

Universidad Tecnológica Nacional

Proyecto Final

**DATASOLER: “Sistema de Adquisición y
Registro de Datos de Radiación Solar.”**

Autores:

- Gómez, Agustín Jesús
- Zapata, Maximiliano Ariel

*Proyecto final presentado para cumplimentar los requisitos académicos
para acceder al título de Ingeniero Electrónico.*

en la

Facultad Regional Paraná

Marzo de 2018

Declaración de autoría:

Nosotros declaramos que el Proyecto Final “DATASOLER: Sistema de Adquisición y Registro de Datos de Radiación Solar” y el trabajo realizado son propios. Declaramos:

- Este trabajo fue realizado en su totalidad, o principalmente, para acceder al título de grado de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Paraná.
- Se establece claramente que el desarrollo realizado y el informe que lo acompaña no han sido previamente utilizados para acceder a otro título de grado o pre-grado.
- Siempre que se ha utilizado trabajo de otros autores, el mismo ha sido correctamente citado. El resto del trabajo es de autoría propia.
- Se ha indicado y agradecido correctamente a todos aquellos que han colaborado con el presente trabajo.
- Cuando el trabajo forma parte de un trabajo de mayores dimensiones donde han participado otras personas, se ha indicado claramente el alcance del trabajo realizado.

Firmas:

- Gómez, Agustín Jesús
- Zapata, Maximiliano Ariel

Fecha:

Agradecimientos:

Agradezco en primer lugar a Juliana por acompañarme y apoyarme siempre en mis objetivos.

A mis padres José y Analía por poner lo mejor de ellos para que yo pueda estudiar y formarme.

A mi amigo y compañero de trabajo Maximiliano por poner lo mejor de sí y así formar un equipo superador.

A mis amigos y compañeros de estudio Maxi, Tinga, Gonza, Patiño, Juani, Facu y Lea con quienes se hizo más liviano llegar hasta acá.

A la UTN FRP por formarme como ingeniero, por ser el lugar donde me llené de experiencias y donde conocí a muy buenas personas.

Gómez, Agustín Jesús

Agradezco por sobre todas las cosas a mi familia, especialmente a mis padres Sergio y Silvia, y a mi hermano Leandro, que siempre me han comprendido y apoyado incondicionalmente en todos mis proyectos de vida y me enseñan cada día a ser mejor persona.

A mi amigo Agustín quien no solo ha sido académicamente un gran compañero, sino que también es una persona excepcional con la que siempre cuento y de la que siempre aprendo cosas muy buenas para mi vida.

A mis amigos de la universidad por todos los momentos que compartimos.

A la UTN FRP, docentes, no docentes y alumnos que crucé en el camino y no solo me ayudaron a formarme como ingeniero sino también como persona.

A todas las demás personas que formaron parte de esto, ya sea compartiendo momentos de estudio, tomándose el tiempo para explicarme cosas o simplemente apoyándome con su presencia.

Zapata, Maximiliano Ariel

Universidad Tecnológica Nacional

Abstract

Facultad Regional Paraná

Ingeniero en Electrónica

DATASOLER: “Sistema de Adquisición y Registro de Datos de Radiación Solar”.

Gómez, Agustín Jesús

Zapata, Maximiliano Ariel

Abstract:

This project is about the design and implementation of a datalogger-style system capable of gather and record solar radiation data. This system senses periodically Photosynthetic Active Radiation (PAR) values and records them digitally in a file on a SD memory card.

The system has a signal adapter block that digitalizes the electrical signals that come from the radiometer. This block uses an instrumentation amplifier INA and an 8-bit Microchip microcontroller. Another block records the gathered data, but this one uses a Microchip's 8 bits microcontroller and also a 32 bits microcontroller. A LCD Display, a RTC and a SD memory card are also used for this propose.

This project also includes the development of a suitable software for the configuration that the equipment requires and the integration of different communication protocols such as I2C, SPI, TTL and RS-485. The platform chosen for the software development was Visual Studio Community 2015.

This project constitutes a working tool for the UTN Facultad Regional Paraná's Alternative Energies Laboratory. With this tool, it will be possible to study the temporal evolution of solar radiation in a certain area. The studied data will be key to determine the feasibility of the placement of some solar energy device.

The result was a device capable of measure PAR radiation on a range up to 1366 [W/m²], with a calculated class of accuracy of 0.8. This equipment has a sampling period between [5 ; 60] [min] , a removable SD memory card and almost unlimited data storage space (>250 years). The separation between the measurement sensor and the register device could reach a distance around 1200[m].

Keywords:

datalogger, solar energy, PAR radiation meter

Resumen:

Este proyecto consiste en el diseño e implementación de un sistema estilo datalogger capaz de realizar un relevamiento de niveles de radiación solar. Dicho sistema es capaz de sensar periódicamente valores de Radiación Fotosintéticamente Activa o PAR (Photosynthetic Active Radiation) y registrarlos de forma digital en un archivo contenido en una tarjeta de memoria SD.

El sistema cuenta con un bloque adaptador de señal que digitaliza las señales eléctricas provenientes del radiómetro por medio de un operacional de instrumentación tipo INA y un microcontrolador de 8 bits de Microchip. Otro bloque registra los datos. En él se trabajó con microcontroladores de 8 y 32 bits, también de Microchip, una pantalla LCD, un RTCC, una tarjeta SD, entre otros.

Este proyecto incluye además el desarrollo de un software adecuado para la configuración del equipo y la integración de distintos protocolos de comunicación tales como I2C, SPI, Serie TTL y RS-485. La plataforma elegida para el desarrollo del software fue Visual Studio Community 2015.

El proyecto finalizado constituye una herramienta de trabajo para el Laboratorio de Energías Alternativas de la UTN Facultad Regional Paraná. Con dicha herramienta se podrá estudiar la evolución temporal de radiación solar en un determinado área. Los datos estudiados serán claves para determinar la factibilidad de la colocación de algún dispositivo de aprovechamiento de energía solar.

Como resultado se obtuvo un dispositivo capaz de medir radiación PAR en un rango de hasta 1366 [W/m²] con clase 0,8. El equipo permite tomar muestras con un período de entre

5 y 60 minutos y almacenarlas en una tarjeta de memoria SD extraíble (capacidad de almacenamiento prácticamente ilimitado). La distancia máxima entre la etapa registradora y la etapa de toma de muestra se estima en 1200 [m].

Palabras Clave:

Datalogger, energía solar, medidor de radiación PAR

Reconocimientos:

En este apartado queremos reconocer al personal del Laboratorio de Energías Alternativas por la propuesta del proyecto y brindarnos el sensor.

Agradecemos profundamente a la Fundación Nuevo Banco de Entre Ríos por el apoyo económico concedido para la realización del proyecto y a Daniel Ferreras y Cesar Mini por ser nuestros directores de beca. Agradecemos a Martin Colignon por brindarnos componentes y herramientas, y especialmente, por la ayuda brindada desde Argentina cuando estábamos en Europa.

Quisiéramos reconocer a nuestras familias por la paciencia y por brindarnos espacio para realizar este proyecto.

Índice:

Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Target	1
1.3. Pruebas de producto y competencia.....	1
Capítulo 2: Desarrollo	3
2.1. Diagrama de bloques del sistema	3
2.2. Bloque N°1: Procesamiento de señal de radiación	3
2.2.1 Sensor de radiación solar	4
A. Análisis y selección de componentes	4
B. Propuestas de circuitos o esquemas	4
C. Análisis del funcionamiento.....	5
2.2.2. Adaptación de la señal con operacional de instrumentación	7
A. Análisis y selección de componentes	7
B. Propuestas de circuitos o esquemas	8
C. Análisis del funcionamiento.....	9
2.2.3. Toma de muestra y digitalización de la señal.....	12
A. Análisis y selección de componentes	12
B. Propuestas de circuitos o esquemas	14
C. Desarrollo del software	23
2.3. Bloque N°2: Almacenamiento de datos de radiación	25
2.3.1. Procesador central: PIC32MX230F064B	25
A. Análisis y selección de componentes	25
B. Propuestas de circuitos o esquemas	27
C. Análisis del funcionamiento.....	28
D. Desarrollo de software	34
2.3.2. Tarjeta SD	42
A. Análisis y selección de componentes	42
B. Propuestas de circuitos o esquemas.	42
C. Análisis del funcionamiento.....	44
2.3.3. Interfaz Usuario-PC: Software para la configuración del equipo	44
A. Análisis y selección de componentes	44
B. Propuestas de circuitos o esquemas	45
C. Análisis del funcionamiento.....	46
D. Desarrollo del software	54
2.3.4. Interfaz de estado LCD con microprocesador PIC16F1826	55
A. Análisis y selección de componentes	55
B. Propuestas de circuitos o esquemas.	56
C. Análisis del funcionamiento.....	57
2.3.5. RTCC: Real Time Clock and Calendar	59
A. Análisis y selección de componentes	59
B. Propuestas de circuitos o esquemas	60
C. Análisis del funcionamiento.....	61
Capítulo 3: Resultados.....	63
Capítulo 4: Análisis de Costos	65
4.1. Costos del trabajo	65
4.2. Plan de venta y amortización de la inversión	66
Capítulo 5: Discusión y Conclusión.....	67
Capítulo 6: Literatura Citada.	68
Anexo: Informe de gastos.	69

Lista de Figuras:

Figura 1. Diagrama de bloques del sistema.....	3
Figura 2. Sensor de radiación PAR.....	4
Figura 3. Respuesta espectral típica de los sensores fotovoltaicos.....	6
Figura 4. Placa adaptadora de señal de radiómetro al rango 0-10[V].....	7
Figura 5. Placa adaptadora en gabinete estanco	8
Figura 6. Correcciones placa adaptadora.....	9
Figura 7. Circuito esquemático de placa adaptadora.....	10
Figura 8. Esquema de configuración operacional de instrumentación INA122.....	11
Figura 9. PCB placa adaptadora de señal de radiómetro	12
Figura 10. Placa adquisidora en gabinete estanco	13
Figura 11. Primer diseño de la placa de procesamiento de señal.....	14
Figura 12. Evaluación de adaptación de tensiones	16
Figura 13. Esquemático placa de procesamiento de señal.....	17
Figura 14. Evaluación de tensiones a la entrada del conversor ADC	20
Figura 15. Densidad de potencia teórica y real.....	21
Figura 16. Error en la densidad de potencia medida	21
Figura 17. PCB de placa de procesamiento de señal.....	22
Figura 18. Diagrama de flujo de microcontrolador de placa de procesamiento de señal...	23
Figura 19. Placa registradora en gabinete. Display en pantalla inicial.....	26
Figura 20. Placa registradora en gabinete. Interior.....	27
Figura 21. Esquema completo circuito de placa registradora	29
Figura 22. Comunicación bus I2C.....	30
Figura 23. Comunicación módulo SD	31
Figura 24. Comunicación con módulo USB-UART	31
Figura 25. Comunicación con adquisidor.....	32
Figura 26. Fuente de alimentación	33
Figura 27. Procesador PIC32MX230F064B.....	33
Figura 28. Diagrama de flujo placa maestro. Parte 1.....	34
Figura 29. Diagrama de flujo placa maestro. Parte 2.....	35
Figura 30. Diagrama de flujo placa maestro. Parte 3.....	37
Figura 31. Diagrama de flujo placa maestro. Parte 4.....	38
Figura 32. Diagrama de flujo placa maestro. Parte 5: Interrupción 1 [s].	39
Figura 33. Diagrama de flujo placa maestro. Parte 6: Interrupción por botón.....	40
Figura 34. Diagrama de flujo placa maestro. Parte 7: Interrupción por recepción de datos de software	41
Figura 35. Lector de tarjeta SD.....	42
Figura 36. Conexión de lector de Tarjeta SD	43
Figura 37. Conversor USB-UART.....	44
Figura 38. Conversor USB-UART en placa principal. Primer diseño	45
Figura 39. Conversor USB-UART en placa principal. Introducción de placa auxiliar	46
Figura 40. Software. Entorno gráfico para configuración de equipo	46
Figura 41. Software. Modo configuración	47
Figura 42. Software. Configuraciones.....	48
Figura 43. Software. Control de seteos	48
Figura 44. Software. Configuración de dispositivo.....	49
Figura 45. Software y dispositivo. Handshaking y envío de información	50
Figura 46. Software y dispositivo. Configuración exitosa.....	50
Figura 47. Software y dispositivo. Configuración no exitosa 1.....	51
Figura 48. Software y dispositivo. Configuración no exitosa 2.....	51

Figura 49. Software y dispositivo. Manual de usuario.....	52
Figura 50. Software y dispositivo. Guardar parámetros.....	53
Figura 51. Software y dispositivo. Excel de parámetros guardados	53
Figura 52: Interfaz de estado LCD. Módulo comercial descartado	55
Figura 53. Interfaz de estado LCD. Módulo de diseño propio.....	56
Figura 54. Interfaz de estado LCD: Instalación en gabinete	57
Figura 55. Interfaz de estado LCD. Información en pantalla.....	58
Figura 56. RTCC dentro del diagrama de bloques del PIC32MX2XX.....	59
Figura 57. Módulo RTCC	60
Figura 58. Mapa de direcciones del DS3231 (RTCC).....	61
Figura 59. DATASOLER. Equipo desarrollado.....	64

Lista de Tablas:

Tabla 1. Mediciones de adaptación de tensiones con buffer en placa adquisidora.....	15
Tabla 2. Mediciones de adaptación de tensiones sin buffer en placa adquisidora.....	19
Tabla 3. Características del equipo.....	63
Tabla 4. Detalles de inversión del dinero aportado por Fundación Nuevo BERSA.	65

Lista de Abreviaciones:

ADC: Analog-to-digital converter.

CNEA: Comisión Nacional de Energía Atómica.

HMI: Human-machine interface.

I2C: Inter-integrated circuit.

LCD: Liquid cristal display.

LEA: Laboratorio de Energías Alternativas.

PAR: radiación fotosintéticamente activa o photosynthetic active radiation.

PCB: Printed circuit board.

RTCC: Real time clock and calendar o calendario y reloj de tiempo real.

SD: Secure digital.

SPI: Serial peripheral interface.

TTL: Transistor to transistor logic.

UART: Universal asynchronous receiver transmitter.

UTP: Unshielded twisted pair

Dedicado a:

Este trabajo está dedicado en primer lugar a nosotros mismos que no solo hemos aprendido, disfrutado y crecido, sino que también, con mucho empeño y dedicación, hemos sorteado las dificultades que se presentaron en el camino, para concluir exitosamente con este ciclo de nuestras vidas.

En segundo lugar lo dedicamos a nuestras familias y en el caso de Agustín a su pareja, Juliana, porque son personas que nos acompañan en todo momento, brindándonos su apoyo incondicional.

Capítulo 1: Introducción

1.1. Introducción

El proyecto consiste en el diseño y construcción de un sistema que registrará datos digitalizados de radiación solar, almacenando los mismos en forma de tabla en un archivo de texto, compatible con Excel, en una memoria SD.

La propuesta de construcción de este sistema tipo datalogger surgió en el año 2015, por parte del Laboratorio de Energías Alternativas (LEA) de la facultad, debido a la necesidad de poner en funcionamiento un sensor de radiación solar PAR desarrollado por la CNEA (Comisión Nacional de Energía Atómica), para así estudiar la evolución temporal de radiación solar.

Este proyecto fue abordado desde la etapa de diseño, es decir que todos los desarrollos tales como *diagrama de bloques funcionales, circuitos, software, placas, gabinetes, etc.*, son autoría de quienes suscriben.

Cabe destacar que este proyecto fue galardonado y apoyado económicamente por la Fundación Nuevo BERSA como proyecto de investigación: aprobado (agosto 2015), financiado (diciembre 2015 – diciembre 2016).

1.2. Target

Si bien el producto fue diseñado a pedido de un laboratorio y tiene una razón de ser enfocada específicamente a medir radiación solar, se puede apuntar a dos mercados en el futuro:

Primeramente *organizaciones, laboratorios, empresas, etc.*, que se desarrollen en el campo de la energía solar. Pero además se deja abierta la posibilidad de, mediante pequeñas modificaciones, alcanzar las capacidades de un datalogger de uso general, donde los potenciales consumidores serían investigadores o empresas que necesiten realizar sensado y registro de evolución de alguna variable analógica específica.

1.3. Pruebas de producto y competencia

El producto final es una adaptación e integración de diferentes módulos capaces de ser encontrados en el mercado de manera separada.

Se entiende que la competencia directa son los “dataloggers”. Según el estudio de mercado realizado se pudo determinar que éstos generalmente se fabrican para un propósito específico, como por ejemplo registrar *temperatura, humedad, entre otros*. El producto que se presenta aquí posee la ventaja de ser adaptable a cualquier variable de entrada contenida en el rango de tensiones de 0-10[V] (valores estándares). El tipo de conexión que lleva la entrada permite además lograr cierta distancia entre el aparato y el sensor. Finalmente, el software desarrollado permite una conexión e interacción fácil y directa con el usuario.

Capítulo 2: Desarrollo

2.1. Diagrama de bloques del sistema

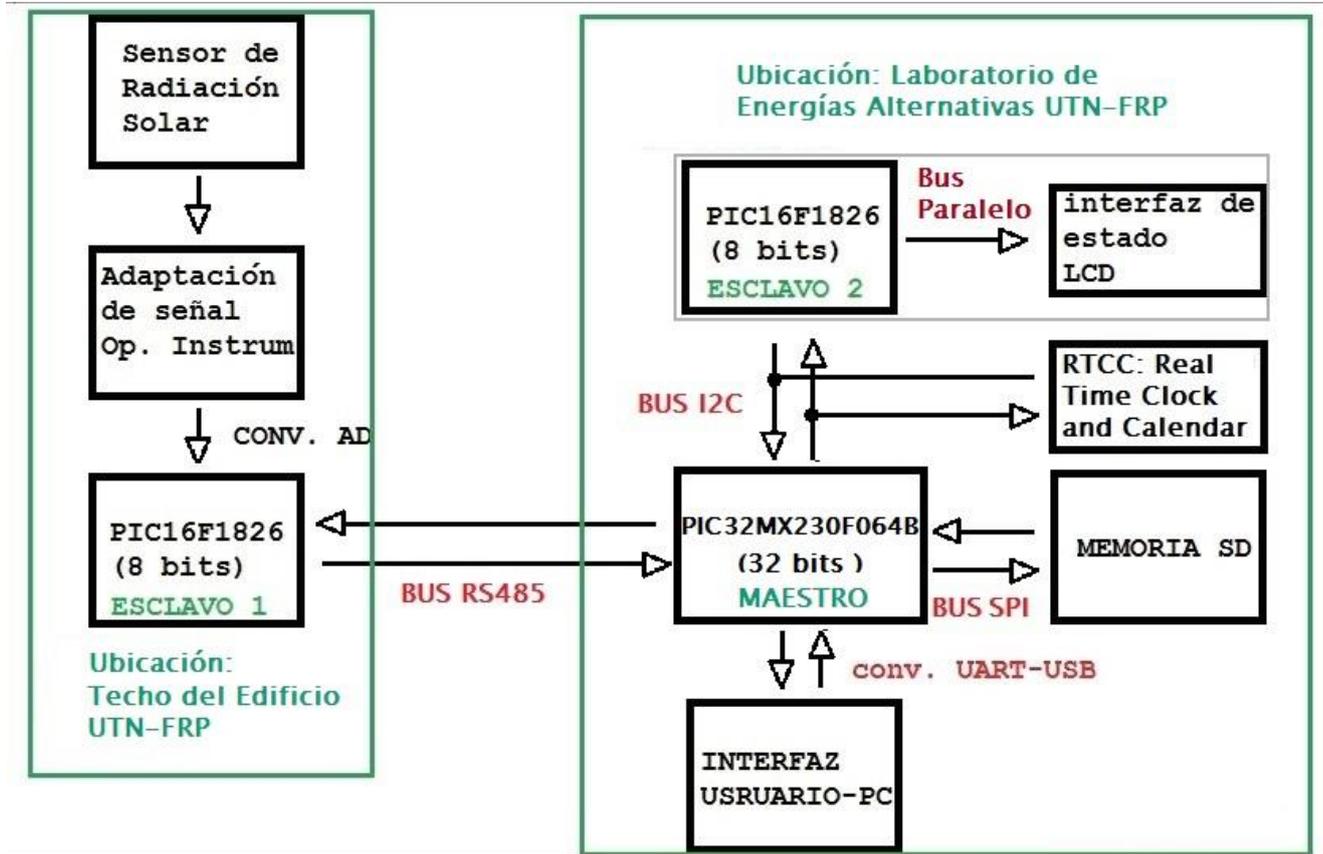


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema

Como se ve en la figura 1, el sistema está dividido en dos grandes bloques, que a su vez se subdividen en otros más pequeños. A la izquierda vemos el bloque encargado del “Procesamiento de señal de radiación” y a la derecha el bloque encargado del “Registro de datos e interfaz de usuario”. Para comprender el funcionamiento es necesario comenzar analizando el **Bloque N°1**:

2.2. Bloque N°1: Procesamiento de señal de radiación

Este bloque está compuesto por dos placas, que deben ser dispuestas junto con el sensor en el lugar de medición, que en este caso se trata del techo de la facultad. La tarea principal de este módulo es acondicionar la señal proveniente del radiómetro, amplificarla y digitalizarla para luego enviarla al sistema registrador correspondiente al **Bloque N°2**.

2.2.1 Sensor de radiación solar

A. Análisis y selección de componentes

Como se mencionó previamente, se cuenta con un dispositivo preparado para medir radiación solar (sensor de radiación PAR, provisto por la CNEA). Se presenta el mismo a continuación:



Figura 2. Sensor de radiación PAR

B. Propuestas de circuitos o esquemas

I. Pruebas, experiencias

Se probó que el equipo funcionase correctamente, es decir se lo expuso a radiación solar y se midió la tensión en sus terminales.

II. Problemas y soluciones implementadas

El problema más relevante a la hora de trabajar en este módulo fue la falta de disponibilidad del sensor, ya que es una herramienta propia del laboratorio y es utilizada por varios grupos de trabajo. La solución fue trabajar utilizando una fuente de tensión con varios divisores resistivos que simulaban la respuesta de dicho sensor.

C. Análisis del funcionamiento

Este sensor genera una señal del orden de los milivolts proporcional a la cantidad de radiación PAR que incide en su cara superior, para esto utiliza como elemento sensor una celda fotovoltaica de silicio monocristalino. La radiación fotosintéticamente activa es aquella que está comprendida dentro del espectro visible (dentro del rango [400; 700] nanómetros). Esto implica que el sensor podría ser puesto en funcionamiento con algún tipo de luz cuya longitud de onda esté dentro de los valores mencionados.

Aspectos técnicos

“Los radiómetros fotovoltaicos poseen como elemento sensible un semiconductor, como por ejemplo un fotodiodo o una celda de silicio (en general de tipo monocristalino), que al recibir un flujo radiante genera una corriente proporcional a la irradiancia recibida, la que, al circular por una resistencia de carga, genera una diferencia de potencial.”¹

Sensor

“Los sensores son celdas fotovoltaicas de silicio monocristalino diseñadas y fabricadas por el Grupo Energía Solar de la CNEA, en particular estos sensores tienen un área activa de 0,13 cm².

La salida eléctrica de los dispositivos es una salida de tensión del orden de los 10 mV. La respuesta de cualquier sensor fotovoltaico no es plana y depende de la longitud de onda de la radiación, lo cual limita su uso a la determinación de valores diarios de la irradiación global una vez que se ha comparado estadísticamente su comportamiento con el de un piranómetro termoelectrónico y determinado su constante media.”²

En la siguiente figura se puede ver la respuesta espectral de este tipo de sensores. En la gráfica se aprecia la zona de trabajo, la cual corresponde al rango [400 ; 700] [nm] donde el sensor tiene una respuesta aproximadamente lineal.

¹Bolzi C.G., Martínez Bogado M. G. Tamasi M. J. L., Grossi Gallegos H., Righini R. (2008). Desarrollo de radiómetros fotovoltaicos de bajo costo en la CNEA. En Actas del IX Congreso Panamericano de Iluminación Luxamérica 2008, organizado por la Asociación Argentina de Luminotecnia, Rosario, Santa Fe, Argentina, Tomo I pp. III-38 a III-45.

