE(PP)}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 4.7\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 20 kHz bandwidth	—	45	—	mV
		Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	—	20	—	mV
		Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 1\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 50 kHz bandwidth	—	75	—	mV
Electrical Offset Voltage	V_{OE}	$I_P = 0\text{ A}$	-40	—	40	mV
Total Output Error ³	E_{TOT}	$I_P = \pm 5\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	—	± 1.5	—	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_{OP} , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, is not exceeded.

²At -40°C Sensitivity may shift as much 9% outside of the datasheet limits.

³Percentage of I_P , with $I_P = 5\text{ A}$. Output filtered.

x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_{OP} = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C^1 , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-20	—	20	A
Sensitivity ²	$Sens_{TA}$	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	—	100	—	mV/A
	$Sens_{TOP}$	Over full range of I_P	97	—	103	mV/A
Noise	$V_{NOISE(PP)}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 4.7\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 20 kHz bandwidth	—	24	—	mV
		Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	—	10	—	mV
		Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 1\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 50 kHz bandwidth	—	40	—	mV
Electrical Offset Voltage	V_{OE}	$I_P = 0\text{ A}$	-30	—	30	mV
Total Output Error ³	E_{TOT}	$I_P = \pm 20\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	—	± 1.5	—	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_{OP} , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, is not exceeded.

²At -40°C Sensitivity may shift as much 9% outside of the datasheet limits.

³Percentage of I_P , with $I_P = 20\text{ A}$. Output filtered.

x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_{OP} = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C^1 , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-30	—	30	A
Sensitivity ²	$Sens_{TA}$	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	—	66	—	mV/A
	$Sens_{TOP}$	Over full range of I_P	64	—	68	mV/A
Noise	$V_{NOISE(PP)}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 4.7\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 20 kHz bandwidth	—	20	—	mV
		Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	—	7	—	mV
		Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 1\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 50 kHz bandwidth	—	35	—	mV
Electrical Offset Voltage	V_{OE}	$I_P = 0\text{ A}$	-30	—	30	mV
Total Output Error ³	E_{TOT}	$I_P = \pm 30\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	—	± 1.5	—	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_{OP} , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, is not exceeded.

²At -40°C Sensitivity may shift as much 9% outside of the datasheet limits.

³Percentage of I_P , with $I_P = 30\text{ A}$. Output filtered.



Ultra-Small, Low-Power, 16-Bit Analog-to-Digital Converter with Internal Reference

Check for Samples: [ADS1113](#) [ADS1114](#) [ADS1115](#)

FEATURES

- **ULTRA-SMALL QFN PACKAGE:**
2mm × 1,5mm × 0,4mm
- **WIDE SUPPLY RANGE:** 2.0V to 5.5V
- **LOW CURRENT CONSUMPTION:**
Continuous Mode: Only 150µA
Single-Shot Mode: Auto Shut-Down
- **PROGRAMMABLE DATA RATE:**
8SPS to 860SPS
- **INTERNAL LOW-DRIFT
VOLTAGE REFERENCE**
- **INTERNAL OSCILLATOR**
- **INTERNAL PGA**
- **I²C™ INTERFACE:** Pin-Selectable Addresses
- **FOUR SINGLE-ENDED OR TWO
DIFFERENTIAL INPUTS (ADS1115)**
- **PROGRAMMABLE COMPARATOR
(ADS1114 and ADS1115)**

APPLICATIONS

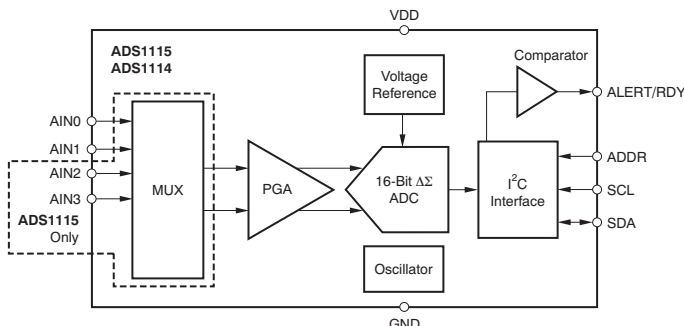
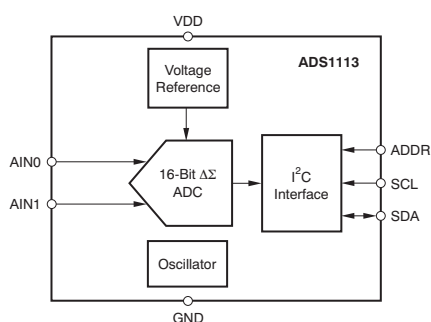
- **PORTABLE INSTRUMENTATION**
- **CONSUMER GOODS**
- **BATTERY MONITORING**
- **TEMPERATURE MEASUREMENT**
- **FACTORY AUTOMATION AND PROCESS
CONTROLS**

DESCRIPTION

The ADS1113, ADS1114, and ADS1115 are precision analog-to-digital converters (ADCs) with 16 bits of resolution offered in an ultra-small, leadless QFN-10 package or an MSOP-10 package. The ADS1113/4/5 are designed with precision, power, and ease of implementation in mind. The ADS1113/4/5 feature an onboard reference and oscillator. Data are transferred via an I²C-compatible serial interface; four I²C slave addresses can be selected. The ADS1113/4/5 operate from a single power supply ranging from 2.0V to 5.5V.

