

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Diseño de dispositivo de ubicación
de fallas en tiempo real mediante
un sistema de comunicación para
seccionadores cutout**

Miguel Angel López Capcha
Arnold Thanny Medina Sánchez

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

Asesor

Ing. Luis Bravo de la Cruz

DEDICATORIA

A nuestros padres, hermanos y todos nuestros seres queridos por brindarnos su apoyo incondicional y darnos las fuerzas necesarias para lograr nuestras metas.

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas de gran sabiduría que apoyaron en mi formación personal y profesional, que hicieron posible el desarrollo de la presente tesis.

Debo agradecer de manera especial y sincera al Ing. Luis Bravo de la Cruz, gerente técnico de Electrocentro S.A., por el apoyo incondicional en nuestra formación técnica y humanística y como guía en el desarrollo de la tesis; de igual manera al Ing. Juan Aguilar Molina, jefe del Centro de Control y Operaciones (CCO) de la empresa Electrocentro S. A., por todos los conocimientos brindados dentro durante nuestra etapa como practicantes. Así mismo, es necesario expresar nuestro más sincero agradecimiento a los ingenieros especialistas en protecciones de Electrocentro S.A: Ing. Luis Alarcón Anchayhua, Ing. Marco Ordoñez Trujillo, e Ing. Dennis Suarez Buitron por el gran apoyo durante nuestra estadía en el centro de control y operaciones de Electrocentro S.A.

ÍNDICE

1	CAPÍTULO I.....	20
	PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	20
1.1	Planteamiento del Problema.....	20
1.2	Formulación del Problema	22
1.3	Objetivos	22
1.3.1	Objetivo principal.....	22
1.3.2	Objetivos secundarios	23
1.4	Justificación e Importancia.....	23
2	CAPÍTULO II	26
	MARCO TEORICO.....	26
2.1	Estado del Estudio.....	26
2.2	Aspectos Generales de los Sistemas Eléctricos.....	26
2.2.1	Sistema de energía eléctrica	26
2.2.2	Transformador de distribución	27
2.3	Protección del Sistema de Distribución.....	28
2.3.1	Dispositivos de protección	29
2.3.2	Coordinación de protecciones en sistemas de distribución	33
2.3.3	Indicadores SAIFI - SAIDI	34
4	CAPÍTULO III.....	36
	METODOLOGÍA	36
4.1	Selección de Dispositivo a Requerir	36
4.1.1	Dispositivos para el sistema de comunicación	37
4.1.2	Dispositivos para el sistema de control	41
4.1.3	Dispositivos para el sistema de alimentación.....	45
4.1.4	Diseño conceptual del dispositivo.....	48
4.1.5	Concepto de solución	54

4.1.6	Aplicación de alarmador de fusible quemado	54
4.1.7	Modo de operación.....	57
CAPÍTULO 4.....		59
5	DESARROLLO DEL DISPOSITIVO	59
5.1	Diseño Electrónico	59
5.1.1	Circuito electrónico	59
5.1.2	Diagrama PCB.....	67
5.2	Diseño de Control.....	69
5.2.1	Funciones del microcontrolador	69
5.2.2	PIC18F2550	69
5.2.3	Modo <i>sleep</i>	73
5.2.4	<i>Watchdog timer</i>	74
5.2.5	Interrupciones.....	75
5.2.6	UART comunicaciones asíncronas	80
5.3	Diagrama de Estados.....	80
5.4	Desarrollo del Programa.....	92
5.4.1	Constantes	92
5.4.2	Configuración.....	93
5.4.3	Instrucciones.....	96
5.4.4	Bootloader	98
6	CAPÍTULO V	100
PRUEBAS DEL DISPOSITIVO Y ASPECTOS ECONÓMICOS		100
6.1	Pruebas del Dispositivo.....	100
6.1.1	Prueba de funcionamiento.....	100
6.1.2	Pruebas de consumo de energía.....	105
6.2	Presupuesto	107
6.2.1	Dispositivos de sistema de comunicación.....	107
6.2.2	Dispositivos de sistema de control	107

6.2.3	Dispositivos de sistema de alimentación.....	108
CAPÍTULO IV.....		109
CONCLUSIONES		109
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
8	ANEXOS.....	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Sistema Eléctrico	27
Figura 2 Intervalos de reconexión de un recloser.....	31
Figura 3 Curva Corriente Tiempo de un Fusible.....	32
Figura 4 Partes del Sensor TILT	37
Figura 5 Posición de encendido del TILT	38
Figura 6 Tilt SW520D.....	38
Figura 7 Ubicación del módulo RF	39
Figura 8 Módulo RF 433MHz.....	39
Figura 9 GSM SIM 800.....	40
Figura 10 PIC18F2550.....	43
Figura 11 G5V-1	45
Figura 12 Batería LiPo	46
Figura 13 AMS1117.....	48
Figura 14 Bloque de energía del dispositivo	49
Figura 15 Sensores del dispositivo.....	50
Figura 16 Bloque de control.....	51
Figura 17 Bloque de Actuadores.....	52
Figura 18 Estructura de funciones del sistema completo	53
Figura 19 Propuesta de instalación del dispositivo	54
Figura 20 Sistema Propuesto.....	55
Figura 21 Reducción en tiempos de reposición de servicio	56
Figura 22 Seccionador en operación normal	57
Figura 23 Seccionador en falla.....	57
Figura 24 Seccionador fuera de servicio	58
Figura 25 Regulación de tensión del dispositivo.....	59
Figura 26 Conexión de leds indicadores	60
Figura 27 Conexión puerto USB	61

