

INFORME DE ADSCRIPCIÓN A PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Nota: El presente documento **PUEDE ser modificado de acuerdo al estado de la beca**. Deberá ser adjuntado en formato PDF en la sección **AUTOARCHIVO** del SASPI con el denominador **“Documento de trabajo”**. El nombre del archivo debe resumir y guardar correspondencia con el tipo de actividad, año y código si lo tuviera. Ejemplos:

Informe Técnico Beca EICyT 2020 - Paola Pomato

Informe Técnico Beca Doctoral CONICET 2020 - Pablo Pomato

Becario:	Gian Alessandro Madera Nigra
Director:	Mgter. Ing. Guillermo A. Fernández
Co-director:	Dr. Ing. Fernando Botterón
Unidad Académica:	Facultad de Ingeniería
Área temática:	Ingenierías y Tecnologías
Código del Proyecto/Trabajo	16/I1083-PDTS
Acreditado:	
Adscripción – Duración:	1 año
Título del Plan de Trabajo:	Desarrollo e implementación de un sistema embebido para medición, tratamiento y transmisión de variables asociadas a generadores fotovoltaicos empleados en microrredes eléctricas

1. Exposición de la labor desarrollada.

Estudio del funcionamiento de los generadores fotovoltaicos. Análisis y selección de las variables de interés para la supervisión de la generación

El sol es una fuente de energía renovable que, si bien está presente todos los días, la cantidad de energía que puede aprovecharse del mismo es intermitente ya que su disponibilidad depende de la época del año, de las condiciones climáticas y la hora del día. Por tal motivo, la generación fotovoltaica será variable y resulta importante monitorear algunas variables para realizar un correcto aprovechamiento de la energía y no interrumpir el suministro a las diferentes cargas que son abastecidas con este sistema de generación.

Los módulos fotovoltaicos están compuestos por un conjunto de células fotovoltaicas conectadas entre sí en arreglos serie-paralelo para obtener niveles de tensión y corrientes útiles en las diferentes aplicaciones de los mismos. Este conjunto está integrado y contenido en un marco de aluminio el cual, junto a la cubierta superior, inferior y el encapsulante proporcionan resistencia mecánica al conjunto, además de protegerlos de las condiciones climáticas [1].

Los principales parámetros que influyen en la generación de los módulos fotovoltaicos son:

- La **Irradiancia** es la cantidad de energía solar por unidad de superficie que incide sobre el módulo y depende plenamente de las condiciones ya mencionadas. La generación de energía de los módulos es directamente proporcional a esta variable.
- La **temperatura** del módulo afecta en forma negativa a la generación. Ante un incremento en la temperatura hay una disminución en el rendimiento de la generación.
- El **voltaje y corriente** proporcionado por el módulo fotovoltaico, brinda información sobre la potencia entregada por el mismo.

Los generadores fotovoltaicos suministran energía eléctrica con niveles de tensión y corriente que dependen de la irradiancia que incide sobre su superficie, la temperatura y el estado de carga a la cual están sometidos. A niveles constante de irradiancia y temperatura, se puede obtener la curva característica de los mismos indicada en la Figura 1. La misma representa los niveles de corriente en función de la tensión, lo cual dependerá del régimen de carga al que está sometido los módulos fotovoltaicos [2].

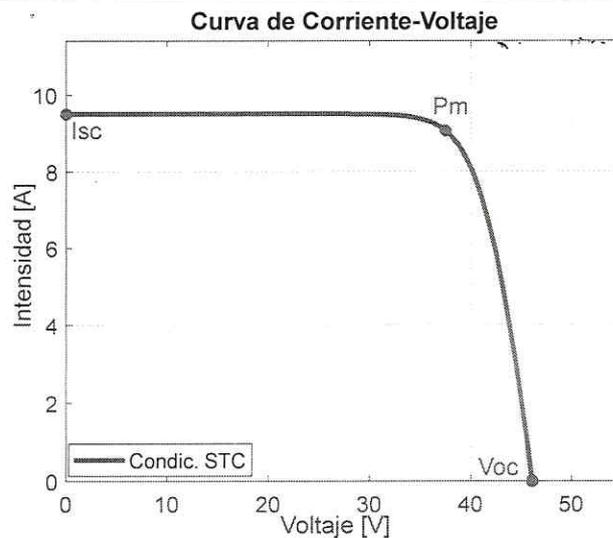


Figura 1: Curva característica I-V de un módulo fotovoltaico.

En la Figura 1 puede observarse tres puntos característicos, los cuales son: Corriente de cortocircuito (I_{sc}); Voltaje en circuito abierto (V_{oc}) y Punto de potencia eléctrica máxima (P_m). El valor tomado por estos puntos característicos, depende de la irradiancia que incide sobre la superficie del módulo y de la temperatura el mismo [3]. La corriente en cortocircuito será directamente proporcional a la irradiancia y la tensión en circuito abierto se verá afectada prácticamente de forma inversa con la temperatura. Estos dos parámetros modificarán la potencia máxima entregada por el módulo, en forma proporcional por la irradiancia e inversamente proporcional por la temperatura. Por lo cual son parámetros claves a tener en cuenta para el monitoreo de la generación permitiendo conocer en todo momento el estado de la generación de energía y el régimen de funcionamiento de los módulos fotovoltaicos.

