

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA UTILIZANDO
TECNOLOGÍA GSM, PARA MONITOREAR VARIABLES
FOTOVOLTAICAS DOMESTICAS RURALES”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR EL BACHILLER

TERRONES RABANAL, MARCO A.

**Villa El Salvador
2017**

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a toda mi familia y en especial a mi madre, que gracias a su esfuerzo y dedicación me ha impulsado a lograr este objetivo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos mis profesores quienes me han dado las herramientas como profesional. También agradecer a mis compañeros de cursos con los cuales he podido realizar proyectos interesantes, y con los cuales he podido compartir momentos inolvidables durante los concursos de robótica nacionales e internaciones que hemos podido asistir.

INDICE

1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	12
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	13
1.3. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO	14
<i>1.3.1. CONCEPTUAL</i>	<i>14</i>
<i>1.3.2. ESPACIAL.....</i>	<i>15</i>
<i>1.3.3. TEMPORAL</i>	<i>15</i>
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
<i>1.4.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA GENERAL.....</i>	<i>15</i>
<i>1.4.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ESPECÍFICO.....</i>	<i>15</i>
1.5. OBJETIVOS Y METAS	16
<i>1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....</i>	<i>16</i>
<i>1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</i>	<i>16</i>
2. CAPITULO II MARCO TEÓRICO	17
2.1. ANTECEDENTES	17
<i>2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES</i>	<i>17</i>
<i>2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES</i>	<i>18</i>
2.2. BASES TEÓRICAS	20
<i>2.2.1. ENERGÍAS RENOVABLES.....</i>	<i>20</i>
<i>2.2.2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....</i>	<i>20</i>
<i>2.2.3. CELDAS SOLARES.....</i>	<i>21</i>
<i>2.2.4. PANELES FOTOVOLTAICOS.....</i>	<i>22</i>
<i>2.2.5. CONTROLADOR DE CARGA SOLAR.....</i>	<i>23</i>
<i>2.2.6. TELEMETRÍA</i>	<i>24</i>
<i>2.2.7. BATERÍA</i>	<i>24</i>
<i>2.2.8. BATERÍA DE PLOMO ÁCIDO.....</i>	<i>26</i>
<i>2.2.9. BATERÍA DE NICKEL-CADMIO.....</i>	<i>27</i>
<i>2.2.10. APLICACIONES BATERÍA PLOMO-ÁCIDO</i>	<i>27</i>
<i>2.2.11. INVERSOR DE CORRIENTE DC – AC.....</i>	<i>28</i>

2.2.12.	<i>TECNOLOGÍA GSM</i>	29
2.2.13.	<i>SHORT MESSAGE SERVICE - SMS</i>	30
2.2.14.	<i>COMANDOS AT</i>	31
2.2.15.	<i>MICROCONTROLADORES</i>	33
2.2.16.	<i>MICROCONTROLADOR PIC 18F4550</i>	34
2.2.17.	<i>PIC C COMPILER</i>	36
2.2.18.	<i>SIMULADOR ISIS PROTEUS</i>	37
2.2.19.	<i>GSM SIM900</i>	38
2.3.	MARCO CONCEPTUAL	40
2.3.1.	<i>DEFINICIONES BÁSICAS</i>	40
3.	CAPITULO III DISEÑO DEL PROYECTO	42
3.1.	ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS	43
3.1.1.	<i>ADQUISICIÓN DE DATOS MEDIANTE EL MICROCONTROLADOR PIC 18F4550</i>	45
3.1.2.	<i>PROGRAMA DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS</i>	62
3.1.3.	<i>SIMULACIÓN DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS</i>	68
3.2.	MÓDULO EMISOR/RECEPTOR	71
3.2.1.	<i>ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL MÓDULO SIM900 EN MODO EMISOR SMS</i>	71
3.2.2.	<i>ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL MODULO SIM900 COMO RECEPTOR</i>	72
3.2.3.	<i>ALMACENAMIENTO EN BASE DE DATOS</i>	77
3.3.	TIEMPO DE IMPLEMENTACIÓN	79
3.4.	INVERSIÓN	80
3.5.	CONSUMO DE ENERGÍA	82
3.6.	ANALISIS DE CASUISTICA	85
4.	PRUEBAS Y RESULTADOS	87
5.	CONCLUSIONES	92
6.	RECOMENDACIONES	93
7.	ANEXOS	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Funcionamiento de una batería.....	26
Figura 2. Arquitectura de una red GSM.	30
Figura 3. Transmisión de mensaje de texto SMS.	31
Figura 4. Descripción de pines del Micocontrolador PIC 18F4550 y PIC 18F4455.....	36
Figura 5. Portada del manual de referencia del software PIC MCU C COMPILER.	37
Figura 6. SIM900 en presentación modular.....	39
Figura 7. Diagrama general de una instalación doméstica en zonas rurales.....	43
Figura 8. Variables a medir por el Módulo de Adquisición de Datos.	45
Figura 9. Diagrama de conexión para lectura análoga por el pin AN2 del Microcontrolador.	46
Figura 10. Curva característica de un termistor NTC.....	49
Figura 11. Configuración de termistor configurado como un divisor de voltaje.....	49
Figura 12. Termistor en presentación de ojal para batería.....	50
Figura 13. Imagen del sensor ACS712 en un módulo.	51
Figura 14. Diagrama de conexión del regulador de tensión 78L05.....	56
Figura 15. Circuito del módulo de adquisición de datos.	60
Figura 16. Diseño de PCB del circuito del Módulo de Adquisición de Datos.	61
Figura 17. Diagrama de flujo del Módulo de Adquisición de datos.....	62

Figura 18. Imagen de un segmento de la programa del módulo de adquisición de datos realizados en lenguaje C++, donde se observa las configuraciones iniciales del programa.	63
Figura 19. Imagen de un segmento de la programa del módulo de adquisición de datos realizados en lenguaje C++, donde se establecen las variables del programa.	63
Figura 20. Imagen de un segmento de la programa del módulo de adquisición de datos, donde se observa las lecturas de las señales analógicas de entradas al Microcontrolador.	64
Figura 21. Imagen de un segmento de la programa del módulo de adquisición de datos, donde se observa la conversión inversa para calcular el valor de las variables PFV, BAT e INV en Voltios.	65
Figura 22. Imagen de un segmento de la programa del módulo de adquisición de datos, donde se observa la conversión inversa de la variable ILOAD (Corriente de la carga) en Amperios.	65
Figura 23. Imagen de un segmento de la programa del módulo de adquisición de datos, donde se observa la conversión inversa de la variable STBAT en °C.	66
Figura 24. Forma sintetizada de la información procesada de las entradas del Microcontrolador PIC 18F4550.	66
Figura 25. Imagen de un segmento de la programa del módulo de adquisición de datos, donde se observa el envío de la información concatenada al módulo Emisor/Receptor, mediante comandos AT+:	67
Figura 26. Imagen de un segmento de la programa del módulo de adquisición de datos, donde se observa las configuraciones de los módulos ADC e Interrupciones del Microcontrolador PIC 18F4550.	67
Figura 27. Imagen de un segmento de la programa del módulo de adquisición de datos, donde se observa la programación dentro del vector de interrupción por desbordamiento del contador TIMER 1 del Microcontrolador PIC 18F4550.	68
Figura 28. Imagen de la simulación del circuito del Módulo de Adquisición de Datos en el software ISIS PROTEUS versión 7.7.	69

Figura 29. Imagen de la simulación del circuito del Módulo de Adquisición de Datos en el software ISIS PROTEUS versión 7.7, donde se muestra los resultados de la comunicación serial con los valores de las variables monitoreados.	70
Figura 30. Imagen de la conexión del SIM900 con el Virtual Terminal en el software de simulación ISIS PROTEUS 7.7.	72
Figura 31. Imagen de la simulación del módulo SIM 900 y las pruebas por comandos AT+.	72
Figura 32. Diagrama de flujo del módulo Receptor.	74
Figura 33. Interfaz gráfico realizado en Visual Basic 2010.	75
Figura 34. Segmento de programa, donde se visualiza la conexión al puerto serial y los comandos AT+ iniciales.	76
Figura 35. Visualización web de la tabla de datos para el almacenamiento de los datos del sistema de monitoreo.	78
Figura 36. Segmento de código del software de monitoreo, donde se evidencia la conexión a la base de datos.	78
Figura 37. Segmento de código del software de monitoreo, donde se evidencia los Query de inserción y visualización de datos. Fuente: Elaboración propio. .	79
Figura 38. Visualización de la base de datos vía web.	79
Figura 39. Diagrama de Gantt de la implementación del proyecto.	80
Figura 40. Balance de energía del sistema fotovoltaico, vs consumo del módulo de adquisición de datos.	84
Figura 41. Comportamiento del consumo del módulo de adquisición de datos durante el día.	84
Figura 42. Imagen de la aplicación antes de recibir, datos por el puerto serie.	87
Figura 43. Imagen de la simulación del circuito del Módulo de Adquisición de Datos en el software ISIS PROTEUS versión 7.7, donde se muestra los resultados de la comunicación serial con los valores de las variables monitoreados.	88

Figura 44. Imagen de aplicación cuando recibe los datos desde el Módulo SIM900.....	89
Figura 45. Simulación en software ISIS PROTEUS.	90
Figura 46. Imagen de la interfaz gráfica mostrando los valores de la simulación de parámetros críticos fotovoltaico.	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Sistemas fotovoltaicos domésticos en zonas rurales instaladas por la DGER 1993 – 2014	13
Tabla 2 Presupuesto del periodo PNER 2011-2020	14
Tabla 3 Características de los tipos de baterías más comerciales	28
Tabla 4 Lista de comandos más utilizados para envíos de SMS por el módulo SIM900.	32
Tabla 5 Voltajes mínimos y máximo de las variables a monitorear	53
Tabla 6 Rangos de voltaje del dispositivo 78L05.....	55
Tabla 7 Definición de pines de entrada y salida del microcontrolador	56
Tabla 8 Costos de cada componente que Módulo de Adquisición de Datos:.....	81
Tabla 9 Costos de cada componente que Modulo Emisor/Receptor:	81
Tabla 10 Calculo de costo mensual de monitoreo mediante telemetría	82
Tabla 11 Calculo de costo mensual de monitoreo convencional	82
Tabla 12 Consumo de sistema fotovoltaico doméstico en zona rural.....	83
Tabla 13 Consumo del módulo de adquisición de datos.	83
Tabla 14 Codificación de errores de las variables eléctricas fotovoltaicas domésticas en zonas rurales	85
Tabla 15 Descripción de origen y consecuencia de códigos de error.	86

INTRODUCCIÓN

En las zonas rurales del Perú, más del 30% de pobladores no tienen acceso al servicio eléctrico, es por ello que los últimos años se han implementado proyectos subsidiados para dotar de este servicio basado en energías renovables, siendo los paneles fotovoltaicos uno de los proyectos más utilizados. Los beneficios que se producen al contar con servicio eléctrico van de la mano con el desarrollo de la comunidad beneficiada, lo que permite mejorar la educación, mejorar la comunicación, y la calidad de vida de sus habitantes. Sin embargo, el problema que se ha identificado es la falta de mano de obra especializada local, por lo que, ante algún problema técnico, el sistema fotovoltaico deja de operar hasta que el problema sea reportado y posteriormente reparado, esto puede demorar días debido a la falta de comunicación e inaccesibilidad a la zona. (DGER, 2014, p. 5) [1].

Diseñar un sistema de telemetría para monitorear estos sistemas fotovoltaicos servirá para conocer de manera remota y en tiempo real los parámetros críticos de estas instalaciones, de tal manera que las empresas que brindan el servicio de soporte y mantenimiento puedan reparar, repotenciar o predecir posibles fallas en el sistema fotovoltaico. El medio de comunicación inalámbrica será la tecnología GSM, debido a su amplia cobertura e interoperabilidad con prácticamente todas las tecnologías de telecomunicación vigentes y a su bajo coste.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

En el Perú existen alrededor de 23,900 instalaciones fotovoltaicas domésticas en zonas rurales instaladas como parte del Plan Nacional de Electrificación Rural (DGER, 2014) [1], los cuales necesitan soporte y mantenimiento ante algún problema técnico. Un sistema fotovoltaico domestico rural está compuesto de tres partes: arreglo de paneles, almacenamiento de respaldo, e inversor de corriente. Por lo general, al averiarse alguno de estos módulos es más práctico reemplazarlo que intentar reparar.

Sin embargo las empresas encargadas de brindar el servicio de mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos domésticos rurales deben realizar visitas periódicas para conocer el estado actual de los sistemas fotovoltaicos, los cuales se encuentran en zonas muy alejadas y de difícil acceso; lo que incrementa significativamente el costo de operación [2].

Para resolver este problema se propone diseñar un sistema que permita conocer de manera remota el estado de estas instalaciones fotovoltaicas domésticas rurales , mediante la adquisición de señales eléctricas críticas y enviar un mensaje de texto SMS conteniendo

la información procesada a un centro de monitoreo, el cual podrá predecir posibles fallas, reparar o repotencias el sistema fotovoltaico.

Tabla 1
Sistemas fotovoltaicos domésticos en zonas rurales instaladas por la DGER 1993 – 2014.

N°	DEPARTAMENTO	N° SFD
1	Amazonas	201
2	Ancash	1
3	Arequipa	963
4	Ayacucho	953
5	Cajamarca	4221
6	Cusco	2744
7	Huancavelica	252
8	Huánuco	52
9	Junín	886
10	Lambayeque	1652
11	Lima	531
12	Loreto	5933
13	Madre De Dios	206
14	Pasco	1640
15	Piura	2146
16	Puno	45
17	San Martin	5
18	Tumbes	6
19	Ucayali	1556
	Total	23993

Nota. SFD: Sistema Fotovoltaico Domestico. Fuente: Ministerio de Energía y Minas [1].

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Diseñar un sistema de telemetría para monitorear estos sistemas fotovoltaicos reducirá significativamente el tiempo de respuesta ante algún problema en las instalaciones fotovoltaicas, además que permitirá realizar los diagnósticos remotamente, por lo que reducirá costos de visitas técnicas periódicas en sitio.

Según el Plan Nacional de Electrificación Rural – PNER 2011-2020 del Ministerio de Energía y Minas, se invertirán 121,7 millones de dólares en instalaciones fotovoltaicas para electrificación rural, por lo que diseñar un sistema de monitoreo remota para instalaciones fotovoltaicas resulta oportuno [1]. En la Tabla 2 se muestran los proyectos de inversión del PNER y su presupuesto en dólares americanos.

Tabla 2
Presupuesto del periodo PNER 2011-2020.

Nº	PROYECTO-	PERIODO 2011-2020
I.	INVERSIONES	Millones de dólares
1	Líneas de transmisión	29,9
2	Sistemas eléctricos rurales	1328,4
3	Centrales hidroeléctricas	34
4	Módulos fotovoltaicos	121,7
5	Centrales eólicas	33,2
6	Obras empresas eléctricas	323
7	Obras gobiernos regionales y locales	356

Fuente: Ministerio de Energía y Minas [1].

1.3. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

1.3.1. CONCEPTUAL

Para la delimitación de recursos tecnológicos en el presente proyecto se utilizaron dispositivos como el Microcontrolador PIC 18F4550, Modulo SIM900, lenguaje de programación C++, sensor de temperatura, sensor de corriente alterna, simulador ISIS Proteus 7.7 y software de diseño de circuitos PCB EAGLE.

1.3.2. ESPACIAL

La prueba del diseño del proyecto se realizó en el laboratorio de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, ubicado en el distrito de Villa el Salvador en el departamento de Lima – Perú

1.3.3. TEMPORAL

Este trabajo de investigación comprende el periodo desde enero del 2017 a junio del 2017.

1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.4.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA GENERAL

¿Cómo disminuir las fallas en los sistemas fotovoltaico domestico zonas rurales por falta de monitoreo de las variables eléctricas?

1.4.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ESPECÍFICO

- a. ¿Cómo disminuir los costos de operación de monitoreo de las variables eléctricas de los sistemas fotovoltaicos?
- b. ¿Cómo aumentar la frecuencia de monitoreo de las variables fotovoltaicas domesticas en zonas rurales?

- c. ¿Cómo diseñar un módulo electrónico para obtener las variables eléctricas fotovoltaicas?

1.5. OBJETIVOS Y METAS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de telemetría utilizando tecnología GSM, para monitorear variables fotovoltaicas domesticas rurales.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar un módulo de adquisición de datos electrónico para obtener las variables críticas de un sistema fotovoltaico.
2. Diseñar un módulo electrónico emisor y receptor de variables eléctricas fotovoltaicas mediante la tecnología GSM.
3. Diseñar una interfaz gráfica para el monitoreo de variables eléctricas fotovoltaicas mediante la tecnología GSM.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Como antecedentes importantes en el ámbito internacional, se mencionan a dos trabajos resaltantes, el primero del ingeniero Jonathan Sumano Fuentes, quien ha diseñado y construido de un sistema de seguimiento fotovoltaico.

Sumano Fuentes (2012) En su trabajo de investigación: *Diseño y construcción de un sistema de seguimiento fotovoltaico*, Se concluye lo siguiente:

Durante el monitoreo el panel fotovoltaico se observó que el voltaje generado se mantenía en 20 volts con mínimas variaciones a lo largo del día, como se observó durante la carga de la batería de voltaje y la corriente que recibía eran constantes lo cual permitió que la batería se cargara durante un periodo de 5 horas aproximadamente y ésta no dejara de cargarse durante algún determinado tiempo o cuando aún se presentara irradiación solar [3].

Ángel Cornejo, Jorge Luis (2010). En su trabajo de investigación: *Diseño, construcción e implementación de un sistema de telemetría utilizando tecnología GSM; para el monitoreo de los parámetros de temperatura, presión de aceite, velocidad de giro del motor y velocidad de desplazamiento de un vehículo Chevrolet optra 2008*, se concluye lo siguiente:

En etapa de adquisición de datos del vehículo es muy importante conocer el tipo de señal que proporciona el sensor del parámetro que se desea obtener, ya que el tratamiento por medio del microcontrolador es diferente en una señal analógica o en una de tipo digital; además hay que tomar en cuenta que en vehículo existen distintos tipos de ruidos que podrían ocasionar distorsiones en las señales recibidas en nuestra unidad y por ende una lectura errónea de los parámetros monitoreados; para evitar este inconveniente se utiliza cables apantallados utilizados para aplicaciones automotrices [4].

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Pérez Urteaga, (2006) *Supervisión y monitoreo de procesos utilizando mensajes de texto desde teléfonos celulares, se ha logrado integrar al teléfono celular con la computadora mediante la implementación del protocolo FBUS, potenciando las aplicaciones de ambos dispositivos*. Se ha validado el funcionamiento del protocolo implementado a través de aplicaciones prototipo. Se ha propuesto un procedimiento para el análisis y estudio del protocolo FBUS el cual se puede extender para analizar otros protocolos de comunicación. Se ha logrado documentar a través de las pruebas

experimentales realizadas, la manera en que el teléfono celular intercambia información con la computadora mediante el protocolo FBUS detallando la función de los bytes dentro de cada tipo de trama [5].

Rubén Bocanegra (2012). En su trabajo de investigación: “*Desarrollo de una aplicación web para el monitoreo de vehículos con dispositivos GPS que comercializa una empresa de telecomunicaciones*”, concluye lo siguiente:

Por lo tanto, el objetivo principal de esta investigación aplicada fue alcanzado, debido a que producto del trabajo realizado a través del proceso de desarrollo de la presente investigación, se implementó una solución web de monitoreo vehicular que da servicio a múltiples clientes sin necesidad de instalaciones personales, solo con el uso de un navegador web, los usuarios pueden gozar de las más representativas funcionalidades que una solución de monitoreo puede brindar de manera inmediata. Actualmente el sistema cuenta con 95 clientes y 200 unidades transmitiendo todos los días, siendo la principal herramienta de monitoreo de muchas de ellas.

En la presente investigación, se llegó a conocer de manera más profunda los términos y conceptos que engloba el servicio de monitoreo vehicular, así mismo se conceptualizó las principales definiciones del proceso de monitoreo vehicular. Por lo tanto, el objetivo específico de la presente investigación que era conocerlos conceptos más importantes del servicio de monitoreo vehicular fue logrado [6].

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. ENERGÍAS RENOVABLES

Se llaman energías renovables a las que se producen continuamente y que son consideradas inagotables; a diferencia de las energías que provienen de combustibles fósiles las cuales se consideran agotables y escasas. Entre las principales formas de energías renovables se tienen: la eólica, solar, geotérmica, la biomasa, hidráulica y las energías producida por el mar.

En la actualidad, la contribución de las energías renovables (con respecto al consumo total de energía primaria) a nivel mundial ronda el 8%; estos porcentajes corresponden casi exclusivamente a energía hidráulica y biomasa [7].

Todas las previsiones realizadas por distintos organismos indican un enorme incremento en el uso de las energías renovables a medio plazo. La Unión Europea se ha fijado como objetivo triplicar la aportación actual de las energías renovables en el año 2020, llegando al 20% del consumo total de energía primaria [8].

2.2.2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Es una fuente de energía renovable que utiliza la radiación solar para producir electricidad, mediante un dispositivo llamado célula fotovoltaica. Este tipo de energía permite alimentar aplicaciones y aparatos autónomos o que se encuentren en zonas donde

la conexión a la electricidad comercial sea imposible. En la actualidad el uso de este tipo de energía renovable se ha ampliado llegando, incluso, a zonas con electrificación comercial, esto gracias al programa de incentivos económicos en un gran número de países. Es así como la energía solar se ha convertido en la tercera fuente de energía renovable más importante, y se tiene estimado que el 2017 se hayan instalados cerca de 300 GW de potencia en todo el mundo [9].

2.2.3. CELDAS SOLARES

La energía solar se puede transformar directamente en electricidad mediante células fotovoltaicas. Este proceso se basa en la aplicación del efecto fotovoltaico, que se produce al incidir la luz sobre unos materiales denominados semiconductores; de esta manera se genera un flujo de electrones en el interior del material que puede ser aprovechado para obtener energía eléctrica. La vida útil media a máximo rendimiento se sitúa en torno a los 25 años, período a partir del cual la potencia entregada disminuye por debajo de un valor considerable [9].

El material más utilizado en la actualidad para la fabricación de células fotovoltaicas es el silicio, que es el material más abundante en la Tierra después del oxígeno; la combinación de ambos forma el 60% de la corteza terrestre. Tradicionalmente han coexistido tres tipos de células de silicio:

- ✓ **Silicio monocristalino:** utiliza lingotes puros de silicio (los mismos que utiliza la industria de chips electrónicos). Son los más eficientes, con rendimientos superiores al 12%.
- ✓ **Silicio policristalino:** se fabrica a partir de restos de piezas de silicio monocristalino. Su rendimiento es algo inferior pero su menor coste ha contribuido enormemente a aumentar su uso.
- ✓ **Silicio amorfo:** se obtiene por deposición de capas delgadas sobre vidrio. El rendimiento es bastante menor que los anteriores, por lo que su uso se limita a aplicaciones de pequeña potencia como calculadoras, relojes, etc [9].