Figura 28 Conmutador DPDT	62
Figura 29 Conexión SIM800.....	63
Figura 30 Conexión Microrele G5V-1	63
Figura 31 Conexión RF 435MHZ.....	64
Figura 32 Conexión pulsador S1	64
Figura 33 Conexión pulsador de reinicio S3.....	65
Figura 34 Capacitor para filtrar ruido	65
Figura 35 Esquemático del dispositivo	66
Figura 36 PCB del dispositivo	67
Figura 37 Placa impresa	67
Figura 38 Silkscreen del dispositivo	68
Figura 39 Distribución de componentes.....	68
Figura 40 Diagrama de pines	70
Figura 41 Oscilador Externo	73
Figura 42 Tiempo de transición hacia el modo sleep.....	74
Figura 43 Funcionamiento modo Sleep	74
Figura 44 Periodo de envío de mensaje de verificación.....	75
Figura 45 Rutina de servicio de interrupción	76
Figura 46 Conexión de pines para interrupción al dispositivo RF.....	78
Figura 47 Conexión RC0 a led D2.....	78
Figura 48 Conexión RB5/KBI1 a transistor.....	79
Figura 49 Conexión RB4/KBI0 al microrelé	80
Figura 50 Verificación inicial	81
Figura 51 LEDs Indicadores del dispositivo	83
Figura 52 Estado de Espera.....	84
Figura 53 Estado Sleep.....	86
Figura 54 Estado de SMS Verificación.....	87
Figura 55 Estado de SMS por Falla	88

Figura 56 Estado de error	90
Figura 57 Maquina de estados del dispositivo	91
Figura 58 Programación para el estado de espera	96
Figura 59 ISR para el parpadeo del led en el estado de verificación	98
Figura 60 ISR por señal de falla por activación de sensores.....	98
Figura 61 Bootloader.....	99
Figura 62 Indicadores de falla del dispositivo.....	100
Figura 63 Encendido de LED D1 / Sistema Operativo	101
Figura 64 Encendido de LED D2 – Estado de verificación/espera	101
Figura 65 led D8 / Mensaje de falla enviado.....	102
Figura 66 Emisor de RF adherido al portafusible	102
Figura 67 Dispositivo instalado.....	103
Figura 68 Ensayo de falla en MT	104
Figura 69 Mensajes de falla enviados	104

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Características eléctricas RF433MHz	40
Tabla 2 Características principales GSM SIM800	41
Tabla 3.....	44
Tabla 4 Características G5V-1	45
Tabla 5 Características batería LiPo.....	47
Tabla 6 Función de cada PIN	71
Tabla 7 Pines para interrupción externa.....	77
<i>Tabla 8 Función de cada led.....</i>	<i>83</i>
Tabla 9 Definiciones y constantes del programa.....	92
Tabla 10 Constantes para la máquina de estados	93
Tabla 11 Configuración del microcontrolador	94
Tabla 12 Caracteres para el mensaje de texto	95
Tabla 13 Mensajes cada 24 Horas.....	105
Tabla 14 Mensajes cada 48 horas.....	106
Tabla 15 Precios sistema de comunicación.....	107
Tabla 16 Precios sistema de control.....	107
Tabla 17 Precios sistema de alimentación.....	108

RESUMEN

Título: Diseño de dispositivo de ubicación de fallas en tiempo real mediante un sistema de comunicación para seccionadores *cut out* por medio de microcontrolador Pic para mejorar los tiempos de interrupción ante fallas.

Autores: Arnold Thanny Medina Sánchez, Miguel Ángel López Capcha

La investigación responde al siguiente problema: ¿cómo mejorar los tiempos de identificación y reposición del suministro eléctrico en sistemas de distribución por fallas en el sistema? Como objetivo se tiene el desarrollar un dispositivo que identifique e informe en tiempo real la apertura de seccionamientos tipo *cut out* en redes de distribución mediante un dispositivo, a fin de reducir los tiempos de reposición de servicio en la zona afectada, esto para mejorar los indicadores del sistema de distribución (SAIDI). El propósito de esta investigación es poder brindar una solución económica y de rápido accionamiento para evitar dejar sin suministro eléctrico a los usuarios finales y también para mejorar los indicadores en tiempo de reposición que las empresas distribuidoras deben de cumplir y evitar penalidades por el ente supervisor Osinergmin. Asimismo, el objetivo del dispositivo es informar de fallas en fusibles de redes de alimentación en media tensión, para que se informe de manera rápida se enviará un mensaje de texto por la red GSM. Para que esto sea posible, se necesita de un sensor que informe cuándo es que ocurre la falla y desde un dispositivo que pueda conectarse a la red GSM para comunicarla en tiempo real. Por ello, el sensor utilizado será uno de posicionamiento (TILT), esto para que pueda informar la falla un dispositivo que pueda conectarse a la red GSM luego de recibir la señal del sensor.