The ADS1113/4/5 can perform conversions at rates up to 860 samples per second (SPS). An onboard PGA is available on the ADS1114 and ADS1115 that offers input ranges from the supply to as low as ±256mV, allowing both large and small signals to be measured with high resolution. The ADS1115 also features an input multiplexer (MUX) that provides two differential or four single-ended inputs.

The ADS1113/4/5 operate either in continuous conversion mode or a single-shot mode that automatically powers down after a conversion and greatly reduces current consumption during idle periods. The ADS1113/4/5 are specified from –40°C to +125°C.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

I²C is a trademark of NXP Semiconductors.

All other trademarks are the property of their respective owners.



This integrated circuit can be damaged by ESD. Texas Instruments recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

ORDERING INFORMATION

For the most current package and ordering information, see the Package Option Addendum at the end of this document, or see the TI web site at www.ti.com.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾

	ADS1113, ADS1114, ADS1115	UNIT
VDD to GND	–0.3 to +5.5	V
Analog input current	100, momentary	mA
Analog input current	10, continuous	mA
Analog input voltage to GND	–0.3 to VDD + 0.3	V
SDA, SCL, ADDR, ALERT/RDY voltage to GND	–0.5 to +5.5	V
Maximum junction temperature	+150	°C
Storage temperature range	–60 to +150	°C

- (1) Stresses above those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. Exposure to absolute maximum conditions for extended periods may affect device reliability.

PRODUCT FAMILY

DEVICE	PACKAGE DESIGNATOR MSOP/QFN	RESOLUTION (Bits)	MAXIMUM SAMPLE RATE (SPS)	COMPARATOR	PGA	INPUT CHANNELS (Differential/ Single-Ended)
ADS1113	BROI/N6J	16	860	No	No	1/1
ADS1114	BRNI/N5J	16	860	Yes	Yes	1/1
ADS1115	BOGI/N4J	16	860	Yes	Yes	2/4
ADS1013	BRMI/N9J	12	3300	No	No	1/1
ADS1014	BRQI/N8J	12	3300	Yes	Yes	1/1
ADS1015	BRPI/N7J	12	3300	Yes	Yes	2/4

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

All specifications at -40°C to $+125^{\circ}\text{C}$, $V_{\text{DD}} = 3.3\text{V}$, and Full-Scale (FS) = $\pm 2.048\text{V}$, unless otherwise noted.
Typical values are at $+25^{\circ}\text{C}$.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	ADS1113, ADS1114, ADS1115			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
ANALOG INPUT					
Full-scale input voltage ⁽¹⁾	V _{IN} = (A _{INP}) – (A _{INN})		±4.096/PGA		V
Analog input voltage	A _{INP} or A _{INN} to GND	GND		VDD	V
Differential input impedance			See Table 2		
Common-mode input impedance	FS = ±6.144V ⁽¹⁾		10		MΩ
	FS = ±4.096V ⁽¹⁾ , ±2.048V		6		MΩ
	FS = ±1.024V		3		MΩ
	FS = ±0.512V, ±0.256V		100		MΩ
SYSTEM PERFORMANCE					
Resolution	No missing codes	16			Bits
Data rate (DR)			8, 16, 32, 64, 128, 250, 475, 860		SPS
Data rate variation	All data rates	–10		10	%
Output noise		See Typical Characteristics			
Integral nonlinearity	DR = 8SPS, FS = ±2.048V, best fit ⁽²⁾			1	LSB
Offset error	FS = ±2.048V, differential inputs		±1	±3	LSB
	FS = ±2.048V, single-ended inputs		±3		LSB
Offset drift	FS = ±2.048V		0.005		LSB/°C
Offset power-supply rejection	FS = ±2.048V		1		LSB/V
Gain error ⁽³⁾	FS = ±2.048V at 25°C		0.01	0.15	%
Gain drift ⁽³⁾	FS = ±0.256V		7		ppm/°C
	FS = ±2.048V		5	40	ppm/°C
	FS = ±6.144V ⁽¹⁾		5		ppm/°C
Gain power-supply rejection			80		ppm/V
PGA gain match ⁽³⁾	Match between any two PGA gains		0.02	0.1	%
Gain match	Match between any two inputs		0.05	0.1	%
Offset match	Match between any two inputs		3		LSB
Common-mode rejection	At dc and FS = ±0.256V		105		dB
	At dc and FS = ±2.048V		100		dB
	At dc and FS = ±6.144V ⁽¹⁾		90		dB
	f _{CM} = 60Hz, DR = 8SPS		105		dB
	f _{CM} = 50Hz, DR = 8SPS		105		dB
DIGITAL INPUT/OUTPUT					
Logic level					
V _{IH}		0.7VDD		5.5	V
V _{IL}		GND – 0.5		0.3VDD	V
V _{OL}	I _{OL} = 3mA	GND	0.15	0.4	V
Input leakage					
I _H	V _{IH} = 5.5V			10	μA
I _L	V _{IL} = GND	10			μA

(1) This parameter expresses the full-scale range of the ADC scaling. In no event should more than $V_{\text{DD}} + 0.3\text{V}$ be applied to this device.

(2) 99% of full-scale.

(3) Includes all errors from onboard PGA and reference.