² Ibid. 1

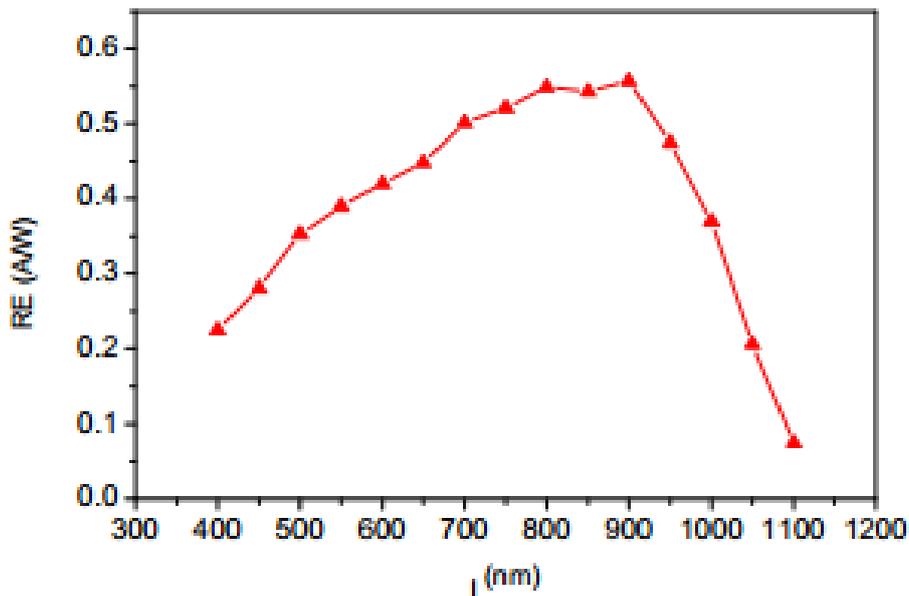


Figura 3. Respuesta espectral típica de los sensores fotovoltaicos

Medición

La respuesta del radiómetro es proporcional a la irradiancia recibida, por lo tanto para medir la radiación solar se debe medir la *tensión de salida del radiómetro (M)*, se debe dividir este valor por la constante de calibración del radiómetro teniendo en cuenta las unidades:

Radiación: $M / Cte.$

Ejemplo: si la constante del radiómetro es de $10[\mu V/Wm^{-2}]$ y la medición M es de $8,5[mV]$ la cuenta queda definida por:

$$\text{Radiación } [Wm^{-2}] = 8,5[mV] / 10[\mu V/Wm^{-2}] = 8,5[mV] / 0,010 [mV/Wm^{-2}] = 850 [Wm^{-2}].$$

En particular, este sensor posee una constante de $11,3[\mu V/Wm^{-2}]$. Y como se verá a continuación, un fondo de escala (radiación máxima) que genera alrededor de $16[mV]$.

2.2.2. Adaptación de la señal con operacional de instrumentación

El objetivo de este esquema es adaptar la señal de tensión a los valores estandarizados, es decir al rango **0-10[V]**.

A. Análisis y selección de componentes

Como las señales de salida del sensor son extremadamente débiles (del orden de los microvolts) se requieren amplificadores lo suficientemente sensibles y estables para poder adaptar las señales al rango estandarizado de **[0 ; 10] [V]**. Debido a esto último se descartaron las posibilidades de utilizar operacionales de propósito general u otro similar y se optó por utilizar *operacionales de instrumentación*. Como en el lugar donde sería instalada esta placa solo habría a disposición una fuente de **+12[V]** se descartaron todos aquellos operacionales que no funcionaran con alimentación simple (*single supply*). En base a esto se eligió un *INA122*, operacional de instrumentación que funciona tanto como con *single supply* como con *dual supply*. Otra consideración fue que este es un circuito integrado a disposición en un mercado con escasa oferta de componentes electrónicos. Como se detallará luego, el primer diseño no respondió satisfactoriamente y se recurrió a componentes extras para generar una tensión dual **+/-10[V]** y así poder suministrar un voltaje negativo y uno positivo al operacional.

Se presenta a continuación una imagen de la placa finalizada:



Figura 4. Placa adaptadora de señal de radiómetro al rango [0 ; 10][V]

Esta placa fue colocada en un gabinete estanco como se muestra en la figura 5, debido a que estará expuesto continuamente a las inclemencias del tiempo.

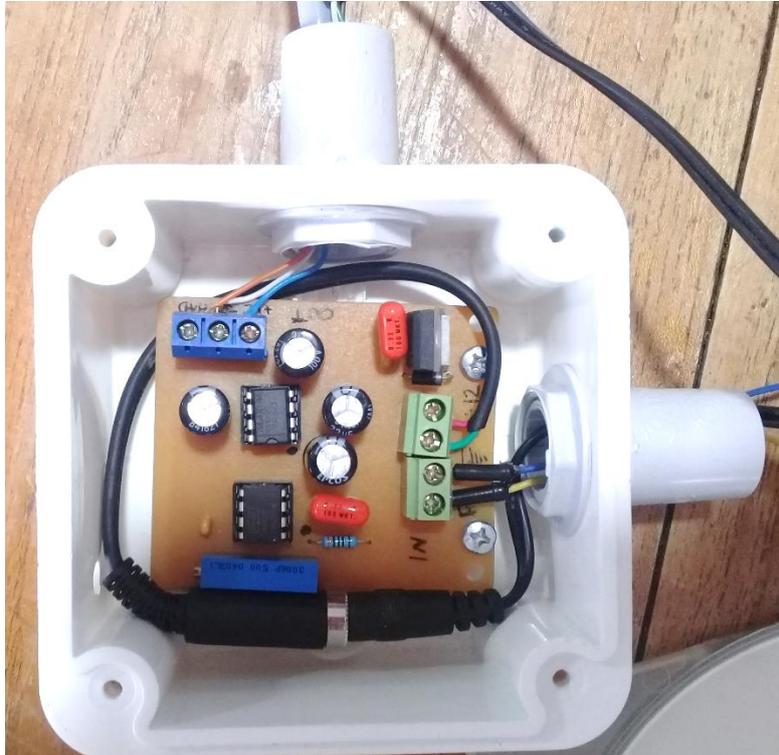


Figura 5. Placa adaptadora en gabinete estanco

B. Propuestas de circuitos o esquemas

I. Pruebas, experiencias

Originalmente se configuró el operacional de instrumentación en *single supply*, y se lo alimentó con **+12[V]** en el pin de alimentación positiva y **masa** en el negativo. A pesar de que se hicieron los cálculos de ganancia respetando la ecuación que se presenta en la hoja de datos, el operacional no respondió satisfactoriamente. El problema radicó en que la excursión de salida se vio reducida en aproximadamente un 50% respecto de lo estipulado.

II. Problemas y soluciones implementadas

Debido al problema de excursión de salida mencionado y tras diferentes pruebas, se determinó que la única manera de obtener una respuesta satisfactoria sería alimentando al operacional con *tensión dual*.

Cuando se implementó el primer diseño, se alimentaba al circuito directamente con **+12[V]**, por lo que no se necesitaba un *regulador de tensión*, y por supuesto tampoco un módulo para generar tensión negativa a partir de la positiva.

Se muestra a continuación el diseño final y se recuadra en rojo los circuitos que tuvieron que ser agregados al primer diseño (conformado por lo que no está señalado en rojo) para obtener un correcto funcionamiento. Se advierte también con un círculo rojo, que la tensión de alimentación se redefinió en **10[V]** en lugar de **12[V]**.

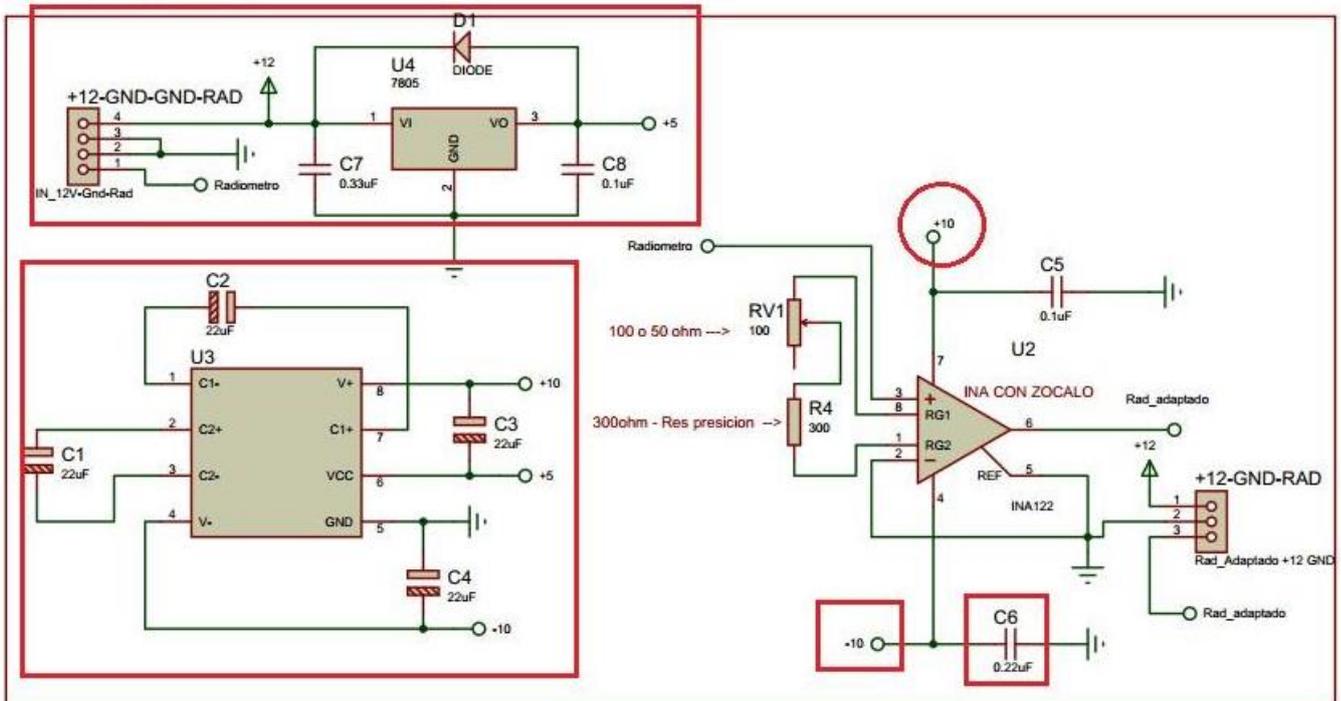


Figura 6. Correcciones placa adaptadora

C. Análisis del funcionamiento

Antes de explicar el funcionamiento de esta placa se presenta a continuación, en la figura 7, el circuito esquemático. El mismo está dividido en tres bloques que serán explicados uno a uno.

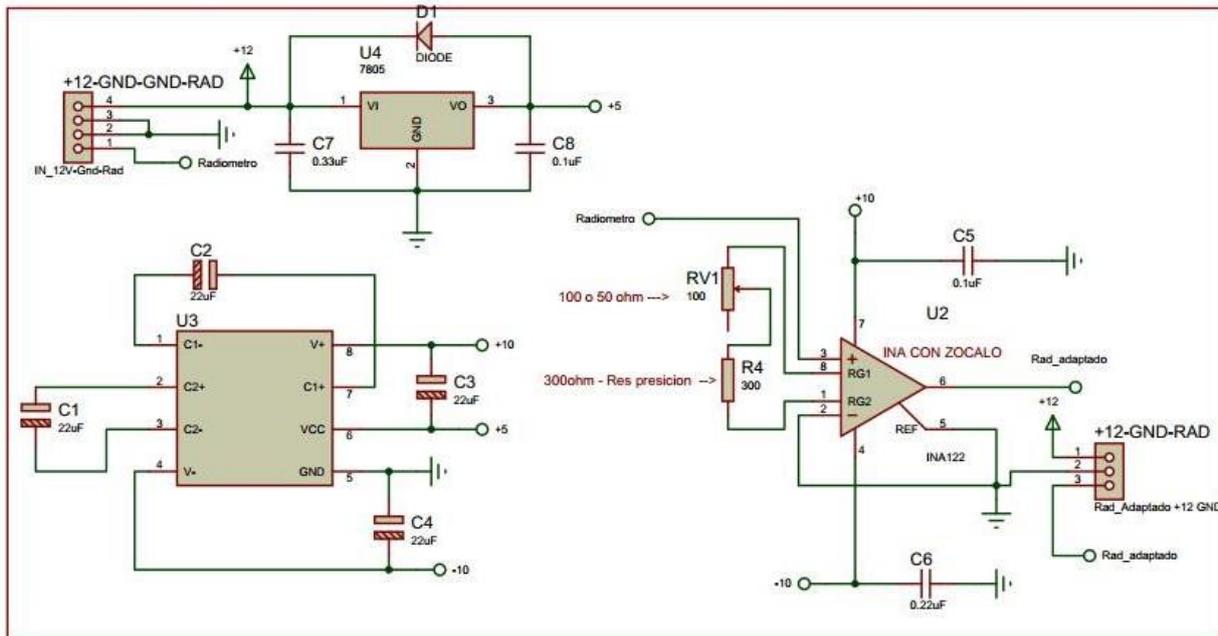


Figura 7. Circuito esquemático de placa adaptadora

Secciones

1. **Regulador de tensión:** en la parte superior izquierda se puede apreciar un esquema típico de regulación de tensión, compuesto por un 7805 y dos *capacitores para filtrado y estabilidad*. Se colocó un *diodo de protección* contra corrientes inversas a la entrada del 7805. La alimentación será de **12[V]**. Ésta se obtiene de una fuente de tensión disponible en la parte exterior del techo del LEA. Dicho regulador fue necesario para alimentar el integrado generador de tensión **+/-10[V]**.

2. **Generador de tensión +/-10[V]:** se trata de un integrado *MAX680* que se ubica en la parte inferior izquierda del esquemático. Este se configura con cuatro capacitores como se muestra en el diagrama y se alimenta con una tensión de **+5[V]**. La salida que se obtiene del mismo es una tensión de aproximadamente **+10[V]** en el pin 8 y **-10[V]** en el pin 4. Si bien en la práctica estas tensiones caen algunos milivolts, se obtiene una excusión máxima correspondiente al rango **[-9,67; +9,67] [V]**, la cual resulta suficiente para esta aplicación.

3. **Operacional de instrumentación:** Para entender cómo funciona el mismo se debe observar el esquema de configuración extraído de la hoja de datos que se presenta a continuación:

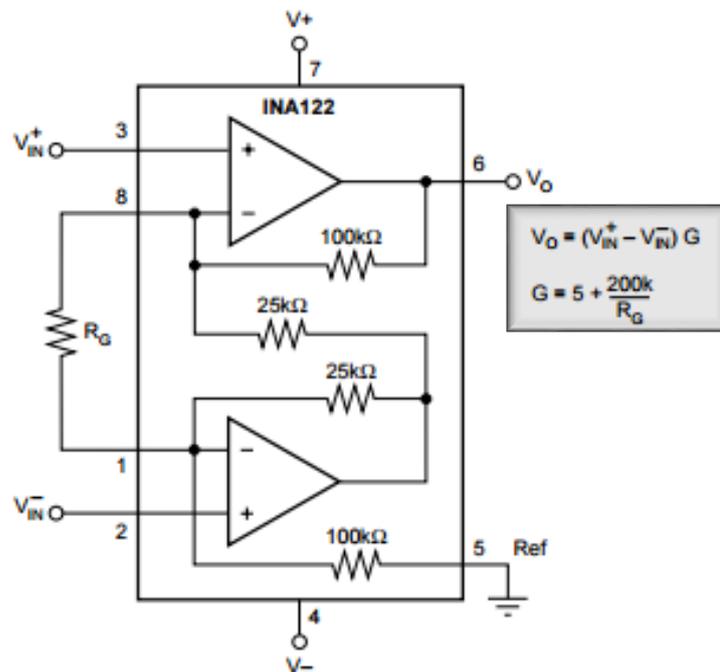


Figura 8. Esquema de configuración operacional de instrumentación INA122

La configuración se realiza siguiendo las dos ecuaciones que aparecen en la figura 8. Estas establecen la relación que hay entre:

1. Tensión de salida, tensiones de alimentación y ganancia del operacional;
2. Ganancia y resistencia R_g de entrada.

Como la constante del radiómetro es de **11,3[uV]** por cada $[W/m^2]$ y el fondo de escala es de **1400 $[W/m^2]$** , el máximo nivel de tensión que entregará el dispositivo resulta del producto de estos dos, es decir: **0,01582[V]**, o bien **15,82[mV]**. Cabe aclarar que el fondo de escala real para esta aplicación es de **1366 $[W/m^2]$** , pero se pretende dar un rango más amplio para proteger al esquema de posibles saturaciones.

Se calcula R_g para tener la ganancia correcta según la segunda ecuación. Se espera adaptar a **10[V]** la señal, aunque debido a las características de los elementos disponibles para esta etapa, la señal de salida satura a **9,67 [V]**. Se deduce entonces que el sensor tendrá una excursión de hasta aproximadamente **1450 $[W/m^2]$** (aunque estos niveles de radiación ya no resultan relevantes).

La ganancia se calcula con el valor de fondo de escala:

$$0,01582[V] * \text{GANANCIA} = 9,67 [V] \rightarrow \text{GANANCIA} = \underline{\underline{611,251}}$$

Luego se obtiene R_g para esta ganancia, despejando la segunda ecuación:

$$[(611,251 - 5)/200k\Omega]^{-1} = R_g \rightarrow R_g = \underline{\underline{329,74[\Omega]}}$$

Luego de los cálculos y las pruebas, se procedió a realizar la placa que fue presentada en la figura 4. Se adjunta aquí el PCB (printed circuit board) diseñado.

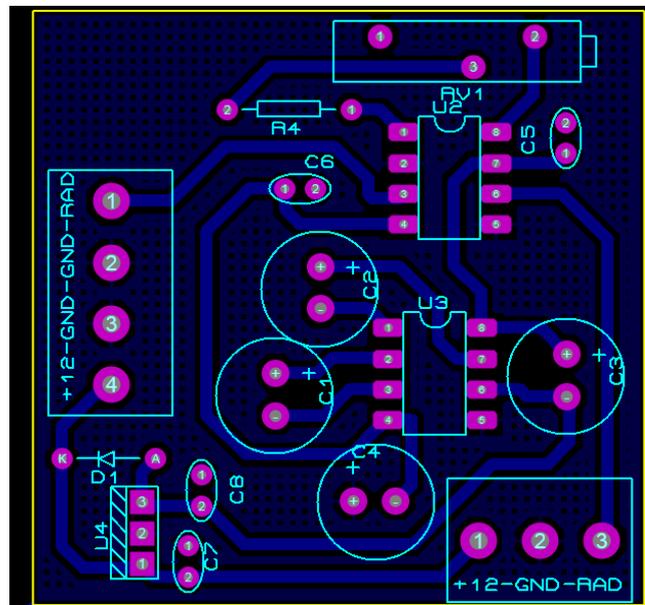


Figura 9. PCB placa adaptadora de señal de radiómetro

Es importante destacar que esta imagen está fuera de escala. Su medida real es de 5x5[cm].

2.2.3. Toma de muestra y digitalización de la señal

A. Análisis y selección de componentes

El componente principal de esta placa es el microcontrolador, que se encarga de la toma de muestra, cumpliendo una función de esclavo en el esquema completo. Este está programado para responder ante un *pedido de toma de muestra* proveniente del *maestro*. Su funcionamiento se centra en, ante dicho pedido, sensar una señal analógica, digitalizarla y enviar los resultados de la operación a través del mismo canal.

Como la mayoría de los microcontroladores poseen conversores *ADC de 10 bits*, cualquiera que lo tuviere y que además tuviese una *UART*, para posibilitar la comunicación serie de datos, sería acorde para esta aplicación. La velocidad de procesamiento o la cantidad de bits del dato no resultaban críticos debido a la funcionalidad que se le dio a este procesador.

Se optó por un *PIC16F1826*, de la línea Microchip, ya que quienes suscriben habían trabajado con el mismo en ocasiones previas.

Como esta placa debe ser conectada con la placa *maestro* con el fin de intercambiar información digital, y estas están separadas por una distancia de aproximadamente **20[m]**, fue necesaria la implementación de un protocolo que abarque dicha distancia con una baja tasa de fallas. Se optó por el *protocolo RS-485*, que se implementó a través de un componente denominado *SN75176B*, similar al conocido *MAX485/487*.

El resto de los componentes (capacitares, reguladores, resistencias, etc) son de propósito general, en su mayoría de alta precisión.

Se presenta en la figura 10 la placa finalizada y posteriormente se desarrolla el correspondiente análisis. Al igual que la placa adaptadora, esta fue colocada en un gabinete estanco para proteger la integridad de los circuitos ante las inclemencias climáticas (recordar que este bloque será dispuesto también en el techo de la UTN).

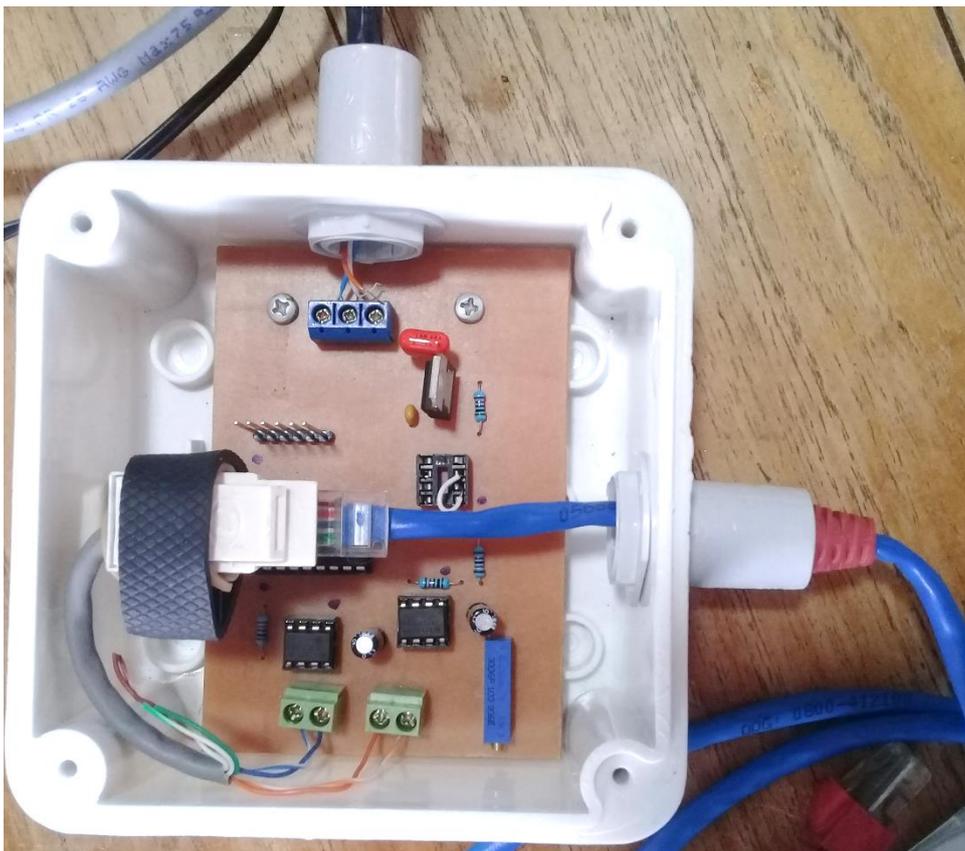


Figura 10. Placa adquisidora en gabinete estanco

B. Propuestas de circuitos o esquemas

I. Pruebas, experiencias

El circuito que se diseñó en un principio respondió satisfactoriamente a las pruebas para valores contenidos entre la mitad de la excursión y el fondo de escala. Sin embargo se produjo una alinealidad para el resto de los valores. Para solventar este problema fue necesario retirar el *operacional de propósito general*, ya que no cumplió su función de adaptador impedancia. Se optó por utilizar solamente un divisor resistivo para la atenuación de tensión contenida en el rango [0; 10] [V] al rango [0; 5] [V] tolerable por el microcontrolador.

II. Problemas y soluciones implementadas

El esquemático original se presenta en la figura 11. Se detalla con un rectángulo rojo, el operacional que debió ser removido debido a alinealidades que se presentaron en la parte más baja de la excursión.