2.2.4. PANELES FOTOVOLTAICOS

Al grupo de células fotovoltaicas se le conoce como panel fotovoltaico. Los paneles fotovoltaicos consisten en una red de células solares conectadas como circuito en serie para aumentar la tensión de salida hasta el valor deseado (usualmente se utilizan 12V o 24V) [8].

Comercialmente es posible encontrar paneles desde 10 watts hasta de 250 watts, aunque de necesitar mayor potencia se podrá realizar arreglos serie paralelo, por ejemplo, si se desea duplicar el voltaje se unen dos paneles idénticos en serie; si se desea duplicar la corriente, se unen dos paneles idénticos en paralelo. Esto resulta sencillo gracias a que en la mayoría de marcas trae consigo conectores MC4 [9].

Se debe considerar que no todos los paneles solares son iguales, aunque su capacidad pueda ser la misma, esto debido al material de las celdas solares, tipo de soldadura, grado de protección del chasis, entre otros; cómo mínimo se debe tener en cuenta los siguientes parámetros para elegir un panel solar:

- ✓ **Potencia de salida:** Es la potencia que entrega los paneles solares.
- ✓ **Voltaje a potencia máxima:** Es el voltaje que entrega cuando se conecta la carga que consume la potencia máxima.
- ✓ **Corriente a potencia máxima:** Es la corriente que circula cuando se conecta la carga que consume la potencia máxima.
- ✓ **Voltaje en circuito abierto:** Es el voltaje que se puede medir cuando no se conecta ninguna carga.
- ✓ **Corriente en corto circuito:** Es la corriente que circula cuando se unen los terminales MC4 del mismo panel. Esta acción no se debe realizar ya que probablemente los conectores se derritan por el alto calor que produce la corriente circulante.
- ✓ **Máximo voltaje en arreglo:** Limita las conexiones máximas en serie.
- ✓ **Máxima corriente de fusible:** Limita las conexiones máximas en paralelo.

2.2.5. CONTROLADOR DE CARGA SOLAR

Es un dispositivo que controla la carga que proviene de los paneles solares a la batería, comúnmente ambos circuitos deben estar a 12 voltios. Además, permite administrar la carga almacenada en las baterías para que pueda ser utilizada bajo ciertas

circunstancias, por ejemplo, que permita la salida de carga por la noche (ausencia de luz solar). Este dispositivo es importante para conservar el óptimo funcionamiento de las baterías, ya que impide que la carga solar ingrese cuando la batería está totalmente cargada, tampoco permite que la batería sea utilizada por debajo del 60% de su capacidad, por lo que no se degradará más de lo habitual, y conservará el tiempo de vida que indica el fabricante [10].

2.2.6. TELEMETRÍA

Los sistemas de telemetría permiten capturar magnitudes físicas, procesarlas y enviarlas a distancia mediante algún medio de comunicación inalámbrica (ondas de radio, redes celulares, satélite, etc.) [11].

Esta información es recibida por el centro de control que interpretan y actúan sobre el objeto monitoreado. La telemetría es utilizada en diversos campos tales como plantas químicas, redes de suministro eléctrico, submarinos, drones, aviones de reconocimiento, satélites entre otros [11].

2.2.7. BATERÍA

La batería es un dispositivo que almacena energía en forma electroquímica y es la más ampliamente usada para almacenar energía en una variedad de aplicaciones. Existen dos tipos básicos de baterías:

- ✓ **Batería primaria:** su reacción electroquímica es irreversible, es decir, después de que la batería se ha descargado no puede volver a cargarse.

- ✓ **Batería secundaria:** Su reacción electroquímica es reversible, es decir después de que la batería se ha descargado puede ser cargada inyectándole corriente continua desde una fuente externa. Su eficiencia en un ciclo de carga y descarga está entre el 70% y 80%.

En general el funcionamiento de una batería, se basa en una celda electroquímica. Las celdas electroquímicas tienen dos electrodos: El Ánodo y el Cátodo. El ánodo se define como el electrodo en el que se lleva a cabo la oxidación y el cátodo donde se efectúa la reducción. Los electrodos pueden ser de cualquier material que sea un conductor eléctrico, como metales, semiconductores. Para completar el circuito eléctrico, las disoluciones se conectan mediante un conductor por el que pasan los cationes y aniones, conocido como puente de sal (o como puente salino). Los cationes disueltos (K^+) se mueven hacia el Cátodo y los aniones (Cl^-) hacia el Ánodo para que las disoluciones se neutralicen. La corriente eléctrica fluye del ánodo al cátodo porque existe una diferencia de potencial eléctrico entre ambos electrolitos. En la figura 1, se observa el principio básico de una batería, así como el flujo de electrones a través de los terminales Cátodo o Anodo.

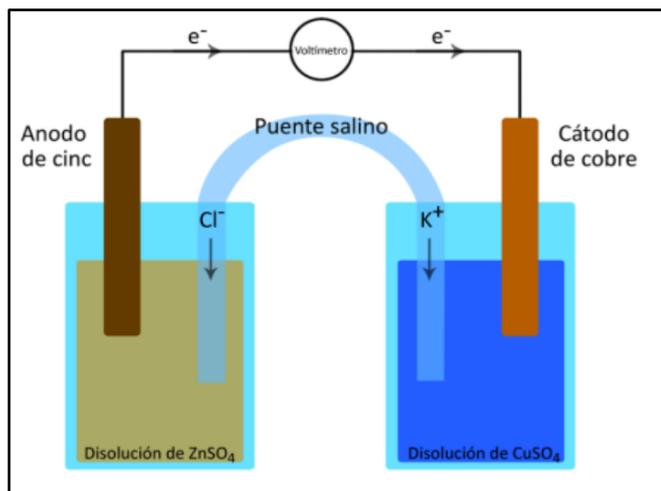


Figura 1. Funcionamiento de una batería.
Fuente: Elaboración propia.

Tres características que definen una batería:

- ✓ La cantidad de energía que puede almacenar: El número de Wh puede calcularse multiplicando el valor del voltaje nominal por el número de Ah.
- ✓ La máxima corriente que puede entregar (descarga): Se especifica como un número fraccionario, por ejemplo para $C=200[\text{Ah}]$ una de tipo $C/20=10\text{A}$ quiere decir que la batería puede entregar 10A por 20 horas.
- ✓ La profundidad de descarga que puede sostener: Representa la cantidad de energía que puede extraerse de una batería. Este valor está dado en forma porcentual.

2.2.8. BATERÍA DE PLOMO ÁCIDO

Batería de plomo ácido es el tipo de batería recargable más común por su buena relación de desempeño costo, aunque es la de menor densidad de energía por peso y volumen. Esta batería cuenta con varias versiones: θ La versión shallow-cycle o de ciclo

corto es usada en automóviles, en los cuales se necesita una corta explosión de energía que es forzada desde la batería para encender el motor. θ La versión deep-cycle o de ciclo profundo, diseñada para repetidos ciclos de carga y descarga. La mayoría de las aplicaciones requiere este tipo de baterías. θ La versión sellada “gel-cell” con aditivos, los cuales vuelven el electrolito en un gel anti-derrames, está pensada para ser montada de lado o de invertido pero su alto costo la limita aplicaciones en aviones militares.

2.2.9. BATERÍA DE NICKEL-CADMIO

Se caracteriza por sus celdas selladas, por tener la mitad del peso y por ser más tolerante a altas temperaturas, que una batería de plomo-acido convencional. θ Tiene una muy baja tasa de auto descarga. θ Debido a regulaciones ambientales ha sido reemplazada por NiMH e Ion-litio, en notebooks y en otros tipos de electrónica de alto precio. θ Tiene el efecto de memoria lo cual acelera su proceso de descarga.

2.2.10. APLICACIONES BATERÍA PLOMO-ÁCIDO

La batería plomo-ácido es, en el momento actual, imprescindible e insustituible, especialmente en automoción, pero también en muchas otras aplicaciones que exigen continuidad en el suministro de energía eléctrica.

En la Tabla 3, se observa una comparación con los parámetros más importantes de las baterías más disponibles en el mercado.

Tabla 3

Características de los tipos de baterías más comerciales

Tipo	Energía/ peso	Tensión por elemento (V)	Duración (número de recargas)	Tiempo de carga	Auto-descarga por mes (% del total)
Plomo	30-50 Wh/kg	2 V	1000	8-16h	5%
Ni-Cd	48-80 Wh/kg	1,25 V	500	10-14h	30%
Ni-Mh	60-120 Wh/kg	1,25 V	1000	2h-4h	20%
Li-ion	110-160 Wh/kg	3,16 V	4000	2h-4h	25%
Li-Po	100-130 Wh/kg	3,7 V	5000	1h-1,5h	10%

Nota. Fuente: Elaboración propia.

2.2.11. INVERSOR DE CORRIENTE DC – AC

Para transformar la electricidad producida por un panel solar fotovoltaico (corriente continua) en electricidad con las mismas características que la de la red eléctrica (corriente alterna a 230 voltios y frecuencia de 50 Hz), se necesita un inversor.

Existen diferentes tipos de inversores, con lo que es recomendable escogerlo en función del tamaño de la instalación. La potencia del inversor es la que se toma como potencia nominal de la instalación expresándose en vatios (W). La suma de las potencias de todos los módulos fotovoltaicos que constituyen la instalación se denomina potencia pico, con unidad Wp. La potencia del inversor suele ser entre un 10% y un 20% menor que la potencia pico de la instalación. El inversor se instala entre el generador fotovoltaico y el punto de conexión a la red.

2.2.12. TECNOLOGÍA GSM

Formalmente conocida como *Global System for Mobile communications* es un estándar mundial para teléfonos móviles digitales creado por la CEPT y posteriormente desarrollado por el ETSI como un estándar para los teléfonos móviles europeos, con la intención de desarrollar una normativa que fuera adoptada mundialmente. El estándar es abierto, no propietario y evolutivo (aún en desarrollo) y es el estándar predominante en Europa, así como el mayoritario resto del mundo.

GSM tiene cuatro versiones principales basadas en las bandas: GSM-850, GSM-900, GSM-1800 y GSM-1900, GSM-900 (900 MHz) y GSM-1800 (1,8 GHz) son utilizadas en la mayor parte del mundo, salvo en Estados Unidos, Canadá y el resto del América Latina, lugares en los que se utilizan las bandas de GSM-850 y GSM-1900 (1,9GHz), ya que en EE.UU. las bandas de 900 y 1800 MHz están ya ocupadas para uso militar. Inicialmente, GSM utilizó la frecuencia de 900 MHz, pero tras su rápida expansión, pronto se saturó el espacio radioeléctrico entorno a esa frecuencia por lo que las redes de telecomunicación pública empezaron a utilizar las frecuencias de 1800 y 1900 MHz, con lo cual es habitual que los equipos móviles de hoy en día sean tribandas.

El único servicio ofrecido por GSM y que no se encuentra en los sistemas analógicos más antiguos es el que realmente nos interesa para este proyecto, el servicio de mensajes cortos o SMS (*Short Message Service*). SMS es un servicio bidireccional para mensajes alfanuméricos cortos (hasta 160 bytes). En la Figura 2 se muestra la arquitectura de una red GSM y sus principales componentes.

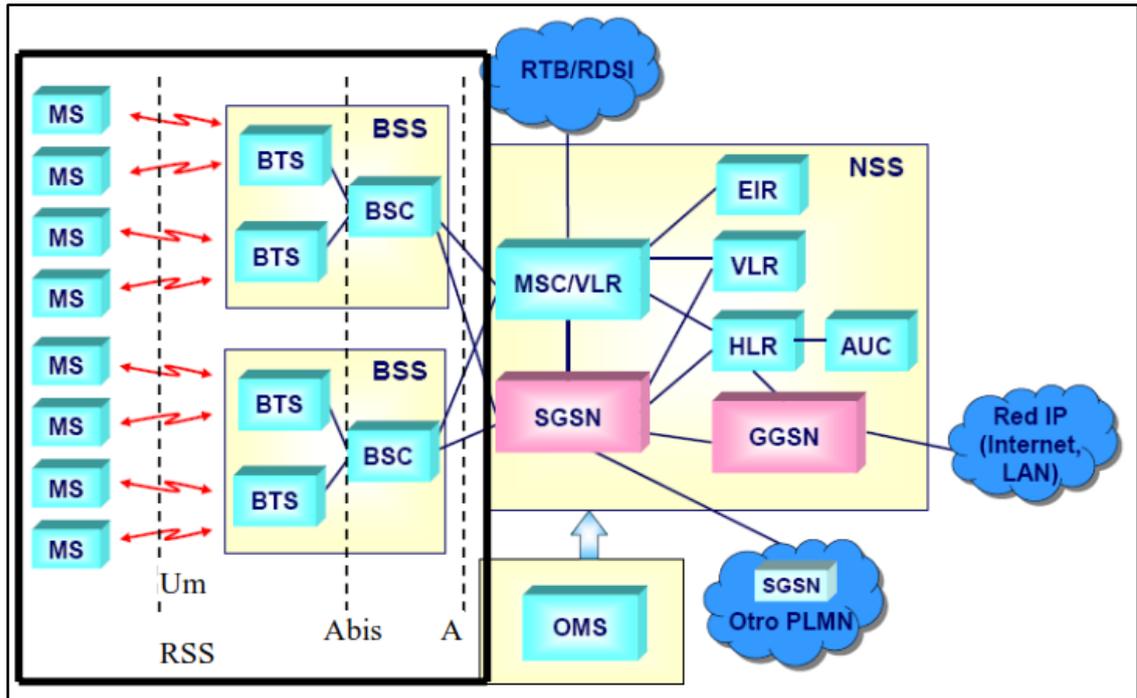


Figura 2. Arquitectura de una red GSM.
 Recuperado de <http://bibing.us.es>

2.2.13. SHORT MESSAGE SERVICE - SMS

El servicio SMS (*Short message service*) permite transferir un mensaje de texto corto (160 caracteres) entre una estación móvil y otra entidad a través de un centro de servicio. El servicio final ofrecido es una comunicación extremo-extremo entre la estación móvil y la entidad. La entidad puede ser otra estación móvil o puede estar situado en una red fija. En el caso de envío de mensaje entre dos móviles, ambas partes son estaciones móviles como se observa en la Figura 3.

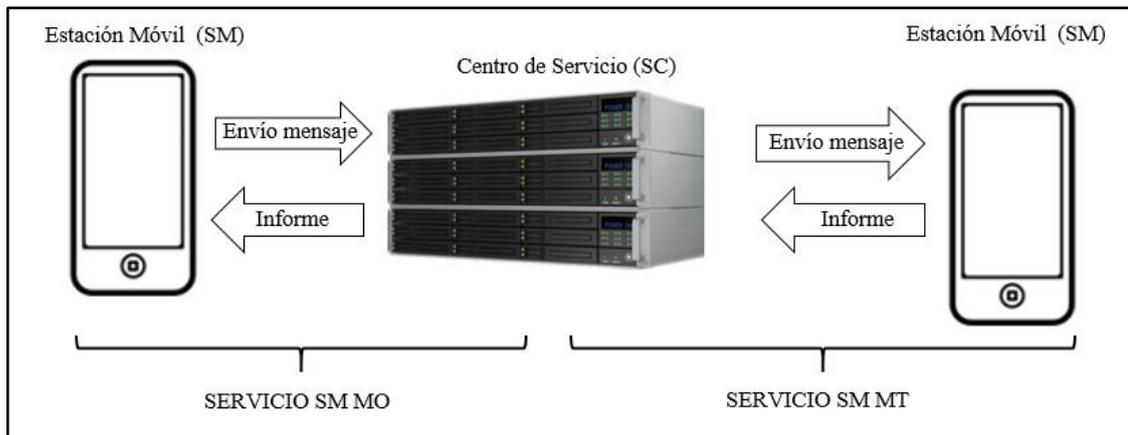


Figura 3. Transmisión de mensaje de texto SMS.
Fuente: Elaboración propia.

- ✓ SM MT (Short Message Mobile Terminated Point-to-Point). Servicio de entrega de un mensaje desde el SC hasta una MS, la respuesta es un informe de lo obtenido.
- ✓ SM MO (Short Message Mobile Originated Point-to-Point). Servicio de entrega de un mensaje desde una MS hasta un SC, la respuesta es un informe de lo obtenido.

2.2.14. COMANDOS AT

Proviene de la palabra “Atención”, es un lenguaje desarrollado por la compañía Hayes Communications en 1977, el cual es un estándar abierto de comunicación humano - MODEM. Toda transacción comienza con las letras “AT” y a continuación de una acción que se encuentran definidas en un juego de instrucciones, los equipos procesan esta información y devuelven un resultado.

El lenguaje ha sido diseñado para configurar MODEM'S, los equipos GSM han adoptado muy bien estos comandos, por lo que la gran mayoría de celulares poseen un juego de instrucciones con la cual se realizan ejecuciones mediante el equipo, es decir es posible realizar llamadas y enviar mensajes SMS.

Debido a que los servicios que se pueden utilizar mediante comandos AT se extendieron razonablemente, se realizó una ampliación, sumando nuevos comandos. Estos nuevos comandos comienzan con los caracteres AT+, y se denominan comandos AT+. Alguno de los comandos utilizados en este proyecto se describen en la Tabla 4.

Tabla 4
Lista de comandos más utilizados para envíos de SMS por el módulo SIM900.

Comando	Descripción
AT	Verifica si el módulo SIM900 está funcionando adecuadamente para entrar en modo comando. Al enviar AT el SIM deberá responder con un "OK".
AT+CGMI	Retorna el nombre del fabricante
ATI	Retorna la información del producto.
AT+IPR=?	Retorna el Baud Rate que puede operar el SIM
AT+IPR?	Retorna el Baud Rate actual
AT+IPR=XXXX	Configura la frecuencia deseada
AT+COPS?	Retorna el nombre de la compañía telefónica
AT+CGSN	Visualiza el IMEI del chip utilizado
AT+CSCS?	Selecciona el tipo de texto

AT+CSCS="XXX"	Configura a tipo de texto
AT+CMGF?	Retorna formato de un mensaje, ya sea PDU(0) o SMS(1)"
AT+CMGS=04455XXXXXXXXXX	Envía un SMS. El módulo reconoce Ctrl+Z y retorna "OK" si el SMS se envió correctamente.
AT+CMGL=ALL	Retorna todos los mensajes que han llegado al SIM
ATD04455XXXXXXXXXX;	Ejecuta una llamada a cualquier teléfono móvil, el teléfono deberá estar en formato internacional.
ATA	Contesta una llamada
ATH	Cuelga una llamada
AT+CPAS	Retorna el estado del MÓDEM.
AT+CSQ	Retorna la calidad de la señal.
AT+CMCF	Selecciona el formato de los mensajes SMS (Modo texto o modo PDU)
AT+CMGR	Lee un mensaje SMS almacenado.
AT+CMGS	Envía mensaje SMS

Nota Fuente: UbiNetics (2001)

2.2.15. MICROCONTROLADORES

Los microcontroladores son computadores digitales integrados en un chip que cuenta con un microprocesador o unidad de procesamiento central (CPU), una memoria para almacenar el programa, una memoria para almacenar datos y puestos de entrada/salida. A diferencia de los microprocesadores de propósito general, como los que usan en los computadores PC, los microcontroladores son unidades autosuficientes y económicas.

El funcionamiento de los microcontroladores está determinado por el programa almacenado en su memoria. Este puede escribirse en distintos lenguajes de programación, sin embargo los microcontroladores sólo procesan datos binarios, la transformación de lenguaje de programación a datos binarios lo realizan el compilador y el grabador de datos. Además, la mayoría de los microcontroladores actuales pueden reprogramarse repetidas veces.

Los microcontroladores incorporan, principalmente, una Unidad Lógica Aritmética (ALU), memoria del programa, memoria de registros y pines I/O. La ALU es la encargada de procesar los datos dependiendo de las instrucciones que se ejecuten, mientras que los pines son los que se encargan de comunicar al microcontrolador con el medio externo; la función de los pines puede ser de transmisión de datos, alimentación de corriente para el funcionamiento de este o pines de control específico.

2.2.16. MICROCONTROLADOR PIC 18F4550

Es un microcontrolador de la familia de gama alta de Microchip, cual consta de 40 pines físicos y una memoria de programa de 32Kb, las características técnicas del dispositivo se describen a continuación [12]:

- ✓ Microcontrolador con módulo USB 2.0. Soporta *Low speed* 1.5Mb/s y *full speed* 12Mb/s: Permite una interfaz de comunicación moderna y compatible con

terminales actuales, utilizadas en este módulo para el mantenimiento del sistema.

- ✓ 1kB de memoria de doble acceso vía USB
- ✓ 35 pines I/O disponibles
- ✓ Memoria de programa flash de 32 kB
- ✓ RAM de 2048 Bytes
- ✓ EEPROM de datos de 256 Bytes
- ✓ Velocidad de la CPU 12 MIPS
- ✓ Oscilador externo de dos modos hasta 48 MHz
- ✓ Oscilador interno seleccionable entre 8 frecuencias desde 31kHz hasta 8MHz
- ✓ Oscilador secundario con Timer 1 de hasta 32kHz
- ✓ Opciones de oscilador dual permiten que la velocidad de la CPU y del módulo USB sean diferentes
- ✓ ADC de 10 bits y 13 canales: Permite una mayor resolución en las lecturas de los voltajes análogos.
- ✓ Tecnología nanoWatt que brinda características y funciones de bajo consumo y ahorro de energía: Esta tecnología es muy importante para no afectar en el consumo de la potencia de los paneles solares.
- ✓ Voltaje de operación 4.2V a 5.5V
- ✓ 4 Timer(desde Timer0 a Timer3). Uno de 8 bits y 3 de 16 bits
- ✓ 2 módulos de captura/comparación/PWM
- ✓ EUSART, SPP, SPI, I²C.
- ✓ 20 fuentes de interrupciones (3 externas)
- ✓ Resistencias de pull-ups en el puerto B programables
- ✓ Función del pin MCLR opcional

- ✓ Brown-out Reset de valor programable
- ✓ Power-on Reset
- ✓ Power-up Timer y Oscillator Start-up Timer
- ✓ Soporta 100,000 ciclos de borrado/escritura en memoria flash
- ✓ Soporta 1,000,000 ciclos de borrado/escritura en memoria EEPROM
- ✓ Retención de datos mayor a 40 años
- ✓ Protección de código y datos programable
- ✓ Encapsulado DIP de 40 pines, el cual se describen en la Figura 4.