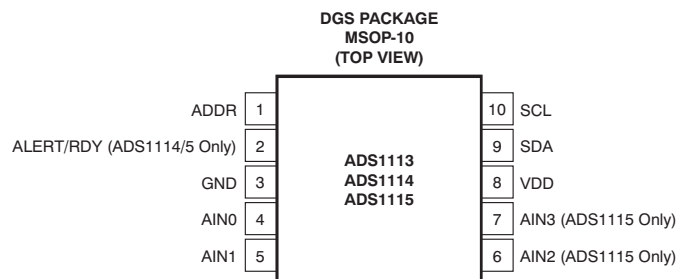
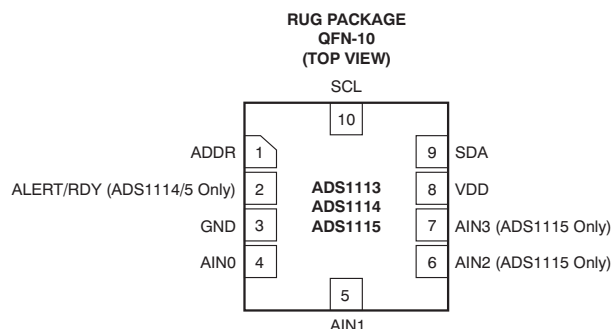
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

All specifications at –40°C to +125°C, VDD = 3.3V, and Full-Scale (FS) = ±2.048V, unless otherwise noted.

Typical values are at +25°C.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	ADS1113, ADS1114, ADS1115			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
POWER-SUPPLY REQUIREMENTS					
Power-supply voltage		2		5.5	V
Supply current	Power-down current at 25°C		0.5	2	μA
	Power-down current up to 125°C			5	μA
	Operating current at 25°C		150	200	μA
	Operating current up to 125°C			300	μA
Power dissipation	VDD = 5.0V		0.9		mW
	VDD = 3.3V		0.5		mW
	VDD = 2.0V		0.3		mW
TEMPERATURE					
Storage temperature		−60		+150	°C
Specified temperature		−40		+125	°C

PIN CONFIGURATIONS



PIN DESCRIPTIONS

PIN #	DEVICE			ANALOG/ DIGITAL INPUT/ OUTPUT	DESCRIPTION
	ADS1113	ADS1114	ADS1115		
1	ADDR	ADDR	ADDR	Digital Input	I ² C slave address select
2	NC ⁽¹⁾	ALERT/RDY	ALERT/RDY	Digital Output	Digital comparator output or conversion ready (NC for ADS1113)
3	GND	GND	GND	Analog	Ground
4	AIN0	AIN0	AIN0	Analog Input	Differential channel 1: Positive input or single-ended channel 1 input
5	AIN1	AIN1	AIN1	Analog Input	Differential channel 1: Negative input or single-ended channel 2 input
6	NC	NC	AIN2	Analog Input	Differential channel 2: Positive input or single-ended channel 3 input (NC for ADS1113/4)
7	NC	NC	AIN3	Analog Input	Differential channel 2: Negative input or single-ended channel 4 input (NC for ADS1113/4)
8	VDD	VDD	VDD	Analog	Power supply: 2.0V to 5.5V
9	SDA	SDA	SDA	Digital I/O	Serial data: Transmits and receives data
10	SCL	SCL	SCL	Digital Input	Serial clock input: Clocks data on SDA

(1) NC pins may be left floating or tied to ground.

LM340, LM340A and LM7805 Family Wide V_{IN} 1.5-A Fixed Voltage Regulators

1 Features

- Output Current up to 1.5 A
- Available in Fixed 5-V, 12-V, and 15-V Options
- Output Voltage Tolerances of $\pm 2\%$ at $T_J = 25^\circ\text{C}$ (LM340A)
- Line Regulation of 0.01% / V of at 1-A Load (LM340A)
- Load Regulation of 0.3% / A (LM340A)
- Internal Thermal Overload, Short-Circuit and SOA Protection
- Available in Space-Saving SOT-223 Package
- Output Capacitance Not Required for Stability

2 Applications

- Industrial Power Supplies
- SMPS Post Regulation
- HVAC Systems
- AC Invertors
- Test and Measurement Equipment
- Brushed and Brushless DC Motor Drivers
- Solar Energy String Invertors

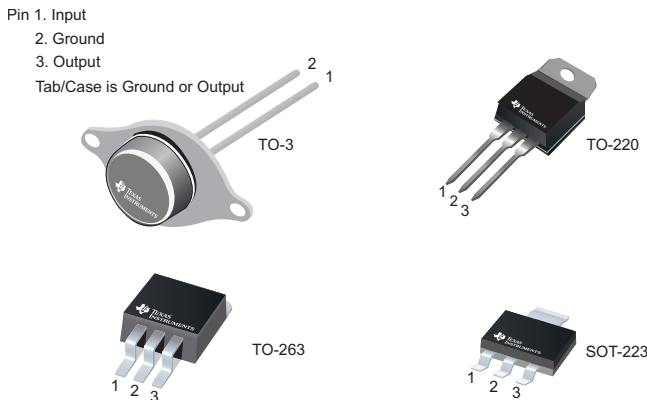
3 Description

The LM340 and LM7805 Family monolithic 3-terminal positive voltage regulators employ internal current-limiting, thermal shutdown and safe-area compensation, making them essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1.5-A output current. They are intended as fixed voltage regulators in a wide range of applications including local (on-card) regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. In addition to use as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents.