Lo mencionado resulta muy importante para el correcto aprovechamiento del generador fotovoltaico, pudiendo conocerse cuando existe un exceso de generación de energía y cuando se presenta faltante de la misma, situaciones que deben comunicarse a la unidad central del sistema de supervisión de la microrred, encargada de tomar decisiones y ejecutar acciones de control sobre el sistema con el fin de energizar en forma correcta a las cargas. También el sensado de las variables mencionadas permite detectar fallas, que serán comunicadas al sistema de supervisión para que el mismo actúe con anticipación evitando la pérdida de la generación de energía en la microrred.

Atendiendo esto, el presente trabajo propone un sistema embebido basado en un microcontrolador que permite el sensado remoto, dando acceso a las variables requeridas por el sistema de supervisión de la microrred. La transmisión de las mediciones realizadas en forma remota es realizada mediante el protocolo de comunicación de datos serie denominado CAN (*Controller Area Network*). Las características principales de este protocolo es que posee una topología del tipo bus, utilizando solo dos hilos para establecer las comunicaciones entre los dispositivos que comparten el bus; además, cada dispositivo posee un hardware (controlador) que maneja el intercambio de los mensajes a través del bus con prevención de colisiones y corrección de errores. Otra característica del protocolo CAN es que los mensajes transmitidos utilizan identificadores (ID) basados en el contenido del mensaje en lugar de un ID de dispositivo, lo cual proporciona a los controladores de los dispositivos conectados al bus el acceso y filtrado de los mensajes que son de interés para cada uno de ellos.

Selección de los componentes del circuito electrónico y diseño de sus etapas

Con el fin de seleccionar una placa de desarrollo o microcontrolador (MCU) que permita implementar el sistema embebido propuesto en este trabajo, se efectuó el relevamiento de la disponibilidad en el mercado, en donde se analizaron las distintas características que presentan cada uno. Con toda esa información se elaboró una tabla y se llegó a la conclusión de que la opción más conveniente era la utilización de la placa de desarrollo ESP-32-WROOM-32D ya que cuenta con un módulo interno para la

comunicación CAN, una ventaja notable en la velocidad de procesamiento, ADC con resolución suficiente para la aplicación y además cuenta con diferentes modos de suspensión lo cual favorece al bajo consumo energético del sistema propuesto. La Tabla 1 resume las características del dispositivo seleccionado para el desarrollo del sistema embebido presentado en este trabajo.

Tabla 1: Características técnicas de la placa de desarrollo ESP-32-WROOM-32D.

Características	ESP-32-WROOM-32D
Microcontrolador [núcleo]	ESP32 [dual-core Xtensa® 32-bit LX6 MCU.]
Núcleos	2
Cpu clock	80 MHz - 240 MHz
Frecuencia reloj	40 MHz
Memoria	4MB (Flash-SPI) + 448KB (EEPROM)
Memoria SRAM	520 KB + 16KB RTC
Voltaje de operación	3V - 3,6V (5V alimentación)
ADC (entradas)	12 canales (2x 12 bit)
DAC (salidas)	2 canales
Temporizadores	16bit ,64bit, 32bit (WD)
Pines digitales E/S	25 (todos poseen interrupción y pwm)
Periféricos	4x SPI, 2x I2C, 2x I2S, SDIO, 3x UART, CAN, ETH, IR
Características varias	Bluetooth, wifi, RTC integrado
Lenguajes de programación	C/C++, MicrPython, JavaScrips y LUA.

El sistema embebido desarrollado la medición y transmisión de las variables de interés del generador fotovoltaico de la microrred, incorpora dos sensores de corrientes, uno de temperatura y medición de tensión.

Para el sensor de corriente de salida del generador fotovoltaico se utilizó el sensor integrado MCR1101-50-5 [4] de la marca Aceinna Electric inc. Este sensor soporta corrientes de hasta ± 50 A, proporcionando en la salida un rango de tensión de 0,5 V – 2,5 V para corriente inversa y 2,5 V – 4,5V para corriente directa. La selección de este sensor se realizó en base a la disponibilidad.

Para el caso del sensor de temperatura se realizó un análisis similar al caso de los MCU's y se determinó que la mejor opción era utilizar un sensor DS18B20, el cual facilita la lectura de la medición ya que transmite los datos de manera digital mediante el protocolo ONE-WIRE aportando una mayor inmunidad al ruido y una mayor sencillez en caso de conectar varios sensores a la misma línea. Todo esto con niveles de tensión compatibles al ESP-32, dentro de su rango de medición de temperatura (-55°C a 125°C).

Para la estimación del nivel de irradiancia se decide utilizar una celda fotovoltaica patrón y un módulo basado en el sensor de corriente INA226 [5] que medirá la corriente de cortocircuito de la misma. Luego se realizará la calibración con un instrumento especializado y así se espera estimar la irradiancia incidente en la superficie del generador fotovoltaico. El INA226 por defecto soporta una corriente máxima de 800 mA y también incorpora la capacidad de medición de tensión hasta 36 Volts.

Para la medición de la tensión de salida del generador fotovoltaico se utiliza un divisor de tensión resistivo el cual reduce la tensión desde los 500 V, obtenidos a partir de un conjunto de módulos fotovoltaicos en serie, a unos 10 V, los cuales son inyectados a una etapa acondicionadora de señal para finalmente obtener los niveles de tensión acordes a las entradas analógicas del microcontrolador.