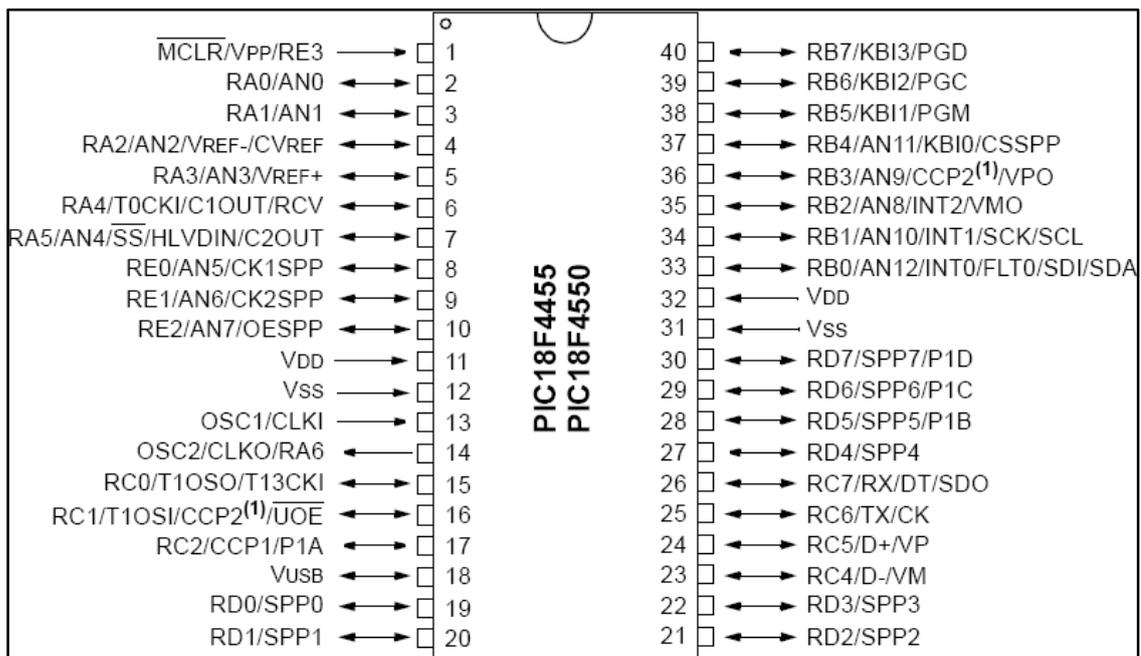


Figura 4. Descripción de pines del Microcontrolador PIC 18F4550 y PIC 18F4455.
Fuente: www.microchip.com

2.2.17. PIC C COMPILER

Es un software desarrollador por la marca CSS, está diseñado específicamente para los Microcontroladores PIC y cada aspecto del software está optimizado para

programar este tipo de microcontroladores, a diferencia de otros compiladores estándar, incluye librerías, numerosas funciones de pre-procesamiento y la mayor biblioteca de funciones incorporadas. Esto proporciona un acceso único a los programadores de Microcontroladores PIC a características de hardware con un lenguaje de programación de alto nivel basado en C, y todas las funciones especiales que este lenguaje incorpora.

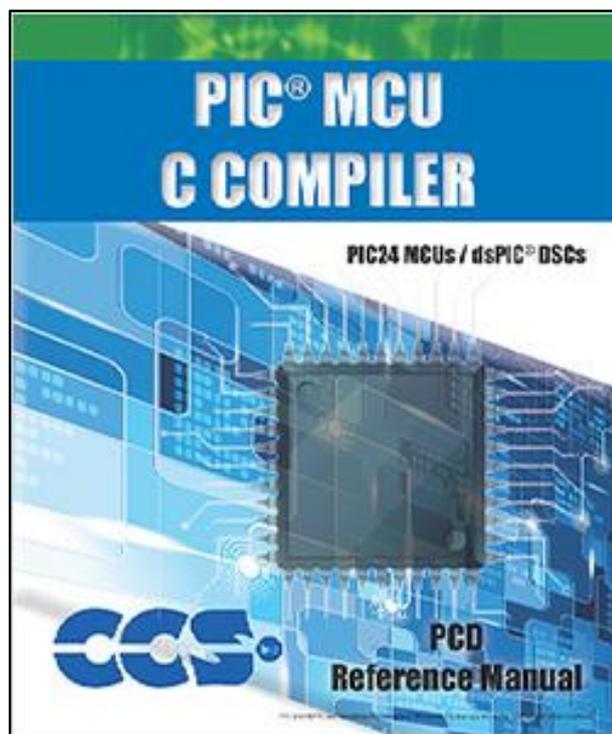


Figura 5. Portada del manual de referencia del software PIC MCU C COMPILER.
Fuente: www.ccsinfo.com

2.2.18. SIMULADOR ISIS PROTEUS

PROTEUS es un software de simulación para circuitos eléctricos tanto análogos como digitales, además de que te permite crear el *layout* del PCB y visualizarlo en 3D. Se compone en cuatro módulos principales:

- ✓ ISIS: es el encargado de realizar el modelo esquemático del circuito, para ello cuenta con una librería de más de 6,000 dispositivos tanto analógicos como digitales.
- ✓ ARES: se encarga de hacer la placa de circuito impreso (PCB) además de que puede posicionar automáticamente los componentes y hacer las pistas.
- ✓ PROSPICE: tal vez el componente más importante, pues se encarga de simular el comportamiento del circuito.
- ✓ VSM: Permite simular el comportamiento de un micro-controlador de las familias PIC, AVR, y otras, sólo le cargas el archivo HEX y PROTEUS lo simula, además puede interactuar con diferentes periféricos.

2.2.19. GSM SIM900

SIMCom presenta un módulo SIM900-inalámbrica ultra compacta y fiable. Este es un módulo GSM/GPRS completa de cuatro bandas, en un tipo SMT y diseñado con un muy potente procesador de un solo chip integrado AMR926EJ-S, lo que permite beneficiarse de pequeñas dimensiones y soluciones rentables. Incorpora el protocolo por comandos AT+ para su uso [13].

Algunas de sus características son más relevantes son:

- ✓ Quad-Band 850/900/1800/1900 MHz
- ✓ GPRS multi-slot clase 10/8

- ✓ GPRS estación móvil de clase B
- ✓ Cumple con la fase GSM 2/2 +
- ✓ Clase 4 (2 W @ 850/900 MHz)
- ✓ Clase 1 (1 W @ 1800 / 1900MHz)
- ✓ SAIC (Single Antenna Cancelación de Interferencia) de soporte
- ✓ Dimensiones: 24 x 24 x 3 mm
- ✓ Peso: 3,4 g
- ✓ Control a través de los comandos AT (GSM 07.07, 07.05 y SIMCOM mejorada Comandos AT)
- ✓ kit de herramientas de aplicaciones SIM
- ✓ Suministro rango de voltaje: 3,2 ... 4,8 V
- ✓ Bajo consumo de energía: 1.0mA (modo de reposo y BS-PA-MFRMS = 9)
- ✓ Temperatura de funcionamiento: -40 ° C a 85 ° C

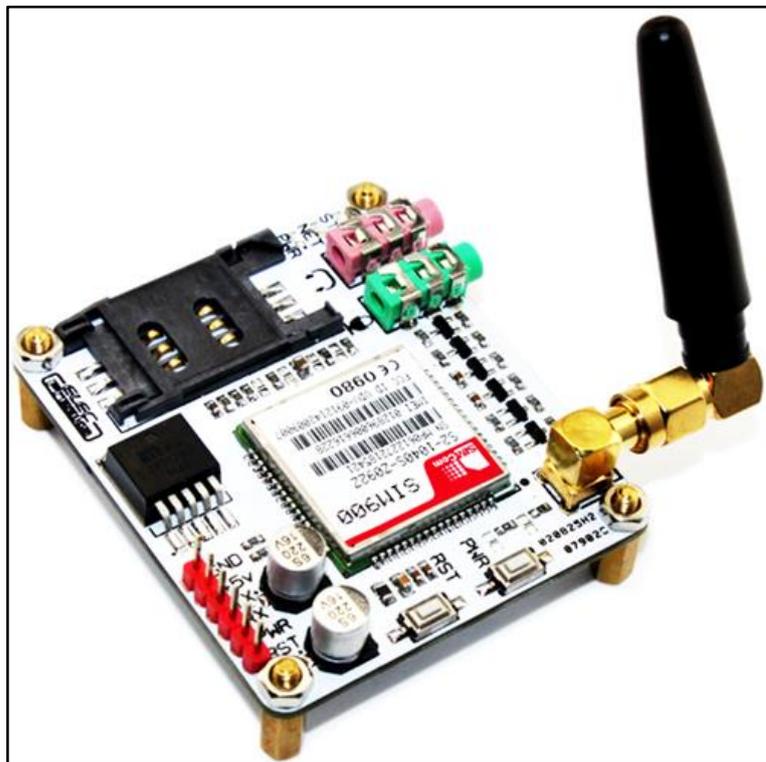


Figura 6. SIM900 en presentación modular.
Fuente: www.simcom.com [13]

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. DEFINICIONES BÁSICAS

✓ PIN

En electrónica, se denomina *pin*, palabra inglesa que significa “clavija”, a la terminal o patilla de cada uno de los contactos metálicos de un conector o de un componente fabricado de un material conductor de la electricidad. Estos se utilizan para conectar componentes sin necesidad de soldar nada, de esta manera se logra transferir electricidad e información.

Para determinar la misión de cada uno de los pines de un dispositivo, se deberán consultar sus respectivas hojas de datos o *datasheet*.

✓ ADC

Analog-to-digital converter es un circuito electrónico que convierte señales analógicas a números digitales discretos (ADC). La operación contraria es realizada por un conversor digital-analógico (DAC).

Generalmente, un conversor analógico-digital es un dispositivo electrónico que convierte una entrada analógica de voltaje a un número digital. La salida digital puede utilizar diferentes esquemas de codificación, como binario, o complemento de dos binario. De todas maneras, algunos dispositivos no eléctricos o parcialmente eléctricos pueden ser considerados como conversores analógico-digital.

La resolución de un conversor indica el número de valores discretos que este puede producir sobre un rango de valores de voltaje. Generalmente es expresado en bits. Por ejemplo, un conversor que codifica una entrada analógica de 1 a 256 valores discretos (de 0 a 255) tiene una resolución de 8 bits: o sea, 2 elevado a 8.

La resolución puede también ser definida eléctricamente y expresarse en volts. La resolución de voltaje de un conversor es equivalente a su rango total de medida de voltaje dividido el número de valores discretos.

✓ **VCC**

Proviene de la palabra en inglés Collector supply voltaje, el cuál es muy utilizado para referirse al pin de alimentación positiva de un circuito integrado. Comúnmente admite voltajes estándar como 12 voltios, 9 voltios, 5 voltios y 3.3 voltios.

✓ **GND**

Históricamente la palabra proviene del conductor de referencia más grande posible: el planeta Tierra y su traducción al inglés *ground*.

Es usado para nombrar al pin negativo de un circuito eléctrico, pero también para referirse a los puntos que tienen potencial eléctrico igual a cero.

CAPITULO III

DISEÑO DEL PROYECTO

El diseño del sistema de telemetría utilizando tecnología GSM, para monitorear variables fotovoltaicas domesticas rurales, se dividen en dos módulos con funciones específicas:

✓ MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Está encargado de obtener los parámetros eléctricos del sistema fotovoltaico, mediante conversión de señales analógicas a señales digitales, sensor de temperatura para baterías y sensor de corriente alterna. El módulo procesa estos parámetros, concatena una cadena de texto basado y envía esta información al Módulo Emisor/Receptor mediante comandos AT.

✓ MÓDULO EMISOR/RECEPTOR SMS

El módulo emisor está compuesto básicamente por el controlador GSM SIM900, el cual utiliza una tarjeta SIM de celular (comúnmente llamado CHIP) para realizar las mismas operaciones que un celular, aunque para efectos de este proyecto sólo se utilizará la función de envío SMS con el contenido del texto concatenado del Módulo

del Adquisición de Datos. Mientras que el Módulo Receptor, procesa inversamente el texto concatenado e inserta dicha información a una base de datos.

Ambos módulos están diseñados para comunicarse a través del protocolo RS232.

3.1. ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El diseño de este módulo considera los parámetros eléctricos necesarios para la detección de problemas en los sistemas fotovoltaicos domésticos. Para ello se ha identificado el diagrama general de una instalación doméstica en zonas rurales, la cual se muestra en la Figura 7:

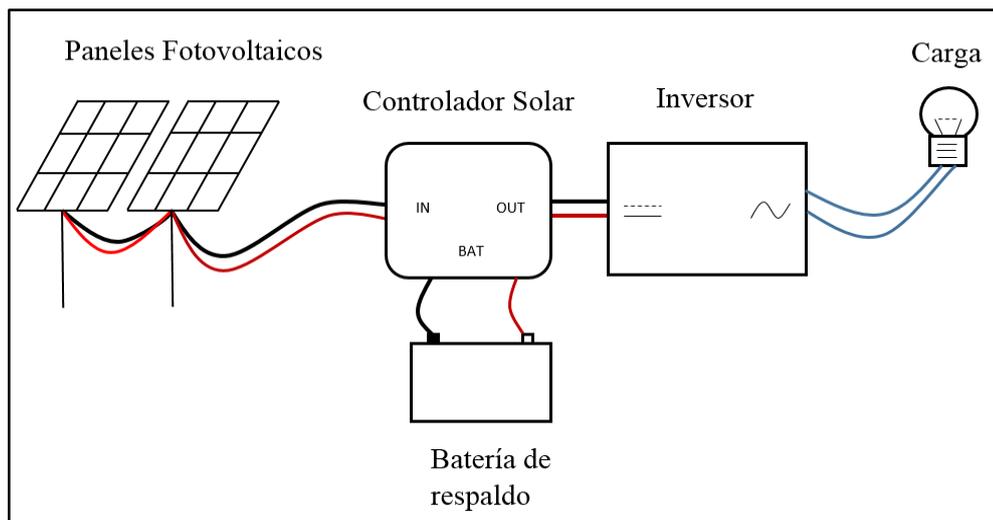


Figura 7. Diagrama general de una instalación doméstica en zonas rurales.
Fuente: Elaboración propia.

Las variables necesarias a medir para la detección de problemas en los sistemas fotovoltaicos domésticos, son las siguientes:

- ✓ **Voltaje de entrada al controlador de carga:** Esta variable determina el funcionamiento del sistema fotovoltaico, es posible medirla mediante una lectura análoga con el Microcontrolador.
- ✓ **Voltaje de carga en las baterías:** Es el voltaje que el controlador entrega a las baterías, regula el voltaje de entrada para cargar a la batería de manera correcta. Esta variable también se mide mediante la lectura análoga del Microcontrolador.
- ✓ **Temperatura de la batería:** La temperatura de las baterías está ligado directamente a la vida útil de la misma, la temperatura de la batería debe oscilar entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para poder medir esta variable, es necesario un sensor que transforme la temperatura en una variable eléctrica para que pueda ser medido por lectura análoga del Microcontrolador.
- ✓ **Voltaje de entrada en el inversor:** Es el voltaje continuo y estable que proviene del controlador e ingresa al inversor, este voltaje debe estar por encima de 11.4 VDC según las especificaciones técnicas del fabricante. Puede medirse mediante la lectura análoga del Microcontrolador.
- ✓ **Corriente consumida por la carga:** Es el consumo de corriente que la carga requiere para funcionar. Es necesario de un sensor de corriente alterna para poder ser medido por el Microcontrolador.

Los parámetros anteriormente descritos son parte parámetros son parte del sistema fotovoltaico, la cuales se visualizan en la Figura 8:

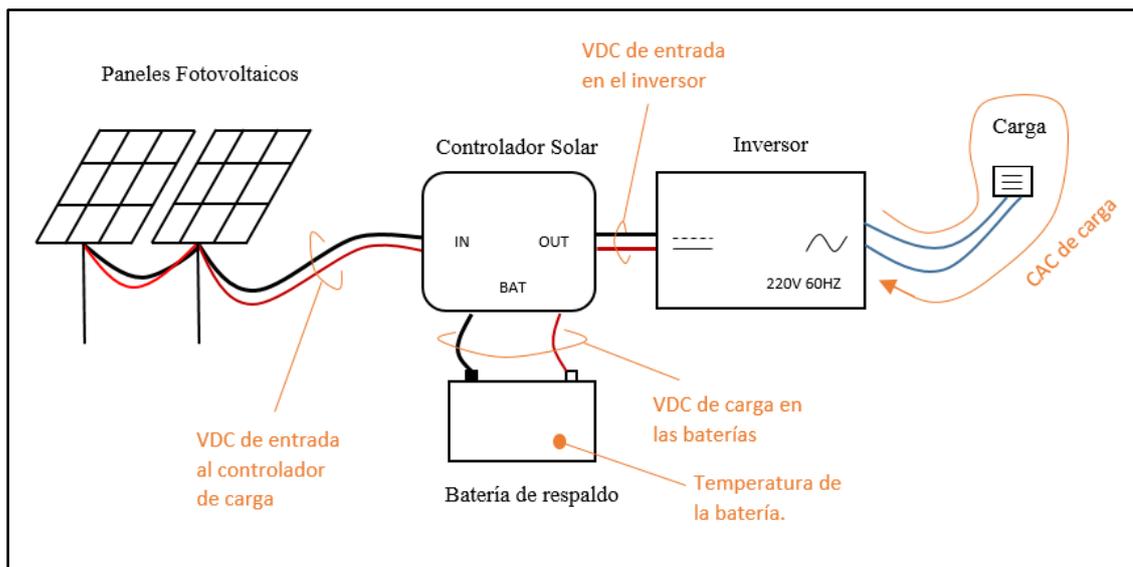


Figura 8. Variables a medir por el Módulo de Adquisición de Datos.
Fuente: Elaboración propia.

Se adiciona a estos parámetros, un identificador de instalación fotovoltaica:

- ✓ **Código de instalación fotovoltaica:** Todas las instalaciones fotovoltaicas que implementen el sistema de monitoreo deben estar identificadas con un número de 4 dígitos, servirá para que el receptor pueda identificar de qué instalación provienen estos valores.

3.1.1. ADQUISICIÓN DE DATOS MEDIANTE EL MICROCONTROLADOR PIC 18F4550

En el capítulo I se definió al microcontrolador PIC 18F4550 de la empresa Microchip y sus principales funciones, para los objetivos de este proyecto se utiliza el módulo ADC (Analog Digital Converter) el cual consiste en obtener valores análogos y convertir a digital, este microcontrolador posee 13 pines con esta característica. La resolución de lectura ADC está configurada para trabajar con 10 bits (valores que van del

0 a 1023) el cual es compatible con el microcontrolador seleccionado. En la Figura 9 se observa el diagrama de conexión para una lectura análoga por el pin AN2 del Microcontrolador, el voltaje variable a medir está representado por un potenciómetro utilizado como divisor de tensión, así mismo el microcontrolador está conectado con su respectivo oscilador de 20 Mhz:

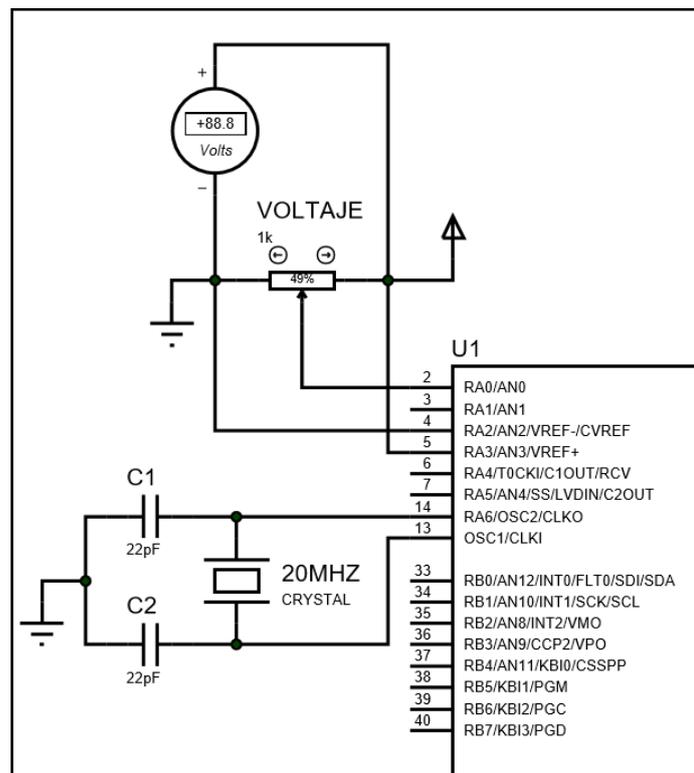


Figura 9. Diagrama de conexión para lectura análoga por el pin AN2 del Microcontrolador.
Fuente: Elaboración propia.

La configuración de la Figura 9, se realiza por cada variable monitoreada del sistema fotovoltaico. Sin embargo, para las variables que no corresponden a voltajes continuos (Temperatura de la batería y Corriente alterna de la carga) se hacen uso de dos sensores:

✓ SENSOR DE TEMPERATURA PARA BATERÍAS

El sensor NTSA0XH103 es un sensor de tipo termistor NTC (Disminuye su resistencia cuando la temperatura aumenta), de resistencia equivalente a $10k\Omega$ a 25°C . Este sensor se conecta al terminal negativo de la batería y con ello se obtiene su temperatura aproximada. El resultado es una resistencia variable en sus terminales. La relación resistencia-temperatura se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$R_t = R_{\infty} * e^{\frac{-B}{T}} \quad (1)$$

Donde:

R_t = Resistencia de la temperatura.

R_{∞} = Resistencia de referencia, cuando la temperatura es infinita.

B = Constante característica del termistor, según fabricante: 3380.

T = Temperatura Absoluta.