Considerable effort was expended to make the entire series of regulators easy to use and minimize the number of external components. It is not necessary to bypass the output, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

LM7805 is also available in a higher accuracy and better performance version (LM340A). Refer to LM340A specifications in the [LM340A Electrical Characteristics](#) table.

Available Packages

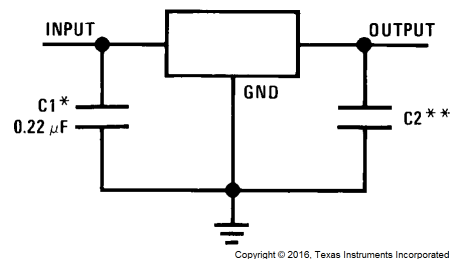


Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM340x LM7805 Family	DDPAK/TO-263 (3)	10.18 mm × 8.41 mm
	SOT-223 (4)	6.50 mm × 3.50 mm
	TO-220 (3)	14.986 mm × 10.16 mm
	TO-3 (2)	38.94 mm × 25.40 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Fixed Output Voltage Regulator



*Required if the regulator is located far from the power supply filter.

**Although no output capacitor is needed for stability, it does help transient response. (If needed, use 0.1-μF, ceramic disc).



Table of Contents

1 Features	1	7.3 Feature Description	12
2 Applications	1	7.4 Device Functional Modes	12
3 Description	1	8 Application and Implementation	13
4 Revision History	2	8.1 Application Information	13
5 Pin Configuration and Functions	3	8.2 Typical Applications	14
6 Specifications	4	8.3 System Examples	15
6.1 Absolute Maximum Ratings	4	9 Power Supply Recommendations	17
6.2 ESD Ratings	4	10 Layout	17
6.3 Recommended Operating Conditions	4	10.1 Layout Guidelines	17
6.4 Thermal Information	4	10.2 Layout Example	17
6.5 LM340A Electrical Characteristics, V _O = 5 V, V _I = 10 V	5	10.3 Heat Sinking DPAK/TO-263 and SOT-223 Package Parts	18
6.6 LM340 / LM7805 Electrical Characteristics, V _O = 5 V, V _I = 10 V	6	11 Device and Documentation Support	20
6.7 LM340 / LM7812 Electrical Characteristics, V _O = 12 V, V _I = 19 V	7	11.1 Documentation Support	20
6.8 LM340 / LM7815 Electrical Characteristics, V _O = 15 V, V _I = 23 V	8	11.2 Related Links	20
6.9 Typical Characteristics	9	11.3 Receiving Notification of Documentation Updates	20
7 Detailed Description	12	11.4 Community Resources	20
7.1 Overview	12	11.5 Trademarks	20
7.2 Functional Block Diagram	12	11.6 Electrostatic Discharge Caution	20
		11.7 Glossary	20
		12 Mechanical, Packaging, and Orderable Information	21

4 Revision History

NOTE: Page numbers for previous revisions may differ from page numbers in the current version.

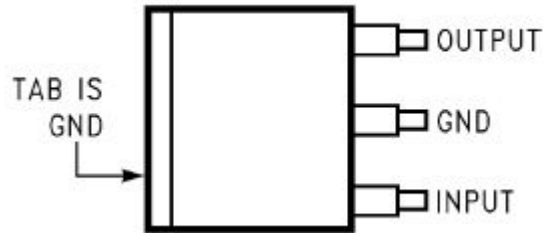
Changes from Revision K (November 2015) to Revision L	Page
• Changed pinout number order for the TO-220 and SOT-223 packages from: 2, 3, 1 to: 1, 2, 3	1

Changes from Revision J (December 2013) to Revision K	Page
• Added ESD Ratings table, Thermal Information table, Feature Description section, Device Functional Modes, Application and Implementation section, Power Supply Recommendations section, Layout section, Device and Documentation Support section, and Mechanical, Packaging, and Orderable Information section	1
• Deleted obsolete LM140 and LM7808C devices from the data sheet	1
• Changed Figure 13 caption from <i>Line Regulation 140AK-5.0</i> to <i>Line Regulation LM340</i> ,	11
• Changed Figure 14 caption from <i>Line Regulation 140AK-5.0</i> to <i>Line Regulation LM340</i> ,	11

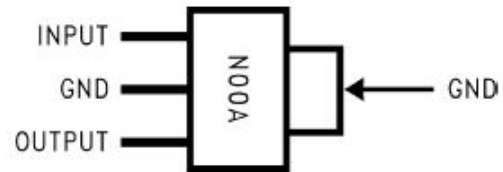
Changes from Revision I (March 2013) to Revision J	Page
• Changed 0.5 from typ to max	5

5 Pin Configuration and Functions

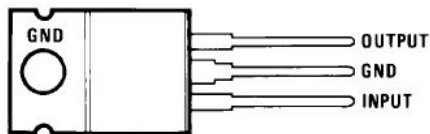
**LM7805 and LM7812 KTT Package
3-Pin DDPAK/TO-263
Top View**