Al realizar pruebas de mediciones con el microcontrolador ESP-32-WROOM-32D, se observó que su conversor analógico-digital (ADC) presenta diferentes problemas. Uno de los problemas encontrados fue que el mismo presentaba alinealidad en los extremos de su rango de medición y que el umbral de detección empezaba a partir de los 150 mV [6]. Por lo cual se decidió diseñar las etapas acondicionadoras de señal correspondientes para que las mismas entreguen un voltaje que se encuentre entre 200 mV y 3V para el rango de corriente/tensión deseada.

En el caso del sensor de corriente MCR 1101-50-5, el mismo tiene una sensibilidad de 40 mV/A y un rango de medición de +50 A a -50 A, encontrándose en un voltaje igual a la mitad de la alimentación en caso de ausencia de circulación de corriente por el mismo (en nuestro caso 2,5 V). El rango de variación que este presentara se encuentra entre los 0,5 V a 4,5 V. Por lo cual, para aprovechar la máxima excursión del ADC se diseña una etapa adaptadora de niveles de tensión basada en amplificadores operacionales LM358 [9], la cual convierta el rango que entregado por el sensor al rango aprovechable de 0,2 V a 3 V.

La Figura 2 muestra el esquema de la adaptadora mencionada. En el mismo puede observarse primeramente un seguidor de tensión que permite adaptar a la impedancia de salida del sensor con la impedancia de entrada del resto del circuito. La salida del seguidor de tensión es conectada una etapa amplificadora en configuración de inversor-no inversor, junto a una referencia de voltaje [8]. Con esto puede ajustarse tanto la ordenada al origen (*offset*) como la pendiente (*span*) de la salida original del sensor de corriente. También se utilizó un filtro de 3er orden el cual evita la producción de *aliasing* en el proceso de muestreo de la señal entregada por el sensor [8]. Este filtro fue diseñado para una frecuencia de corte de 10 Hz, logrando una atenuación de 50 db a la frecuencia de red (50 Hz) a la cual estarán operando diferentes bombas de agua. Con la implementación de la etapa acondicionadora de corriente se obtiene una resolución de 27 mA.

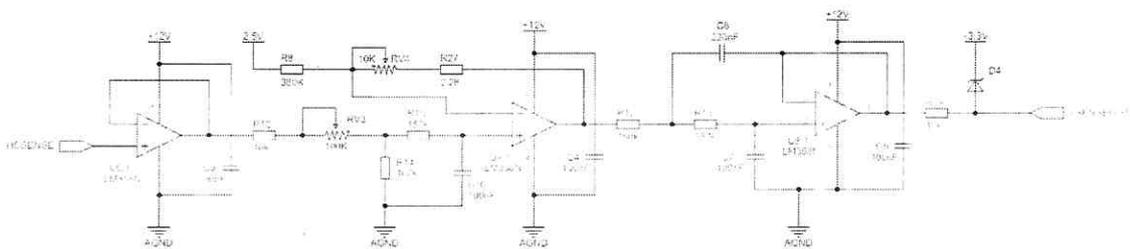


Figura 2: Circuito acondicionador de señal para el sensado de corriente de salida del generador fotovoltaico.

La expresión de transferencia del circuito indicado en Figura 2, se rige por la ecuación (1).

$$V_{senseout} = HC_{sense} \cdot \left(\frac{R_{14}}{R_{10} + R_{V3} + R_{14}} \right) \cdot \left(1 + \frac{R_{27} + R_{V4}}{R_8} \right) - 2,5 \cdot \frac{R_{27} + R_{V4}}{R_8} \quad [V] \quad (1)$$

La ecuación (1) expresa la relación entre la entrada y la salida de la etapa acondicionadora de señal mostrada en la Figura 2, donde HC_{sense} es la tensión que entrega el sensor de corriente y V_{senseout} es la tensión que será aplicada a una de las entradas analógicas del microcontrolador.

Para el diseño de la etapa de sensado de la tensión de salida del generador fotovoltaico, se implementa un divisor de tensión resistivo junto a un circuito acondicionador de señal. Esta etapa es diseñada considerando que debe medirse la tensión de salida del conjunto de módulos fotovoltaicos en serie. Como el diseño del circuito se realiza considerando que pueda ser usado tanto para el generador fotovoltaico, como para el banco de baterías de la microrred, el rango máximo de medida de voltaje puede modificarse mediante un jumper, y así obtener la máxima resolución posible en la medición en cada caso. Esto puede apreciarse en la Figura 3, donde el jumper permite seleccionar el valor máximo de la tensión a sensar, pudiendo variar de 60 V a 500 V máximos. Con esto se puede, en el ESP32, aprovecharse los 12 bits de resolución del ADC al máximo en cada caso. Para la escala de 500 V el mismo posee una resolución de 135 mV, en cambio para la escala de 60 V se obtiene una resolución de 17 mV. La salida del divisor de la Figura 3 proporciona una variación de 0 a 10 V, lo que luego ingresa a la etapa acondicionadora de señal de la Figura 4.