En la práctica no es posible establecer una resistencia infinita para una temperatura infinita como referencia, por lo que el fabricante recomienda utilizar una referencia de 25°C ($298.15 \text{ }^{\circ}\text{K}$) la cual es de resistencia equivalente igual a $10K\Omega$. Entonces R_{∞} , se reemplaza por R_{25} , la ecuación queda expresada de la siguiente manera.

$$R_t = R_{25} * e^{\frac{B}{T} - \frac{B}{T_{25}}} \quad (2)$$

Utilizando los valores de los parámetros que proporciona el fabricante y utilizando la constante $B = 3380$ y reemplazando en la Ecuación 2 para obtener la ecuación de la resistencia equivalente del termistor como:

$$R_t = 100K\Omega * e^{\frac{4250}{T} - \frac{4250}{298.15}} \quad (3)$$

Se despeja la variable T:

$$T = \frac{3380}{\ln\left(\frac{R_t}{0.645}\right)} \quad (4)$$

En la Figura 10 se observa la curva resistencia vs temperatura característica del termistor NTC como resultado de la Ecuación 4:

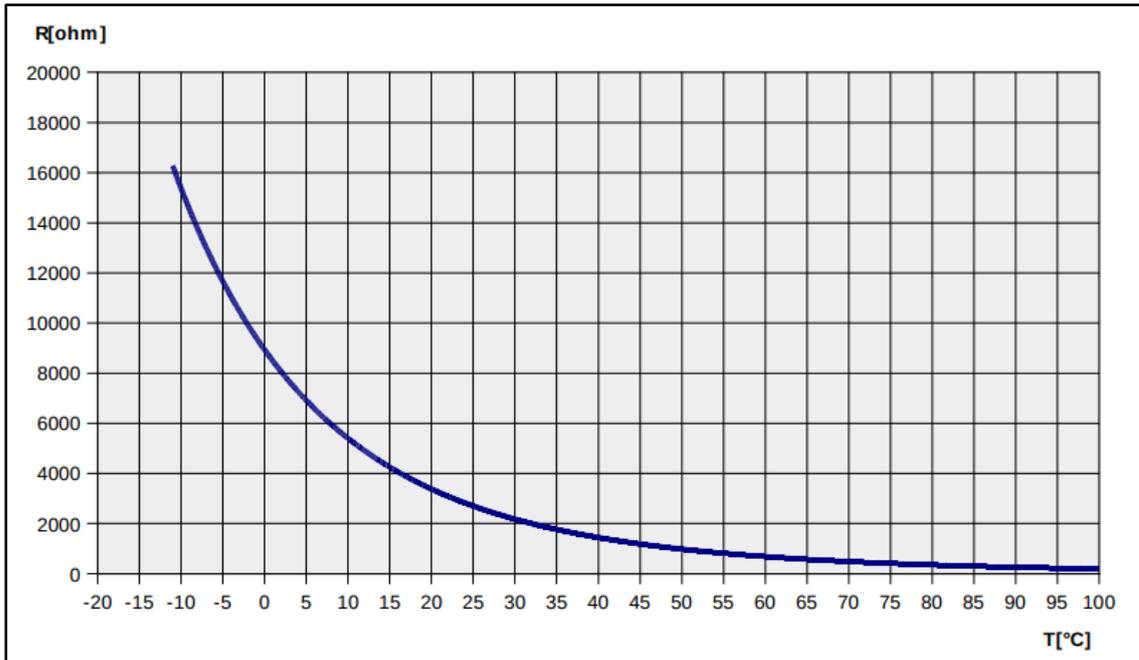


Figura 10. Curva característica de un termistor NTC.

Fuente: <http://madur.com>

Para realizar la lectura del voltaje variable utilizando la resistencia variable del sensor, es necesario realizar un circuito divisor de voltaje, en la Figura 11 se muestra la conexión del sensor termistor de tipo NTC como divisor de voltaje:

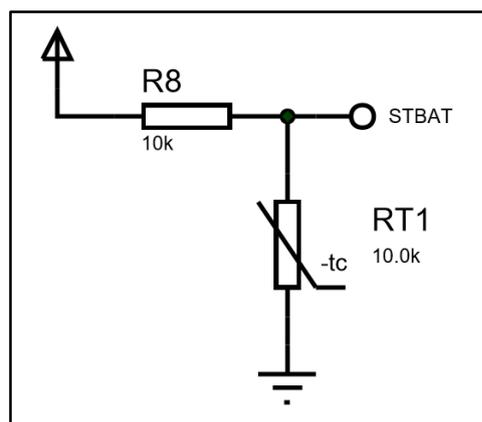


Figura 11. Configuración de termistor configurado como un divisor de voltaje.

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Voltaje} = 5 * \frac{R_t}{R_t + 100K} \quad (5)$$

Se despeja la variable R_t y se obtiene la resistencia equivalente del sensor termistor NTC del circuito:

$$R_t = \frac{500000}{5 - \text{Voltaje}} \quad (6)$$

En la Figura 12 se observa el sensor de temperatura NTSAOXH103 en presentación tipo ojal, adecuado para la conexión a baterías, y en el otro extremo el terminal de resistencia variable de color rojo y negro:



Figura 12. Termistor en presentación de ojal para batería.
Fuente: <http://madur.com>

✓ **SENSOR DE CORRIENTE ALTERNA**

El sensor de corriente ACS712 funciona internamente con un sensor de efecto Hall que detecta el campo magnético que se produce por inducción de la corriente que circula por la línea que está midiendo.

El ACS712 utilizado se presenta en presentación modular, el cual facilita la conexión con el Microcontrolador. En la Figura 13 se observa el sensor de corriente con sus respectivos terminales:

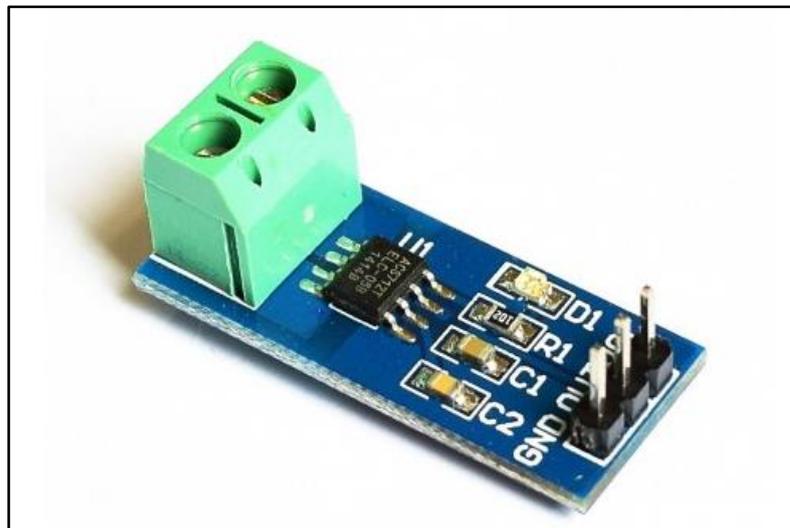


Figura 13. Imagen del sensor ACS712 en un módulo.
Fuente: www.sparkfun.com

El sensor de corriente ACS712 genera 2.5 voltios entre sus terminales GND y VCC para una corriente de 0A, a partir de allí incrementa proporcionalmente de acuerdo a la sensibilidad del sensor, teniendo una relación lineal entre la salida de voltaje del

sensor y la corriente la cual resulta en una línea recta en una gráfica Voltaje vs Corriente donde la pendiente es sensibilidad y la intersección en el eje Y es 2.5 voltios. La ecuación de la recta que proporciona el fabricante está expresada en la siguiente ecuación:

$$V = m * I + 2.5 \quad (7)$$

Donde:

- ✓ “V” es el voltaje continuo que entrega el sensor.
- ✓ “m” es la sensibilidad del sensor la cual es igual a 185mV/A, según los datos que proporciona el fabricante.
- ✓ “I” la corriente a medir.

Reemplazando el valor de intensidad que indica el fabricante e igual a 185mV/A, la Ecuación 7 queda expresada con:

$$V = 0.185 * I + 2.5 \quad (8)$$

Se despeja I y se obtiene la ecuación final:

$$I = \frac{V - 2.5}{0.185} \quad (9)$$

Para la configuración del módulo del conversor análogo digital del microcontrolador es necesario establecer los límites de voltajes de entrada en los pines análogos. Estos límites pueden estar definidos por hardware o software, para ello es necesario analizar los rangos de entradas de voltajes en los pines análogos, en la Tabla 5 se observa los rangos de voltajes de las variables a monitorear:

Tabla 5
Voltajes mínimos y máximo de las variables a monitorear.

Variable	Identificador	Voltaje mínimo (v)	Voltaje máximo (v)
VDC de entrada al controlador de carga	PFV	0	19
VDC de carga en las baterías	BAT	11,4	14
VDC de entrada en el inversor	INV	0	12
Temperatura de la batería	STBAT	0	5
CAC de carga	ILOAD	2,5	5

Fuente: Elaboración propia.

Con la información de la Tabla 5, se definen los parámetros mínimos y máximos redondeados:

- ✓ Vref (-) = 0 voltios
- ✓ Vref (+) = 20 voltios

Se calcula la resolución de las lecturas analógicas en las entradas del microcontrolador, es decir el nivel mínimo que debe variar el voltaje análogo de entrada para un cambio en el valor entero digital en la conversión, es decir la sensibilidad:

$$\text{Resolución} = \frac{(V_{\text{ref}(+)} - V_{\text{ref}(-)})}{(\text{cantidad de numeros en 10 bits})} = \frac{20}{1024} = 19,53 \text{ mV} \quad (10)$$

La operación de conversión análoga a digital del microprocesador, está representada en la Ecuación 11:

$$\text{Valor (10 bits)} = 1024 * \left(\frac{V}{V_{\text{ref}(+)} - V_{\text{ref}(-)}} \right) \quad (11)$$

Donde:

- ✓ Valor (10 bits): es el resultado digital de la lectura que varía entre 0 y 1023.
- ✓ V: Voltaje análogo en la entrada del Microcontrolador, su valor varía entre 0 y 20 voltios.
- ✓ $V_{\text{ref}(-)} = 0$ voltios
- ✓ $V_{\text{ref}(+)} = 20$ voltios

No es necesario realizar la lectura de variables cada segundo, basta con tener la información cada seis horas, es decir el sistema realizará cuatro muestreos al día.

3.1.1.1. Circuito electrónico del Módulo de Adquisición de Datos

Para la protección del módulo de adquisición de datos es necesario utilizar un circuito regulador de voltaje, el cual hace posible trabajar con 5v utilizando el voltaje proveniente del sistema fotovoltaico, en la Tabla 6 se observa los resultados de las pruebas del dispositivo 78L05 extraídos de la hoja de datos del fabricante y su rango de operación.

Tabla 6
Rangos de voltaje del dispositivo 78L05.

Símbolo	Parámetro	Condiciones	Min.	Max.	Uni
VO	Output Voltaje	IO = 1 to 40 mA VI = 7 to 20 V	4.5	5.5	V
		IO = 1 to 70 mA VI = 10 V	4.5	5.5	V

Nota: Las pruebas fueron hechas por el fabricante. Fuente: National Semiconductor [14].

Adicionalmente el fabricante sugiere colocar dos condensadores cerámicos (0.33uF y 0.1uF), uno a la entrada y el otro a la salida, en la Figura 14 se observa el diagrama de conexión con sus respectivos condensadores.

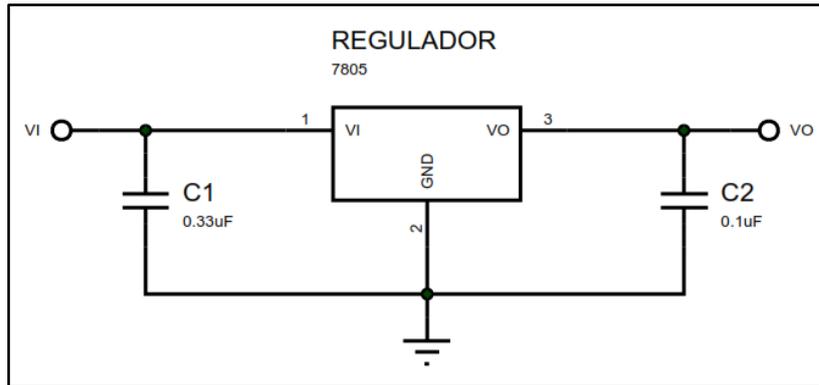


Figura 14. Diagrama de conexión del regulador de tensión 78L05.
Elaboración propia.

En la Tabla 7 se definen los pines a utilizar en el microcontrolador PIC 18F4550, tanto para las entradas como para las salidas.

Tabla 7
Definición de pines de entrada y salida del microcontrolador

Definición	Identificador	Pin	Tipo	Numero
Alimentación positiva	VCC	VDD	Alimentación	11
Alimentación Negativa	GND	VSS	Alimentación	12
Oscilador	-	OSC1	Oscilación	13
Oscilador	-	OSC2	Oscilación	14
Botón de reinicio general	MCLR	MCLR	Entrada	1
VDC de carga en las baterías	BAT	AN8	Entrada	35
Temperatura de la batería	STBAT	AN9	Entrada	36
VDC de entrada en el inversor	INV	AN10	Entrada	34

CAC de carga	I-LOAD	AN11	Entrada	37
VDC de entrada al controlador de carga	PFV	AN12	Entrada	33
Transmisión serial	SERIAL	TX	Salida	25
Recepción serial	SERIAL	RX	Entrada	26
Transmisión USB+	USB	D+	Entrada/Salida	24
Transmisión USB-	USB	D-	Entrada/Salida	23

Fuente: Elaboración propia.

Para ejecutar el envío de información por el protocolo RS232 cada seis horas, se hace uso del contador TIMER 1 del Microcontrolador PIC 18F4550. Este Microcontrolador posee cuatro contadores TIMER0, TIMER1, TIMER2 y TIMER3, sin embargo, por la duración del tiempo que se necesita y la precisión de conteo el TIMER1, este resulta adecuado.

TIMER1 es un contador de 16 bits (de 0 a 65536) que utiliza la frecuencia del reloj externo de 20 Mhz de referencia y un pre-escalador para determinar el tiempo de los pasos de conteo. Cuando un contador supera su último valor admitido (en este caso 65536) se denomina desbordamiento u *overflow*.

Para determinar cuánto tiempo demora al TIMER1 para desbordarse, el fabricante proporciona la siguiente fórmula:

$$Desbordamiento = \frac{4}{f.oscilador} * Pre - escalador * (65536 - TIMER1) \quad (12)$$

El Pre-escalador del TIMER1 retarda el desbordamiento por multiplicación del tiempo de pulso de reloj, es así como puede utilizar 1, 2, 4 u 8 pulsos de reloj por cada paso de conteo. El valor de TIMER1 puede configurarse para que no inicie un conteo desde el valor de 0, sino desde cualquiera de sus valores posibles (entre 0 y 1023), es decir se puede reducir el tiempo de desbordamiento.

Se determina el tiempo máximo que demora TIMER1 en desbordarse, esto sucede cuando el pre-escalador sea el máximo posible, y el TIMER1 comience el conteo en 0:

$$\begin{aligned} Desbordamiento \text{ máximo} &= \frac{4}{20Mhz} * 8 * (65536 - 0) & (13) \\ &= 0,1048576 \text{ segundos} \end{aligned}$$

El tiempo calculado no es suficiente para demorar las 6 horas que se requieren para enviar la información, por lo que en la Ecuación 14 se convierte valor de horas a segundos, esto permite determinar las veces que se desborda el TIMER1 para el tiempo requerido:

$$\frac{6 \text{ horas}}{0.1048576 \text{ segundos}} = \frac{21,600 \text{ segundos}}{0.1048576 \text{ segundos}} \approx 206 \quad (14)$$

El desbordamiento de un contador es un vector de interrupción del microcontrolador 18F4550, es decir cada vez que el TIMER1 se desborda la secuencia de programación se interrumpe y “salta” a una subrutina predefinida, esto se explica con mayor detalle en el punto 3.1.1.3. Programa del Módulo de Adquisición de Datos.

En la Figura 15 y Figura 16, se observa el circuito del Módulo de Adquisición de Datos y su presentación en placa, el cual fue elaborado con el software Eagle:

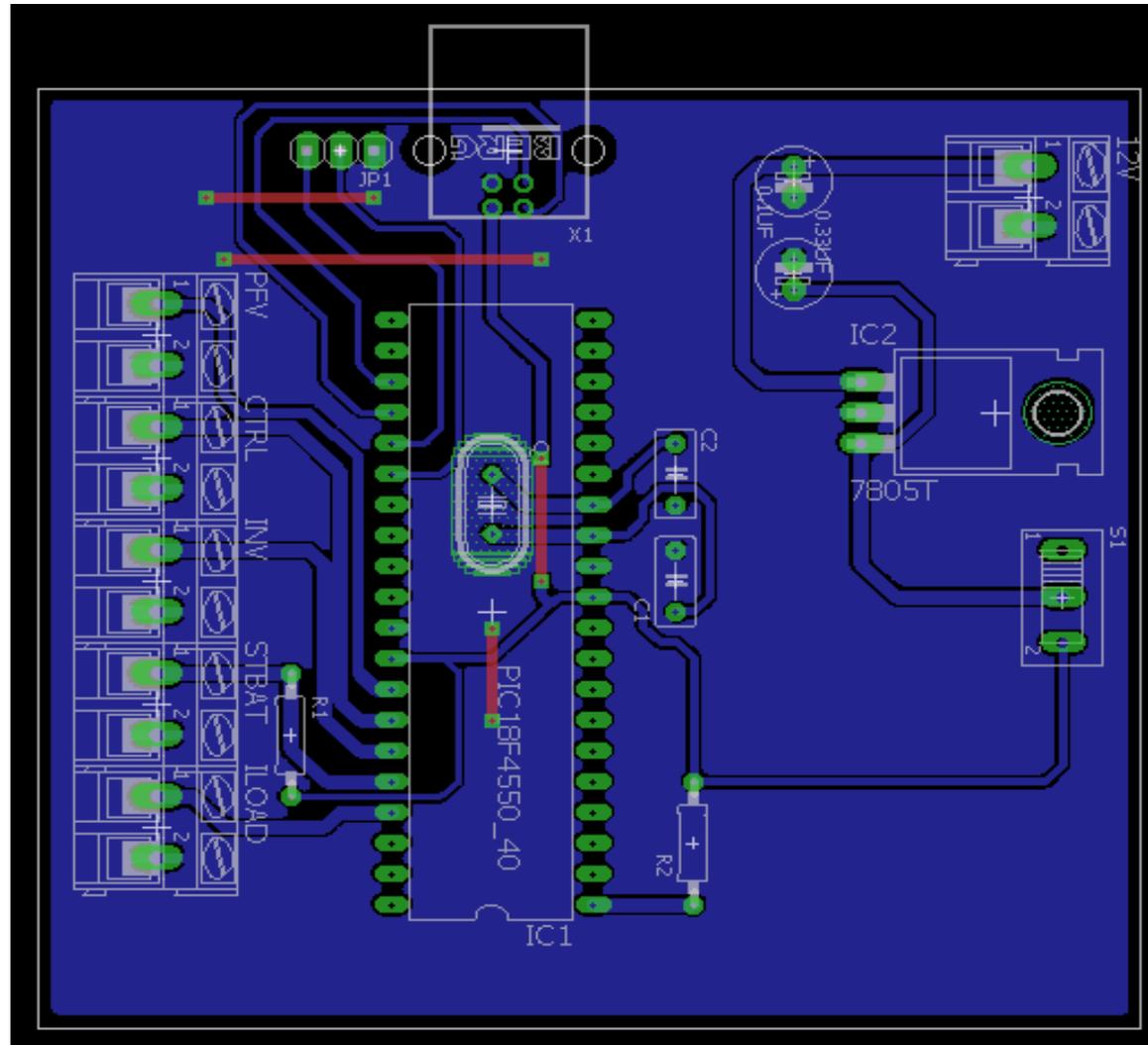


Figura 16. Diseño de PCB del circuito del Módulo de Adquisición de Datos.
Fuente: Elaboración propia

3.1.2. PROGRAMA DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Basados en el análisis previo se ha elaborado un diagrama de flujo del Módulo de Adquisición de Datos, el cual se visualiza en la Figura 17:

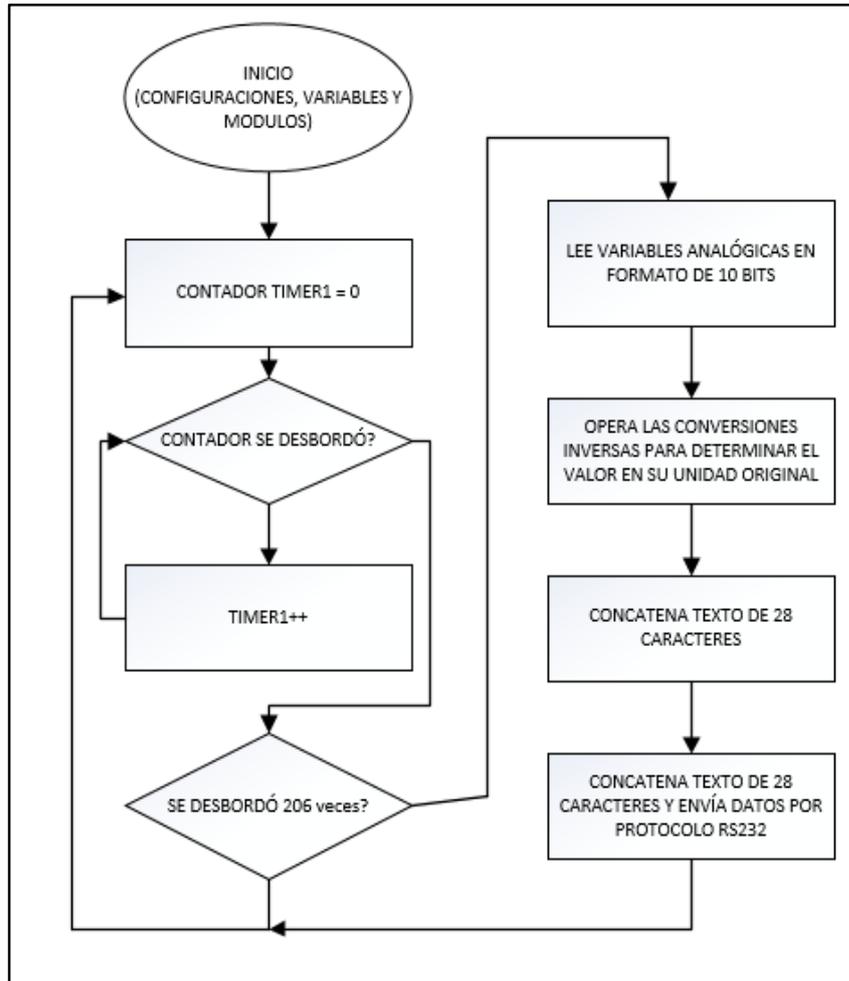


Figura 17. Diagrama de flujo del Módulo de Adquisición de datos.

Fuente: Elaboración propia.