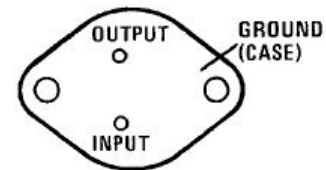
**LM7805 DCY Package
4-Pin SOT-223
Side View**



**LM7805, LM7812, and LM7815 NDE Package
3-Pin TO-220
Top View**



**LM340K-5.0 NDS Package
2-Pin TO-3
Top View**



Pin Functions

PIN		I/O	DESCRIPTION
NAME	NO.		
INPUT	1	I	Input voltage pin
GND	2	I/O	Ground pin
OUTPUT	3	O	Output voltage pin

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾⁽²⁾

		MIN	MAX	UNIT
DC input voltage			35	V
Internal power dissipation ⁽³⁾		Internally Limited		
Maximum junction temperature			150	°C
Lead temperature (soldering, 10 sec.)	TO-3 package (NDS)		300	°C
	Lead temperature 1,6 mm (1/16 in) from case for 10 s		230	°C
Storage temperature		–65	150	°C

- Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, which do not imply functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions*. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- The maximum allowable power dissipation at any ambient temperature is a function of the maximum junction temperature for operation ($T_{JMAX} = 125^{\circ}\text{C}$ or 150°C), the junction-to-ambient thermal resistance (θ_{JA}), and the ambient temperature (T_A). $P_{DMAX} = (T_{JMAX} - T_A)/\theta_{JA}$. If this dissipation is exceeded, the die temperature rises above T_{JMAX} and the electrical specifications do not apply. If the die temperature rises above 150°C , the device goes into thermal shutdown. For the TO-3 package (NDS), the junction-to-ambient thermal resistance (θ_{JA}) is 39°C/W . When using a heat sink, θ_{JA} is the sum of the 4°C/W junction-to-case thermal resistance (θ_{JC}) of the TO-3 package and the case-to-ambient thermal resistance of the heat sink. For the TO-220 package (NDE), θ_{JA} is 54°C/W and θ_{JC} is 4°C/W . If SOT-223 is used, the junction-to-ambient thermal resistance is 174°C/W and can be reduced by a heat sink (see Applications Hints on heat sinking). If the DDPAK/TO-263 package is used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PCB copper area thermally connected to the package: Using 0.5 square inches of copper area, θ_{JA} is 50°C/W ; with 1 square inch of copper area, θ_{JA} is 37°C/W ; and with 1.6 or more inches of copper area, θ_{JA} is 32°C/W .

6.2 ESD Ratings

		VALUE	UNIT
$V_{(ESD)}$	Electrostatic discharge Human-body model (HBM) ⁽¹⁾	±2000	V

- ESD rating is based on the human-body model, 100 pF discharged through 1.5 kΩ.

6.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

		MIN	MAX	UNIT
Temperature (T_A)	LM340A, LM340	0	125	°C

6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾		LM340, LM7805 Family				UNIT
		NDE (TO-220)	KTT (DDPAK/TO-263)	DCY (SOT-223)	NDS (TO-3)	
		3 PINS	3 PINS	4 PINS	2 PINS	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-ambient thermal resistance	23.9	44.8	62.1	39	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	Junction-to-case (top) thermal resistance	16.7	45.6	44	2	°C/W
$R_{\theta JB}$	Junction-to-board thermal resistance	5.3	24.4	10.7	—	°C/W
Ψ_{JT}	Junction-to-top characterization parameter	3.2	11.2	2.7	—	°C/W
Ψ_{JB}	Junction-to-board characterization parameter	5.3	23.4	10.6	—	°C/W
$R_{\theta JC(bot)}$	Junction-to-case (bottom) thermal resistance	1.7	1.5	—	—	°C/W

- For more information about traditional and new thermal metrics, see the [Semiconductor and IC Package Thermal Metrics](#) application report.

6.6 LM340 / LM7805 Electrical Characteristics,

$V_O = 5\text{ V}$, $V_I = 10\text{ V}$

$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$ unless otherwise specified⁽¹⁾

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNIT		
V _O	Output voltage	T _J = 25°C, 5 mA ≤ I _O ≤ 1 A		4.8	5	5.2	V		
		P _D ≤ 15 W, 5 mA ≤ I _O ≤ 1 A		4.75		5.25	V		
		7.5 V ≤ V _{IN} ≤ 20 V					V		
ΔV _O	Line regulation	I _O = 500 mA	T _J = 25°C		3	50	mV		
			7V ≤ V _{IN} ≤ 25V						
		I _O ≤ 1 A	Over temperature			50	mV		
			8V ≤ V _{IN} ≤ 20V						
			T _J = 25°C			50	mV		
ΔV _O	Load regulation	T _J = 25°C	5 mA ≤ I _O ≤ 1.5 A		10	50	mV		
			250 mA ≤ I _O ≤ 750 mA			25	mV		
		Over temperature, 5 mA ≤ I _O ≤ 1 A				50	mV		
		I _Q	Quiescent current	I _O ≤ 1 A	T _J = 25°C			8	mA
					Over temperature			8.5	mA
ΔI _Q	Quiescent current change	0°C ≤ T _J ≤ 125°C, 5 mA ≤ I _O ≤ 1 A			0.5		mA		
		7 V ≤ V _{IN} ≤ 20 V	T _J = 25°C, I _O ≤ 1 A			1	mA		
			Over temperature, I _O ≤ 500 mA			1	mA		
V _N	Output noise voltage	T _A = 25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz			40		μV		
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple rejection	f = 120 Hz 8 V ≤ V _{IN} ≤ 18 V	T _J = 25°C, I _O ≤ 1 A	62	80		dB		
			Over temperature, I _O ≤ 500 mA	62			dB		
R _O	Dropout voltage	T _J = 25°C, I _O = 1 A			2		V		
	Output resistance	f = 1 kHz			8		mΩ		
	Short-circuit current	T _J = 25°C			2.1		A		
	Peak output current	T _J = 25°C			2.4		A		
	Average TC of V _{OUT}	Over temperature, I _O = 5 mA			-0.6		mV/°C		
V _{IN}	Input voltage required to maintain line regulation	T _J = 25°C, I _O ≤ 1 A		7.5			V		