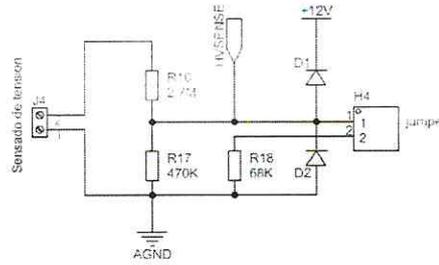


Figura 3: Divisor de tensión resistivo para el sensado del voltaje de salida del generador fotovoltaico.

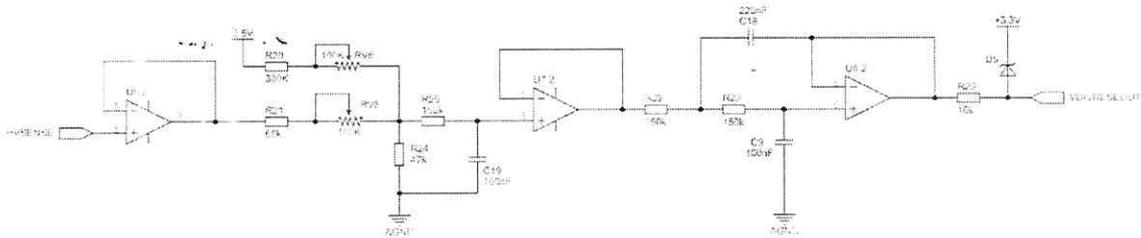


Figura 4: Circuito acondicionador de señal para el sensado del voltaje de salida del generador fotovoltaico.

La etapa mostrada en la Figura 4 permite obtener 0,2 V en la entrada analógica del ESP32 en caso de ausencia de tensión a la salida del generador fotovoltaico. El circuito proporciona una solución al problema del umbral mínimo de detección del ADC y también atenúa a 3V los 10V máximos del divisor de tensión resistivo de la Figura 3.

El circuito de la Figura 4 incorpora en su entrada un seguidor de tensión que está conectado a un filtro de 3er. orden de las mismas características que en el caso que la etapa de corriente. La expresión de transferencia del circuito indicado en Figura 4, se rige por la ecuación (2).

$$V_{DIVRESOUT} = A_{div} \frac{2,5 \cdot (R_{20}+R_{V6}) \cdot R_{24} + HV_{sense} \cdot (R_{21}+R_{V5})}{(R_{20}+R_{V6}) \cdot R_{24} + (R_{21}+R_{V5}) \cdot R_{24} + (R_{21}+R_{V5}) \cdot (R_{20}+R_{V6})} [V] \quad (2)$$

El parámetro A_{div} de la ecuación (2), dependerá de si el jumper está o no colocado en el circuito del divisor de tensión resistivo de la Figura 3. Si está presente $A_{div} = 1/50$, si no está presente $A_{div} = 1/6$.

Para comprobar la operación de las etapas de acondicionamiento de señal diseñadas, mediante simulación se obtiene la respuesta en frecuencia mostrada en la Figura 5.

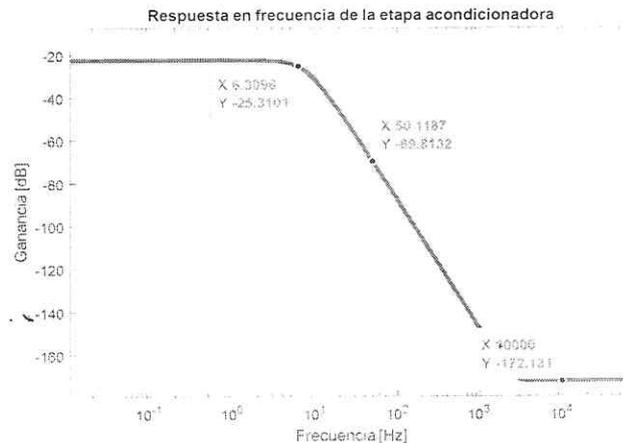


Figura 5: Respuesta en frecuencia de las etapas acondicionadoras.

Como puede apreciarse en el gráfico de la Figura 5, la frecuencia de corte del filtro se encuentra en 6,3 Hz y presenta una atenuación de casi 50 dB a la frecuencia de 50 Hz, siendo esto adecuado para la aplicación de los circuitos diseñados.

A lo largo de diferentes pruebas se realizaron avances en el software del sistema embebido aquí propuesto. Estas pruebas consistieron en la implementación de diferentes modelos de filtros digitales, como ser filtros clásicos, filtros EMA y de media móvil, siendo con estos últimos con los cuales se obtuvieron los mejores resultados. También durante estos ensayos fueron implementadas funciones de adquisición de datos para facilitar el proceso de calibración de las diferentes etapas.

Por otra parte, el trabajo publicado mencionado más adelante, permitió el avance en el desarrollo de la comunicación del sistema embebido aquí propuesto. Este desarrollo tiene que ver con el estudio del módulo para comunicación mediante el protocolo CAN que incorpora el microcontrolador ESP-32. Este módulo es un controlador CAN que admite los formatos de trama estándar (identificador ID de 11 bits) y extendida (identificador ID de 29 bits) de la especificación CAN2.0B [9]. El módulo que posee el ESP32 permite la gestión de mensajes, la corrección de errores y evita la colisión de mensajes en el bus CAN. Para llevar a cabo la comunicación en este bus es necesario la utilización de un transceptor el cual adapta los niveles de tensión entre el bus y los estados lógicos entregados por el microcontrolador, en nuestro caso utilizamos un módulo transceptor basado en el circuito integrado sn65hvd230 [10].