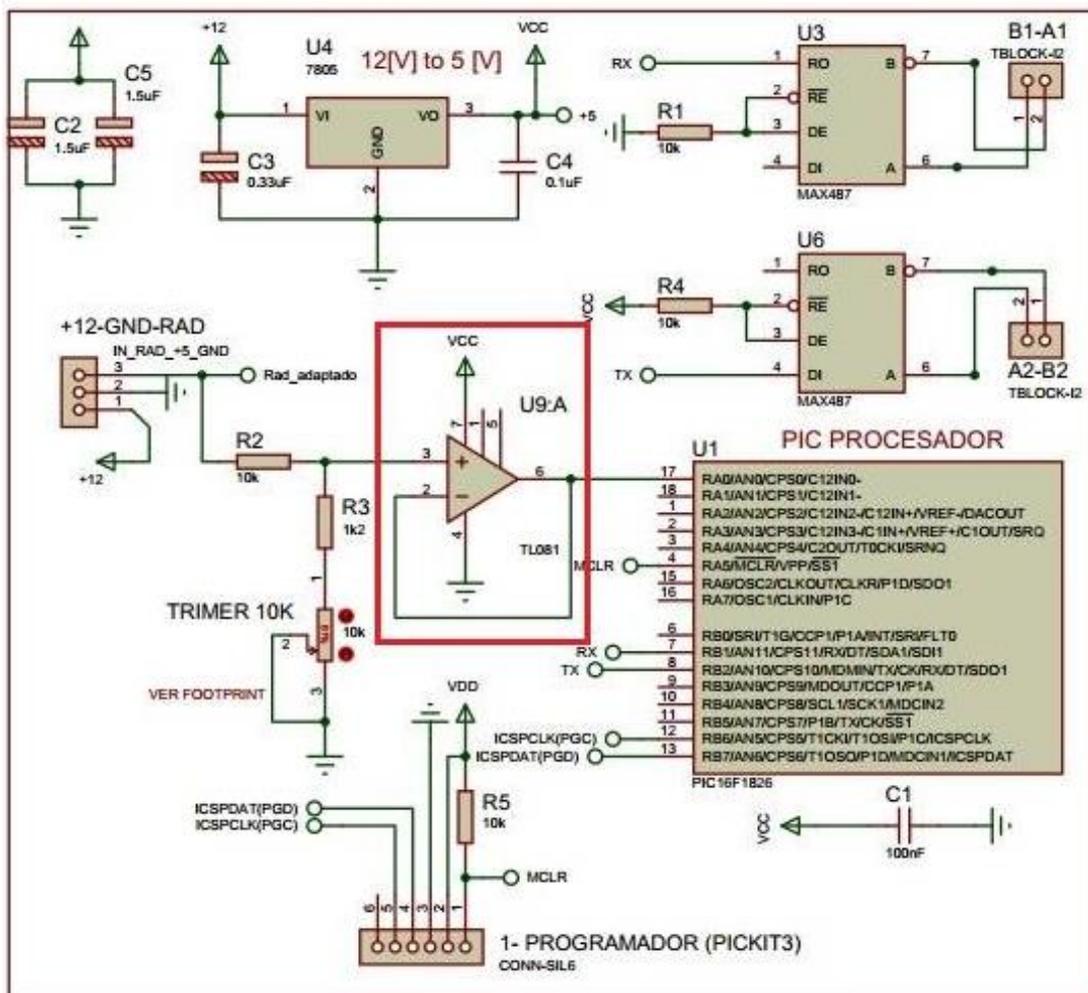


Figura 11. Primer diseño de la placa de procesamiento de señal

Pruebas

Se tomaron valores al azar de tensión de entrada, haciendo un barrido por todo el rango de funcionamiento. La medición arrojó los siguientes resultados:

Medición con operacional como buffer		
Vin [mV]	V rango 0-10[V]	V atenuada a 0-5[V]
16,1	9,66	4,53
15,4	9,5	4,52
14,4	8,9	4,43
13,6	8,43	4,21
12	7,46	3,72
11,1	6,94	3,45
9,9	6,23	3,11
8,8	5,56	2,77
7,8	4,96	2,46
6,6	4,28	2,1
5,8	3,75	1,79
4,8	3,17	1,44
3,3	2,33	1,29
2,4	1,82	1,27

Tabla 1. Mediciones de adaptación de tensiones con buffer en placa adquisidora

Como se puede observar en la tabla 1, para valores menores a **5,8 [mV]** la amplificación es correcta, aunque la atenuación generada por el buffer falla, alejándose demasiado del valor esperado (la mitad). Si tomamos la tensión de salida del buffer, la multiplicamos por 2 y la comparamos con la tensión de entrada, podemos ver que se presentan alinealidades en los valores extremos, como se muestra en la figura 12.

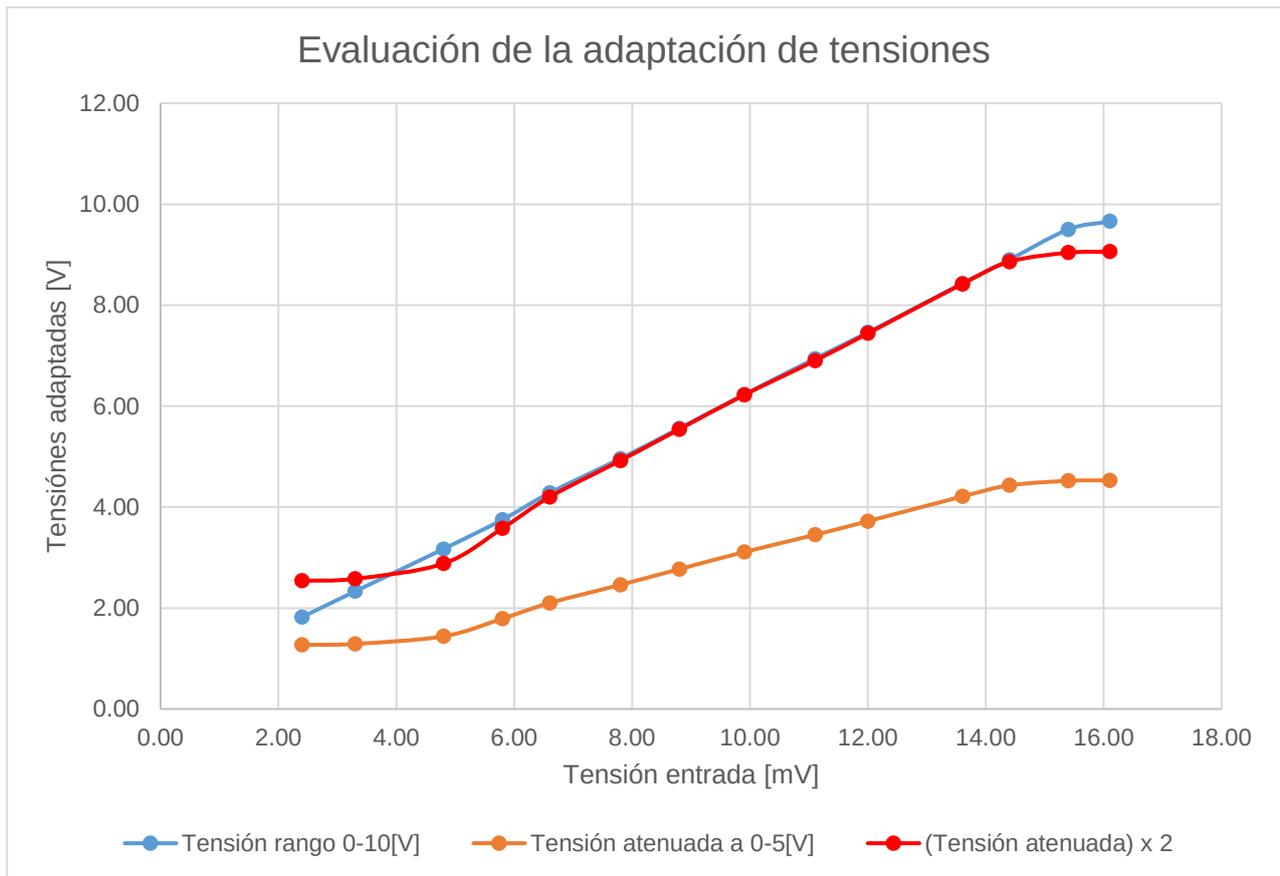


Figura 12. Evaluación de adaptación de tensiones

El buffer fue colocado en un principio para realizar la correspondiente adaptación de impedancias. Luego de haber tenido una respuesta poco satisfactoria, se removió dicho buffer y se realizaron varios testeos conectando directamente el divisor resistivo al *convertor ADC*. Como los resultados fueron positivos, se optó por quitar el *operacional* del zócalo y cortocircuitar los pines 2 y 6 del mismo. La placa se encuentra funcionando con los pines cortocircuitados de manera que el esquemático queda conformado como se muestra en la figura 13. Este último está dividido en 3 bloques que serán explicados uno a uno.

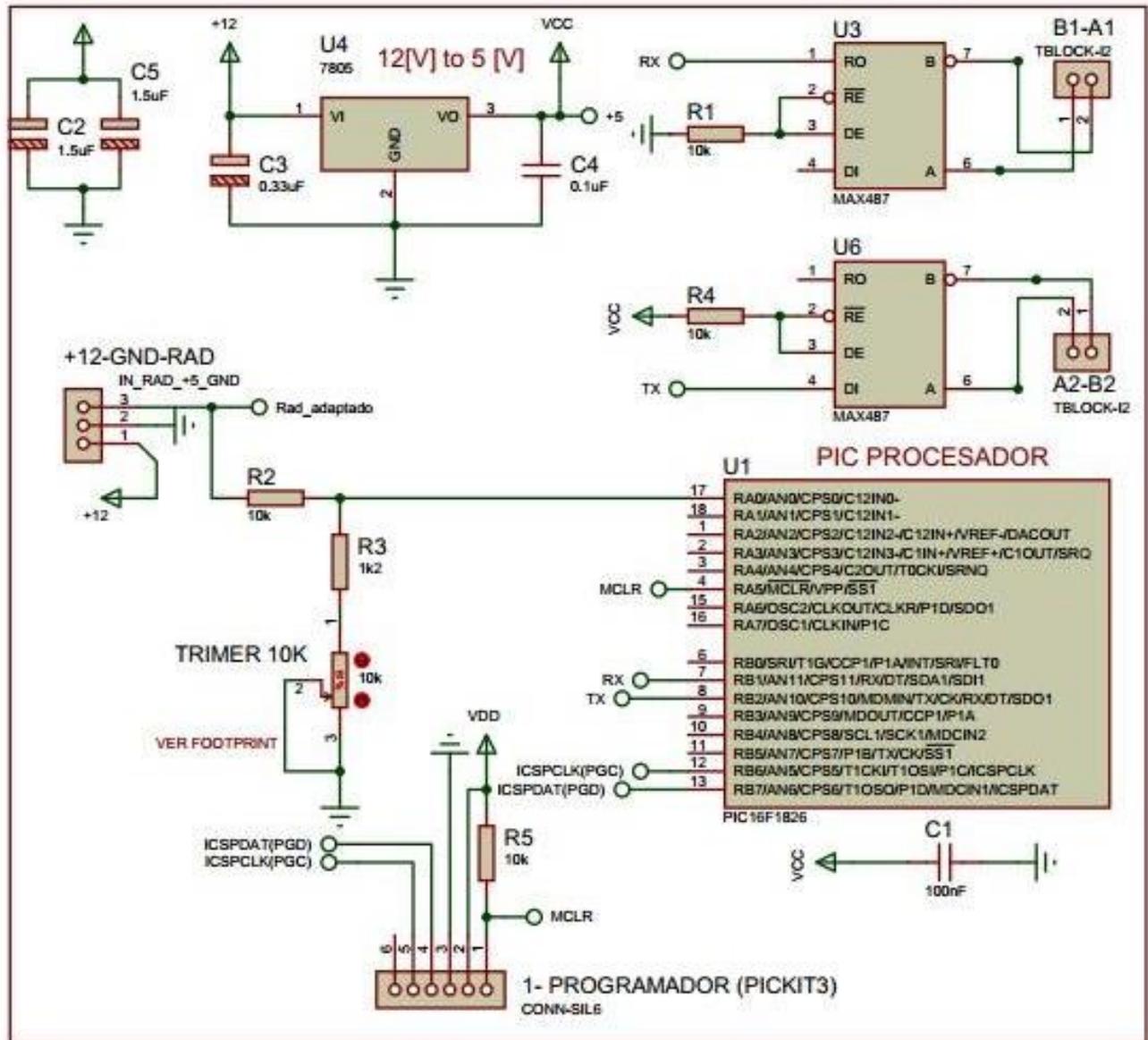


Figura 13. Esquemático placa de procesamiento de señal

Secciones

1. **Regulador de Tensión:** en la parte superior izquierda se puede apreciar el regulador de tensión, compuesto por un 7805 y dos capacitores para filtrado y estabilidad. La alimentación es de 12[V]. Esta se obtiene de la fuente de tensión disponible en la parte exterior del techo del Laboratorio de Energías Alternativas. Este alimenta a los integrados encargados de la comunicación por protocolo RS-485 y al microcontrolador.

2. **Conversores TTL-RS485:** a través de estos dispositivos se enviará la información a la placa *maestro*. Como se observa en la parte superior derecha del esquemático, hay dos integrados dispuestos en configuraciones diferentes para lograr este fin. Uno de ellos tiene una resistencia de *pull-up* en sus pines de control, mientras que el otro dispone de una de *pull-down*. Esto se debe a que el primero sirve para el envío de información hacia el *maestro*, mientras que el segundo, para la recepción de la misma. Estos integrados, denominados *SN75176B*, se encargan de codificar y decodificar las señales *TLL* a *RS-485* y viceversa. De esta manera se cuenta con señales tipo *TTL* en las pistas de la placa y con señales *RS-485* en par diferencial enviadas a través de *cables UTP categoría 5*, que conectan las placas *esclavo* y *maestro* separadas una distancia de aproximadamente 20[m]. Se reducen así considerablemente los efectos del ruido en la comunicación.

3. **Microcontrolador PIC16F1826:** Como se mencionó anteriormente, este cumple la función de *esclavo* en el esquema general. En el inciso D de esta sección se detalla el diagrama de flujo donde se puede ver la lógica de funcionamiento del bloque completo. Se destacan a continuación algunos aspectos importantes:
 - Programación: Se programó en *lenguaje C*, con el compilador *MPLABX* de Microchip.
 - Hardware: La grabación del programa en el microcontrolador es de tipo “On Board”, efectuada por medio de un programador *Pickit 3* de Microchip (a través de pines dispuestos en la placa).

Resultados de las pruebas

Medición sin operacional como buffer									
Vin [mV]	ADC-Hex	ADC-Dec	ADC [V]	Valor Teórico-Esperado [V]	Error [V]	ADC [W/m ²]	Valor Teórico-Esperado [W/m ²]	Error [W/m ²]	Vin [mV]
1,5	66	102	0,498	0,434	0,064	144	126	19	1,5
2,6	AD	173	0,845	0,752	0,093	245	218	27	2,6
3,8	F7	247	1,206	1,099	0,107	349	318	31	3,8
4,4	116	278	1,357	1,273	0,085	393	369	25	4,4
5,5	159	345	1,685	1,591	0,094	488	461	27	5,5
6,4	188	392	1,914	1,851	0,063	554	536	18	6,4
7,6	1D1	465	2,271	2,198	0,072	657	637	21	7,6
8,7	20D	525	2,563	2,516	0,047	742	729	14	8,7
9,8	24E	590	2,881	2,835	0,046	834	821	13	9,8
10,6	27A	634	3,096	3,066	0,030	896	888	9	10,6
11,9	2C5	709	3,462	3,442	0,020	1002	997	6	11,9
12,5	2E8	744	3,633	3,616	0,017	1052	1047	5	12,5
13,4	31E	798	3,896	3,876	0,021	1128	1122	6	13,4
14,7	369	873	4,263	4,252	0,011	1234	1231	3	14,7
15,3	38F	911	4,448	4,425	0,023	1288	1281	7	15,3
16,6	3DF	991	4,839	4,801	0,037	1401	1390	11	16,6
▶1	▶2	▶3	▶4	▶5	▶6	▶7	▶8	▶9	▶10

Tabla 2. Mediciones de adaptación de tensiones sin buffer en placa adquisidora

Referencias

- ▶ 1 y 10: Valores de tensión de entrada generados aleatoriamente con una fuente de tensión que abarcan el rango de salida del radiómetro.
- ▶ 2: Valor digitalizado de conversión ADC en formato hexadecimal, sensado con una placa auxiliar y visualizado por medio de un visor de puerto serie en la PC.
- ▶ 3: Valor decimal obtenido a partir de la conversión del valor hexadecimal de la columna anterior.
- ▶ 4: Valor de tensión en la entrada el ADC, que resulta de la multiplicación **ADC-Dec x (5/1024)** (5 [V] del rango del PIC, dividido por 1024, número de posibilidades que permite el conversor de 10 bits). Cabe aclarar que si bien el fondo de escala es 4.825 [V] (9.65 [V] /2), el PIC trabaja con 5 [V].
- ▶ 5: Equivale al valor teórico o valor esperado. Corresponde a los valores de tensión de entrada de la columna *Vin*, multiplicados por la ganancia del operacional, divididos

por 2 debido a la atenuación y finalmente divididos por 1000 para convertir de milivolt a volt. Es decir, $V_{in} \times 578,48 / 2000$

- ▶ 6: Diferencia entre las columnas *ADC* y *Valor Teórico-Esperado* en [V].
- ▶ 7 y 8: Conversiones de los valores de las columnas *ADC-Dec* y *Valor Teórico-Esperado* a partir de la multiplicación por la constante del aparato respectivamente.
- ▶ 9: Diferencia entre las columnas *ADC* y *Valor Teórico-Esperado* en [W/m²].

Se muestra a continuación la representación gráfica de las mediciones detalladas en la tabla 2. Cabe destacar que una vez retirado el operacional de propósito general de la placa adquisidora y de usar el divisor resistivo para atenuar la señal a la mitad del rango, se obtuvo una atenuación correcta.

En esta oportunidad se comparan las tensiones correspondientes a las columnas ▶4 y ▶5, en función de la tensión de entrada. Aquí se puede apreciar que la respuesta es lineal y la diferencia entre los valores esperados y reales difiere en unos pocos milivolts.

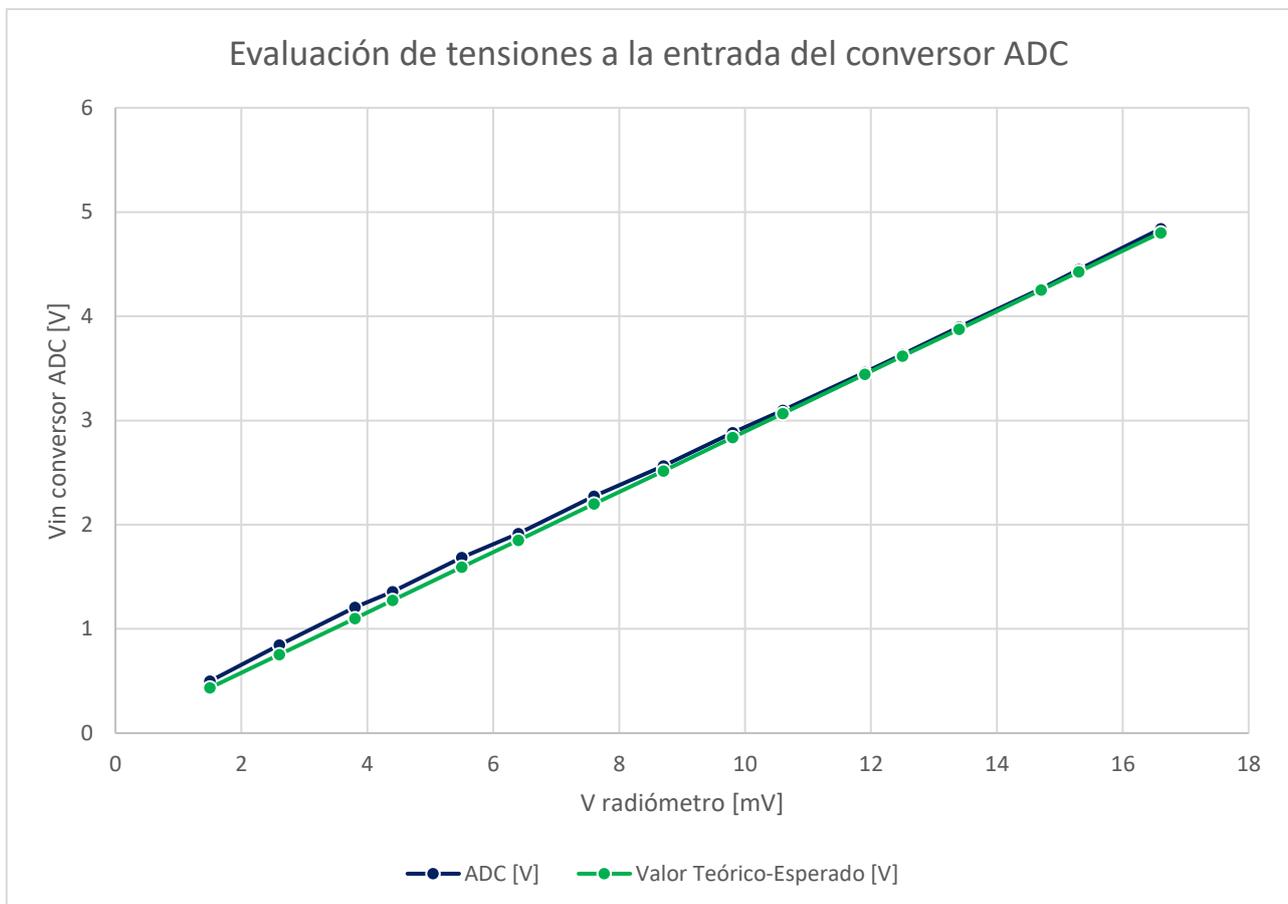


Figura 14. Evaluación de tensiones a la entrada del conversor ADC

A continuación, se comparan las gráficas de densidad de potencia de salida expresadas en las columnas ▶7 y ▶8 en función de la tensión de radiómetro.

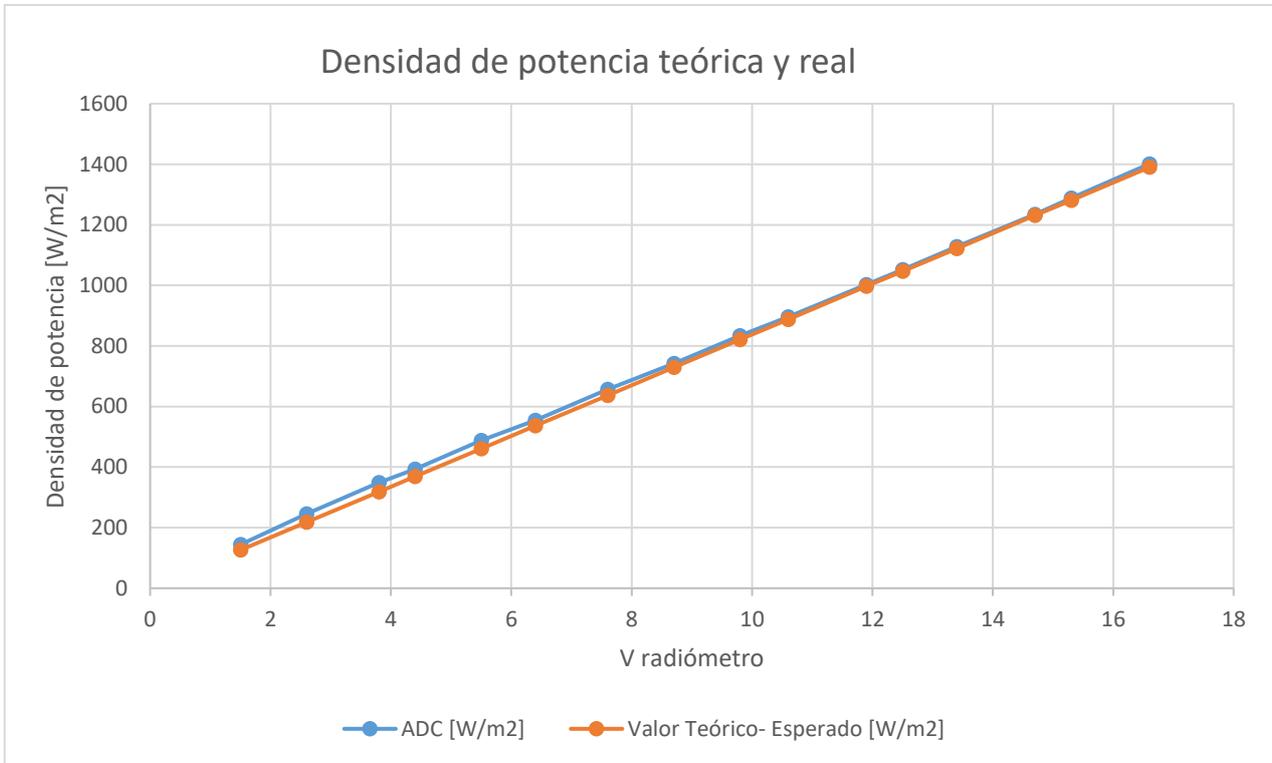


Figura 15. Densidad de potencia teórica y real

A continuación, se ve el error entre la densidad de potencia de salida esperada y la real.