- (1) All characteristics are measured with a $0.22\text{-}\mu\text{F}$ capacitor from input to ground and a $0.1\text{-}\mu\text{F}$ capacitor from output to ground. All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques ($t_w \leq 10\text{ ms}$, duty cycle $\leq 5\%$). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

**AMN
SERIES**

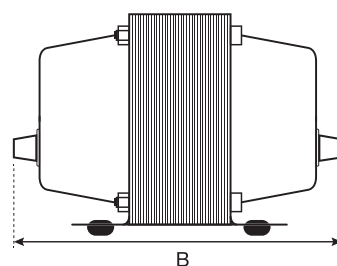
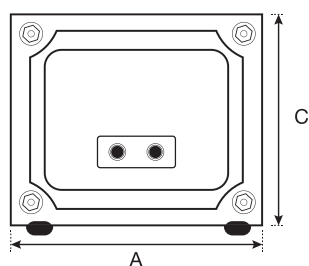
AUTOTRANSFORMADORES MONOFÁSICOS

P. 40

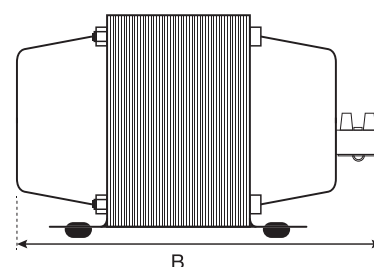
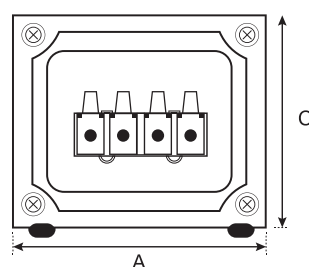
STEP UP-DOWN I-PHASE AUTOTRANSFORMERS

AMN SERIES | 125V / 220Vac

Type A | Tipo A



Type B | Tipo B



REVERSIBLE VOLTAGES: **125V - 220Vac**

STANDARD: **ACCORDING TO EN 61558-2-13**

FREQUENCIES: **50 / 60 Hz**

PROTECTION DEGREE: **IP20**

PROTECTION CLASS: **I**

ISOLATION CLASS: **T40/B**

NON-SHORT-CIRCUIT PROOF

A: EUROPEAN CONNECTION

B: SCREW TERMINALS

Input and output voltages derive from a common winding (Class H 180°C) without galvanic isolation.

They are designed to step up or down the network voltage in order to supply the needed voltage for equipment intended to be associated and for intermittent service.

TENSIONES REVERSIBLES: **125V - 220Vac**

NORMATIVA: **CONFORME A EN 61558-2-13**

FRECUENCIAS: **50 / 60 Hz**

GRADO DE PROTECCIÓN: **IP20**

CLASE DE PROTECCIÓN: **I**

CLASE DE AISLAMIENTO: **T40/B**

NO RESISTENTE A CORTO – CIRCUITOS

A: CONEXIÓN EUROPEA

B: REGLETAS DE TORNILLO

Las tensiones de entrada y salida derivan de un bobinado común (Clase H 180°C) sin aislamiento galvánico.

Están diseñados para elevar o reducir la tensión de red con el fin de proveer el voltaje necesario para los equipos a los que están asociados para uso intermitente.

Power Potencia (VA)	Type Tipo	Code Código	Dimensions Dimensiones (mm)			Net weight Peso neto (kg)	Packing Embalaje
			A	B	C		
100	A	AMN02110201	75	102	66	0,93	18
200	A	AMN02120201	84	112	80	1,36	12
300	A	AMN02130201	84	120	80	1,66	12
400	A	AMN02140201	84	124	80	1,80	12
500	A	AMN02150201	96	126	88	2,29	6
750	A	AMN02175201	108	136	98	3,28	6
1000	A	AMN02210201	108	154	98	4,24	4
1500	B	AMN02215201	126	164	110	5,76	2
2000	B	AMN02220201	126	174	110	6,72	2
2500	B	AMN02225201	150	178	130	8,29	2
3000	B	AMN02230201	150	198	130	10,69	2
4000	B	AMN02240201	150	220	130	13,1	1
5000	B	AMN02250201	195	222	168	15,81	1
7500	B	AMN02275201	195	230	168	18,3	1
10000	B	AMN02310201	195	240	168	20,5	1

* Any other powers and voltages available on request | * Otras potencias y tensiones bajo demanda

Description:

The SAT type transformers are auto wound, step down transformers for portable applications. Fully encapsulated in a fully insulated flame retardant plastic enclosure. The input is provided with approximately two metres of flexible three core cable and three pin plug to BS 1363. The output is with approximately one metre of flexible three core cable fitted with a three pin U.S.A style 15A/125V socket as standard. The output is protected by a 5 x 20mm fuse link of which the replacement must not exceed the stated rating. There are four mounting holes located in the wiring compartment, for permanent installation where required.