En cuanto al uso del controlador CAN que posee el ESP32, el fabricante ofrece todas las herramientas de programación, proporcionando las funciones necesarias para la gestión de mensajes en el bus CAN. El controlador CAN del ESP32, proporciona interrupciones que son gestionadas con diferentes filtros correspondientes con el ID de cada mensaje. Estos recursos permiten interrumpir la ejecución del flujo principal del programa solo cuando recibamos un mensaje de nuestro interés. Una de las características más importantes del protocolo CAN es que el ID de cada mensaje define la prioridad del mismo, siendo esta mayor con el ID de menor valor.

Diseño del circuito impreso (PCB)

El circuito impreso del sistema embebido fue desarrollado en dos placas separadas (interfaz de usuario y resto del circuito), a modo de facilitar el montaje del mismo en un gabinete cerrado y que la interfaz sea accesible para la operación del sistema. La interfaz de usuario está constituida por un display LCD de 16 x 2 caracteres (con comunicación de datos serie) y de cuatro pulsadores como lo muestra la Figura 6.

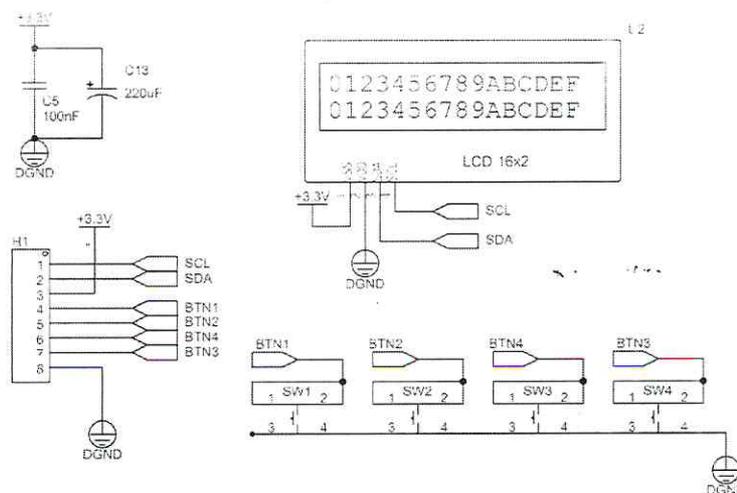


Figura 6: Circuito de la interfaz de usuario.

El resto del circuito, que está en un PCB a parte de la interfaz de usuario, contiene las etapas de acondicionamiento de señal para la medición de la corriente y tensión de salida del generador fotovoltaico indicadas en las Figuras 2, 3 y 4 con la referencia de tensión correspondiente que se muestra en la Figura 7.

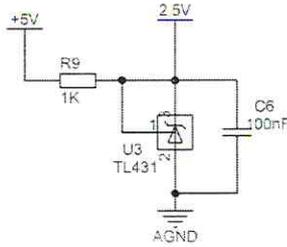


Figura 7: Circuito referencia de voltaje de 2,5V para las etapas de acondicionamiento de las Figuras 2 y 4.

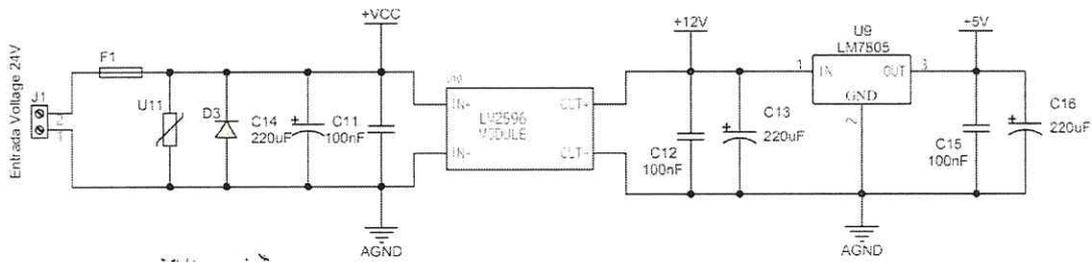


Figura 8: Circuito de la fuente de alimentación.

En la Figura 8 puede observarse que el circuito de la fuente de alimentación está diseñado a partir de un módulo comercial LM2596 con tensión de salida ajustable cual posee conectado en su salida un regulador LM7805. El LM2596 es ajustado para proporcionar 12 V, siendo esta tensión usada para energizar los circuitos de las Figuras 2, 3 y 4, mientras que los 5 V que entrega el LM7805 se usan para energizar al NodeMCU-ESP32 y al sensor de corriente (MCR 1101-50-5). Este último posee un regulador de tensión que entrega 3,3 V y se utiliza para energizar al circuito de la interfaz de usuario (H5), el módulo INA26 (H3) y el transceptor CAN (H1) como puede apreciarse en la Figura 9.