El programa está elaborado en lenguaje de programación C++. En la Figura 18 se observa el inicio del programa con las configuraciones iniciales: tipo de Microcontrolador, resolución del módulo ADC, frecuencia de oscilación del reloj externo, configuración del módulo serial e inclusión de librerías necesarias:

```

#include <18f4550.h>           //Definimos la librería del PIC a utilizar.
#define adc=10                //Establecemos la conversión analógica digital a 10 bits.
#FUSES HS,MCLR,PUT,BROWNOUT  //Definimos los utilidades del PIC.
#use delay(clock=20000000)    //El oscilador que estamos usando.
#use rs232(baud=9600,xmit=pin_c6,rcv=pin_c7,bits=8) //Velocidad serial.
#include <math.h>

```

Figura 18. Imagen de un segmento de la programa del módulo de adquisición de datos realizados en lenguaje C++, donde se observa las configuraciones iniciales del programa.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 19 se observa las variables necesarias en el programa del Módulo de Adquisición de Datos:

```

float PFV_1,BAT_1, INV_1,STBAT_1,ILOAD_1,RT; //Declaración de variables auxiliares.
float PFV,BAT, INV,STBAT,ILOAD; //Declaración de varibales del sistema.

long CODIGO=1243; //Codigo del sistema fotovoltaico.
long i=0; //Variable auxiliar.

```

Figura 19. Imagen de un segmento de la programa del módulo de adquisición de datos realizados en lenguaje C++, donde se establecen las variables del programa.
Fuente: Elaboración Propia.

Se escriben las instrucciones necesarias para que el Microcontrolador PIC 18F4550 realice las lecturas analógicas, se configura el canal y luego se almacena el valor en una variable. Esto se realiza un canal a la vez.

En la Figura 20 se observa un segmento del programa del Módulo de Adquisición de Datos con las instrucciones para la lectura de las variables analógicas.

```

set_adc_channel(12); //Canal ANX a leer.
delay_us(20); //Tiempo de gracia para la lectura.
PFV_1=read_adc(); //Lectura almacenada en una variable.
delay_us(20);

set_adc_channel(10); //Canal ANX a leer.
delay_us(20); //Tiempo de gracia para la lectura.
BAT_1=read_adc(); //Lectura almacenada en una variable.
delay_us(20);

set_adc_channel(8); //Canal ANX a leer.
delay_us(20); //Tiempo de gracia para la lectura.
INV_1=read_adc(); //Lectura almacenada en una variable.
delay_us(20);

set_adc_channel(9); //Canal ANX a leer.
delay_us(20); //Tiempo de gracia para la lectura.
STBAT_1=read_adc(); //Lectura almacenada en una variable.
delay_us(20);

set_adc_channel(11); //Canal ANX a leer.
delay_us(20); //Tiempo de gracia para la lectura.
ILOAD_1=read_adc(); //Lectura almacenada en una variable.
delay_us(20);

```

Figura 20. Imagen de un segmento de la programa del módulo de adquisición de datos, donde se observa las lecturas de las señales analógicas de entradas al Microcontrolador.

Fuente: Elaboración Propia.

Almacenado las variables, se procede realizar la operación inversa para obtener el valor en su unidad de medida real:

$$\text{Valor (10 bits)} = 1024 * \left(\frac{V}{V_{\text{ref}(+)} - V_{\text{ref}(-)}} \right) \quad (15)$$

Se despeja el valor V:

$$V = \text{Valor (10 bits)} * \frac{(V_{\text{ref}(+)} - V_{\text{ref}(-)})}{1024} \quad (16)$$

Se reemplaza los parámetros $V_{\text{ref}(+)} = 20$ y $V_{\text{ref}(-)} = 0$:

$$V = \text{Valor (10 bits)} * \frac{20}{1024} \quad (17)$$

Se aplica esta ecuación en el programa para PFV, BAT y CTR, como se puede observar en la Figura 21.

```
PFV=PFV_1*20/1023;           //Conversión inversa de 10 bits a valor absoluto.
BAT=BAT_1*20/1023;         //Conversión inversa de 10 bits a valor absoluto.
INV=INV_1*20/1023;        // Conversión inversa de 10 bits a valor absoluto.
```

Figura 21. Imagen de un segmento de la programa del módulo de adquisición de datos, donde se observa la conversión inversa para calcular el valor de las variables PFV, BAT e INV en Voltios.

Fuente: Elaboración Propia.

Sin embargo para los valores ILOAD y STBAT, es necesario aplicar los factores de conversión de la relación voltaje – magnitud, en la Ecuación 8 se tiene:

$$V = 0.185 * I + 2.5 \quad (18)$$

Se despeja I y se obtiene la expresión final:

$$I = \frac{(V - 2.5)}{0.185} \quad (19)$$

Esta ecuación se aplica en el programa como se observa en la Figura 22.

```
ILOAD_1=ILOAD_1*(5/1023); // Conversión inversa de 10 bits a valor absoluto.
ILOAD= (ILOAD_1 - 2.5)/0.185; // Aplicamos la ecuación anterior.
```

Figura 22. Imagen de un segmento de la programa del módulo de adquisición de datos, donde se observa la conversión inversa de la variable ILOAD (Corriente de la carga) en Amperios.

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 23, se aplica la misma lógica para STBAT:

$$R_t = \frac{500000}{5 - Voltaje} \quad (20)$$

$$T = \frac{4250}{\ln\left(\frac{R_t}{0.6475}\right)} \quad (21)$$

```

STBAT_1= STBAT_1*5/1023;    // Conversión inversa de 10 bits a valor absoluto.
RT= STBAT_1*10000/(5.0-STBAT_1);    // Calculamos Rt.
STBAT_1=log(RT/10000.0);
STBAT_1=(1.0/298.15)+(STBAT_1*(1.0/3380.0)); // Hallamos la temperatura en K.
STBAT_1=1.0/STBAT_1;
STBAT=STBAT_1-273.15;    // Realizamos la conversión en °C.

```

Figura 23. Imagen de un segmento de la programa del módulo de adquisición de datos, donde se observa la conversión inversa de la variable STBAT en °C.

Fuente: Elaboración Propia.

Obtenido los voltajes y procesados a números, es necesario sintetizar una cadena de información que incluyan estos datos y que serán enviados al módulo SIM9000 para el envío de esta información por SMS, se ha diseñado una cadena de texto la cual contiene veintiún (28) caracteres, el cual está expresado en la Figura 24:

```

{XXXX},{XX.XX},{XX.XX},{XX.XX},{XX.XX}
Código de      PFV      CTRL      INV      STBAT
instalación
fotovoltaica

```

Figura 24. Forma sintetizada de la información procesada de las entradas del Microcontrolador PIC 18F4550.

Fuente: Elaboración propia.

En la programación, para enviar los datos por el puerto serial, se utiliza el comando “printf”, para ello se tiene en cuenta los comandos AT para el módulo GSM SIM900 que detallados en el punto 2.2.14, como se observa en la Figura 25:

```
printf("AT+CMGF=1\r");
delay_ms(10);
printf("AT+CMGS=994389441\r");
delay_ms(10);
printf("%1D,%3.2f,%3.2f,%3.2f,%3.2f,%3.2f \r", CODIGO, PFV, BAT, INV, STBAT, ILOAD);
delay_ms(500);
putchar(0x1a);
```

Figura 25. Imagen de un segmento de la programa del módulo de adquisición de datos, donde se observa el envío de la información concatenada al módulo Emisor/Receptor, mediante comandos AT+:

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 26 y Figura 27 se observan el código del programa dentro de una subrutina en la interrupción por desbordamiento del TIMER1:

```
void main(void)
{
    setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_8); //Setup timer: Reloj interno, preescaler= 8
    enable_interrupts(INT_TIMER1); //Habilito interrupción particular del TIMER1
    enable_interrupts(GLOBAL); //Habilito interrupciones globales
    set_timer1(0); //Carga del TMR1

    setup_adc_ports(ALL_ANALOG); //Selecciona el puerto a realizar la conversion
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL); //Selecciona el reloj de conversion
    while(1)
    {
    }
}
```

Figura 26. Imagen de un segmento de la programa del módulo de adquisición de datos, donde se observa las configuraciones de los módulos ADC e Interrupciones del Microcontrolador PIC 18F4550.

Fuente: Elaboración Propia.

```

#int_TIMER1 //Vector de interrupción.
void TIMER1_isr(void)//Función de interrupción por desbordamiento TMR1
{
    if (i==2)
    {
        set_adc_channel(12); //Canal ANX a leer.
        delay_us(20); //Tiempo de gracia para la lectura.
        PFV_1=read_adc(); //Lectura almacenada en una variable.
        delay_us(20);

        set_adc_channel(10); //Canal ANX a leer.
        delay_us(20); //Tiempo de gracia para la lectura.
        BAT_1=read_adc(); //Lectura almacenada en una variable.
        delay_us(20);

        set_adc_channel(8); //Canal ANX a leer.
    }
}

```

Figura 27. Imagen de un segmento de la programa del módulo de adquisición de datos, donde se observa la programación dentro del vector de interrupción por desbordamiento del contador TIMER 1 del Microcontrolador PIC 18F4550.

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.3. SIMULACIÓN DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

La simulación se realizó con el software ISIS PROTEUS 7.8, en la cual se estableció los siguientes parámetros que son los valores promedios de lecturas de las variables críticas de un sistema fotovoltaico:

- ✓ CODIGO=1234
- ✓ PFV = 19 Voltios
- ✓ BAT = 14.5 Voltios
- ✓ INV = 12 Voltios
- ✓ STBAT = 29 °C
- ✓ ILOAD = 40mA

En la Figura 28 y Figura 29, se observan el circuito del Módulo de Adquisición de Datos, con las respectivas entradas y salidas. Así mismo se evidencia la conexión serial, en la cual se puede visualizar la trama enviada al Módulo Emisor/Receptor SMS:

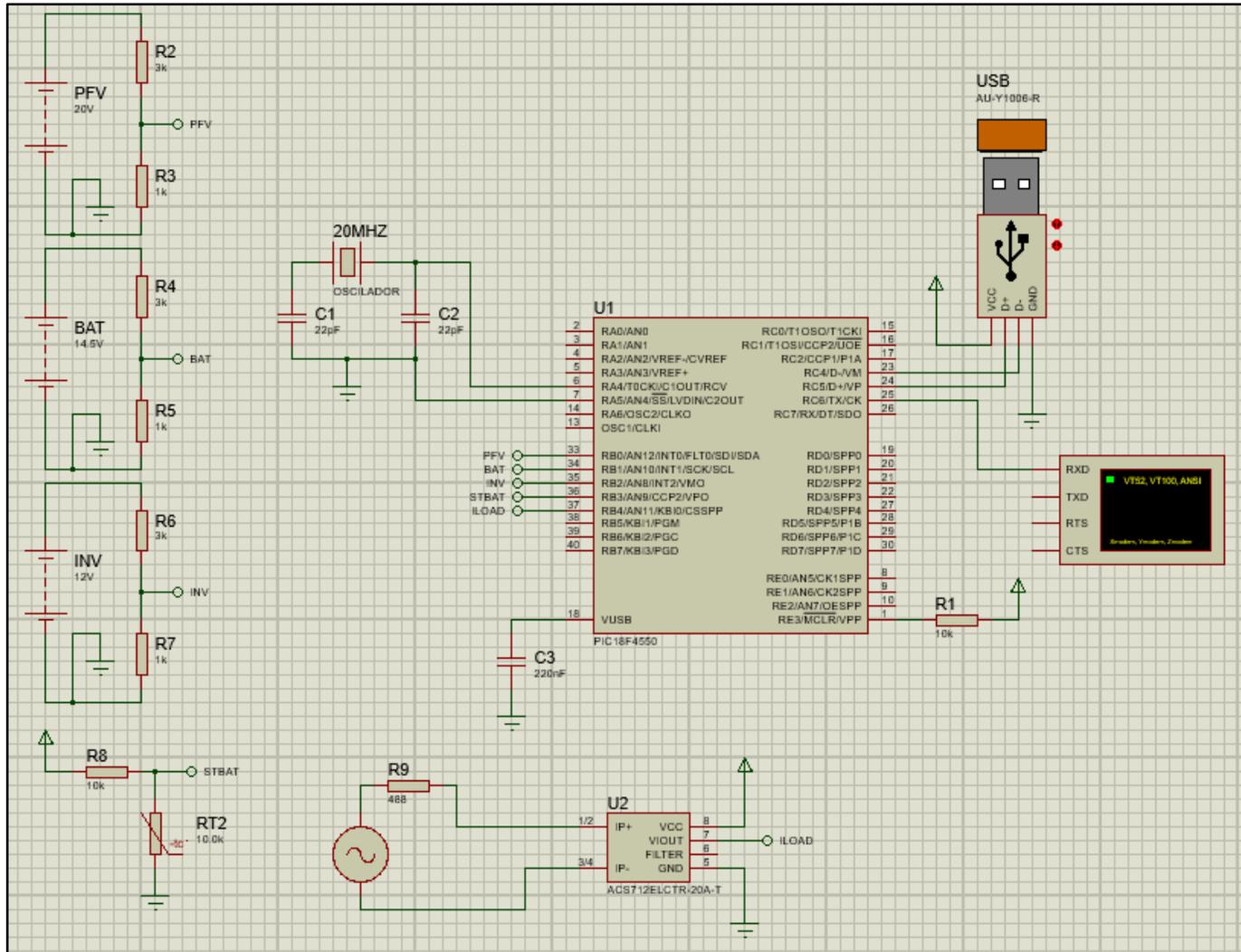


Figura 28. Imagen de la simulación del circuito del Módulo de Adquisición de Datos en el software ISIS PROTEUS versión 7.7.
Fuente: Elaboración Propia

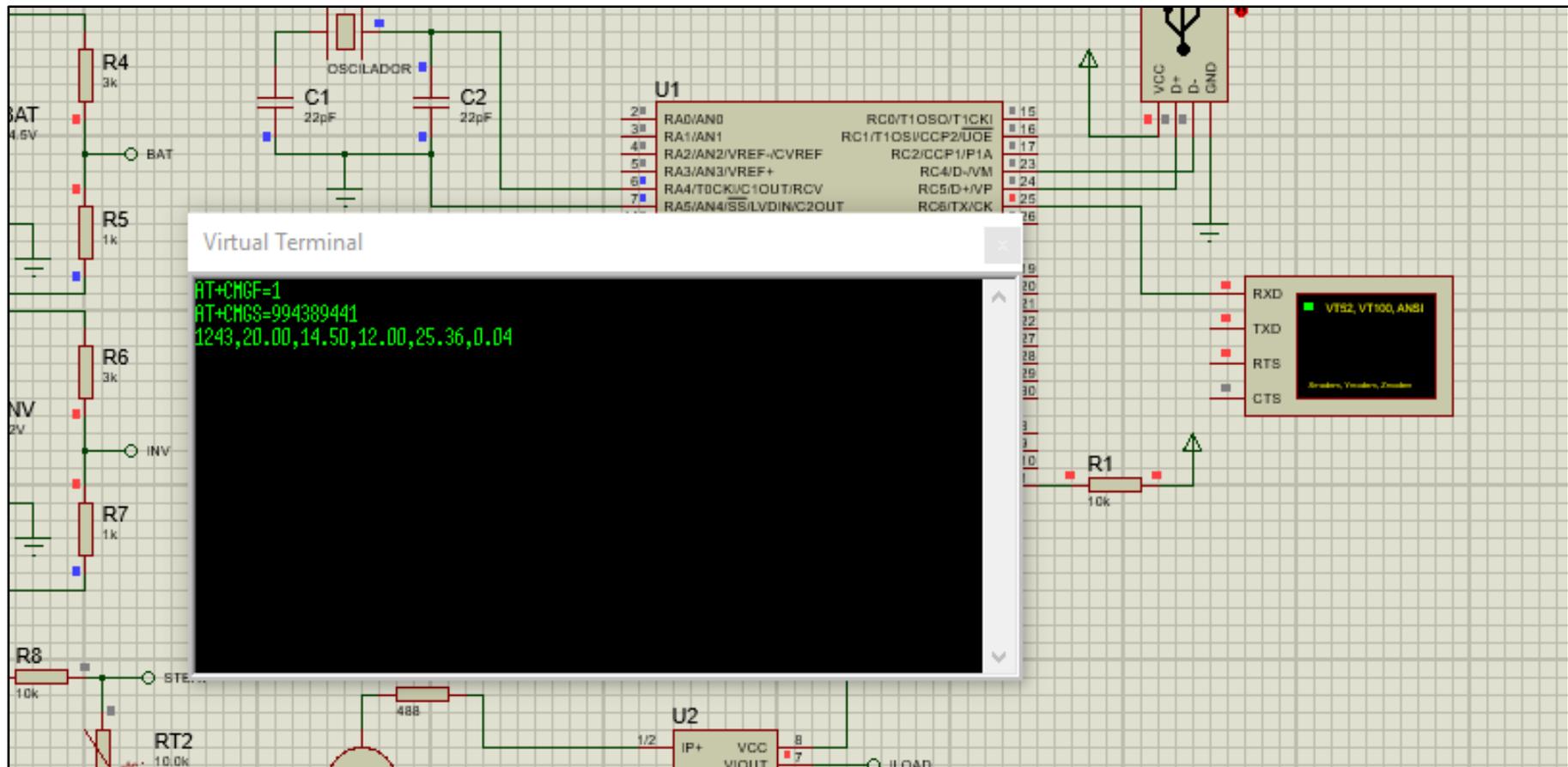


Figura 29. Imagen de la simulación del circuito del Módulo de Adquisición de Datos en el software ISIS PROTEUS versión 7.7, donde se muestra los resultados de la comunicación serial con los valores de las variables monitoreados.

Fuente: Elaboración Propia.

3.2. MÓDULO EMISOR/RECEPTOR

El módulo emisor está compuesto únicamente por el módulo SIM900, posee un puerto de comunicación serial por lo que no será necesario diseñar una interfaz entre el microcontrolador PIC 18F4550, como se ha mencionado en el punto 2.2.14, el protocolo compatible es el de comandos AT.

3.2.1. ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL MÓDULO SIM900 EN MODO EMISOR SMS

Es posible simular al módulo SIM900 con el software PROTEUS 7.7, mediante la librería GSMLibraryTEP que proporciona la página *The Engieniering Proyects*. Esta librería simula las respuestas del módulo aunque no permitirá enviar un mensaje de texto SMS real. Dicha simulación está basado en un Microcontrolador Atmel y es necesario cargar el código compilador en formato .HEX que también proporciona el fabricante. En la Figura 30 se observa la simulación del módulo SIM900, y su conexión por RS232 Serial con el virtual terminal.

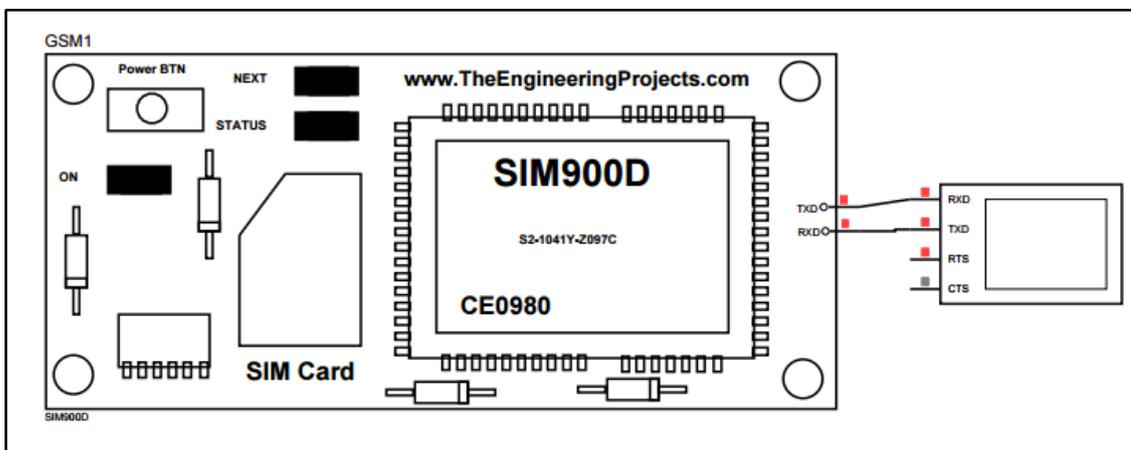


Figura 30. Imagen de la conexión del SIM900 con el Virtual Terminal en el software de simulación ISIS PROTEUS 7.7.

Fuente: Elaboración propia.

Los comandos AT necesarios para realizar el envío de SMS, son los siguientes:

- ✓ AT: Comando de prueba.
- ✓ AT+CMGF=1\r: Indicar que se realizará un envío SMS.
- ✓ AT+CMGS=\`"994389441\`": Número del destinatario en formato internacional.
- ✓ [mensaje]: Contenido con el mensaje (máximo 160 caracteres).
- ✓ (char)26: Finalizar comandos AT con un ^Z .

En la Figura 31, se observa al módulo SIM900 sometido a pruebas mediante comandos AT+, donde se evidencia que las respuestas son las previstas en el diseño.

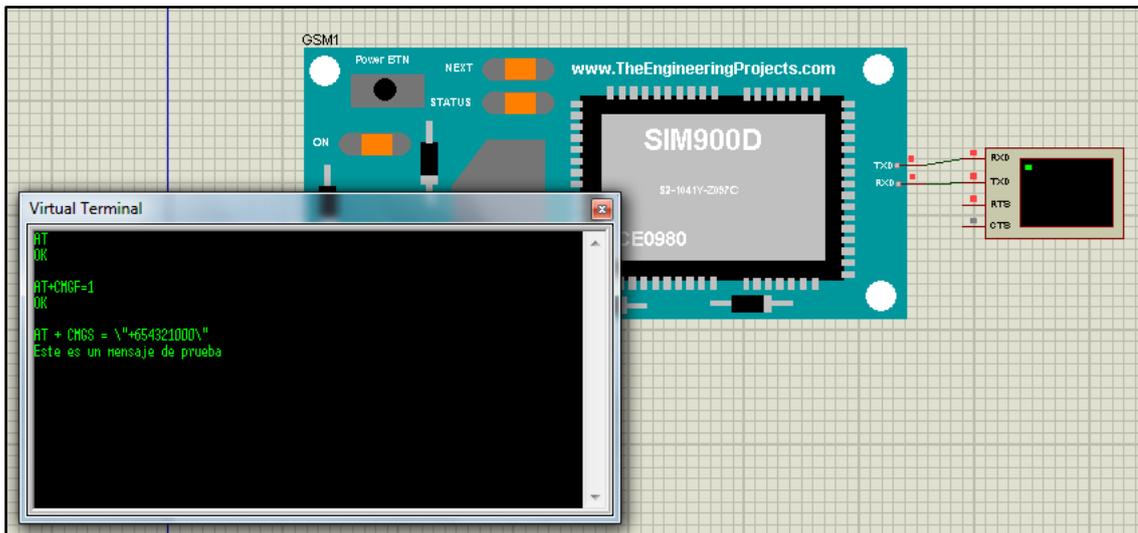


Figura 31. Imagen de la simulación del módulo SIM 900 y las pruebas por comandos AT+.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL MODULO SIM900 COMO RECEPTOR

En esta sección se analiza al módulo SIM900 como receptor SMS, y de la interfaz que servirá para almacenar a la base de datos. Visual Studio es una plataforma completa para desarrollo de aplicaciones de escritorio, aplicaciones web y hasta móviles del sistema operativo Windows Mobile, permite programar en lenguajes como C#, Visual Basic, C++, entre otros.