Note: These transformers provide no isolation from the mains.

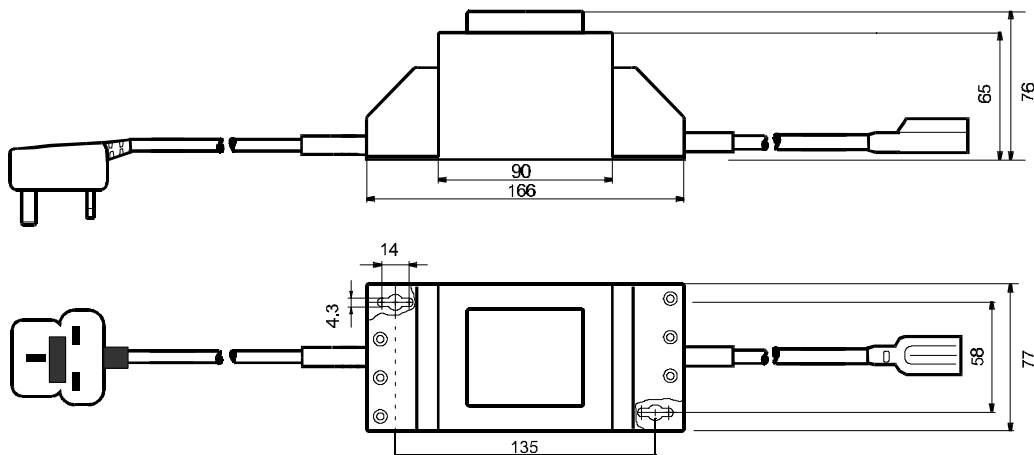
Output power 100 VA Type SAT 100
 Height 76 mm Weight 1900 g
 Ground area 166 mm x 77 mm

 Input Voltage (V).....230
 Output Voltage (V).....115
 Output Current (A).....0,869
 Output fuse rating (Time - Lag)....0,8
 No load (active) power typ. 3W
 Efficiency typ. 92 %

Output power 200 VA Type SAT 200
 Height 76 mm Weight 2361 g
 Ground area 166 mm x 77 mm

 Input Voltage (V).....230
 Output Load Voltage (V).....115
 Output Current (A).....1,6
 Output fuse rating (Time-Lag).....1,6
 No load (active) power typ. 5,3 W
 Efficiency typ. 95 %

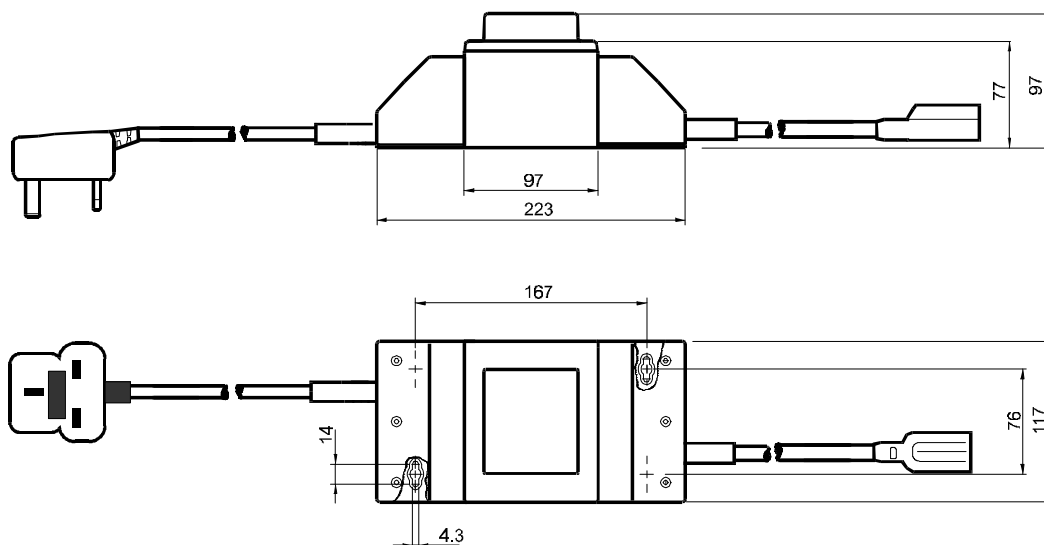
SAT 100 / SAT 200



Output power 300 VA Type SAT 300
 Height 97 mm Weight 3900 g
 Ground area 223 mm x 117 mm

 Input Voltage (V).....230
 Output Voltage (V).....115
 Output Current (A).....2,6
 Output fuse rating (Time - Lag)....2,5
 No load (active) power typ. 6,5 W
 Efficiency typ. 97 %