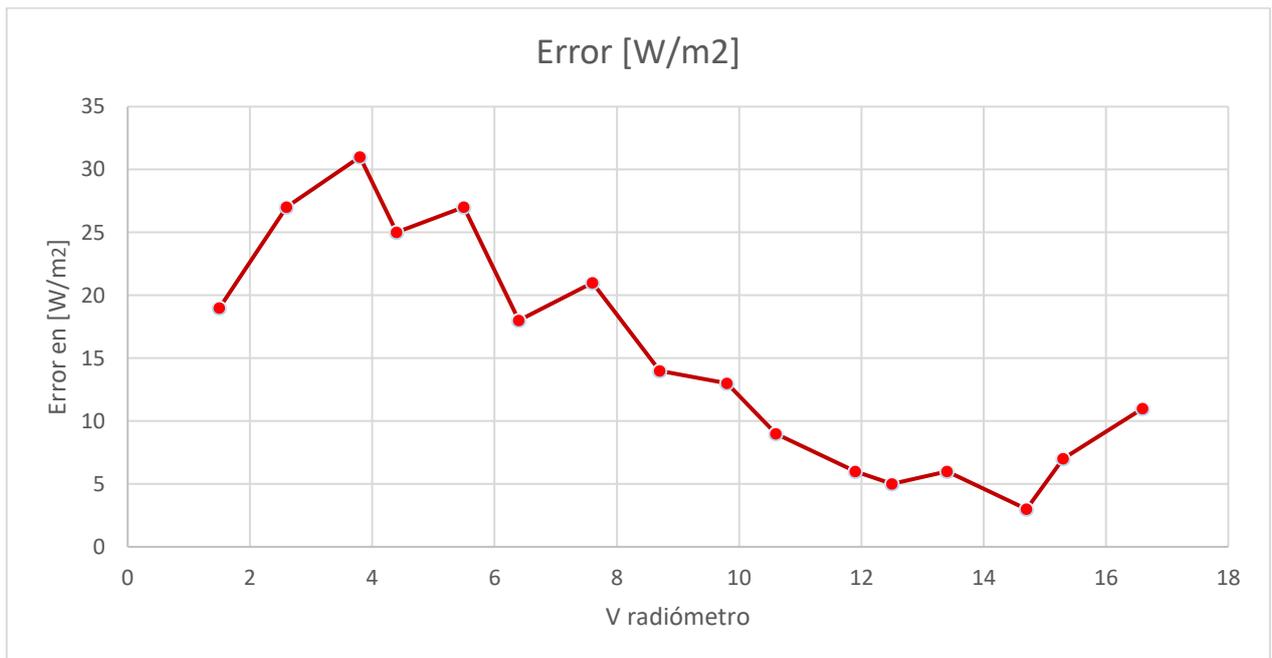


Figura 16. Error en la densidad de potencia medida

Finalmente se presenta el PCB del esquemático en cuestión, en un tamaño fuera de escala:

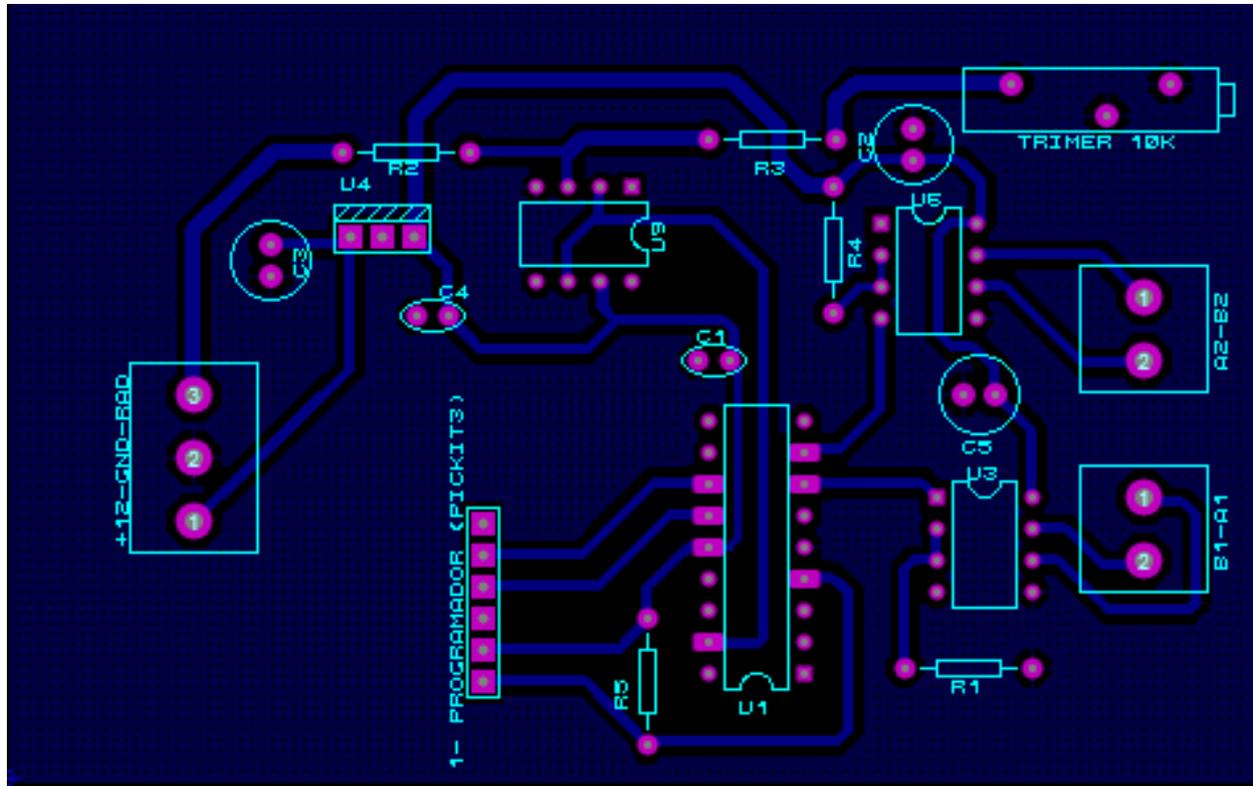


Figura 17. PCB de placa de procesamiento de señal

C. Desarrollo del software

Diagrama de flujo del bloque

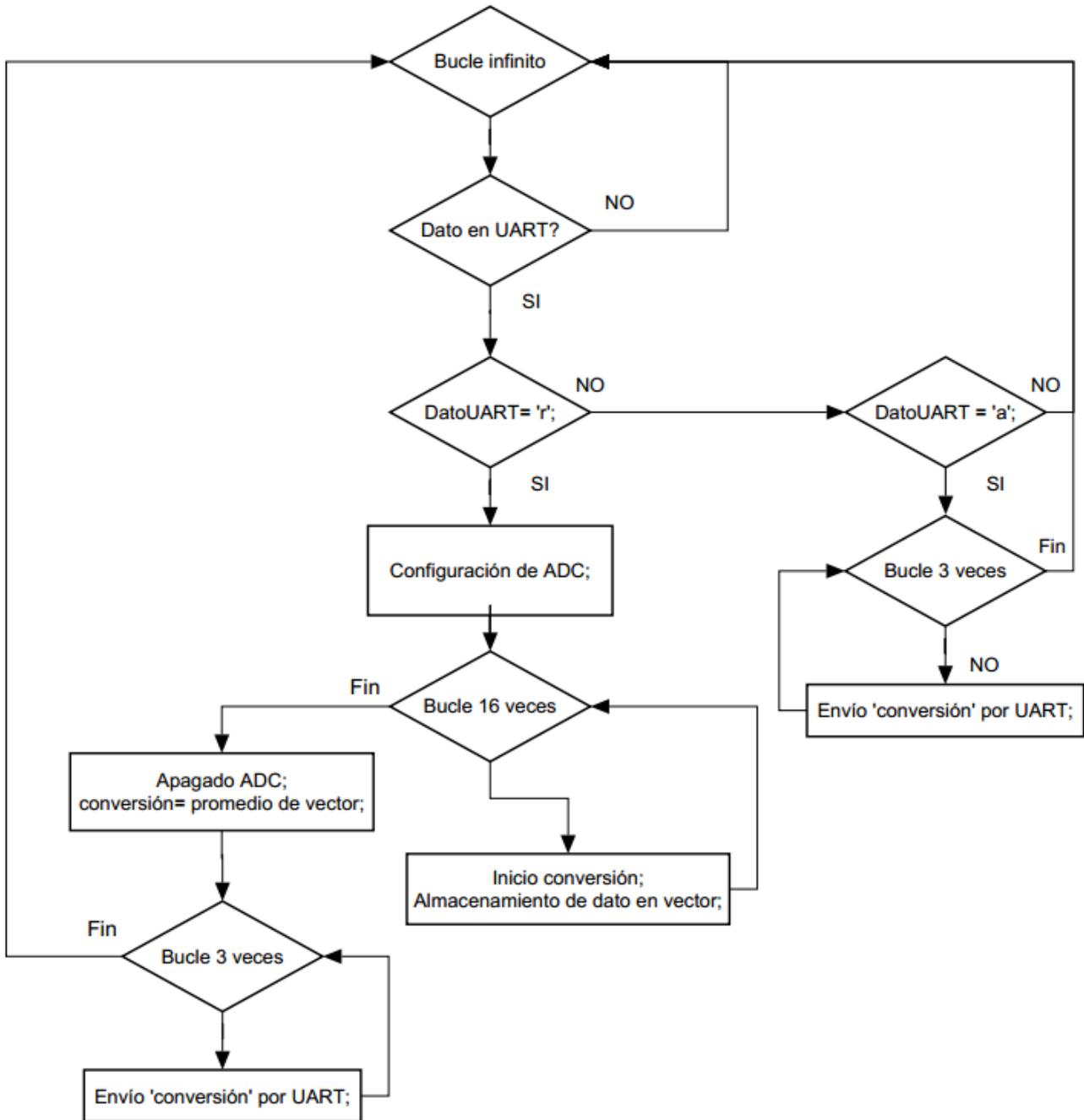


Figura 18. Diagrama de flujo de microcontrolador de placa de procesamiento de señal

Análisis

Como se trata de una placa cuyo procesador cumple una función de *esclavo* en el esquema general, este está a la espera de una orden del *maestro* para llevar a cabo sus funciones, es decir, a la espera de un mensaje proveniente del microcontrolador del módulo que se encuentra en el laboratorio. Cuando ingresa un dato a través de la *UART*, se verifica que este sea una 'r' (read) o una 'a' (again). Si el valor recibido es una 'r', se enciende el *conversor ADC*, se toman 16 muestras, se promedian a modo de filtrado y se envía el resultado tres veces hacia la placa *maestro*. Si el valor recibido es una 'a', se envía tres veces un dato con la última muestra tomada. Si el dato recibido por el puerto serie difiere de 'r' o 'a', se descarta, ya que se debe a una lectura errónea. El envío de datos por triplicado se utiliza a modo de detección de errores. Si el *maestro* recibe 3 datos diferentes, éstos se descartan y se solicita nuevamente el resultado de la medición.

2.3. Bloque N°2: Almacenamiento de datos de radiación

Este segundo gran bloque esta subdividido en varios bloques que se integran en su mayoría en la placa que conforma el *maestro* del sistema. Se presenta además en este bloque la *interfaz hombre-maquina HMI*.

2.3.1. Procesador central: PIC32MX230F064B

A. Análisis y selección de componentes

Para llevar a cabo la elección correcta de un componente es necesario conocer con precisión las tareas a realizar por el mismo. El componente principal de esta placa es el microcontrolador y se pretende que el mismo pueda realizar las siguientes tareas:

- Comunicarse con la placa adquisidora mediante una de sus *UART* para tomar los datos de medición de radiación PAR.
- Comunicarse mediante protocolo *I2C* con el *RTCC* para obtener y configurar los datos de hora y fecha.
- Comunicarse mediante protocolo *I2C* con la *EEPROM* ubicada en la placa del *RTCC* para guardar y leer el dato del período de muestreo.
- Comunicarse mediante protocolo *I2C* con la placa del *display LCD* para enviarle los datos de estado de: *conexión de tarjeta SD, placa adquisidora, programa* (se está ejecutando el programa o está pausado, es decir *Play/Pause*), *valor del período de muestreo, valor de la muestra de radiación actual, hora y fecha actuales* y *valor de error* para casos particulares.
- Comunicarse mediante protocolo *SPI* con la tarjeta SD para registrar muestras de radiación PAR junto a los respectivos datos de hora y fecha de manera consecutiva en un archivo de formato tabulado llamado "*datos.csv*" compatible con software de Windows como Office Excel o Libre Office Calc.
- Comunicarse con la interfaz de usuario en una PC mediante una adaptación de protocolos *UART-USB* para recibir la configuración de los parámetros *fecha, hora y período de muestreo*, a través del software diseñado.
- Coordinar todos estos procesos para ordenar los datos adquiridos y almacenarlos en la tarjeta SD, así como establecer la comunicación con la interfaz de usuario sin errores.

Se optó por el microcontrolador *PIC32MX230F064B* cuyas características más destacables son su núcleo de 32 bits, su memoria de programa de 64 kb capaz de albergar un programa complejo evitando problemas de espacio, su disponibilidad de periféricos (*I2C*, *SPI*, *UART 1*, *UART 2*, entre otros), sus pines remapeables que permiten cierta flexibilidad a la hora de diseñar el PCB y su disponibilidad en encapsulado *PDIP28*. Este último resulta sumamente práctico para realizar pruebas en protoboard.

Se muestran a continuación imágenes de la placa finalizada dispuesta en el gabinete, donde se puede observar la disposición de módulos y componentes. Esta primera imagen del dispositivo ayudará a comprender las subsiguientes explicaciones.



Figura 19. Placa registradora en gabinete. Display en pantalla inicial

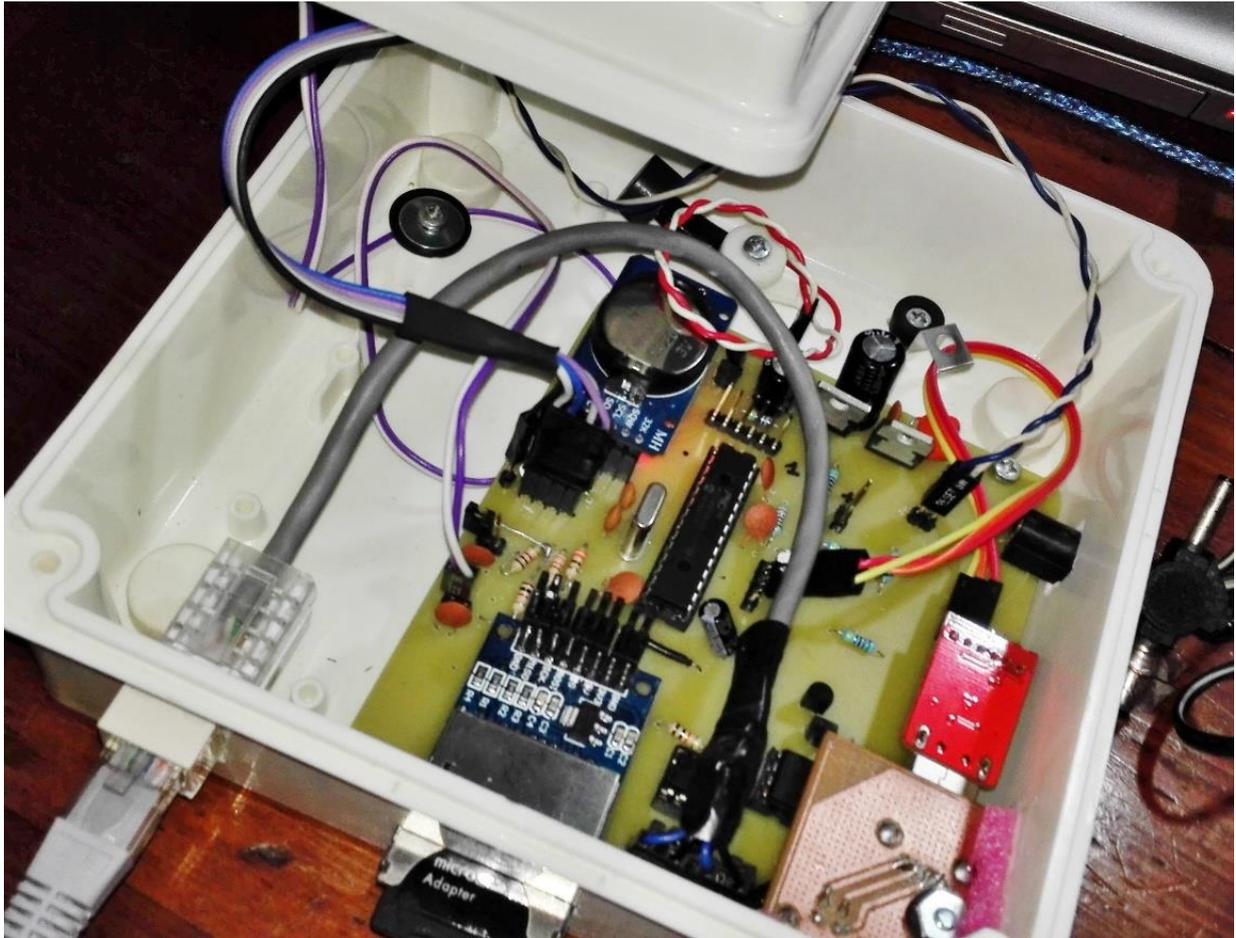


Figura 20. Placa registradora en gabinete. Interior

B. Propuestas de circuitos o esquemas

I. Pruebas, experiencias

Este módulo fue el último en probarse de todo el esquema. Para llevar a cabo las pruebas pertinentes fue necesario contar con el resto de los módulos que integran la placa.

El proceso de prueba consistió en:

- 1- Desarrollar a grandes rasgos la programación del procesador necesaria para comunicarse con los módulos.
- 2- Programar el procesador con este código.
- 3- Conectar en protoboard el microcontrolador y los distintos módulos (en primer lugar módulo *RTCC* y *Lector SD*) para luego probar su funcionamiento en conjunto. Finalmente se agregaron los módulos a comunicar por medio de las UART (sensor y comunicación con la PC).
- 4- Ejecutar el programa del procesador para comprobar el funcionamiento de los diferentes módulos. El procedimiento seguido fue:

- Inicializar el RTCC,
 - Leer un valor proveniente del sensor
 - Registrar el conjunto de datos en la memoria.
- 5- Verificar la escritura correcta en la memoria SD y el correcto funcionamiento del RTCC.
 - 6- Calibrar el sensor y contrastar la lectura con un voltímetro. Así se pudo determinar el error de la variable medida.
 - 7- Realizar todas las configuraciones pertinentes desde el software diseñado y comprobar que el equipo responda satisfactoriamente ante dichas configuraciones.

Todos los procedimientos mencionados serán detallados a lo largo de este informe con mayor precisión.

II. Problemas y soluciones implementadas

En este módulo se presentaron dos grandes problemas, ambos de diseño. El primero de ellos fue la ubicación incorrecta (invertida) del footprint del módulo lector de *tarjetas SD*. Dicho problema fue resuelto rotando el dispositivo 180°. Debido a que la placa ya estaba fabricada, la solución consistió en soldar pines (pin head) y efectuar una conexión a través de conectores tipo jumper. El segundo problema se halló en la conexión del módulo conversor *USB-UART*. El footprint disponible en el software de diseño no resultó ser coherente con el componente en cuestión (la numeración no era la estándar). Para resolver este problema se implementó una placa auxiliar.

C. Análisis del funcionamiento

Para establecer la comunicación con la placa adquisidora se utilizaron adaptadores de protocolo *SN75176B* (conversión *UART-RS485/RS485-UART*). Se dispusieron dos configuraciones circuitales diferentes en la placa para transmitir y recibir información.

Debido a que el *SN75176B* tiene una tensión de trabajo de **5 [V]** y el microcontrolador de **3,3 [V]**, en el esquema transmisor se incluyó un arreglo de transistores de propósito general *BC548* para elevar el nivel de tensión de las señales de **3,3 [V] a 5 [V]**. Por el contrario, en el receptor se incluyó un divisor resistivo para reducir dichos niveles de voltaje de **5[V] a 3,3 [V]**.

Debido a la necesidad de dar aviso de errores se colocó un *buzzer de 5[V]* como alarma sonora. Su activación es controlada por el microcontrolador, que al excitar la base de un

transistor BC548 permite la circulación de corriente a través del dispositivo logrando así excitarlo.

En la placa del microprocesador también se integró un esquema de regulación de tensión. Como fuente de alimentación se utiliza una fuente externa entre **9 [V]** y **12 [V]**. El nivel de tensión externa se reduce a **5 [V]** en la placa con un regulador lineal 7805 y luego de **5 [V]** a **3,3 [V]** mediante un regulador *iru105033*. Estos 2 niveles de tensión regulados se utilizan para cumplir con los diferentes requerimientos de tensión de los componentes de la placa.

Para comprender mejor lo explicado es importante notar que *el procesador, la tarjeta SD, el RTCC, la EEPROM y el sistema de control del display* se alimentan de la línea de **3,3 [V]**; mientras que *los adaptadores de protocolo UART-RS485 SN75176B, el buzzer utilizado para la alarma sonora y el LCD en el sistema del display* se alimentan con **5 [V]**.

Los análisis de los módulos *RTCC, USB-UART y SD* se explicarán más adelante a lo largo de este informe.

Se presenta a continuación el circuito esquemático. El mismo está dividido en seis bloques que serán explicados uno a uno.

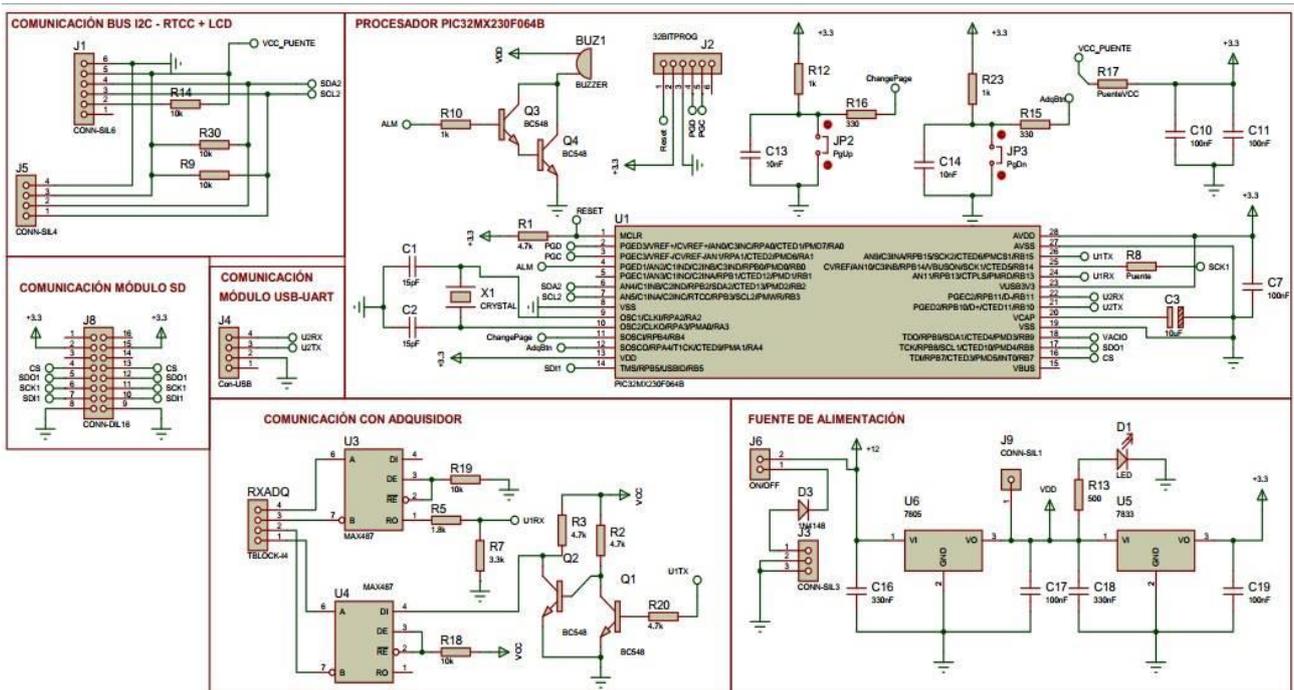


Figura 21. Esquema completo circuito de placa registradora

Secciones

1. **Comunicación bus I2C:** En este bus se colocaron resistencias *pull-up* necesarias para el funcionamiento del mismo. Para evitar problemas de cortocircuito en las líneas, el protocolo I2C utiliza configuraciones de colector abierto en sus transceptores. Esto permite que al producirse una colisión (un dispositivo escribiendo un estado alto y otro uno bajo al mismo tiempo) no se produzcan cortocircuitos, protegiendo así a los componentes contra altas corrientes. Se dispusieron dos conectores de pines hembra, uno para conectar y sostener la placa del *RTCC+EEPROM*, y otro que se utiliza para conectar la placa del *display LCD*.