Se ha desarrollado una aplicación para escritorio programado en lenguaje Visual Basic, la cual recibirá los datos seriales del módulo SIM900 y fragmentará el texto para almacenarlo ordenadamente en una base de datos, para posteriormente mostrarlo de manera amigable. Los comandos AT+ utilizados para la lectura de mensaje de texto SMS son los siguientes:

- ✓ **AT:** Comando para corroborar que el módulo se encuentre totalmente operativo, la respuesta esperada es un “OK”.
- ✓ **AT + CMGF =1:** Este comando convertirá el estilo del mensaje en texto. Esto es necesario para realizar la lectura por la aplicación desarrollada en Visual Basic.
- ✓ **AT+CNMI=1,2,0,0,0:** Este comando configura al módulo SIM900 para enviar en tiempo real los mensajes de texto recibidos a través del puerto serial,

En la Figura 32 se muestra el diagrama de flujo considerando el análisis previo, mientras que en la Figura 33 se observa la interfaz gráfica de la aplicación para escritorio, en la cual se muestran la visualización remota de los parámetros a monitorear, además de un reporte histórico en la parte inferior.

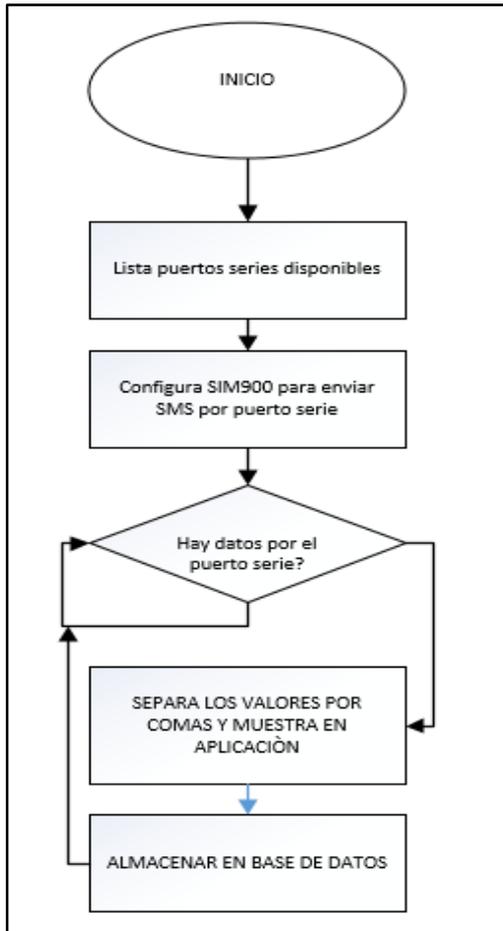


Figura 32. Diagrama de flujo del módulo Receptor.
Fuente: Elaboración propia.

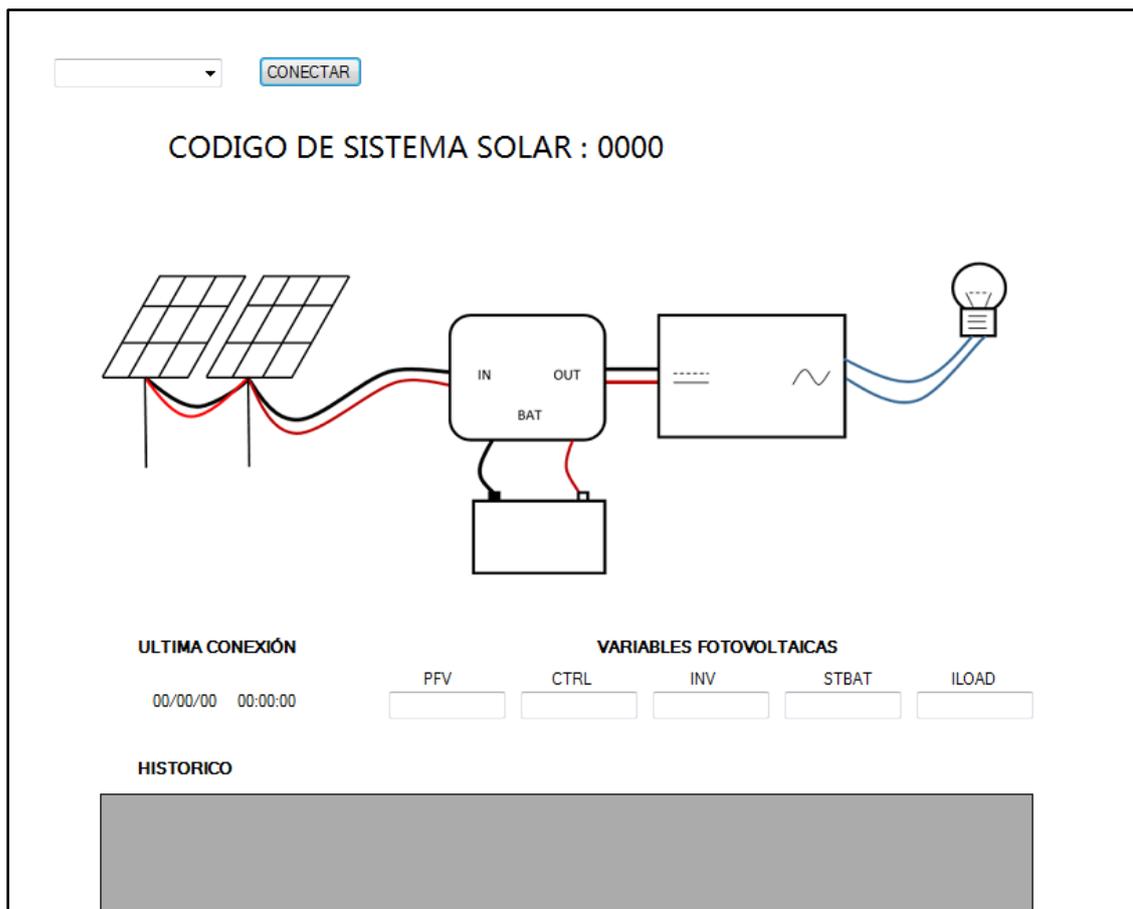


Figura 33. Interfaz gráfico realizado en Visual Basic 2010.
Fuente: Elaboración propia.

El programa elaborado en Visual Basic configura los puertos serial del computador con los valores iniciales de nombre, velocidad y bit de paridad. La instrucción condicional “IF” impide que exista duplicidad de puertos serial abierto como se muestra en la figura 34:

```

Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles Button1.Click
    If ComboBox1.Text = "" Then
        MsgBox("No deje casillas de configuración de puertos vacía", MsgBoxStyle.Critical, "Cuidado")
    Else
        SerialPort1.Close()

        If Button1.Text Is "CONECTAR" Then
            SerialPort1.PortName = ComboBox1.Text
            SerialPort1.BaudRate = 9600
            SerialPort1.Open()
            Button1.Text = "DESCONECTAR"

            ElseIf Button1.Text Is "DESCONECTAR" Then

                SerialPort1.Close()
                Button1.Text = "CONECTAR"
            End If
        End If

        SerialPort1.WriteLine("AT")
        SerialPort1.WriteLine("AT+CMGF=1")
        SerialPort1.WriteLine("AT+CNMI=1,2,0,0,0")

    End Sub

```

Figura 34. Segmento de programa, donde se visualiza la conexión al puerto serial y los comandos AT+ iniciales.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura se muestra el segmento del programa dedicado a separar la cadena de texto que se recibe por el puerto serie del Módulo SIM900, almacenar en variables y mostrar en la interfaz gráfica.

```

Dim TestArray() As String = Split(rx, ",")

txt_codigo.Text = TestArray(0)
TXT_PFV.Text = TestArray(1)
TXT_CTRL.Text = TestArray(2)
TXT_INV.Text = TestArray(3)
TXT_STBAT.Text = TestArray(4)
TXT_ILOAD.Text = TestArray(5)

Label2.Text = TXT_PFV.Text & "V"
Label10.Text = TXT_CTRL.Text & "V"
Label11.Text = TXT_INV.Text & "V"
Label13.Text = TXT_ILOAD.Text & "mA"
Label14.Text = TXT_STBAT.Text & "°C"

txt_fecha.Text = Today
txt_hora.Text = DateTime.Now.ToShortTimeString()

```

3.2.3. ALMACENAMIENTO EN BASE DE DATOS

Los datos recibidos del módulo emisor SMS, son almacenados para mantener un historial de eventos, esto permite realizar estudios ampliados del comportamiento de las instalaciones fotovoltaicas doméstica en zonas rurales. La base de datos MySQL permite el almacenamiento de grandes cargas de datos mediante sentencias llamadas “Query’s”.

La base de datos creada tiene como nombre *MONITORDB*, y dentro de ella la tabla de datos llamada *MONITORDB*, aquí se insertará los valores analizados y detallados en el Numeral 4.1.1:

- ✓ FECHA Y HORA
- ✓ CODIGO
- ✓ PFV
- ✓ BAT
- ✓ INV
- ✓ STBAT
- ✓ ILOAD

En la Figura 35, se observa la base de datos y la tabla creada donde se muestran las columnas configuradas con el tipo de variable a almacenar:

#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Comentarios
<input type="checkbox"/>	1	FECHA	datetime		Sí	NULL	
<input type="checkbox"/>	2	CODIGO	int(4)		Sí	NULL	
<input type="checkbox"/>	3	PFV	decimal(5,2)		Sí	NULL	
<input type="checkbox"/>	4	BAT	decimal(5,2)		Sí	NULL	
<input type="checkbox"/>	5	INV	decimal(5,2)		Sí	NULL	
<input type="checkbox"/>	6	STBAT	decimal(5,2)		Sí	NULL	
<input type="checkbox"/>	7	ILOAD	decimal(5,2)		Sí	NULL	

Figura 35. Visualización web de la tabla de datos para el almacenamiento de los datos del sistema de monitoreo.
Fuente: phpMyadmin.

En la Figura 36, se observa el código de conexión entre el software de monitoreo y la base de datos, mientras que en el Figura 37 se muestra los Query utilizados para insertar y mostrar los datos

```

Try
    conexion = New MySqlConnection()
    conexion.ConnectionString = "server=localhost;" & "user id=root;" & "password=17vasvcq;" & "database=monitordb;"
    conexion.Open()
    MessageBox.Show("Conectado al servidor")
Catch ex As MySqlException
    MessageBox.Show("No se ha podido conectar al servidor")
End Try

```

Figura 36. Segmento de código del software de monitoreo, donde se evidencia la conexión a la base de datos.
Fuente: Elaboración propia.

```

Dim query As String
query = "insert into monitordb (FECHA,CODIGO,PFV,BAT,INV,STBAT,ILOAD) values (NOW(),"
'" & TestArray(0) & "',' & TXT_PFV.Text & "',' & TXT_CTRL.Text & "',' & TXT_INV.Text & "','
'" & TXT_STBAT.Text & "',' & TXT_ILOAD.Text & "',')"
command = New MySqlCommand(query, conexion)
reader = command.ExecuteReader
conexion.Close()

Dim consulta As String
Dim adaptador As MySqlDataAdapter
Dim datos As DataSet

consulta = "SELECT *FROM monitordb.monitordb "
adaptador = New MySqlDataAdapter(consulta, conexion)
datos = New DataSet
adaptador.Fill(datos, "monitordb")
DataGridView1.DataSource = datos
DataGridView1.DataMember = "monitordb"

```

Figura 37. Segmento de código del software de monitoreo, donde se evidencia los Query de inserción y visualización de datos.
Fuente: Elaboración propio.

REPORTE SISTEMA DE MONITOREO							
Nombre	Destino		Fecha				
N°	Fecha y hora	Cod. instalacion	V. Paneles	V. Bateria	V. Inversor	Temp. Bateria	Corriente Carga
1	2017-08-08 23:32:30	8574	12.00 VDC	12.74 VDC	12.96 VDC	24.50 °C	45.00 mA
2	2017-08-08 23:32:02	1875	16.00 VDC	12.90 VDC	12.96 VDC	24.00 °C	45.00 mA
3	2017-08-08 23:30:25	5789	17.00 VDC	13.90 VDC	12.33 VDC	26.00 °C	16.00 mA
4	2017-08-08 23:28:49	1243	19.00 VDC	14.50 VDC	12.00 VDC	29.00 °C	40.00 mA

Figura 38. Visualización de la base de datos vía web.
Fuente: Elaboración propia.

3.3. TIEMPO DE IMPLEMENTACIÓN

El tiempo de implementación está dividido en seis etapas, con una duración de tres semanas, las cuales se expresan mediante un Diagrama de Gantt la cual se muestra en la Figura:

PROCESO	SEMANA 1					SEMANA 2					SEMANA 3					SEMANA 3				
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Análisis del sistema	X	X	X																	
Diseño del sistema				X	X	X														
Fabricación de chasis						X	X	X	X	X	X	X								
Emsamblado de componentes electrónicos						X	X	X												
Instalación en sistemas fotovoltaico													X	X	X					
Pruebas y correcciones																X	X	X	X	X

Figura 39. Diagrama de Gantt de la implementación del proyecto.

El análisis del sistema comprende el estudio de las variables a monitorear, como también la solución al método de transporte de la información al centro del control y almacenamiento en base de datos. Diseño del sistema involucra el desarrollo de la parte funcional y estética, como también los diseños que corresponden a placa electrónica y posicionamiento de componentes.

Terminado el análisis y diseño del sistema, se procede a elaborar los chasis con los grados de protección necesarios para proteger los circuitos internos, para las implementaciones piloto deberá fabricarse en una impresora 3D. Todos los componentes internos deberán ser ensamblados, soldados y probados, para poder instalarlos en las zonas rurales donde se requiera implementar el proyecto.

3.4. INVERSIÓN

Se analiza los costos por cada sistema de monitoreo implementado en una instalación fotovoltaica, y se compara con los costos actuales de monitoreo presencial. En la Tabla 8, se muestran cada uno de los componentes a utilizar al implementar el proyecto y sus costos en el mercado:

Tabla 8

Costos de cada componente del Módulo de Adquisición de Datos:

Dispositivo	Cantidad	Unidad	Costo
Microcontrolador PIC 18F4550	1	UND	S/. 14,20
SIM 900	1	UND	S/. 55,00
Sensor de corriente ACS71	1	UND	S/. 7,50
Sensor de temperatura NTSAOXH103	1	UND	S/. 12,00
Placa impresa	1	UND	S/. 25,00
Borneras	7	UND	S/. 0,30
Regulador de tensión 78L05	1	UND	S/. 0,20
Puerto USB	1	UND	S/. 0,30
Oscilador de Crystal	1	UND	S/. 0,50
Condensadores 22pF	2	UND	S/. 0,10
Condensadores de 100uF	2	UND	S/. 0,20
Espadines	1	UND	S/. 0,50
Resistencias	2	UND	S/. 0,01
Case de protección outdoor	1	UND	S/. 25,00
Servicio de soldadura	1	GLB	S/. 25,00
	Total		S/. 165,81

Nota. Elaboración propia.

Tabla 9

Costos de cada componente del Módulo Emisor/Receptor:

Dispositivo	Cantidad	Unidad	Costo
SIM 900	1	UND	S/. 55,00
Conversor USB – SERIAL	1	UND	S/. 15,00
Case de protección indoor	1	UND	S/. 15,00
	Total		S/. 85,00

Nota. Elaboración propia.

Se determina el costo mensual que genera implementar cada sistema de monitoreo durante el tiempo de vida de los dispositivos. En la Tabla 12, se calcula el costo mensual:

Tabla 10

Calculo de costo mensual de monitoreo mediante telemetría

Costo total	Vida útil del equipo	Costo mensual
250,81	36 meses	S/. 6,97

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 11, se muestran los costos que origina el monitoreo en sitio, con personal debidamente capacitado. Se tiene en cuenta la frecuencia de una revisión cada tres meses, y una muestra de 100 instalaciones fotovoltaicas:

Tabla 11

Calculo de costo mensual de monitoreo convencional

Total de paneles	Frecuencia de revisión	Cantidad de técnicos	Costo de técnicos trimestral	Costo mensual
100	Cada 3 meses	3	S/. 13.500,00	S/. 45,00

Nota. Elaboración propia.

Los costos mensuales de ambos modos de monitoreo evidencian una significativa disminución en los costos de operación que finalmente parte de ellos serán pagados por el abonado. Así mismo, se tiene en cuenta que la frecuencia de muestreo por el sistema de monitoreo es de cada seis horas, y en el caso del monitoreo presencial cada tres meses.

3.5. CONSUMO DE ENERGÍA

En el Capítulo 3.1 ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS, se ha indicado que el módulo en mención debe ser de mínimo consumo de energía para no alterar significativamente el almacenamiento en los bancos de batería, en la Tabla 12, se muestra el consumo el balance de consumo del sistema fotovoltaico doméstico:

Tabla 12

Consumo de sistema fotovoltaico doméstico en zona rural.

Dispositivo	Cantidad	Potencia W	Potencia total W
Paneles Fotovoltaicos	4	100	400
Controlador de carga	1	-10	-10
Foco Ahorrador	3	-15	-45
T.V a color	1	-80	-80
Radio	1	-20	-20
Toma para carga de celular	1	-10	-10
		Balance	235

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 13, se describen los consumos de energía aproximados del sistema de telemetría utilizando tecnología GSM, para monitorear variables fotovoltaicas domesticas rurales:

Tabla 13

Consumo del módulo de adquisición de datos.

Dispositivo	Cantidad	Consumo W
Microcontrolador PIC	1	0,1
Componentes	1	0,2
Sensor de corriente	1	1
Sensor de voltaje	1	1
Modulo emisor SMS	1	2
	Total	4,3

Nota. Elaboración propia.

En la Figura 40 se observa que el consumo es mínimo a comparación del balance de energía de los sistemas fotovoltaicos domésticos rurales, aunque se debe tener en cuenta que el Módulo de Adquisición de Datos no permanecerá todo el día operando (La

operación es cada seis horas), por lo que el comportamiento del consumo simulado se observa en la Figura 41:

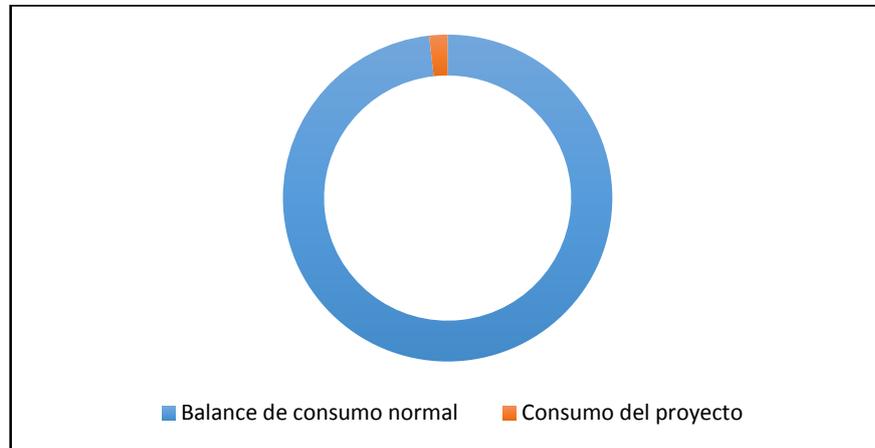


Figura 40. Balance de energía del sistema fotovoltaico, vs consumo del módulo de adquisición de datos.
Elaboración propia.

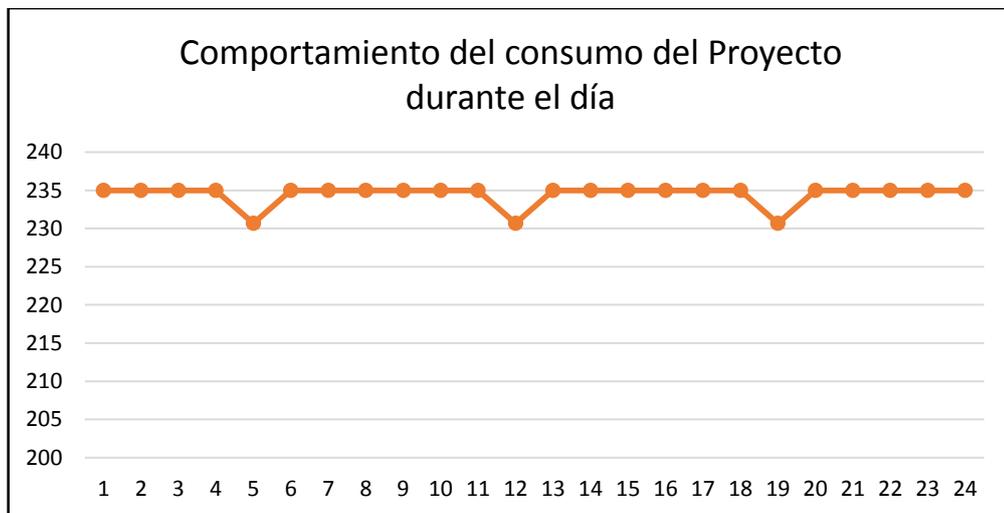


Figura 41. Comportamiento del consumo del módulo de adquisición de datos durante el día.
Elaboración propia.

Por lo tanto, el Módulo de Adquisición de datos cumple con lo analizado, y el impacto en el consumo de energía es mínimo e imperceptible.

3.6. ANALISIS DE CASUISTICA

Para determinar el origen de una incidencia reportada con el Módulo de Adquisición de datos, los operadores deben analizar los valores almacenados en la base de datos. En la Tabla 14, se presenta los rangos de valores permitidos y la codificación de errores para exceder los límites normales:

Tabla 14
Codificación de errores de las variables eléctricas fotovoltaicas domésticas en zonas rurales

Variable	Identificador	Valor mínimo	Valor máximo	< Voltaje mínimo	> Voltaje mínimo
VDC de entrada al controlador de carga	PFV	0	19	ERROR 1	ERROR 6
VDC de carga en las baterías	BAT	11,4	14	ERROR 2	ERROR 7
VDC de entrada en el inversor	INV	0	12	ERROR 3	ERROR 8
Temperatura de la batería	STBAT	-100	100	ERROR 4	ERROR 9
CAC de carga	ILOAD	0	2000 mA	ERROR 5	ERROR 10

Nota. Elaboración propia.

Se hace el uso de la información de la Tabla 15 para determinar el problema. Si al analizar los datos, se identifica más de un código de error los operadores deberán cruzar la información para determinar el problema.