SAT 300



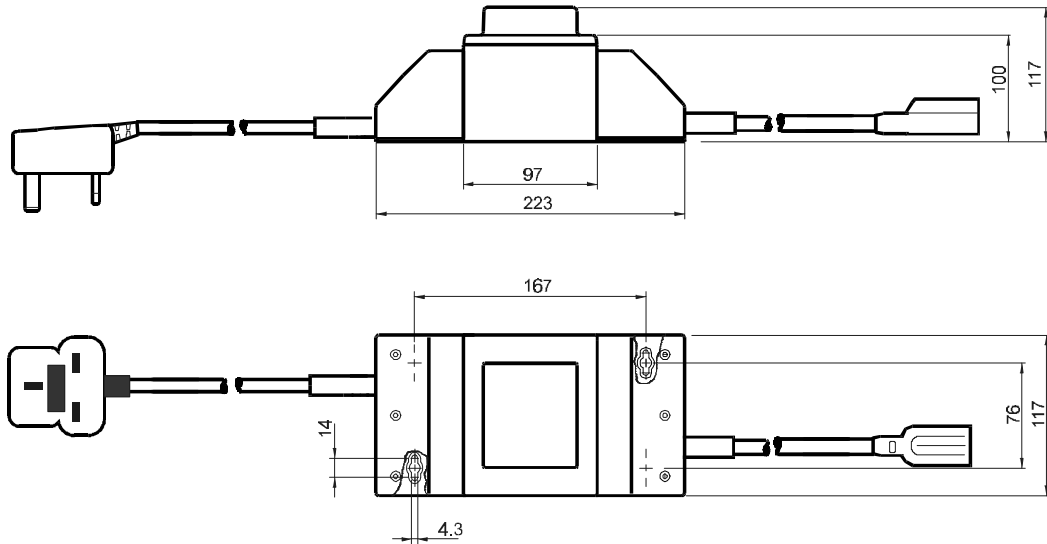
Output power 500 VA Type SAT 500
Height 97 mm Weight 5150 g
Ground area 223 mm x 117 mm

Input Voltage (V).....230
Output Voltage (V).....115
Output Current (A).....4,34
Output fuse rating (Time - Lag)....4,0
No load (active) power typ. 9W
Efficiency typ. 97 %

Output power 600 VA Type SAT 600
Height 97 mm Weight 5150 g
Ground area 223 mm x 117 mm

Input Voltage (V).....230
Output Voltage (V).....115
Output Current (A).....5,21
Output fuse rating (Time-Lag).....5,0
No load (active) power typ. 6W
Efficiency typ. 97 %

SAT 500 / SAT 600



BIBLIOGRAFÍA

[1] Fraile Mora, Jesús. Máquinas Eléctricas. 2º Edición. Editorial: Colección escuelas 1993.

[2] Ruzafa Soto, Sandra, Sánchez Sutil, F.J. y Cano Ortega, Antonio “Estudio y diseño de un sistema para el control del consumo eléctrico de una vivienda”, en Jaén. Julio de 2023.

[3] Cañas Crespo, J. Manuel, Torres Jiménez, Eloísa “Caracterización de un generador eólico tripala y análisis de mejoras de diseño”, en Jaén. Septiembre de 2019.

[4] Tello Yépez, M. Fernando “Construcción de un Aerogenerador de Eje Vertical Tipo Savonius con Sistema de Medición de Giro”, en Ecuador, en 2017.

[5] “First Renewable Energy Group Limited” WM-1Kw WIND TURBINE https://www.ujaen.es/departamentos/ingele/sites/departamento_ingele/files/uploads/node_seccion_de_micrositio/2022-04/Manual%20Aerogenerador%201KW%20.pdf (accedido 30 de Septiembre de 2023)

[6] “Control System Manual” First Renewable Energy Group Limited https://www.ujaen.es/departamentos/ingele/sites/departamento_ingele/files/uploads/node_seccion_de_micrositio/2022-04/Manual%20del%20regulador%20off-grid%20controller%283003500W1KW2KW3KW%29%20with%20first%20V3.0%20del%20aerogenerador%20de%201kw.pdf (accedido 30 de Septiembre de 2023)

[7] “Github.com” Github, Inc (Plataforma de desarrollo colaborativo) <https://github.com/> (accedido el 20 de Marzo de 2024)

[8] “Arduino” Arduino IDE (MultiPlataforma) <https://www.arduino.cc/> (accedido el 17 de Febrero de 2024)

- [9] “How to use ADS1115 16-Bit ADC Module with ESP32” HowToElectronics.
<https://how2electronics.com/how-to-use-ads1115-16-bit-adc-module-with-esp32/>
(accedido el 5 de Diciembre de 2023)
- [10] “ADS1115 I2C external ADC with ESP32 in Arduino IDE” Microcontrollerslab
<https://microcontrollerslab.com/ads1115-external-adc-with-esp32/> (accedido el 5 de Diciembre de 2023)
- [11] “TUTORIAL SENSOR DE CORRIENTE ACS712” Naylamp Mechatronics
https://naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html
(accedido el 18 de Enero de 2024)
- [12] “RS COMPONENTES” Tienda online de la empresa RS Componentes
<https://es.rs-online.com/web/> (accedido el 16 de Noviembre de 2023)
- [13] “Excel 365: Conectar Arduino con Excel usando Data Streamer” Excel Cute
https://www.youtube.com/watch?v=UzP8gdRsM8Q&ab_channel=ExcelCutev
(accedido el 9 de Enero de 2024)