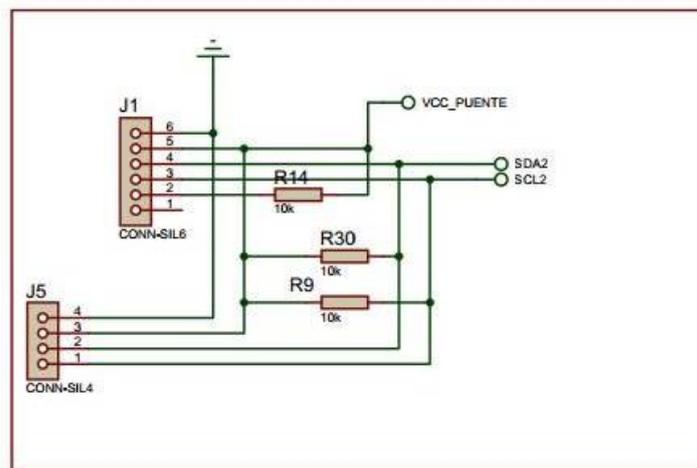


Figura 22. Comunicación bus I2C.

2. **Comunicación módulo SD:** Para efectuar la comunicación con el módulo de la *tarjeta SD* se dispusieron agujeros en la placa para conectar y soldar él mismo. Fue necesario soldar algunos pines para solventar el error de diseño que se explicó anteriormente. Si bien en este bus se conecta un solo módulo, cabe destacar que el tipo de comunicación utilizado es el protocolo SPI y que, si en algún momento se desea extender la funcionalidad del equipo, se pueden agregar elementos a dicho bus, utilizando *pinos CS (chip select)* para seleccionar el dispositivo con el cual se desea realizar la comunicación.

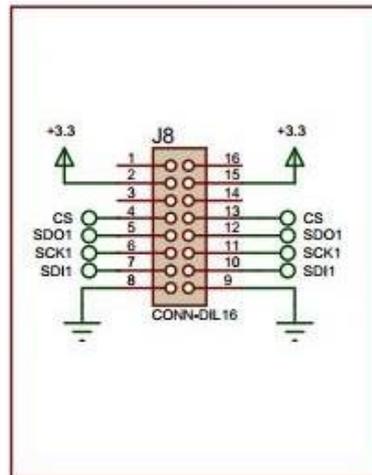


Figura 23. Comunicación módulo SD

- Comunicación con módulo USB-UART:** Se colocó un conector macho de 4 pines para conectar el adaptador USB-UART a la UART del microcontrolador. Dichos 4 pines estaban diseñados en un principio para conectar las señales de TX, RX, GND y 3,3 [V]. Finalmente se decidió independizar las fuentes por lo que se utilizaron sólo 3 pines (TX, RX, GND).

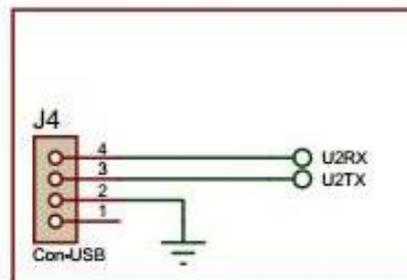


Figura 24. Comunicación con módulo USB-UART

- Comunicación con adquisidor:** Los componentes principales de este bloque son los conversores del protocolo UART-RS485 SN75176B que convierten las señales provenientes de la UART a señales balanceadas RS-485. Estos figuran en el esquema como MAX487, los cuales son componentes de las mismas características pero de distinto fabricante. Se puede observar el uso de resistencias de 10 [kΩ] en configuraciones pull-down y pull-up, con las que se define a cada integrado como receptor o transmisor respectivamente. Como se mencionó al principio de este inciso, en el receptor fue necesario utilizar un divisor resistivo en la salida para reducir el nivel de tensión de 5[V] a 3,3 [V] (nivel admisible por el microcontrolador). A la entrada del transmisor se puede observar la utilización de un arreglo de transistores.

Éstos invierten dos veces la señal de **3,3 [V]** proveniente del microcontrolador que llega a la base del Q1 y la elevan a **5[V]** a la salida de Q2 para adaptarse al nivel del lógico del conversor de protocolo.

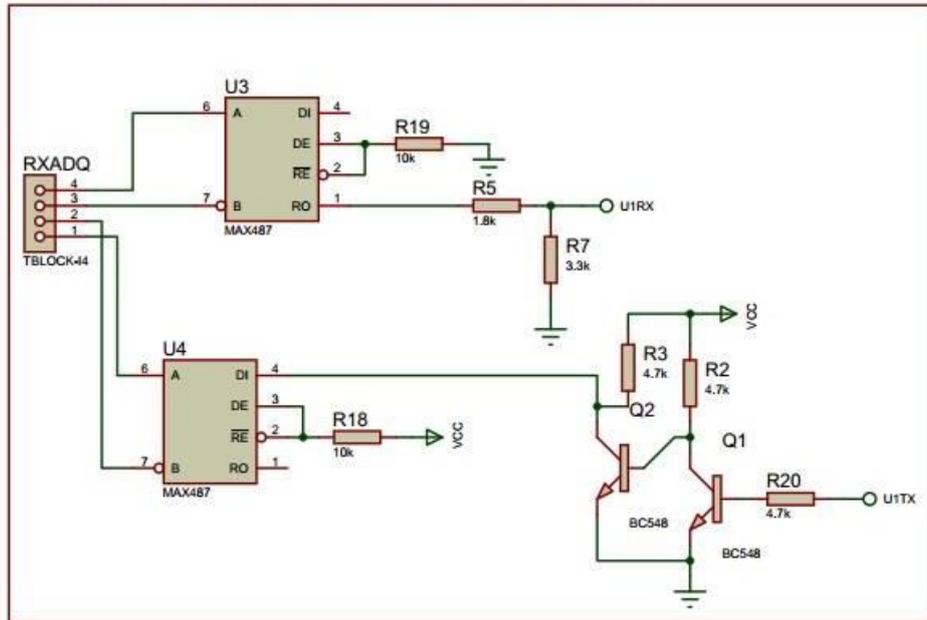


Figura 25. Comunicación con adquisidor

5. **Fuente de alimentación:** El módulo tiene como componentes principales a los reguladores lineales *7805* e *iru105033*. El funcionamiento se basa en tomar la tensión generada desde una fuente externa y reducirla en dos pasos, para lo que es necesario una alimentación entre **9 [V]** y **12 [V]**. Primeramente, la tensión se reduce a **5 [V]** mediante el *7805*, y es aplicada a los componentes que trabajan a dicho nivel. Dichos **5 [V]** también son utilizados como tensión de entrada en el regulador *iru105033* que proporciona una salida de **3,3 [V]**, que son aplicados análogamente a los componentes que funcionan a este nivel.

En este módulo se incluye un *diodo rápido 1N4148*, conectado entre el *conector de fuente* y el *interruptor ON/OFF*, cuya función es bloquear el flujo inverso de corriente y evitar así posibles daños ante una posible selección incorrecta de la polaridad de la fuente.

Se agregó también un *LED* para notar visiblemente la presencia de tensión en el circuito.

Los capacitores presentes en el bloque fueron ubicados siguiendo la recomendación del fabricante en la hoja de datos de cada regulador. La finalidad de los mismos es mejorar la estabilidad de la señal continua y reducir el nivel de ruido.

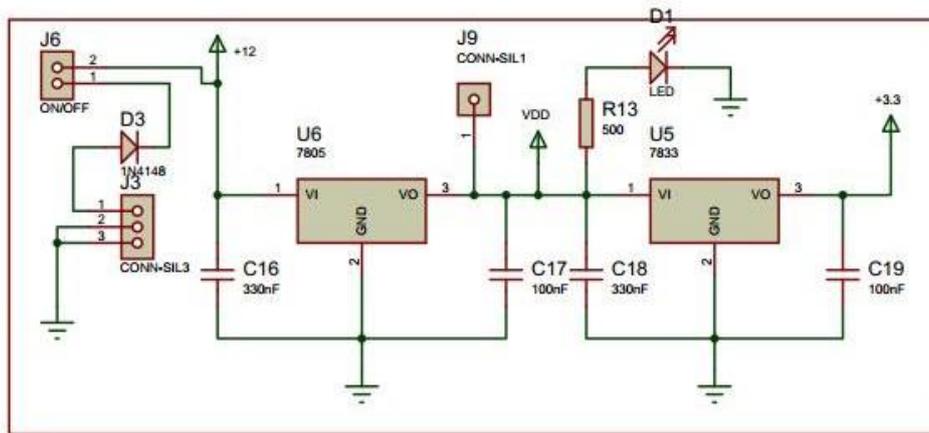


Figura 26. Fuente de alimentación

- 6. **Procesador PIC32MX230F064B:** En este bloque se puede observar la presencia de un cristal y un arreglo de capacitores encargados de establecer una frecuencia de oscilación de **20[MHz]**.

A su vez, se observa un arreglo de transistores conectado a un *Buzzer*, que será utilizado para activar la señal sonora de “alarma” que indicará posibles fallas en el equipo.

Finalmente se observan tres arreglos de resistencias y capacitores conectados a los *botones de PLAY/PAUSE*, y dos botones dispuestos para futuras aplicaciones. Los componentes pasivos mencionados cumplen la función de anti-rebote.

Cabe destacar que se dispone de una *pinera para la grabación in-circuit* del procesador.

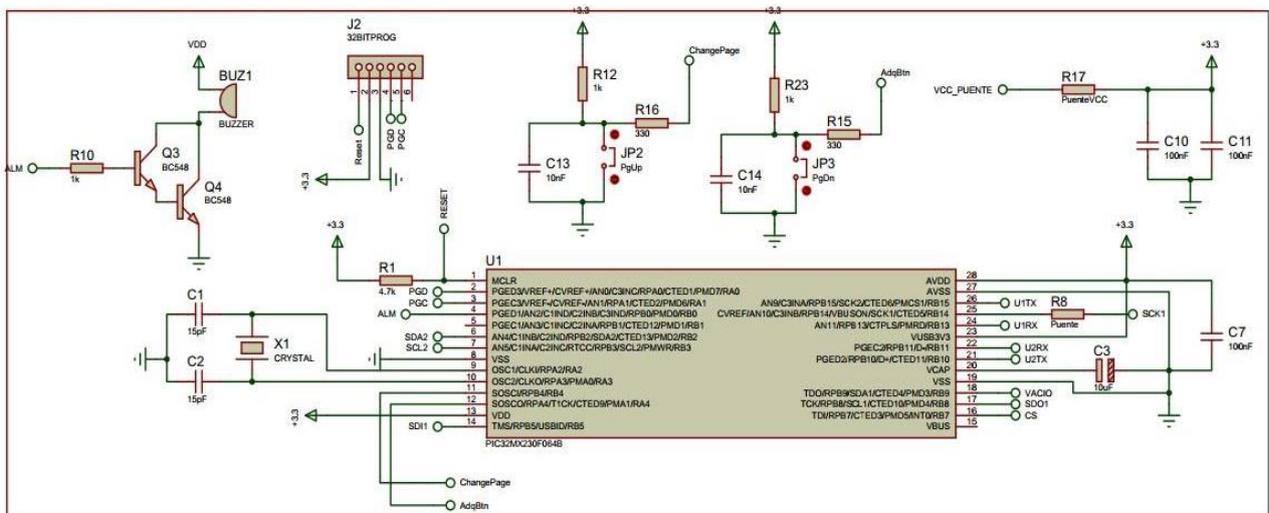


Figura 27. Procesador PIC32MX230F064B

D. Desarrollo de software

Diagrama de flujo y análisis

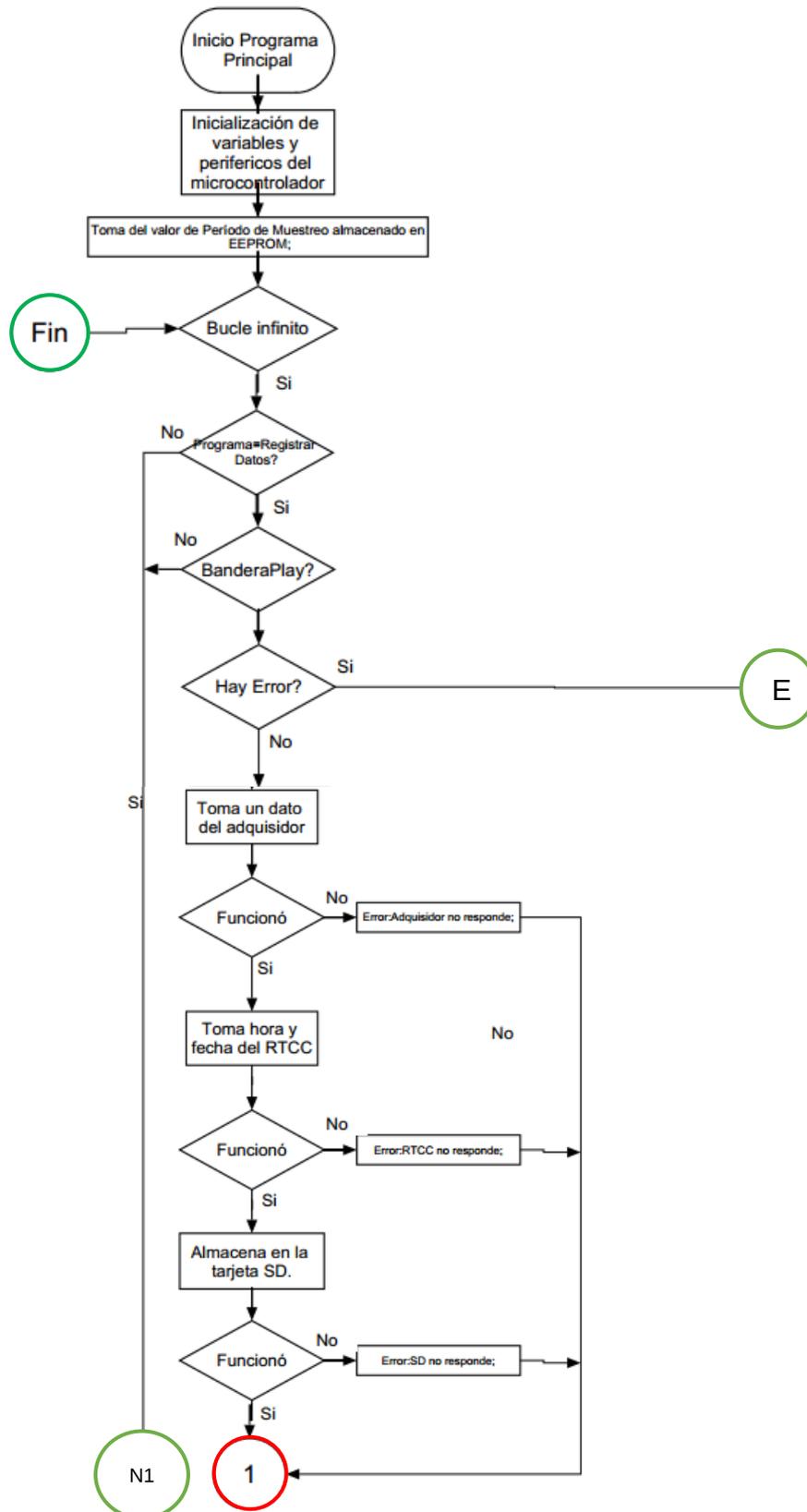


Figura 28. Diagrama de flujo placa maestro. Parte 1

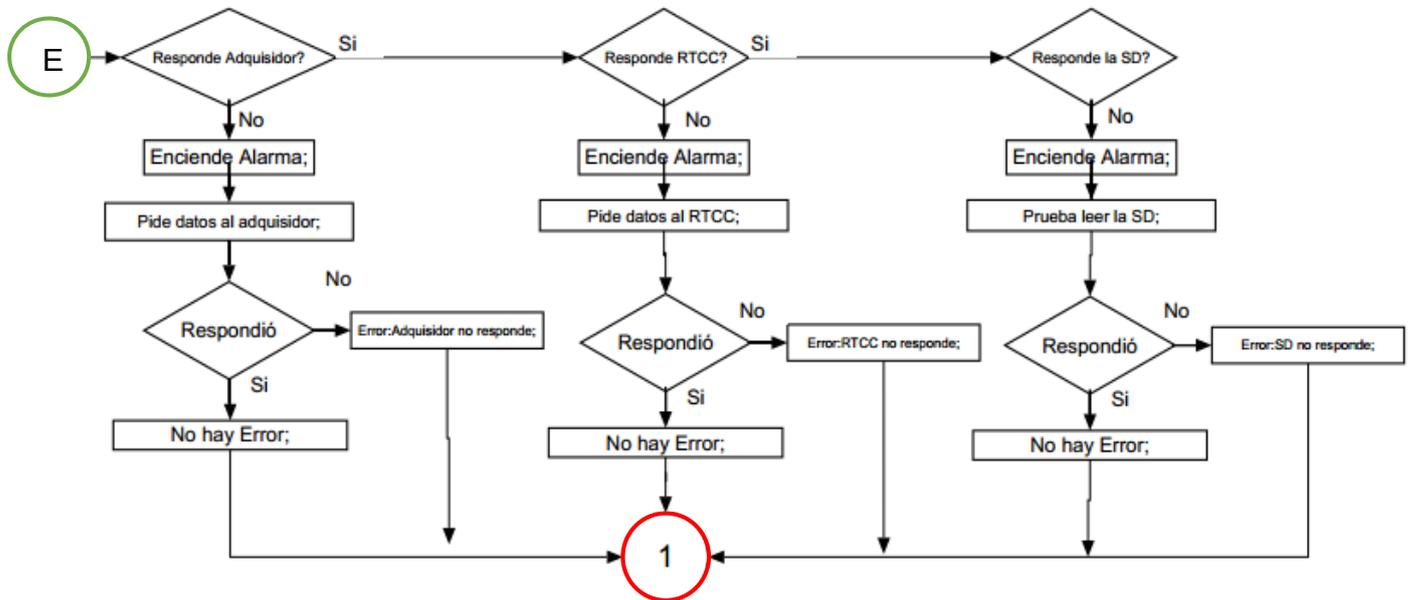


Figura 29. Diagrama de flujo placa maestro. Parte 2

En este primer fragmento del diagrama de flujo (figuras 28 y 29) se observa que el programa, luego de efectuar las correspondientes inicializaciones, comienza a ejecutar un bucle infinito donde las próximas acciones a ejecutar están supeditadas a la información analizada en las interrupciones. Dicha información se encuentra definida en la variable de estado “Programa”, por lo que se puede observar que, cuando dicha variable tiene valor nulo, el programa estará estancado en el bucle infinito, interrumpiéndose esta secuencia sólo por *interrupciones de timer*, que como se analizará posteriormente, sirven para actualizar los datos y a su vez enviar el estado al LCD.

Ante un cambio de la variable “Programa” se ejecutarán fragmentos de código según la información contenida en ella:

- Si se asignó el valor “Registrar Datos”, se evalúa primero si el estado actual es *Play* (“BanderaPlay” activa) y se entra en la secuencia contenida en las figuras 28 y 29. Por el contrario, si el estado es *Pausa* se ignoran las siguientes instrucciones y se chequea si el equipo tiene un pedido de configuración, como se verá en la figura 30.
- Antes de proceder a la toma de datos, se verifica si hay errores preexistentes no resueltos. Si los hay, se ejecutará el fragmento de código contenido entre los índices “E” y “1” del diagrama (figura 29). Cabe destacar que las correcciones están supeditadas a la intervención del usuario, ya que son errores de conexión física.

- Si no hay errores, se recaban los siguientes datos:
 - Valor digitalizado de *radiación PAR actual*, sensada por el adquisidor (solicitada por el procesador a través de la *UART*)
 - *Fecha y hora actual*, determinada por el módulo *RTCC*. (Solicitada a través de módulo de comunicación *I2C*)
- Se almacena en la *tarjeta SD*:
 - Un *paquete de datos* en un archivo en la memoria la *SD*, que contiene el registro de las mediciones realizadas en orden cronológico.

Como se ve en la figura 30, si no se produjeron errores en la secuencia anterior, se limpia la variable "Programa" y termina la secuencia. En este punto se hace también una limpieza preventiva de la bandera "Alarma".

En caso de que la variable de estado haya sido modificada por un pedido de configuración, se ejecutará el fragmento de código contenido entre "N1" y "2" de la figura 30. En este proceso se lleva a cabo un *handshaking* entre el *software* de la PC y el *equipo*. Si este último es válido:

- Se establecerá el *RTCC* con los datos temporales configurados
- Se escribirá la *EEPROM* del módulo *RTCC* con el valor del *período* para que la configuración se mantenga en caso de que el equipo se desenergice.

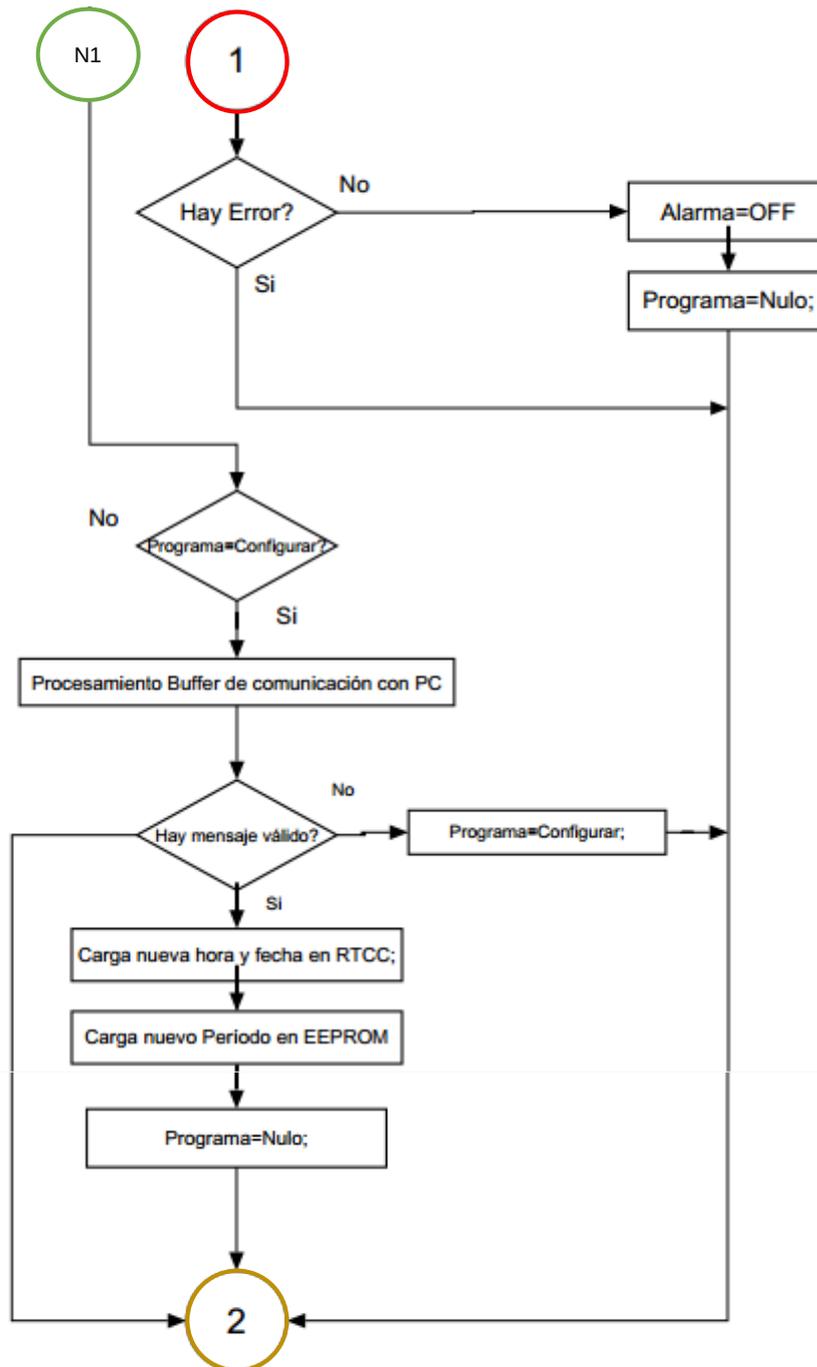


Figura 30. Diagrama de flujo placa maestro. Parte 3

Finalmente, como se muestra en la figura 31, se chequea si se debe actualizar la información de estado del equipo. Antes de llevar a cabo esta tarea, se evalúa la información de la bandera “Actualizar estados” para determinar si hay un *pedido de actualización*. Dicho pedido se produce cada un segundo, como se explicará mas adelante, por medio de la *interrupción por timer 1[s]*.