Tabla 15

Descripción de origen y consecuencia de códigos de error.

Error	Origen	Consecuencia
ERROR 1	Posible fuga de corriente	Perdida de potencia en el sistema. Menos horas de energía.
ERROR 2	Posible fallo en el controlador de carga.	Carga lenta de la batería, menos horas de energía.
ERROR 3	Cualquier valor por debajo de 12V, posible falla en controlador de carga	Deterioro del inversor de carga
ERROR 4	Posible falla en sensor de temperatura	No origina problemas
ERROR 5	Posible fallo en sensor de corriente	No origina problemas
ERROR 6	Posible irradiación por encima de lo diseñado para el domicilio.	No origina problemas
ERROR 7	Posible fallo en el controlador de carga.	Deterioro de la batería
ERROR 8	Posible fallo en el controlador de carga.	Deterioro en el inversor
ERROR 9	Posible fallo en el sensor de temperatura	Deterioro de la batería
ERROR 10	Posible fallo en el sensor de temperatura	Posible sobrecarga de equipos conectados al sistema

Nota. Elaboración propia.

Si luego de hacer las consultas necesarias a la base de datos, los operadores observan que no existe información de una instalación fotovoltaica en más de 6 horas (Frecuencia de muestreo), se recomienda intentar volver a realizar la consulta 6 horas después. Finalmente, de no encontrarse información se deberá enviar un técnico al sistema fotovoltaico a una revisión en sitio.

PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas realizadas a ambos módulos están basadas en simulación del software ISIS PROTEUS y el software VISUAL STUDIO. Para efectos de estas pruebas se asume la comunicación por SMS como un medio de comunicación serial.

La primera prueba se visualiza en la Figura 35, el cual la interfaz muestra los valores cuando no se reciben datos por serie del computador.

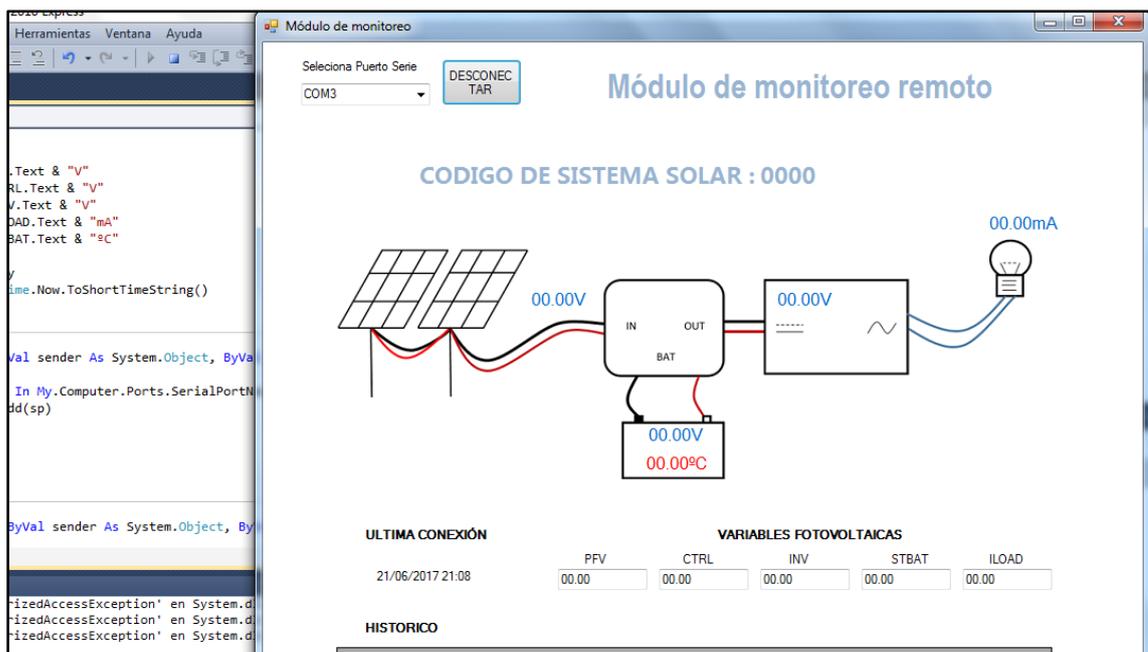


Figura 42. Imagen de la aplicación antes de recibir, datos por el puerto serie.
Fuente: Elaboración propia.

En la segunda prueba se sometió a la interfaz gráfica a un envío de datos por el puerto serie del Microcontrolador con los valores promedio establecidos en la simulación del Módulo de Adquisición de Datos en el punto 3.1.1.4:

- ✓ CODIGO=1234
- ✓ PFV = 19 Voltios
- ✓ BAT = 14.5 Voltios
- ✓ INV = 12 Voltios
- ✓ STBAT = 29 °C
- ✓ ILOAD = 40mA

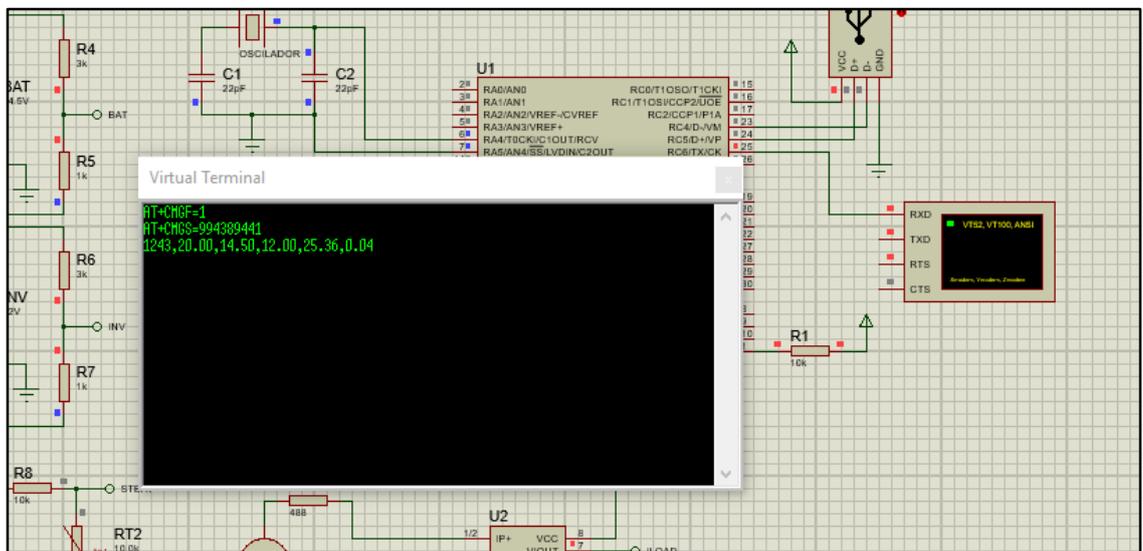


Figura 43. Imagen de la simulación del circuito del Módulo de Adquisición de Datos en el software ISIS PROTEUS versión 7.7, donde se muestra los resultados de la comunicación serial con los valores de las variables monitoreados.

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 37 se visualiza la aplicación mostrando los valores separados de los datos obtenidos por el puerto serie, de una forma amigable y sencilla:

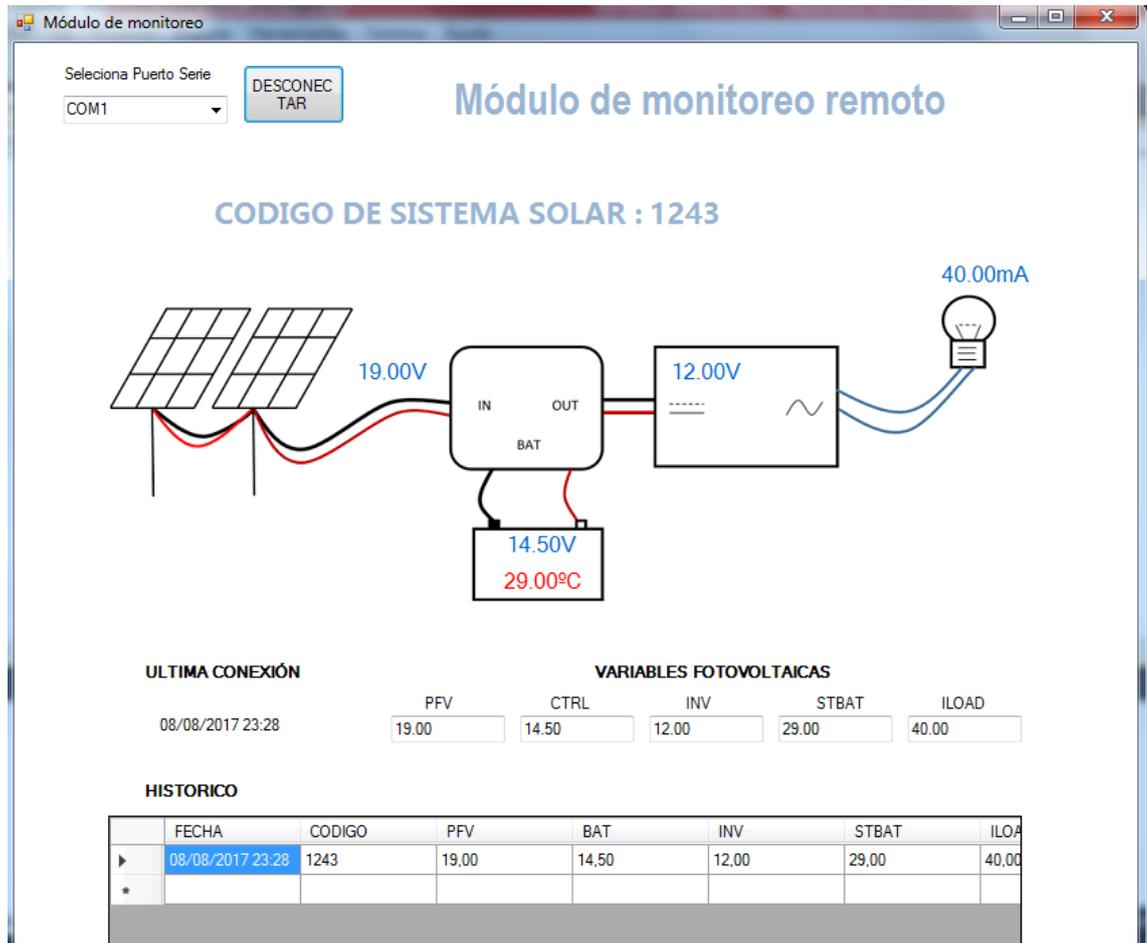


Figura 44. Imagen de aplicación cuando recibe los datos desde el Módulo SIM900.
Fuente: Elaboración propia.

Se realiza una tercera prueba con los siguientes datos de las variables críticas simuladas:

- ✓ CODIGO=5789
- ✓ PFV = 17 Voltios
- ✓ BAT = 13.9 Voltios
- ✓ INV = 12.33 Voltios
- ✓ STBAT = 26 °C
- ✓ ILOAD = 16Ma1

Para poder simular estas lecturas, se deberá cambiar los voltajes en los divisores de tensión que simulan las señales críticas fotovoltaicas, lo cual se puede verificar en la Figura 44

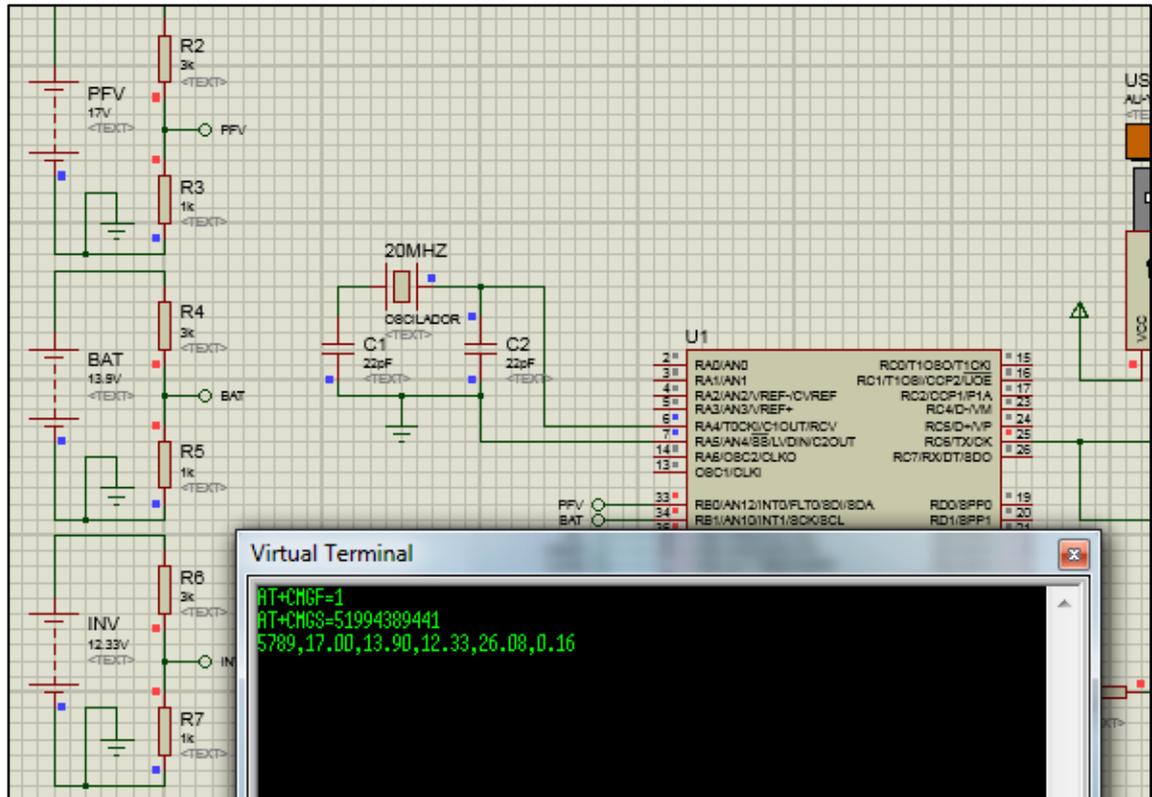


Figura 45. Simulación en software ISIS PROTEUS.
Fuente: Elaboración propia.

Las tramas que se visualizan en la Figura 38, llegan al puerto serie del computador por medio del Módulo SIM900, mediante la comunicación SMS. En la Figura 39 se visualiza la interfaz gráfica mostrando los valores de una forma amigable y comprensible:

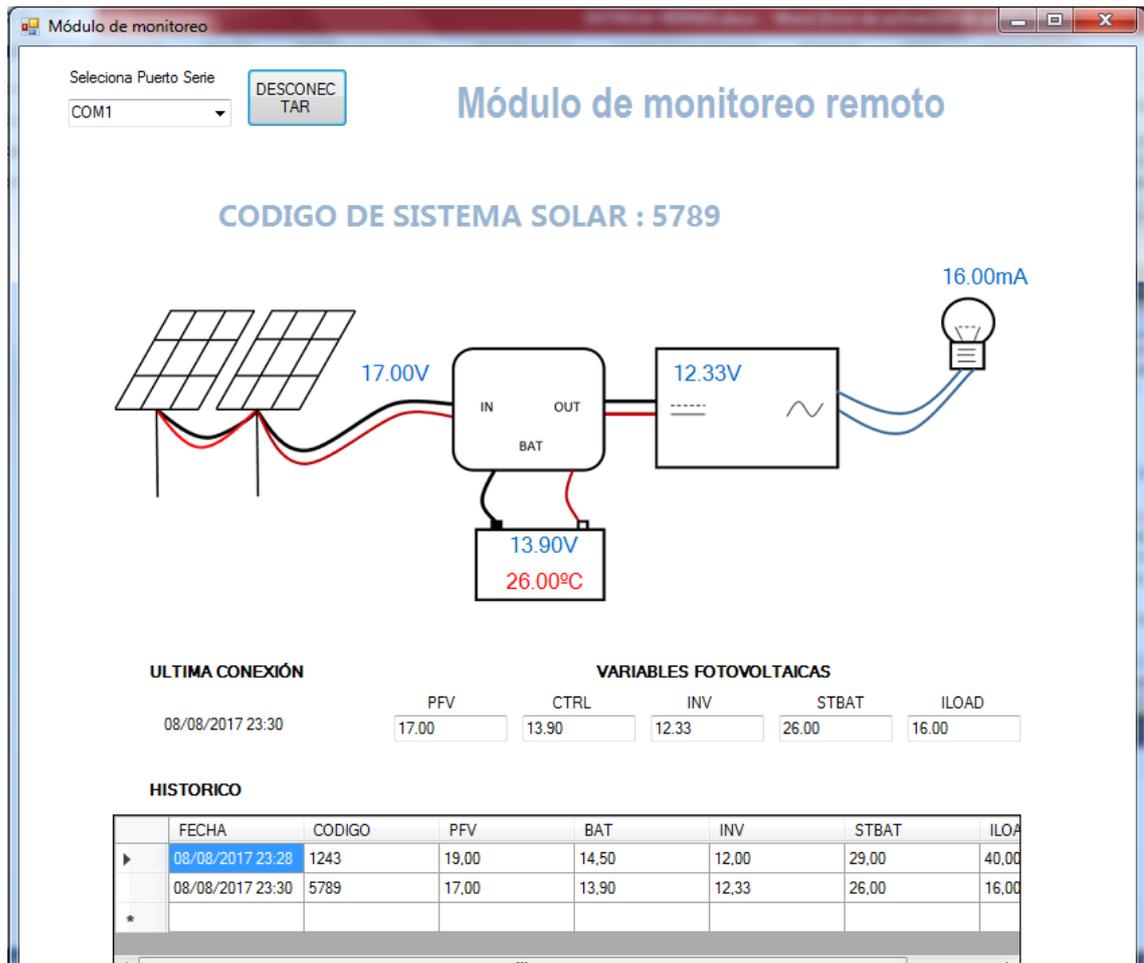


Figura 46. Imagen de la interfaz gráfica mostrando los valores de la simulación de parámetros críticos fotovoltaico.

Fuente: Elaboración propia.

Las pruebas realizadas en un entorno simulado, evidenciaron el correcto funcionamiento del diseño del sistema de telemetría utilizando tecnología GSM, para monitorear variables fotovoltaicas domesticas rurales.

CONCLUSIONES

1. Se logró diseñar un sistema para monitorear las variables críticas de un sistema fotovoltaico domestico rural, mediante la medición de señales analógicas y procesamiento digital para envío de la información por tecnología GSM vía mensaje de texto SMS, lo que disminuirá en gran medida la falta de reparaciones en los sistemas fotovoltaicos domésticos rurales.
2. Se logró diseñar un módulo de adquisición basados en el Microcontrolador PIC 18F4550 mediante lectura analógica fuera del rango de 5 voltios continuos sin voltaje de referencia fijos, utilizando un circuito divisor de voltajes.
3. Se logró integrar el módulo SIM900 con el módulo de adquisición de datos mediante el protocolo RS232 y utilizando comandos AT+, para el envío de texto concatenado con la información de las variables críticas del sistema fotovoltaico.
4. Se logró diseñar una interfaz gráfica elaborada en Visual Basic, con el software Visual Studio, el cual procesa la información proveniente del módulo SIM900 y muestra las variables críticas del módulo de adquisición de datos de una forma amigable. Lo que permitirá a las empresas operadoras del servicio de soporte y mantenimiento poder predecir, corregir o reparar un sistema fotovoltaico doméstico ubicado en zona rural.