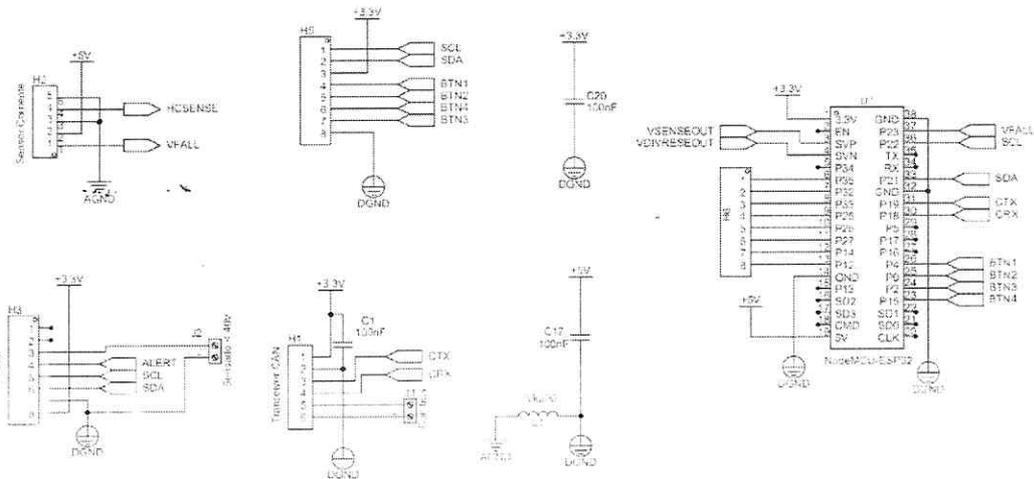


Figura 9: Conexiones de los módulos y del ESP32.

El diseño del circuito impreso fue desarrollado en línea utilizando el software EasyEDA. La Figura 10 muestra el PCB de la interfaz de usuario, el cual tiene una medida de 100 x 60 mm. El diseño del circuito impreso para el resto del circuito, se muestra en la Figura 11, el mismo posee una medida de 110 x 100 mm.

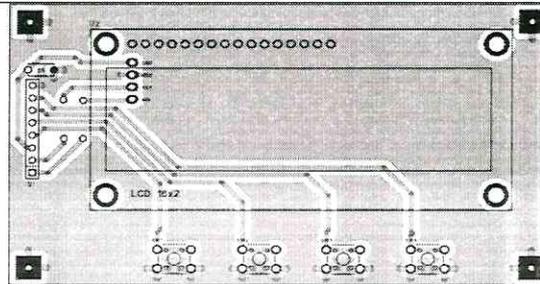


Figura 10: Diseño del circuito impreso para la interfaz de usuario.

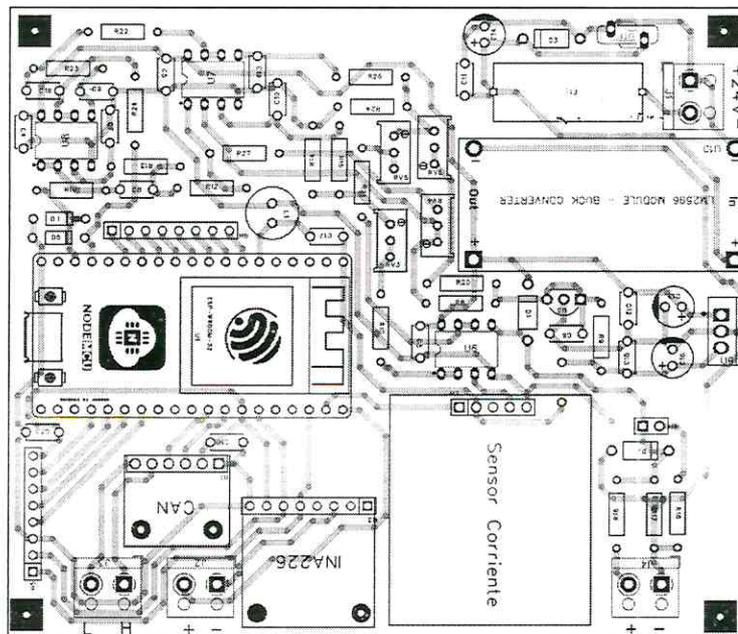


Figura 11: Circuito impreso del sistema embebido desarrollado.

Cabe mencionar que los diseños indicados en las Figuras 10 y 11 corresponden a un primer prototipo del sistema embebido desarrollado, por lo cual están sujetos a modificaciones que surjan de las pruebas que serán realizadas a futuro.

Ensayos y puesta a punto del circuito

Una vez realizados los prototipos de las etapas de acondicionamiento, fueron realizados los ensayos de laboratorio correspondientes. Primero se realizó el ajuste fino de los presets para que la salida de la etapa quede dentro de los valores deseados. Esto es, para una entrada que varía de 0,5 V a 4,5 V, una salida de 0,2 V a 3 V. Luego se procedió a realizar las mediciones de tensión. Para esto mediante una fuente regulable se realizaba pequeños cambios en la tensión de entrada de la etapa de acondicionamiento, obteniéndose los puntos medidos a partir del conversor analógico-digital (ADC) del microcontrolador y contrastándolos con el multímetro de banco UNI-T UT804. Para la implementación de la medición, en el ESP-32 se implementó un filtrado mediante la combinación de tres medias móvil de diferente orden, logrando así un efecto combinado de las respuestas de los mismos, obteniendo una mayor atenuación en la banda de rechazo quedándonos prácticamente con el valor continuo de la medición [11]. En principio se implementaron tres filtros de media móvil en cascada, el primero de orden 25, el segundo de orden 50 y el último de orden 100. Esto conlleva un gran costo computacional que este microcontrolador podía afrontar sin problema, sin embargo, en un futuro la idea es reemplazarlo por un filtro IIR. Los resultados obtenidos mediante la comparación de la lectura del ADC y el multímetro UNI-T UT804 se representan en el siguiente gráfico de la Figura 12.