En este fragmento de código simple se recaba la información de estado de todos los módulos del sistema, y finalmente se actualiza la *pantalla LCD*, que muestra dichos estados.

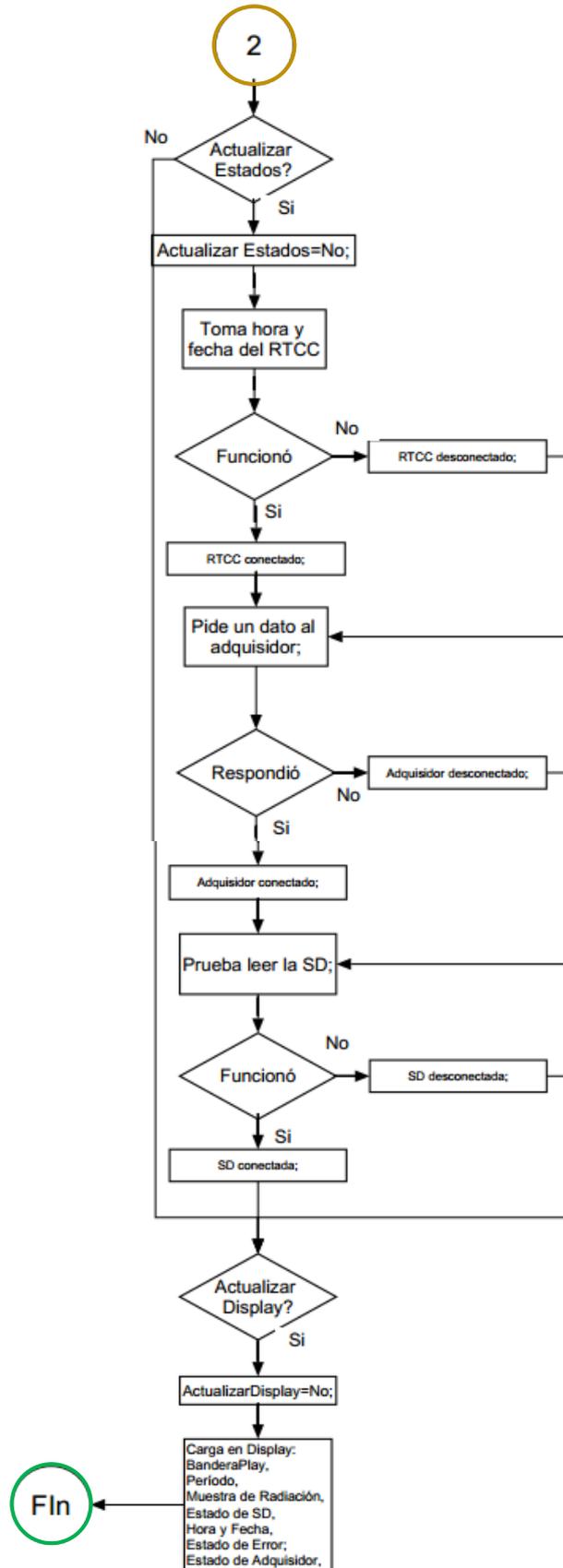


Figura 31. Diagrama de flujo placa maestro. Parte 4

Interrupciones

1- Interrupción 1[s]

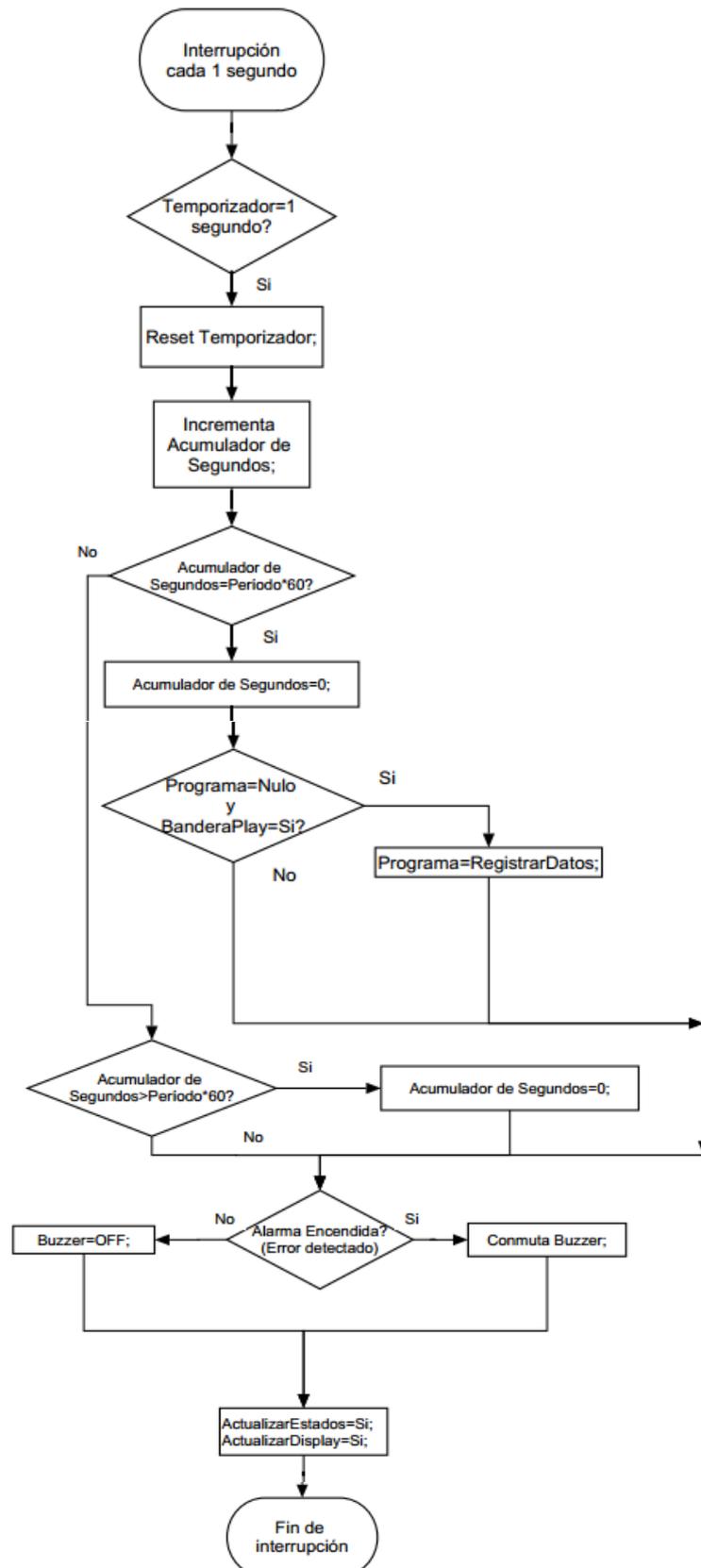


Figura 32. Diagrama de flujo placa maestro. Parte 5: Interrupción 1 [s].

Cuando comienza la secuencia del microprocesador se encienden varios *timers* para llevar a cabo diferentes funciones. El objetivo de uno de ellos es controlar la *Interrupción por timer 1[s]*. La función de este fragmento de código se centra en modificar banderas que permitirán la ejecución de bloques de código en el bucle principal. Cabe destacar en este punto que la variable “Período”, que contiene el valor del tiempo de muestreo, se utiliza para activar la bandera que ejecuta los programas correspondientes.

2- Interrupción por botón

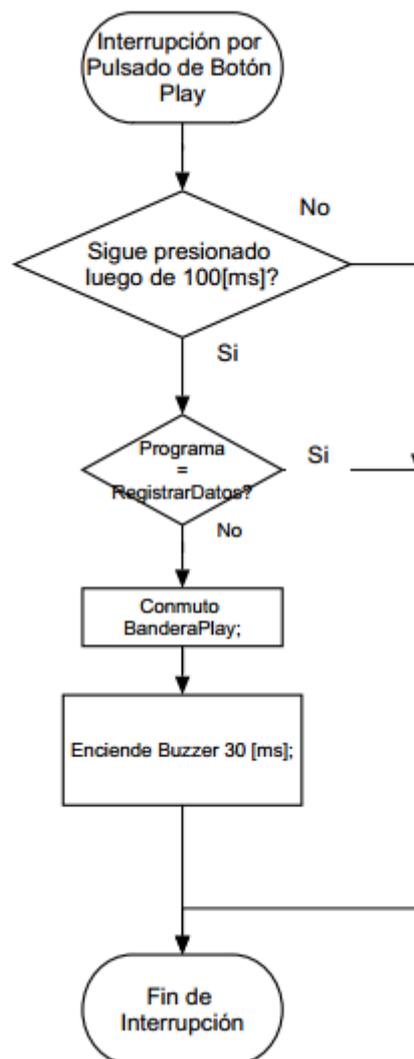


Figura 33. Diagrama de flujo placa maestro. Parte 6: Interrupción por botón

Al presionar el *botón Play/Pause* dispuesto en el panel frontal del equipo, se produce una interrupción por cambio de estado en un pin (*GPIO*) del microcontrolador. El objetivo de esta interrupción es la activación de la “BanderaPlay”. La rutina consta de un control anti-rebote digital de **100 [ms]** para evitar falsos disparos. Además, se activa una señal sonora para alertar al usuario del cambio entre el estado *Play* y *Pause*.

3- Interrupción por recepción de datos de software

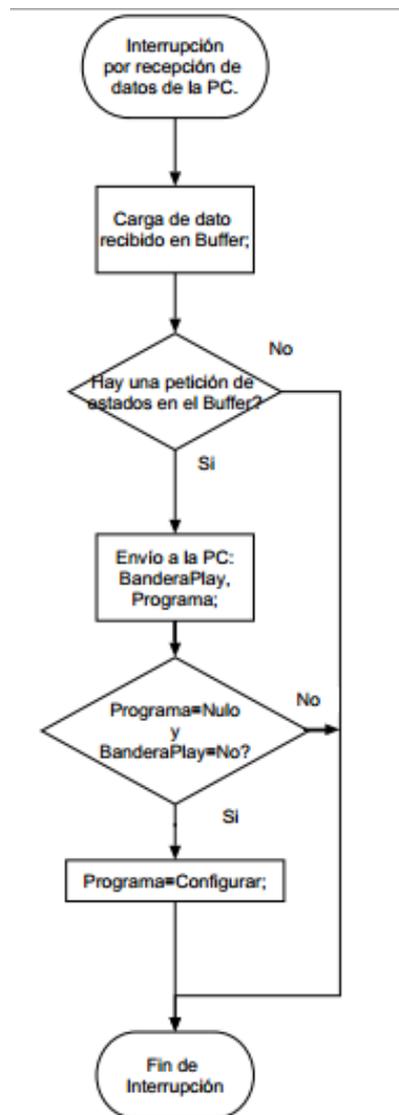


Figura 34. Diagrama de flujo placa maestro. Parte 7: Interrupción por recepción de datos de software

Esta interrupción se activa al recibir un dato por la *UART* desde la *interfaz de usuario* en la PC mediante puerto *USB*. Cada dato que se recibe es almacenado en un *Buffer*. Si se detecta en el mismo una cadena de petición de datos válida, se envían a la PC los valores de la “BanderaPlay” y la variable “Programa”. Si estos valores son nulos, lo que significa que no hay una tarea en ejecución, se establece la variable “Programa” en “Configurar”. Luego se ejecutará en el bucle principal el fragmento de código referido a la configuración del sistema explicado anteriormente.

2.3.2. Tarjeta SD

A. Análisis y selección de componentes

Como se deseaba almacenar los datos recabados en una *tarjeta SD*, se podía optar por un módulo que incluya las resistencias y las pistas integradas, o se podía hacer esto mismo en la placa colocando solo el *slot SD*. Por disponibilidad en el mercado y sencillez se eligió la primera opción. El módulo utilizado es de la línea Arduino y se presenta en la figura 35:



Figura 35. Lector de tarjeta SD

B. Propuestas de circuitos o esquemas.

I. Pruebas, experiencias

Este módulo fue el primero de todo el esquema en probarse. La prueba consistió en:

- 1- Desarrollar a grandes rasgos la programación del procesador necesaria para comunicarse con el módulo en cuestión.
- 2- Programar el microcontrolador con este código.
- 3- Conectar en *protoboard* el microcontrolador y el *módulo SD*.
- 4- Colocar una *tarjeta SD* en el módulo.
- 5- Ejecutar el programa del procesador, cuya función consistía en generar un archivo formato tabla (compatible con Excel), escribirlo y guardarlo en la tarjeta.
- 6- Desmontar la tarjeta, introducirla en la PC y chequear que se haya creado el archivo con el contenido definido por el programa.

Como las tarjetas SD interactúan con cualquier procesador a través de protocolo SPI, la conexión se realiza de manera directa con el procesador, tal y como se muestra en la figura 36. Para la conexión se utilizan 6 pines en total, 4 para intercambio de información, +Vcc (3,3[V] en este caso) y masa.

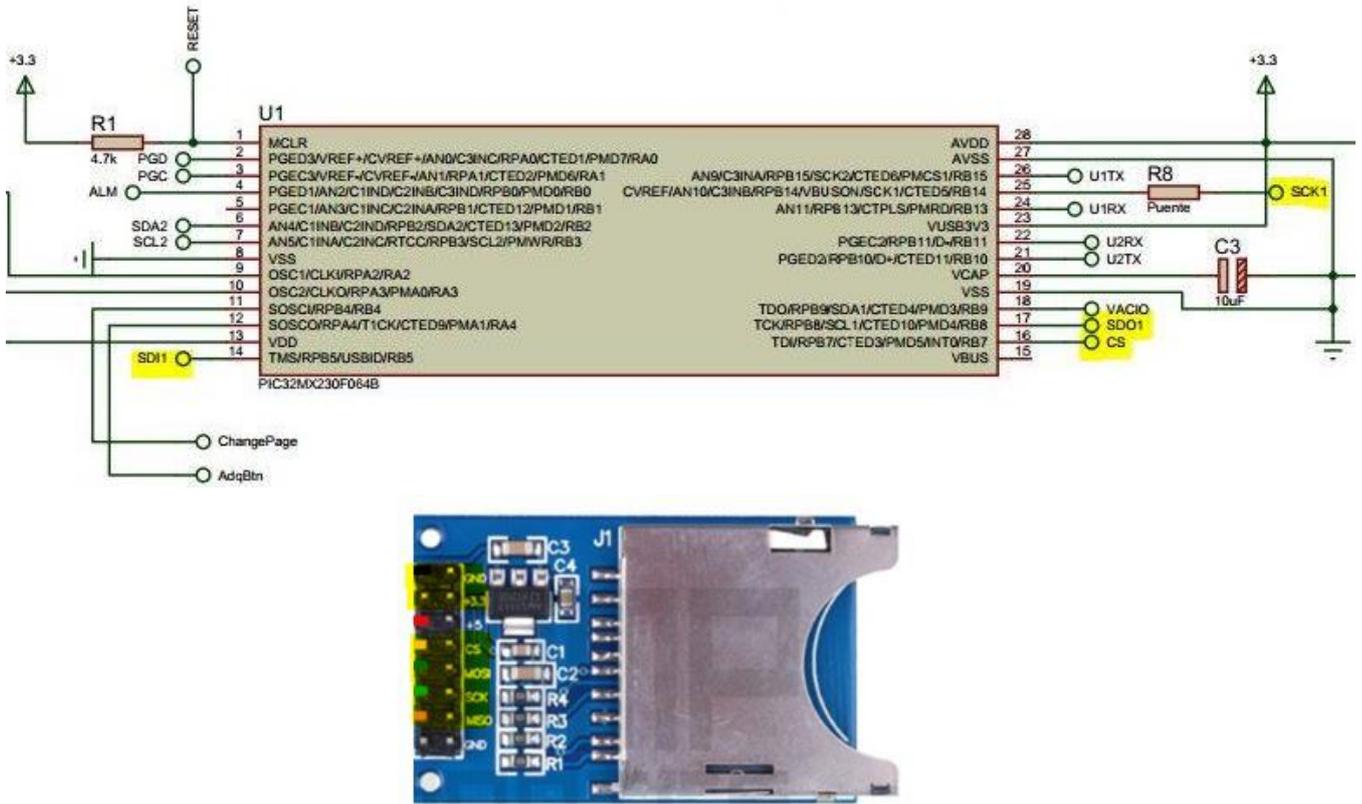


Figura 36. Conexión de lector de Tarjeta SD

II. Problemas y soluciones implementadas

Como fue necesario utilizar prácticamente todos los módulos de comunicación internos del microcontrolador, teniendo en cuenta también que algunos pines están distribuidos de manera poco conveniente, como se verá más adelante, los problemas más grandes aparecieron a la hora de realizar el “ruteo” de la placa. Este módulo en si funcionó de acuerdo con lo esperado. La complejidad de su utilización no solo radicó en efectuar una comunicación correcta, sino también en la conexión física entre los pines del mismo y los del microcontrolador.

C. Análisis del funcionamiento

A este módulo se accede en dos instancias, una a través del microprocesador y otra a través de la PC. El primer acceso se hace para escribir el dato de *radiación solar* digitalizado, acompañado de los datos temporales en los cuales fue tomada la muestra (*fecha y hora*). Esta acción se realiza periódicamente según el intervalo seteado por el usuario. Si la *tarjeta SD* está vacía, o bien no existe un archivo con el nombre "*Datos.csv*", el mismo será creado por el programa que ejecuta el microcontrolador. Si el archivo ya existe, el programa lo reconocerá y continuará escribiendo al final del mismo.

Cabe destacar que se está escribiendo un archivo de formato tabla, por lo que es crucial respetar una cierta lógica en la manera de escribir, para que el mismo pueda ser correctamente interpretado por un software como Excel.

El segundo acceso a la tarjeta se hace a través de la PC. Este consiste en trabajar la misma como si fuera un *dispositivo de almacenamiento masivo*, por lo que basta con acceder, copiar el archivo generado y descargarlo en la PC para poder visualizar las medidas realizadas.

2.3.3. Interfaz Usuario-PC: Software para la configuración del equipo

A. Análisis y selección de componentes

Antes de comenzar a hablar del software de configuración que se ejecuta en la PC, cabe aclarar que el dispositivo se comunica con este último a través de comunicación serie. Para hacer esto posible, como las computadoras actuales utilizan puertos USB en su mayoría y raramente puerto serie, se precisa un conversor USB-UART, capaz de enviar y recibir información en formato serie (TTL) a través del puerto USB. Este dispositivo hace posible la configuración del equipo a través del software diseñado.



Figura 37. Conversor USB-UART

En cuanto a componentes, este conversor fue el único elemento extra necesario para llevar a cabo la comunicación. Luego se utilizaron cables prolongadores y conectores para facilitar la disposición física de los componentes en cuestión.

El software, íntegramente desarrollado por quienes suscriben, fue programado en el entorno *Visual Community 2015*, debido a que se trata de un “software libre” u “open source”, por lo que no implica costos de licencia y además se encuentran diversos ejemplos y material en los foros web de programación.

B. Propuestas de circuitos o esquemas

I. Pruebas, experiencias

La prueba de este módulo consistió en programar el microcontrolador para que envíe y reciba caracteres ASCII. Luego se monitoreó el puerto serio desde un *visor de puerto* que también permitía enviar y recibir paquetes de datos.

Una vez probado el módulo, y luego de diseñar la placa, se dispuso el conversor *USB-UART* en la placa *maestro* y el resultado no fue el esperado. Como se mencionó al comienzo del inciso 2.3, hubo un problema de diseño debido a que el componente presentaba un footprint incorrecto en el software utilizado para el diseño.

II. Problemas y soluciones implementadas

El primer diseño se veía como la figura 38. Como los pines del conector quedaron dispuestos de manera invertida, la solución fue adicionar una placa extra, como se ve en la figura 39.

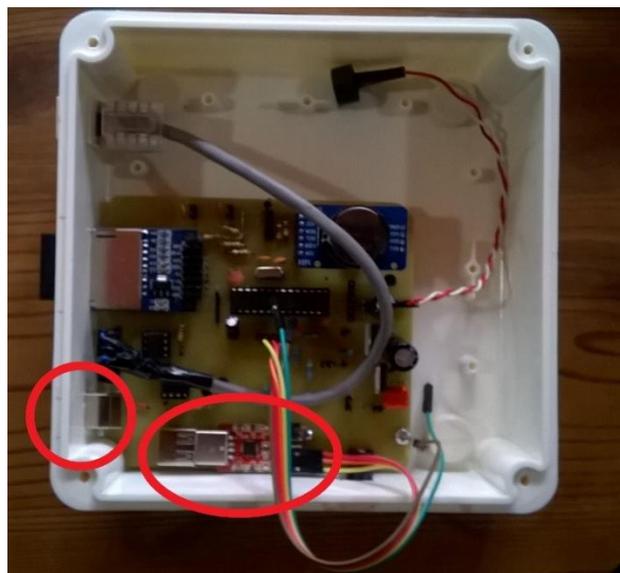


Figura 38. Conversor USB-UART en placa principal. Primer diseño

La solución implementada respondió satisfactoriamente y no se requirió ninguna modificación en los demás componentes.



Figura 39. Conversor USB-UART en placa principal. Introducción de placa auxiliar

C. Análisis del funcionamiento

Una vez descritos los componentes extras necesarios para la comunicación, se presenta a continuación el entorno gráfico:



Figura 40. Software. Entorno gráfico para configuración de equipo

Como se puede ver en primera instancia todas las opciones están deshabilitadas. El usuario debe seleccionar primero el modo de operación en el *menú desplegable* de la parte superior. Para esta versión el único modo disponible es *Configuración*. Para futuras versiones el modo *Descarga de datos* estará habilitado y será un elemento redundante, ya que la descarga se podrá hacer de dos maneras:

- Traslado de la tarjeta SD del equipo a la PC (como se hace actualmente).
- Por medio de cable (a partir de lo explicado en el último párrafo).

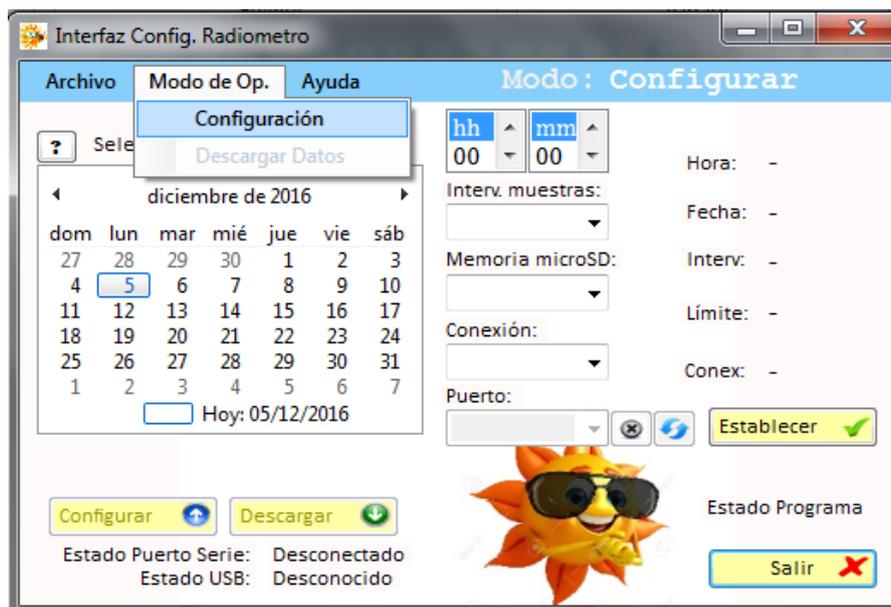


Figura 41. Software. Modo configuración

Una vez seleccionado el modo *configuración* se habilitan los botones de configuración, y aparece la leyenda “configurar” en la parte superior derecha (figura 42).