RECOMENDACIONES

1. Debido a la ubicación de los sistemas fotovoltaicos rurales, se recomienda encapsular el módulo de adquisición de datos en un chasis impermeable de alto grado de protección, para evitar que sufra daños y posibles fallos eléctricos por lluvias o insectos que pueden deteriorar el circuito.
2. Si bien el sistema aplica a zonas rurales con cobertura GSM, con un mayor presupuesto se pueden adquirir sistemas auxiliares que repita la señal del módulo de adquisición de datos hasta un punto con cobertura.
3. Como trabajo futuro se podría incorporar a este sistema más variables a monitorear, es así como un sensor de irradiación podría mejorar aún más la precisión de la información para la toma de decisiones del centro de control.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] OSINERGMIN. (2014). Plan Nacional de Electrificación Rural [WEB] Recuperado de <http://www.osinergmin.gob.pe/>
- [2] ADINELSA. (2011). Resultados Del Proyecto Piloto de Administración de Sistemas Fotovoltaicos Domésticos (SFD) Periodo 2002 Al 2005 en el departamento de Pasco y Propuesta de Subvención E Incentivos. Recuperado el 13 de agosto de 2017, de [adinelsa.com](http://www.adinelsa.com): <http://www.adinelsa.com.pe/introduccionsolar.aspx>
- [3] Sumano, J (2012). *Diseño y construcción de un sistema de seguimiento fotovoltaico* (Tesis para titulación). UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MEXTECA. México.
- [4] Ángel, J. (2010). *Diseño, construcción e implementación de un sistema de telemetría utilizando tecnología GSM; para el monitoreo de los parámetros de temperatura, presión de aceite, velocidad de giro del motor y velocidad de desplazamiento de un vehículo Chevrolet optra 2008* (Tesis pregrado). UPS. Ecuador.
- [5] Pérez, L. (2006) *Supervisión y monitoreo de procesos utilizando mensajes de texto desde teléfonos celulares, se ha logrado integrar al teléfono celular con la computadora mediante la implementación del protocolo FBUS, potenciando las aplicaciones de ambos dispositivos* (Tesis de titulación). UNMS. Lima.
- [6] Bocanegra, R (2012). En su trabajo de investigación: “*Desarrollo de una aplicación web para el monitoreo de vehículos con dispositivos GPS que comercializa una empresa de telecomunicaciones* (Tesis de titulación).URP. Lima.
- [7] Merino, L. (2010). *Energía renovable para todos. España*. Energy Management Agency.
- [8] Julieta C. (Primera edición). (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Canarias. Instituto Tecnológico de Canarias, S.A
- [9] YINGLI SOLAR (2015). Especificaciones Técnicas de panel solar YGE 60 CELL. Recuperado de:
http://d9no22y7yqre8.cloudfront.net/assets/uploads/products/downloads/1_ESP_DS_YGE60Cell-29b_35mm_3BB_EU_EN_20150626_v04_YBS.pdf

[10] MORNINGSTAR (2014). *Especificaciones Técnicas de controlador de carga solar PROSTAR-30*. Recuperado de: http://www.morningstarcorp.com/wp-content/uploads/2014/02/ProStarENG2_11.pdf

[11] MORANTE, C (2015): *Curso de Telemetría*. Recuperado de: <http://www.moranteracingmotos.es/wp-content/uploads/2014/06/curso-intensivo-sevilla-4-octubre.pdf>

[12] MICROCHIP (2009). *Hoja de datos del Microcontrolador PIC 18F4550*. Recuperado de: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>

[13] SIMCOM (2010). *Hardware Desing v.2*. Recuperado de: datasheet.octopart.com/SIM900-Simcom-datasheet-17594122.pdf

[14] TEXAS INSTRUMENTS. INCORPORATED (2003). *Hoja de datos del dispositivo regulador de voltaje 78L05*. Recuperado de: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>

ANEXOS

ANEXO A
HOJA DE DATOS DE LOS DISPOSITIVOS UTILIZADOS EN EL PROYECTO



MICROCHIP PIC18F2455/2550/4455/4550

28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology

Universal Serial Bus Features:

- USB V2.0 Compliant
- Low Speed (1.5 Mb/s) and Full Speed (12 Mb/s)
- Supports Control, Interrupt, Isochronous and Bulk Transfers
- Supports up to 32 Endpoints (16 bidirectional)
- 1 Kbyte Dual Access RAM for USB
- On-Chip USB Transceiver with On-Chip Voltage Regulator
- Interface for Off-Chip USB Transceiver
- Streaming Parallel Port (SPP) for USB streaming transfers (40/44-pin devices only)

Power-Managed Modes:

- Run: CPU on, Peripherals on
- Idle: CPU off, Peripherals on
- Sleep: CPU off, Peripherals off
- Idle mode Currents Down to 5.8 μ A Typical
- Sleep mode Currents Down to 0.1 μ A Typical
- Timer1 Oscillator: 1.1 μ A Typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1 μ A Typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

Flexible Oscillator Structure:

- Four Crystal modes, including High-Precision PLL for USB
- Two External Clock modes, Up to 48 MHz
- Internal Oscillator Block:
 - 8 user-selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
 - User-tunable to compensate for frequency drift
- Secondary Oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Dual Oscillator Options allow Microcontroller and USB module to Run at Different Clock Speeds
- Fail-Safe Clock Monitor:
 - Allows for safe shutdown if any clock stops

Peripheral Highlights:

- High-Current Sink/Source: 25 mA/25 mA
- Three External Interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
 - Capture is 16-bit, max. resolution 5.2 ns ($T_{cy}/16$)
 - Compare is 16-bit, max. resolution 83.3 ns (T_{cy})
 - PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
 - Multiple output modes
 - Selectable polarity
 - Programmable dead time
 - Auto-shutdown and auto-restart
- Enhanced USART module:
 - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module Supporting 3-Wire SPI (all 4 modes) and I²C™ Master and Slave modes
- 10-Bit, Up to 13-Channel Analog-to-Digital Converter (A/D) module with Programmable Acquisition Time
- Dual Analog Comparators with Input Multiplexing

Special Microcontroller Features:

- C Compiler Optimized Architecture with Optional Extended Instruction Set
- 100,000 Erase/Write Cycle Enhanced Flash Program Memory Typical
- 1,000,000 Erase/Write Cycle Data EEPROM Memory Typical
- Flash/Data EEPROM Retention: > 40 Years
- Self-Programmable under Software Control
- Priority Levels for Interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 41 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-Supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via Two Pins
- In-Circuit Debug (ICD) via Two Pins

PIC18F2455/2550/4455/4550

TABLE 1-1: DEVICE FEATURES

Features	PIC18F2455	PIC18F2550	PIC18F4455	PIC18F4550
Operating Frequency	DC – 48 MHz			
Program Memory (Bytes)	24576	32768	24576	32768
Program Memory (Instructions)	12288	16384	12288	16384
Data Memory (Bytes)	2048	2048	2048	2048
Data EEPROM Memory (Bytes)	256	256	256	256
Interrupt Sources	19	19	20	20
I/O Ports	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C, D, E
Timers	4	4	4	4
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	1	1
Enhanced Capture/ Compare/PWM Modules	0	0	1	1
Serial Communications	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART
Universal Serial Bus (USB) Module	1	1	1	1
Streaming Parallel Port (SPP)	No	No	Yes	Yes
10-Bit Analog-to-Digital Module	10 Input Channels	10 Input Channels	13 Input Channels	13 Input Channels
Comparators	2	2	2	2
Resets (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT			
Programmable Low-Voltage Detect	Yes	Yes	Yes	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes	Yes	Yes	Yes
Instruction Set	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled			
Packages	28-Pin PDIP 28-Pin SOIC	28-Pin PDIP 28-Pin SOIC	40-Pin PDIP 44-Pin QFN 44-Pin TQFP	40-Pin PDIP 44-Pin QFN 44-Pin TQFP

SIM900 GSM/GPRS Module



The SIM900 is a complete Quad-band GSM/GPRS solution in a SMT module which can be embedded in the customer applications.

Featuring an industry-standard interface, the SIM900 delivers GSM/GPRS 850/900/1800/1900MHz performance for voice, SMS, Data, and Fax in a small form factor and with low power consumption. With a tiny configuration of 24mm x 24mm x 3 mm, SIM900 can fit almost all the space requirements in your M2M application, especially for slim and compact demand of design.

- SIM900 is designed with a very powerful single-chip processor integrating AMR926EJ-S core
- Quad - band GSM/GPRS module with a size of 24mmx24mmx3mm
- SMT type suit for customer application
- An embedded Powerful TCP/IP protocol stack
- Based upon mature and field-proven platform, backed up by our support service, from definition to design and production

General features

- Quad-Band 850/ 900/ 1800/ 1900 MHz
- GPRS multi-slot class 10/8
- GPRS mobile station class B
- Compliant to GSM phase 2/2+
 - Class 4 (2 W @850/ 900 MHz)
 - Class 1 (1 W @ 1800/1900MHz)
- Dimensions: 24* 24 * 3 mm
- Weight: 3.4g
- Control via AT commands (GSM 07.07 ,07.05 and SIMCOM enhanced AT Commands)
- SIM application toolkit
- Supply voltage range 3.4 ... 4.5 V
- Low power consumption
- Operation temperature: -30 °C to +80 °C

Specifications for fax

- Group 3, class 1

Specifications for data

- GPRS class 10: max. 85.6 kbps (downlink)
- PBCCH support
- Coding schemes CS 1, 2, 3, 4
- CSD up to 14.4 kbps
- USSD
- Non transparent mode
- PPP-stack

Specifications for SMS via GSM / GPRS

- Point-to-point MO and MT
- SMS cell broadcast
- Text and PDU mode

Drivers

- MUX Driver

Specifications for voice

- Tricodec
 - Half rate (HR)
 - Full rate (FR)
 - Enhanced Full rate (EFR)

- Hands-free operation (Echo suppression)
- AMR
 - Half Rate(HR)
 - Full Rate(FR)

Interfaces

- Interface to external SIM 3V/ 1.8V
- analog audio interface
- RTC backup
- SPI interface
- Serial interface
- Antenna pad
- I2C
- GPIO
- PWM
- ADC

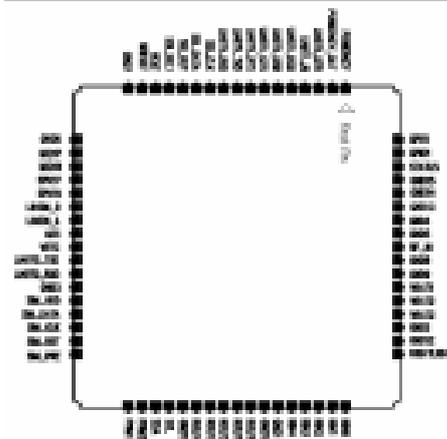
Compatibility

- AT cellular command interface

Approvals (in planning)

- CE
- FCC
- ROHS
- PTCRB
- GCF
- AT&T
- IC
- TA

Pin Assignment

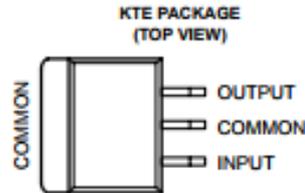
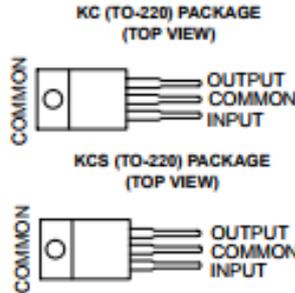


More about SIM900 module, Please contact: Tel:+86 21 32523300
 Fax:+86 21 32523301
 Email:simcom@sim.com

μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1978 – REVISED MAY 2003

- 3-Terminal Regulators
- Output Current up to 1.5 A
- Internal Thermal-Overload Protection
- High Power-Dissipation Capability
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation



description/ordering information

This series of fixed-voltage integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These applications include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. Each of these regulators can deliver up to 1.5 A of output current. The internal current-limiting and thermal-shutdown features of these regulators essentially make them immune to overload. In addition to use as fixed-voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents, and also can be used as the power-pass element in precision regulators.

ORDERING INFORMATION

T _J	V _{O(NOM)} (V)	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 125°C	5	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7805CKTER	μA7805C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7805CKC	
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7805CKCS	
	8	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7808CKTER	μA7808C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7808CKC	
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7808CKCS	
	10	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7810CKTER	μA7810C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7810CKC	
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7810CKCS	
	12	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7812CKTER	μA7812C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7812CKC	
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7812CKCS	
	15	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7815CKTER	μA7815C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7815CKC	
TO-220, short shoulder (KCS)		Tube of 20	μA7815CKCS		
24	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7824CKTER	μA7824C	
	TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7824CKC		

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at

μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

recommended operating conditions

		MIN	MAX	UNIT	
V _I	Input voltage	μA7805C	7	25	V
		μA7808C	10.5	25	
		μA7810C	12.5	28	
		μA7812C	14.5	30	
		μA7815C	17.5	30	
		μA7824C	27	38	
I _O	Output current		1.5	A	
T _J	Operating virtual junction temperature	μA7800C series	0	125	°C

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, V_I = 10 V, I_O = 500 mA (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T _J [†]	μA7805C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	I _O = 5 mA to 1 A, V _I = 7 V to 20 V, P _D ≤ 15 W	25°C	4.8	5	5.2	V
		0°C to 125°C	4.75		5.25	
Input voltage regulation	V _I = 7 V to 25 V	25°C	3			mV
	V _I = 8 V to 12 V		1			
Ripple rejection	V _I = 8 V to 18 V, f = 120 Hz	0°C to 125°C	62	78		dB
Output voltage regulation	I _O = 5 mA to 1.5 A	25°C	15			mV
	I _O = 250 mA to 750 mA		5			
Output resistance	f = 1 kHz	0°C to 125°C	0.017			Ω
Temperature coefficient of output voltage	I _O = 5 mA	0°C to 125°C	-1.1			mV/°C
Output noise voltage	f = 10 Hz to 100 kHz	25°C	40			μV
Dropout voltage	I _O = 1 A	25°C	2			V
Bias current	V _I = 7 V to 25 V	25°C	4.2			mA
			8			
Bias current change	I _O = 5 mA to 1 A	0°C to 125°C	1.3			mA
			0.5			
Short-circuit output current		25°C	750			mA
Peak output current		25°C	2.2			A

[†] Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

μA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 14\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7808C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$	$V_I = 10.5\text{ V to }23\text{ V}$, 25°C	7.7	8	8.3	V
		$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	7.6		8.4	
Input voltage regulation	$V_I = 10.5\text{ V to }25\text{ V}$	25°C		6	160	mV
	$V_I = 11\text{ V to }17\text{ V}$			2	80	
Ripple rejection	$V_I = 11.5\text{ V to }21.5\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	55	72		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	160	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	80	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		0.016		Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		-0.8		mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C		52		μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.3	8	mA
Bias current change	$V_I = 10.5\text{ V to }25\text{ V}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C		450		mA
Peak output current		25°C		2.2		A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33- μF capacitor across the input and a 0.1- μF capacitor across the output.

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 17\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7810C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$	$V_I = 12.5\text{ V to }25\text{ V}$, 25°C	9.6	10	10.4	V
		$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	9.5	10	10.5	
Input voltage regulation	$V_I = 12.5\text{ V to }28\text{ V}$	25°C		7	200	mV
	$V_I = 14\text{ V to }20\text{ V}$			2	100	
Ripple rejection	$V_I = 13\text{ V to }23\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	55	71		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	200	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	100	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		0.018		Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		-1		mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C		70		μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.3	8	mA
Bias current change	$V_I = 12.5\text{ V to }28\text{ V}$	$0^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	

**μA7800 SERIES
POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS**

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 19\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7812C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 14.5\text{ V to }27\text{ V}$, $P_D \leq 15\text{ W}$	25°C	11.5	12	12.5	V
		0°C to 125°C	11.4		12.6	
Input voltage regulation	$V_I = 14.5\text{ V to }30\text{ V}$	25°C		10	240	mV
	$V_I = 16\text{ V to }22\text{ V}$			3	120	
Ripple rejection	$V_I = 15\text{ V to }25\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	55	71		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	240	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	120	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C		0.018		Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C		-1		mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C		75		μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.3	8	mA
Bias current change	$V_I = 14.5\text{ V to }30\text{ V}$	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C		350		mA
Peak output current		25°C		2.2		A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33-μF capacitor across the input and a 0.1-μF capacitor across the output.

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 23\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7815C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $V_I = 17.5\text{ V to }30\text{ V}$, $P_D \leq 15\text{ W}$	25°C	14.4	15	15.6	V
		0°C to 125°C	14.25		15.75	
Input voltage regulation	$V_I = 17.5\text{ V to }30\text{ V}$	25°C		11	300	mV
	$V_I = 20\text{ V to }26\text{ V}$			3	150	
Ripple rejection	$V_I = 18.5\text{ V to }28.5\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	54	70		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	300	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	150	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C		0.019		Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C		-1		mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C		90		μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.4	8	mA
Bias current change	$V_I = 17.5\text{ V to }30\text{ V}$	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	

APPLICATION INFORMATION

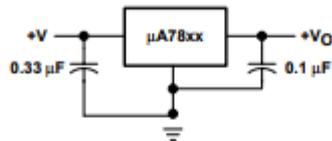


Figure 1. Fixed-Output Regulator

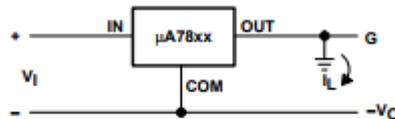
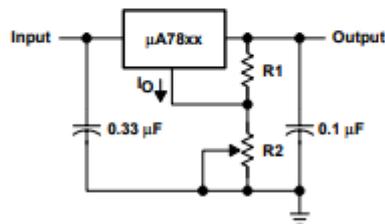


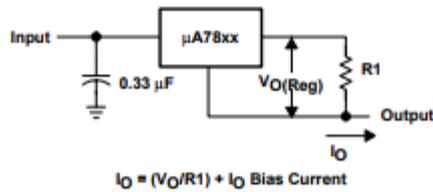
Figure 2. Positive Regulator in Negative Configuration (V_I Must Float)



NOTE A: The following formula is used when V_{xx} is the nominal output voltage (output to common) of the fixed regulator:

$$V_O = V_{xx} + \left(\frac{V_{xx}}{R1} + I_O \right) R2$$

Figure 3. Adjustable-Output Regulator



ANEXO B
CODIGO FUENTE DEL MODULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

```

#include <18f4550.h> //Definimos la librería del PIC a utilizar.
#device adc=10 //Establecemos la conversión analógica digital a 10 bits.
#FUSES HS,MCLR,PUT,BROWNOUT //Definimos los utilidades del PIC.
#use delay(clock=20000000) //El oscilador que estamos usando.
#use rs232(baud=9600,xmit=pin_c6,rcv=pin_c7,bits=8) //Velocidad serial.
#include <math.h>

float PFV_1,BAT_1, INV_1,STBAT_1,ILOAD_1,RT; //Declaración de variables
auxiliares.
float PFV,BAT, INV,STBAT,ILOAD; //Declaración de varibales del sistema.

long CODIGO=5789; //Codigo del sistema fotovoltaico.
long i=0; //Variable auxiliar.

#int_TIMER1 //Vector de interrupción.

void TIMER1_isr(void)//Función de interrupción por desbordamiento TMR1
{
    if (i==2)
    {
        set_adc_channel(12); //Canal ANX a leer.
        delay_us(20); //Tiempo de gracia para la lectura.
        PFV_1=read_adc(); //Lectura almacenada en una variable.
        delay_us(20);

        set_adc_channel(10); //Canal ANX a leer.
        delay_us(20); //Tiempo de gracia para la lectura.
        BAT_1=read_adc(); //Lectura almacenada en una variable.
        delay_us(20);

        set_adc_channel(8); //Canal ANX a leer.
        delay_us(20); //Tiempo de gracia para la lectura.
    }
}

```

```

INV_1=read_adc();           //Lectura almacenada en una variable.
delay_us(20);

set_adc_channel(9);         //Canal ANX a leer.
delay_us(20);              //Tiempo de gracia para la lectura.
STBAT_1=read_adc();        //Lectura almacenada en una variable.
delay_us(20);

set_adc_channel(11);       //Canal ANX a leer.
delay_us(20);              //Tiempo de gracia para la lectura.
ILOAD_1=read_adc();        //Lectura almacenada en una variable.
delay_us(20);

PFV=PFV_1*20/1023;         //Conversión inversa de 10 bits a valor absoluto.
BAT=BAT_1*20/1023;         //Conversión inversa de 10 bits a valor
absoluto.
INV=INV_1*20/1023;         // Conversión inversa de 10 bits a valor absoluto.

ILOAD_1=ILOAD_1*5/1023;    // Conversión inversa de 10 bits a valor absoluto.
ILOAD_1= (ILOAD_1 - 2.5)/0.185; // Aplicamos la ecuación anterior.
ILOAD=ILOAD_1*1.1107;

STBAT_1= STBAT_1*5/1023;   // Conversión inversa de 10 bits a valor absoluto.

RT= STBAT_1*10000/(5.0-STBAT_1); // Calculamos Rt.
STBAT_1=log(RT/10000.0);
STBAT_1=(1.0/298.15)+(STBAT_1*(1.0/3380.0)); // Hallamos la temperatura en K.
STBAT_1=1.0/STBAT_1;
STBAT=STBAT_1-273.25;      // Realizamos la conversión en °C.

printf("AT+CMGF=1\r");
delay_ms(1000);

```

```

printf("AT+CMGS=51994389441\r");
delay_ms(1000);

printf("%ID,%3.2f,%3.2f,%3.2f,%3.2f,%3.2f\r",CODIGO,PFV,BAT,INV,STBAT,ILOAD);

delay_ms(100);
putchar(0x1a);
delay_ms(100);
printf("\r");
delay_ms(10000);
set_timer1(0);
i=0;
}
i++;
set_timer1(0);
}

void main(void)
{
setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_8); //Setup timer: Reloj interno,
preescaler= 8
enable_interrupts(INT_TIMER1); //Habilito interrupción particular del TIMER1
enable_interrupts(GLOBAL); //Habilito interrupciones globales
set_timer1(0); //Carga del TMR1

setup_adc_ports(ALL_ANALOG); //Selecciona el puerto a realizar la conversion
setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL); //Selecciona el reloj de conversion
while(1)
{

}
}
}

```

ANEXO C
CODIGO FUENTE DEL SOFTWARE DE MONITOREO

```

Imports MySql.Data.MySqlClient

Public Class AAQAS
    Private Sub SerialPort1_DataReceived(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.IO.Ports.SerialDataReceivedEventArgs) Handles SerialPort1.DataReceived

        End Sub

    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles Button1.Click
        Dim command As MySqlCommand
        Dim conexion = New MySqlConnection
        Dim reader As MySqlDataReader

        Try
            conexion = New MySqlConnection()
            conexion.ConnectionString = "server=localhost;" & "user id=root;" & "password=17vasvcq;" & "database=monitordb;"
            conexion.Open()
            MessageBox.Show("Conectado al servidor")
        Catch ex As MySqlException
            MessageBox.Show("No se ha podido conectar al servidor")
        End Try

        If ComboBox1.Text = "" Then
            MsgBox("No deje casillas de configuración de puertos vacía",
                MsgBoxStyle.Critical, "Cuidado")
        Else
            SerialPort1.Close()

            If Button1.Text Is "CONECTAR" Then
                SerialPort1.PortName = ComboBox1.Text
                SerialPort1.BaudRate = 9600
                SerialPort1.Open()
                Button1.Text = "DESCONECTAR"

            ElseIf Button1.Text Is "DESCONECTAR" Then

                SerialPort1.Close()
                Button1.Text = "CONECTAR"
            End If
        End If

        Dim rx As String

        rx = "8574,12.00,12.74,12.96,24.50,45.00"
        'rx = "0000,00.00,00.00,00.00,00.00,00.00"
        'SerialPort1.ReadByte()
        'Returns an array containing "Look", "at", and "these!".

        Dim TestArray() As String = Split(rx, ",")

        txt_codigo.Text = TestArray(0)
        TXT_PFV.Text = TestArray(1)

        TXT_CTRL.Text = TestArray(2)
    End Sub
End Class

```

```

TXT_INV.Text = TestArray(3)
TXT_STBAT.Text = TestArray(4)
TXT_ILOAD.Text = TestArray(5)

Label12.Text = TXT_PFV.Text & "V"
Label110.Text = TXT_CTRL.Text & "V"
Label111.Text = TXT_INV.Text & "V"
Label113.Text = TXT_ILOAD.Text & "mA"
Label114.Text = TXT_STBAT.Text & "eC"

txt_fecha.Text = Today
txt_hora.Text = DateTime.Now.ToShortTimeString()

Dim query As String
query = "insert into monitordb (FECHA,CODIGO,PFV,BAT,INV,STBAT,ILOAD)
values (NOW(),'" & TestArray(0) & "',''" & TXT_PFV.Text & "',''" & TXT_CTRL.Text &
"',''" & TXT_INV.Text & "',''" & TXT_STBAT.Text & "',''" & TXT_ILOAD.Text & "',''"
command = New MySqlCommand(query, conexion)
reader = command.ExecuteReader
conexion.Close()

Dim consulta As String
Dim adaptador As MySqlDataAdapter
Dim datos As DataSet

consulta = "SELECT *FROM monitordb.monitordb "
adaptador = New MySqlDataAdapter(consulta, conexion)
datos = New DataSet
adaptador.Fill(datos, "monitordb")
DataGridView1.DataSource = datos
DataGridView1.DataMember = "monitordb"

End Sub

Private Sub Form1_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles MyBase.Load

    For Each sp As String In My.Computer.Ports.SerialPortNames
        ComboBox1.Items.Add(sp)
    Next

End Sub

Private Sub Label11_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Label11.Click

End Sub

Private Sub Label13_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Label13.Click

```

```
End Sub

Private Sub Label16_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Label16.Click

End Sub

Private Sub Label17_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

End Sub
End Class
```