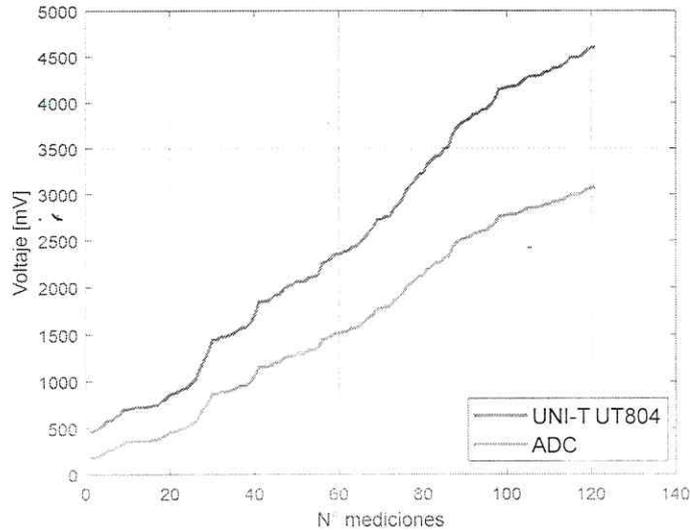


Figura 12: Mediciones de la etapa acondicionadora de señal para el sensor de corriente de salida del generador fotovoltaico.

En base a la calibración de la etapa acondicionadora, luego se procedió a realizar las mediciones de corriente implementando en base a la sensibilidad del mismo (40 mV/A) para obtener las mediciones con el microcontrolador y contrastarlo con el multímetro. En este caso se disponía de una fuente controlada en corriente con la cual alcanzamos sólo un máximo de 7 A. Por lo cual no pudo realizarse la calibración del sensor MCR1101-50-5 en todo su rango. La Figura 13 muestra los resultados obtenidos en el ensayo mencionado.

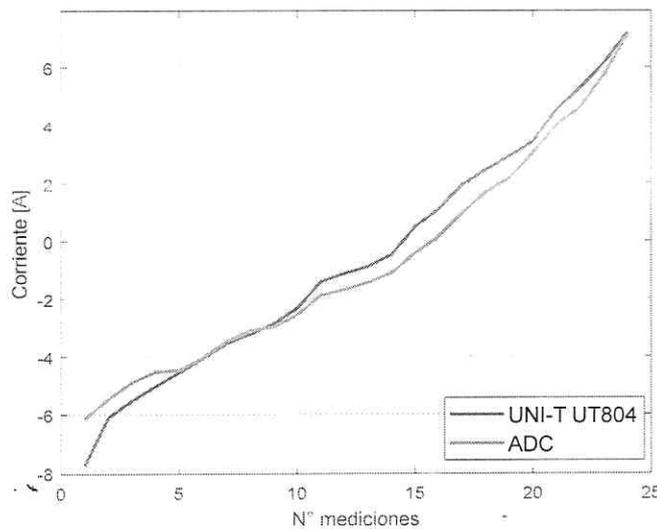


Figura 13: Mediciones de corriente obtenidas con el sistema propuesto y el multímetro UT840.

En la Figura 13 pueden observarse ciertas diferencias entre lo medido por el ADC del ESP32 y el multímetro UNI-T UT804 utilizado como instrumento patrón. Esto podría mejorarse mediante la corrección de toda la etapa de sensado de corriente (sensor + etapa de acondicionamiento), implementando de una regresión polinomial, pero se requeriría realizar más mediciones y poder contar con una fuente corriente que cubra todo el rango útil del sensor (hasta 50 A).

2. Objetivos alcanzados.

El plan de trabajo correspondiente a la adscripción tiene por objetivo: “Diseñar y construir un circuito basado en microcontroladores que sea capaz de medir, registrar y transmitir variables de interés para la supervisión de la generación fotovoltaica de una microrred eléctrica”. A partir de las actividades desarrolladas se han alcanzado los siguientes objetivos: Se estudió el funcionamiento básico de los generadores fotovoltaicos, analizando las variables de interés para la supervisión de la generación en la microrred eléctrica, a su vez se logro definir los sensores requeridos para la medición de las variables y diseñar las etapas de acondicionamiento de señal para el correcto tratamiento de las mismas. Se realizaron los correspondientes prototipos y sus ensayos de laboratorio, para la calibración de las mismas mediante el avance en el desarrollo del programa. Luego con todos los componentes definidos se diseñó el circuito impreso para su futura implementación. Finalmente se realizaron las documentaciones pertinentes para su publicación.

3. Métodos y técnicas empleados.

Para el desarrollo de las actividades propuestas en el plan de trabajo, se comenzó con el estudio del funcionamiento de los módulos fotovoltaicos con lo cual se obtuvo un panorama de las variables de interés (tensión, corriente, temperatura e irradiancia) para la supervisión de la generación fotovoltaica. Luego se procedió con la investigación del hardware necesario para la medición, procesamiento y comunicación de las variables, con lo cual se realizó una lista detallada de los sensores y microcontroladores disponible en el mercado local. Finalmente se optó la utilización de la placa de desarrollo basada en el módulo ESP-32-WROOM-32D ya que cuenta con un módulo interno para la comunicación mediante el protocolo CAN, el cual junto a el transceiver sn65hvd230 permitirá la comunicación de los parámetros a la central de control de la microrred. Para el sensado de las variables se decidió utilizar el sensor de corriente MCR1101-50-5 para la medición de corriente de los módulos fotovoltaicos, el sensor DS18B20 para la medición de temperatura del módulo, el sensor de corriente INA226 junto a una celda fotovoltaica para estimar la irradiancia y un divisor resistivo para el sensado de tensión de la serie.