Aquí se debe seleccionar:

- **fecha (día/mes/año)** a través del *calendario interactivo* de la izquierda.
- **hora (hh/mm)** dentro del *Listbox* de la parte superior.
- **Intervalo de muestras, Tamaño de Memoria, Tipo de comunicación** (solo se habilita *puerto serie* para esta versión) a partir de los *menús desplegados* del centro.

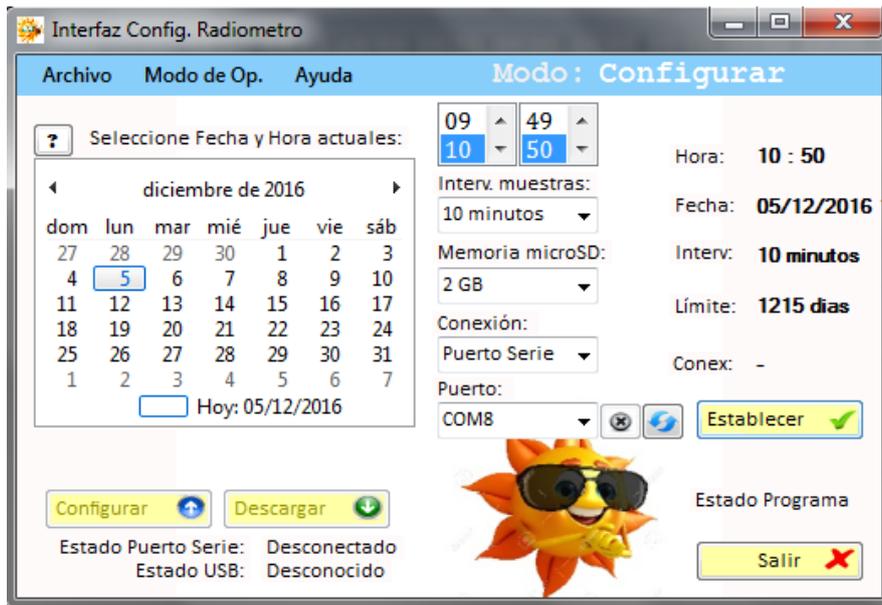


Figura 42. Software. Configuraciones

Una vez establecidos los valores se debe presionar el *botón establecer*. Al hacerlo se ejecuta una rutina que controla que los valores elegidos sean correctos. En caso de que el usuario haya olvidado realizar una configuración, el programa lo detectará y aparecerá una ventana emergente indicando las configuraciones que deben ser establecidas.

Por ejemplo, si no se seleccionara ninguna configuración además de la fecha, aparecerá un mensaje como el de la figura 43.

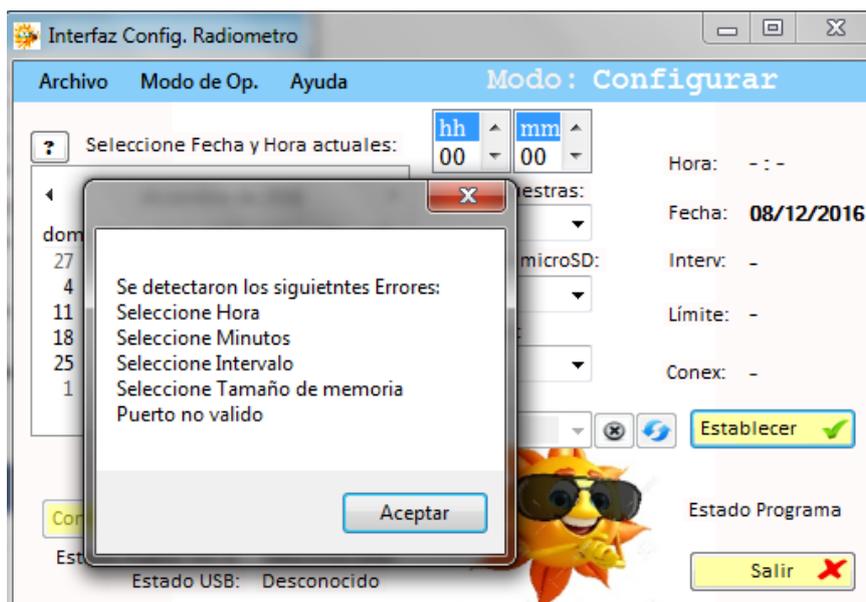


Figura 43. Software. Control de seteos

Una vez que se selecciona una configuración correcta, el *botón Configurar* se activa y los *botones de configuración* se desactivan. Al presionar dicho *botón Configurar* se envían los valores establecidos al equipo.



Figura 44. Software. Configuración de dispositivo

En la parte derecha de la pantalla se ven los valores seteados. Si se desea hacer alguna modificación se debe presionar el *botón x* que aparece junto al *botón refrescar*. Al presionarlo el programa regresa a la pantalla anterior, es decir con las opciones de configuración habilitadas.

El *botón refrescar* (representado con dos flechas azules) permite que, si el usuario olvida conectar el equipo a la PC o bien se selecciona el puerto equivocado, se haga un escaneo de los puertos series disponibles para rápidamente seleccionar la opción correcta.

Protocolo de comunicación

Una vez establecida la configuración, se presiona el botón configurar y se produce un “diálogo” entre el equipo y el software. Si se monitorea el puerto serie de la PC se puede ver que ante un pedido de configuración (**RDY-STA-END**) el dispositivo responde nuevamente con **RDY-** al comienzo del mensaje y en **-END** al final del mismo. A su vez en el medio se envía el *estado del programa* (**0,0 – 1,0 – 0,1 – 1,1 – 3, 0**) donde el primer y el último estado indican que el dispositivo está *listo para ser configurado* y el software responde con la configuración deseada. Podemos ver esto último en la siguiente imagen:

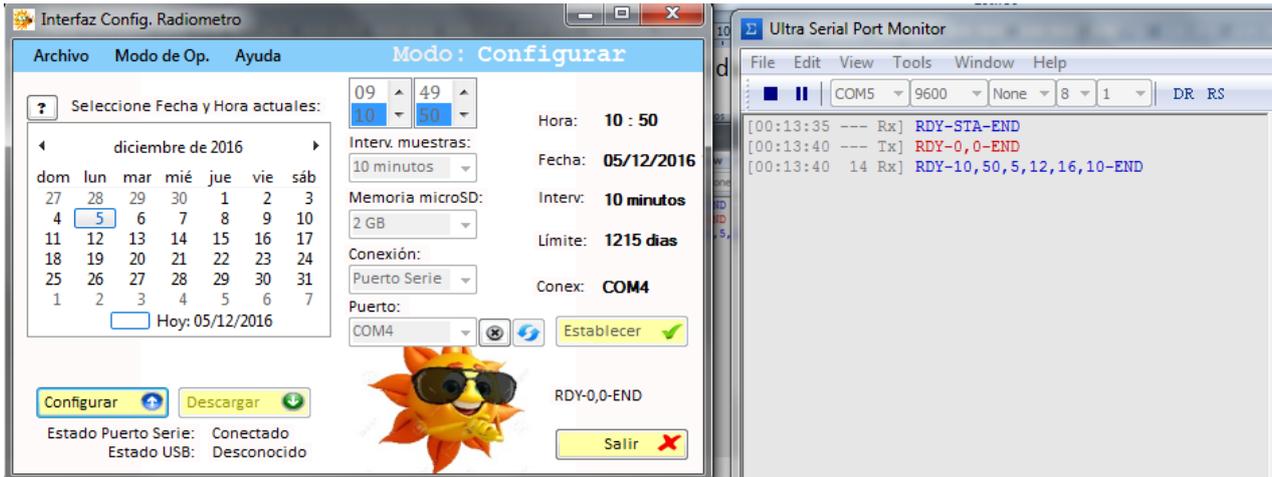


Figura 45. Software y dispositivo. Handshaking y envío de información

El software disparará una ventana emergente indicando la conexión exitosa.

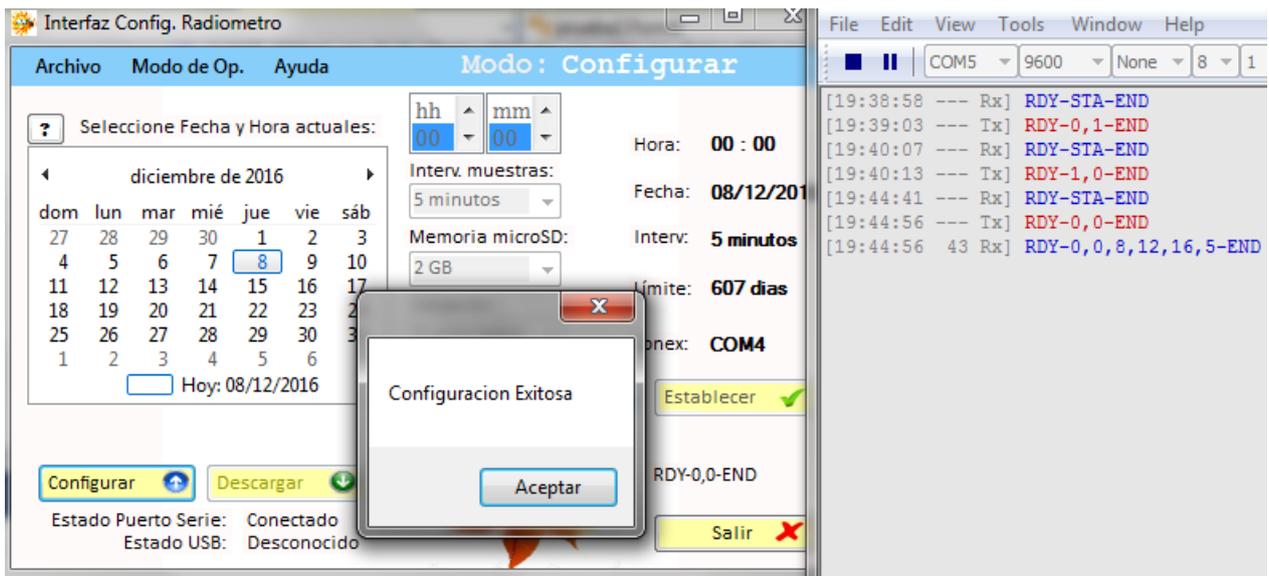


Figura 46. Software y dispositivo. Configuración exitosa

En la figura 46 se ejemplificó con un “handshaking” donde el dispositivo estaba listo para ser configurado, por lo que la respuesta del software fue enviar la configuración. Cabe destacar que la programación del software está preparada para recibir mensajes con ruido tanto previo como posterior al mensaje del equipo.

En caso de que el equipo esté llevando a cabo otras funciones, se envía un mensaje al usuario a través de una ventana emergente, indicando el estado del equipo y pidiendo que intente realizar la operación luego de unos segundos.

Por ejemplo, si el programa está corriendo, el usuario debe presionar el *botón stop* del registrador. El mensaje se muestra en la figura 47.

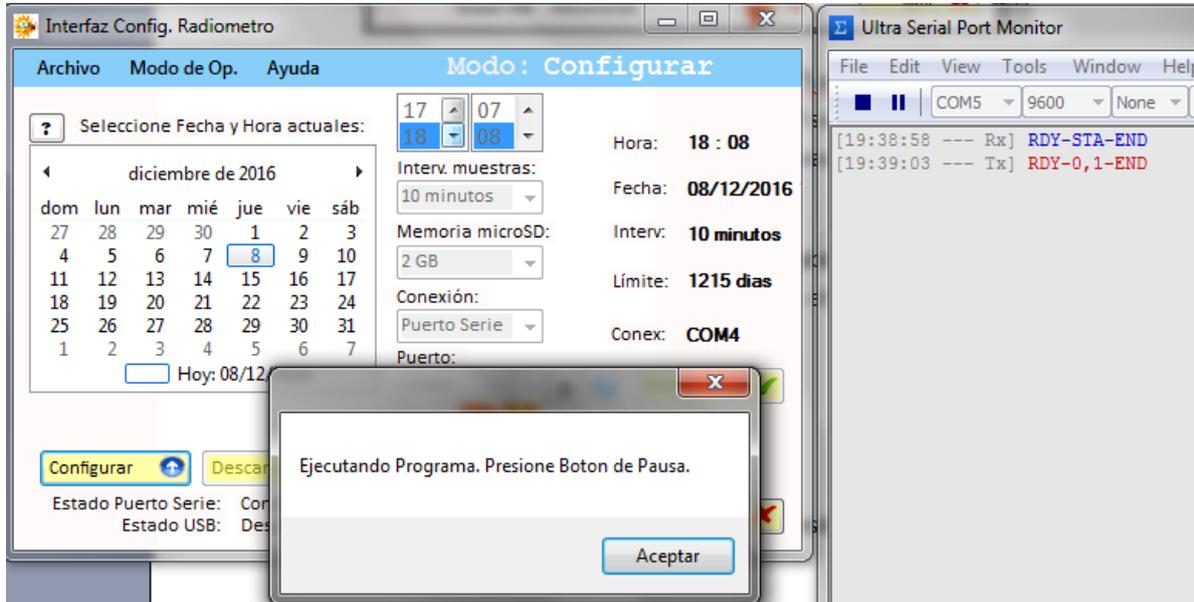


Figura 47. Software y dispositivo. Configuración no exitosa 1

Si el programa está ejecutando una rutina de prioridad la respuesta será como se muestra en la figura 48.

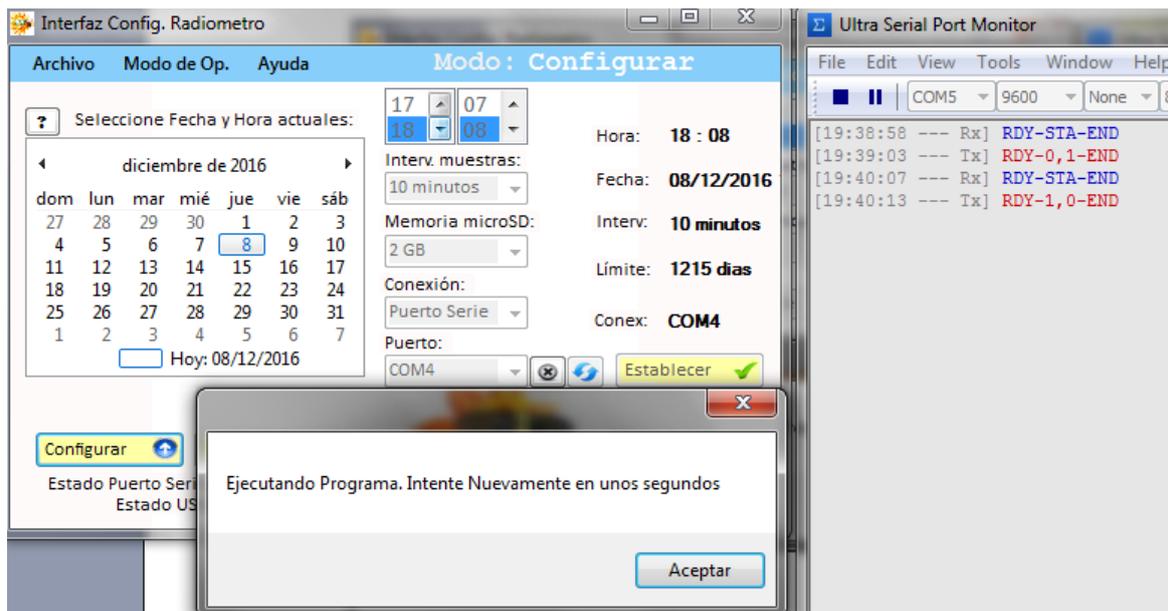


Figura 48. Software y dispositivo. Configuración no exitosa 2

Otras Funciones

Existen algunas funciones que no son indispensables para la utilización del software pero vale la pena mencionarlas. Una de ellas es que el programa cuenta con un *manual de instrucciones* para su utilización. Para acceder a este último se debe entrar al *menú desplegable* de la *barra de tareas*, y clicar la opción *Ayuda*→*Manual de Usuario*. Al presionarlo aparecerá una ventana emergente como se muestra a continuación.

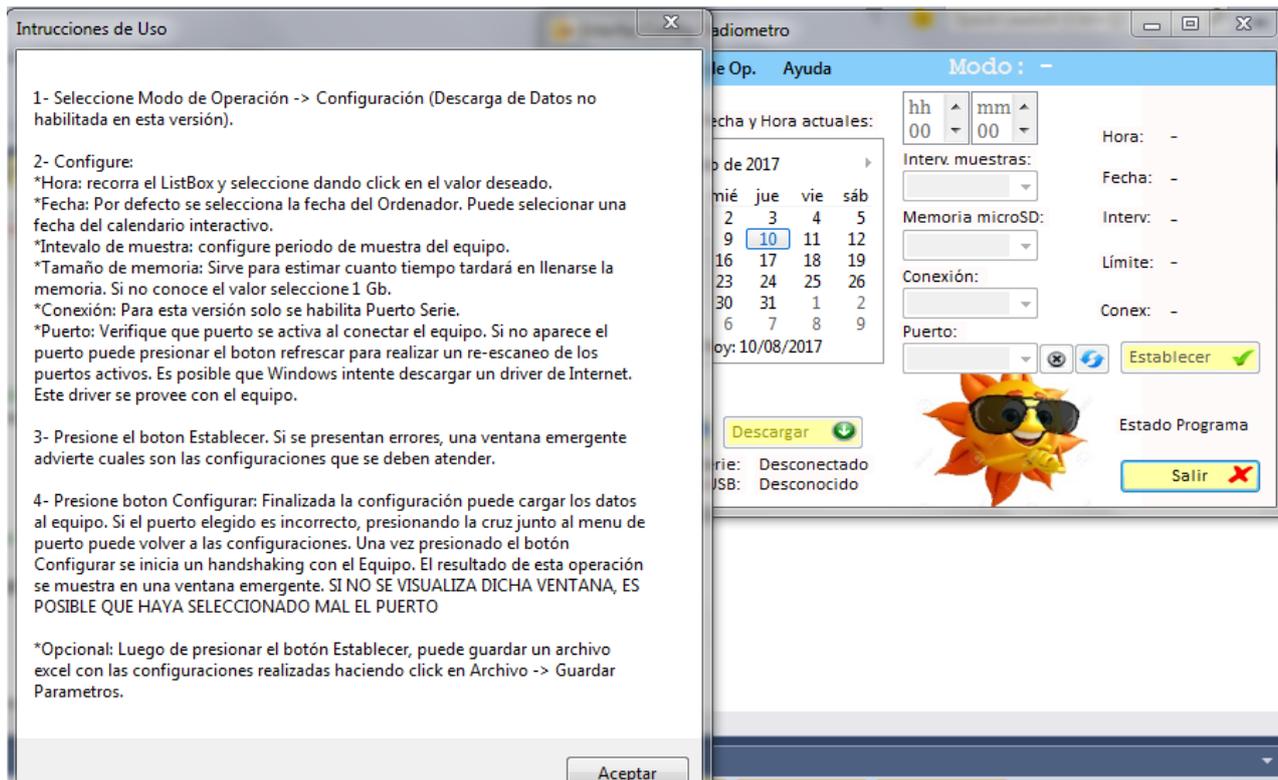


Figura 49. Software y dispositivo. Manual de usuario.

Otra función importante que se agrega es la *de guardar las configuraciones del equipo*. Cuando se establecen todas las configuraciones de manera correcta, se habilita en el menú desplegable la opción *Archivo*→*Guardar Parámetros*, como se muestra en la figura 50.



Figura 50. Software y dispositivo. Guardar parámetros.

Al hacer click en esta opción, el programa generará un *archivo Excel* con las configuraciones realizadas. Esto es útil en caso de que el usuario quiera rever en algún momento los seteos hechos.

El formato del archivo Excel puede observarse en la figura 51.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Seteos/config.	DATASOLER.					
2	Fecha:	10/08/017					
3	Hora:	13:41					
4	Intevalo de muestra:	15 minutos					
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							

Figura 51. Software y dispositivo. Excel de parámetros guardados

D. Desarrollo del software

El código es muy extenso y trabaja por eventos, por eso resulta casi imposible expresarlo como un diagrama de flujo. Debido a esto se optó por detallar el funcionamiento en los puntos anteriores para que su comprensión resulte más sencilla. Lo más importante a resaltar es que cada evento es activado al presionar el respectivo botón que lo dispara. Esto significa que cada vez que el usuario presiona un botón, sea cual sea, se ejecuta un fragmento de código y luego el programa queda en *stand by* a la espera de otra acción del usuario. La mayoría de estos eventos habilitan o deshabilitan opciones para el usuario y toman y empaquetan datos seteados por él, para ser enviados al equipo una vez que se presione el botón configurar.

La mecánica de funcionamiento es guiar al usuario a través de restricciones para que realice la configuración adecuada. A su vez se provee el manual de usuario con las indicaciones necesarias para lograr este cometido. Luego de que las configuraciones son correctas, se habilita el botón "Configurar", que al ser presionado ejecuta un código que permite el handshaking con el dispositivo, y posteriormente el envío de los datos seteados.

2.3.4. Interfaz de estado LCD con microcontrolador PIC16F1826

A. Análisis y selección de componentes

Para la realización de este bloque se contaba con dos posibles opciones, la primera, una *pantalla LCD* con un *módulo I2C/Paralelo integrado*, y la segunda, una *pantalla LCD comunicación paralelo* que requeriría una placa procesadora capaz de hacer las veces de conversor entre el *protocolo I2C* y el *protocolo paralelo*.

La primera opción fue descartada debido a la incompatibilidad entre las tensiones necesarias para el correcto funcionamiento de la lógica y la alimentación del dispositivo. Si bien esta opción era la más conveniente en cuanto a aspectos económicos y prácticos, el problema radicó en que el esquema maestro está diseñado para trabajar con **3,3 [V]**, y si bien el conversor es capaz funcionar con dicho nivel de tensión, el *módulo LCD* necesita **5 [V]** para funcionar correctamente. Se descartó esta opción debido a que los pines de alimentación están integrados en este tipo de dispositivos, resultando imposible trabajar con dos valores de tensión diferentes.

En base a lo descrito en el párrafo anterior, se optó por la segunda opción. Esta consistió en la construcción de una *placa convertora I2C/Paralelo*, que básicamente cumple las mismas funciones que el conversor integrado de la opción descartada. La diferencia radica en que, al ser un diseño realizado por quienes suscriben, permite separar la tensión de alimentación de la *pantalla LCD* de **5 [V]** de la lógica de control, que será llevada a cabo por un *PIC16F1826*, y será establecida en **3,3 [V]** para poder interactuar sin problemas con el *maestro*.

En la figura 52 se puede observar, en la parte superior, el módulo con conversor integrado que fue descartado, y en la figura 53, el *módulo LCD* elegido con la placa desarrollada para resolver la incompatibilidad de tensiones.



Figura 52: Interfaz de estado LCD. Módulo comercial descartado



Figura 53. Interfaz de estado LCD. Módulo de diseño propio

B. Propuestas de circuitos o esquemas.

I. *Pruebas, experiencias.*

El diseño implementado funcionó correctamente. Para tener la certeza de que este módulo funcionaría correctamente a pesar de las tensiones diferentes, se armó la configuración en placa de pruebas y se evaluó su respuesta. Debido a que los resultados fueron satisfactorios, se procedió a la programación y a la realización de la placa final. La integración entre ambos componentes (*LCD* y *placa conversora*) se da por medio de *pinos tipo macho* y *zócalos*. El conjunto se fija al gabinete a través de tornillos como se muestra en la figura 54. Para proteger la pantalla se intercaló un acrílico entre la misma y el gabinete. La conexión con el *maestro* se hace mediante un *bus* de 5 cables (dos pines para la comunicación *I2C*, uno para *masa*, uno para 5 [V] y uno para 3,3 [V]).



Figura 54. Interfaz de estado LCD: Instalación en gabinete

C. Análisis del funcionamiento

El módulo descrito en este inciso cumple la función de *esclavo* en el esquema general. Esto implica que su funcionamiento está supeditado a las órdenes de la *placa maestro*. Esta última envía de manera periódica una señal, a través del *bus I2C*, que contiene información sobre el *estado del sistema*. La placa convertora de protocolos, cuyo núcleo es el **PIC16F1826**, contiene en su memoria los posibles mensajes a ser mostrados en la pantalla LCD. Su función se basa en:

- 1- Detectar los mensajes en el puerto *I2C*.
- 2- Interpretar la información.
- 3- Enviar el mensaje correspondiente a la pantalla a través de uno de sus puertos digitales, en formato paralelo, para que este pueda ser visualizado por el usuario.

En la figura 55 se observa la pantalla principal de la interfaz. En ella se pueden distinguir los siguientes campos:

- **Estado:** Puede tomar los valores “PLAY” o “PAUSE”, lo que le indica al usuario si el sistema está tomando muestras o está detenido, respectivamente.
- El **período de muestreo** actual se indica a la derecha del campo *Estado* luego del símbolo “@”. Este valor está dado en minutos.
- **Muestra:** Indica el valor de la muestra más reciente tomada por el sistema en $[W/m^2]$
- **SD:** Indica el estado de la *tarjeta SD* y puede tomar el valor “OK” o “N/C” lo que informa si la misma está conectada o no, respectivamente.
- **Rad:** Indica el estado de conexión con el *módulo adquisidor*. Los valores posibles son “OK” y “N/C” (conectado o no conectado).
- En el sector inferior de la interfaz se indican la información temporal. Aparecen la **hora**, en la esquina inferior izquierda con formato *HH:MM*, y la **fecha**, en la esquina inferior derecha con formato *DD/MM/AA*.



Figura 55. Interfaz de estado LCD. Información en pantalla

En caso de surgir un error que active la alarma, la pantalla mostrará solamente información acerca del mismo.

2.3.5. RTCC: Real Time Clock and Calendar

A. Análisis y selección de componentes

Para el diseño de este módulo se contemplaron dos posibilidades. Primeramente, se consideró la utilización del *periférico RTCC interno* del microcontrolador (señalado con amarillo en la figura 56). La ventaja que conllevaba esta opción era el ahorro de espacio en placa. La desventaja era que, particularmente en este caso, el PIC seleccionado no posee un *pin VBAT*, que generalmente se conecta a un batería y hace las veces de UPS. Esto último resulta de suma importancia para mantener en funcionamiento el *RTCC* en caso de que falle la fuente de alimentación, haya un corte de luz, etc. Es menester mantener energizado el *RTCC* ya que si el mismo se desenergiza, se desconfigurará (debido a su memoria volátil). El resultado de esto sería una pérdida en la sincronicidad de los datos, provocando un error en la fecha y hora.

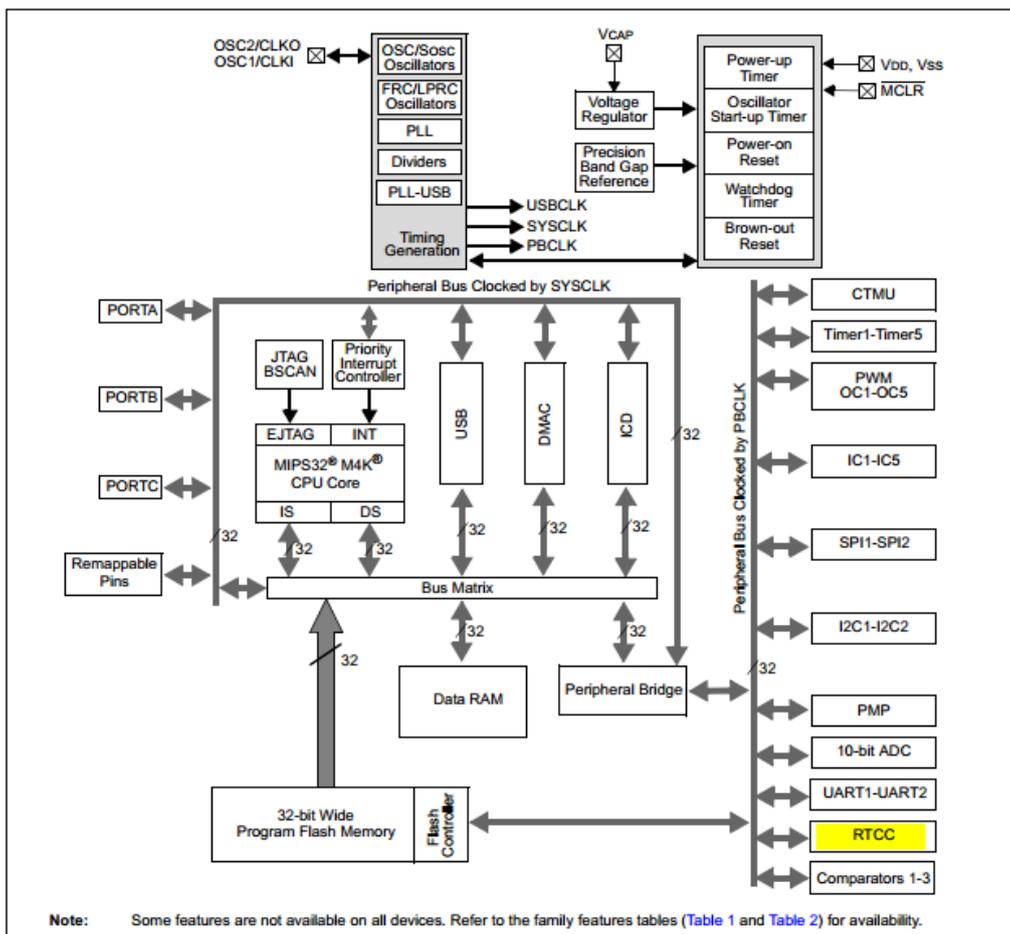


Figura 56. RTCC dentro del diagrama de bloques del PIC32MX2XX.

La segunda opción, finalmente elegida, fue utilizar un *módulo RTCC externo* (con integrado DS3231) con slot para batería de back-up (CR2032) como se verá a continuación.

B. Propuestas de circuitos o esquemas

I. *Pruebas, experiencias*

El *módulo RTCC* mencionado en el punto anterior fue testado en placa de pruebas y funcionó satisfactoriamente. El proceso de pruebas consistió en programar un fragmento de código en el microcontrolador PIC, que se comunicara por medio de *protocolo SPI* con el módulo, siguiendo las indicaciones de la hoja de datos. La prueba consistió en:

- 1- Configurar *fecha y hora* determinada.
- 2- Programar el microcontrolador para realizar una toma de muestra periódica de los valores actuales (*fecha y hora*) y enviarlos por puerto serie.
- 3- Monitorear los valores con un visor de puerto serie con la PC y el conversor *USB-UART*.

Los resultados fueron satisfactorios, por lo que se procedió a realizar la segunda parte de la programación del código correspondiente a este módulo. Esta última se trata de acceder a la memoria *EEPROM (AT24C32)* propia del módulo, y utilizar la misma para registrar el valor del *periodo de muestreo* definido por el usuario. Para probar esto último, se seteó un valor conocido de período y luego se procedió a desenergizar el módulo y a contrastar que el valor se mantuviera en la memoria al volver a energizarlo.

A continuación se presenta el módulo RTCC:

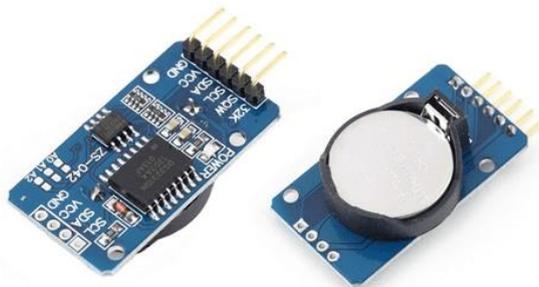


Figura 57. Módulo RTCC

C. Análisis del funcionamiento

Nuevamente se analiza un bloque que corresponde a un esclavo en el esquema general. Esto implica que su funcionamiento, así como el de los demás esclavos, está supeditado a las órdenes de la placa *maestro*.

El funcionamiento consiste en:

- 1- Configurar primeramente *hora y fecha*. Esta información es tomada de la configuración por PC.
- 2- Enviar la información por el *puerto I2C* del microcontrolador a los registros en las direcciones correspondientes dentro del *RTCC*, indicándole a su vez el formato de hora y fecha utilizado.

Se presenta en la figura 58 el mapa de direcciones del integrado DS3231, tomado de la hoja de datos del mismo. Aquí se puede observar cómo se organizan los registros de tiempo y configuración (también está disponible la posibilidad de alarma).

ADDRESS	BIT 7 MSB	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0 LSB	FUNCTION	RANGE
00h	0	10 Seconds			Seconds				Seconds	00-59
01h	0	10 Minutes			Minutes				Minutes	00-59
02h	0	12/24	AM/PM	10 Hour	Hour				Hours	1-12 + AM/PM 00-23
03h	0	0	0	0	0	Day			Day	1-7
04h	0	0	10 Date		Date				Date	01-31
05h	Century	0	0	10 Month	Month				Month/ Century	01-12 + Century
06h	10 Year				Year				Year	00-99
07h	A1M1	10 Seconds			Seconds				Alarm 1 Seconds	00-59
08h	A1M2	10 Minutes			Minutes				Alarm 1 Minutes	00-59
09h	A1M3	12/24	AM/PM	10 Hour	Hour				Alarm 1 Hours	1-12 + AM/PM 00-23
0Ah	A1M4	DY/DT	10 Date		Day				Alarm 1 Day	1-7
0Bh	A2M2	10 Minutes			Minutes				Alarm 2 Minutes	00-59
0Ch	A2M3	12/24	AM/PM	10 Hour	Hour				Alarm 2 Hours	1-12 + AM/PM 00-23
0Dh	A2M4	DY/DT	10 Date		Day				Alarm 2 Day	1-7
0Eh	EOSC	BBSQW	CONV	RS2	RS1	INTCN	A2IE	A1IE	Control	—
0Fh	OSF	0	0	0	EN32kHz	BSY	A2F	A1F	Control/Status	—
10h	SIGN	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	Aging Offset	—
11h	SIGN	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	MSB of Temp	—
12h	DATA	DATA	0	0	0	0	0	0	LSB of Temp	—

Figura 58. Mapa de direcciones del DS3231 (RTCC)

Una vez que se lo configura, sigue funcionando ininterrumpidamente. Cuando la *hora y fecha* actuales son requeridas, el microcontrolador solicita los valores de los registros correspondientes y el *RTCC* responde enviando los mismos.

A modo de seguridad, el microcontrolador intenta comunicarse antes de cualquier solicitud de *hora* y *fecha* (escribiendo el registro de configuración del *RTCC*). Si este responde correctamente se procede a la lectura deseada, sino se considera error del *RTCC* y se muestra por display, interrumpiendo los procesos del sistema.

Capítulo 3: Resultados

Como resultado de este trabajo se obtuvo un producto que cumple con los requerimientos de la aplicación en cuestión.

Según se explicó a lo largo de este informe la función principal de este desarrollo es medir radiación PAR y registrar las muestras tomadas en una memoria para luego hacer el análisis de la información recabada en una computadora.

Se detallan a continuación las *características del equipo*:

Rango de medición	[0 ; 1366] [W/m ²]
Clase del instrumento	Clase 0.8
Períodos de muestreo	[5 ; 60] [min]
Memoria SD extraíble	hasta 64 [Gb]
Tiempo de autonomía de memoria (teórico)	Ilimitado (>256 años)
Distancia entre central y elemento sensor	hasta 1200 [m] (teórico a 9600 [bps]) ³

- Alarma sonora ante fallas.
- Display con información de medición y estado del sistema.
- Interfaz de usuario en equipo con botones Play/Pause y On/Off.
- Software de PC amigable con el usuario (incluye explicación en su menú *Ayuda*).
- Comunicación con PC para configuración mediante *USB*.
- Descarga de datos directa desde *tarjeta SD*.
- Separación entre adaptación de señal y adquisidor (digitalización). Adquisidor compatible con sensores estandarizados 0-10 [V].
- Bloque de medición (adaptación y adquisidor) preparado para funcionamiento en el exterior expuesto a la intemperie.

Tabla 3. Características del equipo

Clase del instrumento

El cálculo de la clase del instrumento se realizó partiendo de los valores medidos, presentados en la tabla 2.

Para la medición se dispuso un divisor resistivo que simuló la tensión máxima de salida del sensor PAR. Se midió la tensión generada con el multímetro Nisuta NSTEDI2 (clase 0.5 en medición de tensión continua⁴).

Clase del instrumento = Error relativo porcentual = Error absoluto x 100% / Valor máximo = **11 [W/m²] x 100% / 1390 [W/m²] = 0,8%**. Entonces queda definida la clase del instrumento como **Clase 0,8**.

³ Interface Circuits for TIA/EIA-485 (RS-485). <http://www.ti.com/lit/an/slla036d/slla036d.pdf>

⁴ Tester digital (NSTEDI2). <http://nisuta.com/producto.asp?id=NSTEDI2>



DATASOLER

Figura 59. DATASOLER. Equipo desarrollado.

Capítulo 4: Análisis de Costos

Introducción

A continuación se analizan los costos del proyecto. Luego se detallará un plan de venta y amortización de la inversión.

Para la realización de este proyecto se recibió apoyo económico de la **Fundación Nuevo BERSA**, el cual consistió en una suma de aproximadamente 42 mil pesos argentinos (año 2015 y 2016). El mismo fue destinado principalmente a la compra de materiales, compra de herramientas y remuneración para quienes suscriben.

4.1. Costos del trabajo

Debido a que el proyecto fue financiado en gran parte por la Fundación Nuevo BERSA, se muestra a continuación el análisis de la inversión realizada, presentado a dicha institución.

Inversión de dinero de Fundación Nuevo BERSA*		
Gastos de Operación	Costo	Observaciones
Estipendio del becario	\$ 24.000	\$12000 c/ becario (2).
Material bibliográfico	\$ 0	Bibliog. de internet
Materiales de laboratorio	\$ 2.151	
Bienes fungibles	\$ 2.069	
Pagos de servicios externos	\$ 0	
Gastos de equipamiento	\$ 12.401	
Otros	\$ 551	
Total general	\$ 41.172	

Tabla 4. Detalles de inversión del dinero aportado por Fundación Nuevo BERSA.

**Al final de este trabajo se anexa la descripción de gastos completa presentada a dicha institución. Allí se detalla con más profundidad en qué se utilizó el dinero recibido.*

En el año 2017 se realizaron perfeccionamientos al proyecto, con una inversión por parte de quienes suscriben de aproximadamente 2000 pesos argentinos. Estos gastos se debieron en su mayoría a compra de materiales y herramientas.

Si bien en el análisis está considerada una remuneración para quienes realizaron el proyecto (\$24000), esta no es acorde con lo que corresponde recibir por las horas trabajadas.

La remuneración para cada trabajador se estima en 88000 pesos argentinos, es decir \$176000 en total. Para esta estimación se consultó cuánto gana por mes un ingeniero junior en argentina, trabajando entre 8 y 9 horas por días (\$ 22000). Trabajando esa cantidad de horas por día se estima que el proyecto podría llevarse a cabo en 4 meses, de lo que se calculan los \$ 88000 por trabajador. Entonces se puede decir que la inversión hecha en horas de trabajo por parte de quienes suscriben es de $\$176000 - \$24000 = \mathbf{\$152000}$.

4.2. Plan de venta y amortización de la inversión

Luego del análisis hecho en el inciso anterior, se puede concluir que la inversión realizada por parte de quienes suscriben fue de \$2000 efectivos y debido a que se trata de un proyecto final de carrera, no se pretende recuperar la inversión. Así mismo las horas de trabajo se consideran como una inversión de mano de obra para obtener un diseño que a futuro puede ser rentable. Esto significa, que si bien el equipo desarrollado no tiene perspectivas de venta, no hay que perder de vista el hecho de que se generó un diseño propio, que eventualmente puede ser comercializado.

En caso de una futura comercialización, las posibilidades son dos: vender el diseño o vender el producto.

En el primer caso se tendría en cuenta el valor monetario de las horas de trabajo, más un valor estimado de la ganancia a la que se estaría renunciando por la venta de la propiedad intelectual.

En el caso de la venta del producto, se analizaría el mercado con más profundidad para detectar los posibles compradores. Obtenido este número, se analizaría la relación entre clientes y cantidad mínima de dispositivos a fabricar para recuperar la inversión.

Como plan de marketing, en una primera instancia se realizaría la entrega sin costo del dispositivo a determinadas entidades (universidades, centros de investigación y empresas vendedoras de paneles fotovoltaicos). La idea es que estos últimos puedan probar el dispositivo por un determinado período. Esto permitirá la familiarización con el equipo y la comprobación de los resultados de su uso. Paralelamente a esto, el producto sería promocionado en eventos afines como congresos, simposios, exposiciones relacionadas a energías renovables, etc. Una vez comenzada la comercialización, el software que permite usar el dispositivo será entregado vía internet. Los beneficiarios de la compra podrían acceder al mismo ingresando el número de serie del equipo adquirido (esto requiere leves modificaciones en el software y la creación de una página web).

Capítulo 5: **Discusión y Conclusión**

El equipo desarrollado en este trabajo respondió a los requerimientos del Laboratorio de Energías Alternativas. Tales requerimientos fueron: el rango de medición **[0; 1366] [W/m²]**; que el módulo registrador y el módulo de sensado estén conectados por cable (separados una distancia mayor a 20 metros); que el período de muestreo sea configurable; que la información adquirida pueda ser interpretada por Excel; que el módulo adquisidor disponga de una entrada estandarizada (0 a 10 [V]); y que el equipo sea fácil de utilizar.

Las características técnicas están a la altura de equipos en venta con aplicaciones semejantes, por ejemplo, dataloggers, medidores de radiación PAR, entre otros.

Los problemas más significativos enfrentados durante la realización del proyecto fueron la falta de componentes en la ciudad de Paraná, por lo que fue necesario comprar en Buenos Aires y en algunos casos hasta importar. No se contaba con las herramientas para trabajar con tecnologías a la vanguardia (componentes SMD, placas multicapa), lo que complejizó el trabajo y no permitió hacer un diseño compacto.

En el caso de la continuación de este proyecto, los objetivos serían el rediseño de las placas en tecnología SMD, la implementación de un chip ADC con lo cual mejorar la calidad de las muestras y la conexión de múltiples sensores al mismo módulo registrador, aprovechando las beneficios del bus RS-485.

Capítulo 6: Literatura Citada.

- Bolzi C.G., Martínez Bogado M. G. Tamasi M. J. L., Grossi Gallegos H., Righini R. (2008), *Desarrollo de radiómetros fotovoltaicos de bajo costo en la CNEA*. En Actas del IX Congreso Panamericano de Iluminación Luxamérica 2008, organizado por la Asociación Argentina de Luminotecnia, Rosario, Santa Fe, Argentina, Tomo I pp. III-38 a III-45.
- Chan, E. (14, 10, 2017). *FatFs-generic FAT file system module*. Recuperado de: http://elm-chan.org/fsw/ff/ooindex_e.html.
- Di Jasio, L. (2008). *Programming 32-bit Microcontrollers in C: Exploring the PIC32*. Burlington, EE. UU.: Newnes.
- Nisuta. *Tester digital modelo NS-TEDI2*. Recuperado de: <https://www.nisuta.com/producto.asp?id=NSTEDI2>
- Texas Instruments (2007). *Interface Circuits for TIA/EIA-485 (RS-485). Application Report*. Recuperado de: <http://www.ti.com/lit/an/slla036d/slla036d.pdf>.

Anexo: Informe de gastos.

Aquí se presenta la descripción de gastos completa, presentada a la Fundación Nuevo BERSA. La columna "Referencia" se mantuvo a fin de respetar el documento original. Esta hace referencia al nombre de la factura que comprueba la compra del elemento en cuestión, las que no se anexan en este informe.

+ Materiales de laboratorio (máximo 3000\$):

Elemento	Referencia	Cant.	Precio Unitario	Total
PIC16F1826	Anexo Factura 1 + Anexo Factura 1 PRECIOS 1	2	\$25	\$50
PICBOX32	Anexo Factura 1 + Anexo Factura 1 PRECIOS 2	2	\$150	\$300
PIC16F1939	Anexo Factura 1 + Anexo Factura 1 PRECIOS 1	2	\$55	\$110
Conversores CP2120	Anexo Factura Conversores	2	\$129	\$258
Módulos SD	Anexo Factura Módulos SD	2	\$75	\$150
RTCC	Anexo Deposito candy ho + Anexo Items candy ho	3	\$75	\$225
Pantallas LCD	Anexo Deposito candy ho + Anexo Items candy ho	2	\$199/\$239	\$438
PIC24FJ64Gb002	Anexo Factura pic24	2	\$132,5	\$265
Trafo Alimentación	Anexo Transformador	1	\$215	\$215
USB	Anexo Factura Cable USB	1	\$60	\$60
USB2	Anexo Factura cable USB2	1	\$80	\$80

Subtotal.....\$2151

+ Bienes Fungibles (máximo 4000\$):

Elemento	Referencia	Cant.	Precio Unitario	Total
RCB-5	Anexo Factura 2	16	\$1.36	\$21.76
Estaño 0.7mm	Anexo Factura 2	1	\$62.1	\$62.1
Materiales 1	Anexo Factura 3 – Página 1	Ver fact.	\$99.9	\$99.9
Materiales 2	Anexo Factura 3 – Página 2	Ver fact.	\$20.8	\$20.8
Materiales 3	Anexo Factura 3 – Página 3	Ver Fact.	\$97.9	\$97.9
Materiales 4	Anexo Factura 4	Ver Fact.	\$136.0	\$136.0

Materiales 5	Anexo Factura 5	Ver Fact.	\$480.78	\$480.78
Materiales 6	Anexo Factura 6	Ver Fact.	\$114	\$114
Materiales 7	Anexo Factura 7	Ver Fact.	\$95	\$95
batería	Anexo Factura batería	1	\$35	\$35
Placas Epoxi	Anexo Factura placas epoxi	2	\$62	\$124
Materiales 8	Anexo Factura 8	Ver Fact.	\$228	\$228
Materiales	Compra a través de otra empresa. S/ factura	-	\$166	\$166
Materiales 9	Anexo Factura 9	Ver Fact.	\$61	\$61.8
Materiales	S/ Factura	-	\$40	\$40
Gabinete	Anexo Factura Gabinete	1	\$115.30	\$115.30
Gabinetes y accesorios	Anexo Factura Gabinetes y accesorios Instalación	Ver Fact.	\$171.09	\$171.09

Subtotal.....\$2069.43

+ Gastos de Equipamiento (máximo 15000\$):

Elemento	Referencia	Cant.	Precio Unitario	Total
PICKIT3	Anexo Factura 1 + Anexo Factura 1 PRECIOS 1	1	\$800	\$800
Osciloscopio	Anexo Factura Osciloscopio	1	\$4686	\$4686
Tester	Anexo Factura Tester	2	\$635	\$1270
Protoboard	Efectivo. S/ factura	2	\$150	\$300
Osciloscopio 2	Anexo Deposito Osc2	1	\$5345	\$5345

Subtotal.....\$12401

+Otros (Máximo \$4000):

Concepto	Referencia	Cantidad	Precio Unitario	Total
Gastos de movilidad	Efectivo. S/ factura	-	\$75	\$75
Gastos Impresión + Papel Satinado para placas	Efectivo. S/ factura	-	\$46	\$46
Gastos de Envío	Efectivo. S/ factura	-	\$85	\$85
Gastos de Envío	Efectivo. S/ factura	-	\$90	\$90
Gastos de Envío	Efectivo. S/ factura	-	\$90	\$90
Gastos de Envío	Efectivo. S/ factura	-	\$30	\$30
Gastos Impresión de placa por	Efectivo. S/ factura	-	\$135	\$135

radiación Ultravioleta				
---------------------------	--	--	--	--

Subtotal.....\$551

+ Estipendio del Becario (Máximo \$24000)

Concepto	Referencia	Cantidad	Precio Unitario	Total
Estipendio Agustín	Efectivo. S/ factura – 50%	-	\$12000	\$12000
Estipendio Maximiliano	Efectivo. S/ factura – 50%	-	\$12000	\$12000

Subtotal.....\$24000

TOTAL.....\$ 41172.43