El siguiente paso fue realizar las pruebas de funcionamiento del microcontrolador ESP-32 en donde se encontraron diferentes falencias del conversor analógico-digital que posee, por lo cual se procedió a diseñar las etapas de acondicionamiento de señal necesarias para la lectura correcta de las variables de interés. Una vez construidos los diferentes prototipos se realizaron las mediciones necesarias en el laboratorio y a la par el avance del programa necesario para la captura, filtrado y corrección de los diferentes parámetros a medir. Luego de haber recolectado los datos necesarios se implementaron las correcciones de las mediciones mediante el uso de regresiones polinomiales con las cuales se obtuvo una precisión aceptable para la aplicación.

Finalmente teniendo las diferentes etapas ensayadas y todos los componentes definidos para el correcto funcionamiento del sistema embebido, se procedió al diseño de circuito “PCB”, quedando pendiente el montaje final para la implementación del mismo.

4. Bibliografía consultada.

- [1] A. C. Oliva y G. S. Herranz (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. España: Editex.
- [2] R. A. Messenger y J. Ventre (2010). *Photovoltaic Systems Engineering (3rd. Ed)*. Taylor & Francis Group
- [3] K. Mertens (2019). *Photovoltaics: Fundamentals, technology, and Practice (2nd. Ed.)*. John Wiley & Sons Ltd.
- [4] High Accuracy Current Sensor IC with 1.5MHz 3dB Bandwidth and Isolation $\pm 5A$, $\pm 20A$, $\pm 50A$, 5V, Ratiometric. MCR1101-xx-5. Hoja de datos disponible on-line:
https://www.mouser.com/pdfdocs/6020-1101-01RevC_MCR1101.pdf
- [5] High or Low side Measurement, bi-directional Current/power monitor with I^2C Interface. INA226. Hoja de datos disponible on-line:
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/419932/T11/INA226.html>
- [6] Espressif. ESP-IDF Programming Guide. Disponible (15-12-22), de:

- <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/v4.4/esp32/api-reference/peripherals/adc.html>
- [7] R. F. Couighlin y F. F. Driscoll (1993). *Amplificadores Operacionales y Circuitos integrados lineales* (4ta. Ed.). Ellen Denning
- [8] Apuntes de la asignatura Electrónica Analógica, Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería. 2020.
- [9] Espressif. ESP-IDF, Red de área del controlador (CAN) (15-12-22), de: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/release-v3.3/api-reference/peripherals/can.html>
- [10] 3.3-V CAN TRANSCEIVERS, SN65HVD230. Hoja de datos disponible on-line: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/82950/TI/SN65HVD230.html>
- [11] Gastón Vilches. (2021). *Por qué el filtro de media móvil no es la mejor opción para el ruido de alta frecuencia*. Disponible (15-12-22), de: <https://www.linkedin.com/pulse/por-qu%C3%A9-el-filtro-de-media-m%C3%B3vil-es-la-mejor-opci%C3%B3n-para-vilches/?originalSubdomain=es>

5. Resultados obtenidos expresada en indicadores de CyT: trabajos publicados, en prensa, presentaciones a reuniones científicas, etc. (colocar referencia a material digital).

Madera Nigra, Gian A.; Fleita, Martin G.; Álvarez, Fabian H.; Gross, Juan P.; Botterón, Fernando; Fernández, Guillermo A. *"Sistema electrónico para red de sensores utilizados en microrredes eléctricas"* Jornadas de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Extensión, Vinculación y Muestra de la Producción, XII JIDeTEV. Oberá, Misiones, agosto de 2022.

6. Obstáculos y dificultades halladas durante el desarrollo del plan de trabajo.

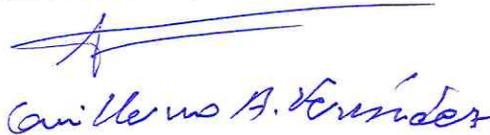
En el desarrollo de las actividades hubo diferentes dificultades con el microcontrolador ESP-32, seleccionado para el desarrollo del sistema propuesto. Se encontraron inconvenientes en el convertor analógico-digital (ADC) el cual dificultaba la lectura de los parámetros a medir. El mismo no posee una respuesta lineal en los extremos del rango de medición, además de tener un umbral mínimo de 150 mV. Esto llevo mas tiempo de lo previsto, al tener que realizar investigaciones al respecto y tener que diseñar circuitos acondicionadores de señal mas complejos para lograr una correcta medición.

7. Avance académico durante el período de la adscripción (exprese en porcentaje): 30,7 %


Madera Nigra Gian
Becario

Evaluación del Director y Co-director (validación por sistema)

Evaluación del adscripto: **SATISFACTORIO**


Guillermo A. Fernández

Director


Botterón Fernando

Co-Director