Además, se realizaron pruebas con apoyo de la empresa Electrocentro S.A. Y para acercarnos a escenarios reales, las pruebas se realizaron con el fin de identificar la rapidez del envío de mensajes al personal involucrado en realizar la reposición del servicio y también como alertas del estado del dispositivo. Por consiguiente, se concluye satisfactoriamente que el dispositivo actuó de acuerdo con lo esperado; por tanto, es una alternativa viable al problema de mejorar los tiempos de identificación de fallas en redes de distribución con protección de fusibles *cut-out*.

ABSTRACT

Title: Design of a fault location device in real time by means of a communication system for *cut out* disconnectors by means of a Pic microcontroller to improve interruption times in the event of faults.

Authors: Arnold Thanny Medina Sánchez, Miguel Ángel López Capcha

Research answers the problem: How to improve the identification and replacement times of the electrical supply in distribution systems due to system failures? The objective is to develop a device that identifies and reports in real time the opening of *cut out* type sections in distribution networks through a device in order to reduce service replacement times in the affected area, improving the indicators of the distribution system. (SAIDI). The purpose of this research is to be able to provide an economical and fast-acting solution to avoid leaving end users without power supply and also to improve the indicators in replacement time that distribution companies must comply with and avoid penalties by the supervisory entity Osinergmin.

The objective of the device is to report failures in fuses of medium voltage power networks, so that it is reported quickly, a text message will be sent through the GSM network, for this to be possible, a sensor is needed that reports when is that the failure occurs and a device that can connect to the GSM network to communicate in real time, the sensor used will be a positioning sensor (TILT) and to report the failure, a device that can connect to the GSM network after receiving the sensor signal.

Tests were carried out with the support of the company Electrocentro S.A. Approaching real scenarios, the tests were carried out to identify the speed of sending messages to the personnel involved in restoring the service and also as alerts on the status of the device.

Concluding satisfactorily that the device acted as expected, being a viable alternative to the problem of improving fault identification times in distribution networks with *cut-out* fuse protection.

INTRODUCCIÓN

En la investigación realizada sobre el “Diseño de dispositivo de ubicación de fallas en tiempo real mediante un sistema de comunicación para seccionadores cut out por medio de microcontrolador Pic para mejorar los tiempos de interrupción ante fallas”, realizada en los meses de junio de 2021 a enero de 2022, se buscó diseñar un dispositivo que cumpla con la necesidad de identificar una falla en redes de distribución con baja carga, los cuales en su mayoría son protegidos por fusibles *cut-out*; y que por la topología de algunas redes, es muy difícil ubicar el evento de origen. Es por ello que ante esta problemática se buscó diseñar un dispositivo económico y de rápida respuesta ante fallas.

Electrocentro S.A. cuenta con muchas redes monofásicas, las cuales abarcan con grandes áreas y es de vital importancia reponer el suministro en un tiempo breve, esto para no incumplir con los umbrales del indicador SAIDI por cada sector típico. Es por ello que en colaboración con ellos fue factible realizar el prototipo del dispositivo y realizar las pruebas en campo con el fin de validar su funcionamiento.

Para el desarrollo de este dispositivo y analizar mejor el funcionamiento del sistema se optó por realizar una estructura de funciones, pues el dispositivo cuenta con cuatro bloques principales (energía, sensores, control y actuadores). De igual manera se buscó que este consuma la menor cantidad de energía de las baterías y, por ello, se evaluó la mejor alternativa de elementos electrónicos para desarrollarlo.

Durante el proceso de desarrollo del dispositivo hasta su conclusión se realizaron pruebas, las cuales nos ayudaron a afinar y evaluar los tiempos de respuesta al detectar un fusible caído por un evento de falla.

Por tanto, la investigación, que se presenta, tiene la estructura siguiente: **capítulo I**, en este capítulo se describe el planteamiento del problema, asimismo se determina la formulación del problema, la justificación y la importancia.

El **capítulo II** trata sobre el marco teórico, donde se abarcan los antecedentes de investigación como artículos científicos y tesis nacionales e internacionales, también las bases teóricas que comprenden temas relacionados a dispositivos electrónicos y a protección de los sistemas de potencia de igual manera a comprender los indicadores SAIFI-SAIDI en el sistema eléctrico peruano.

En el capítulo III, se describen la metodología y el alcance de la investigación, el tipo, nivel y el diseño de la investigación, Asimismo, se presentan las diferentes técnicas e instrumentos que se utilizaron para la recolección de datos y, de igual manera, la elección de los componentes y el diseño conceptual para desarrollo del dispositivo de falla

En el capítulo IV, se describe el desarrollo del dispositivo donde se busca dar a conocer el diseño electrónico, el diseño de control del dispositivo, los diagramas de estado y el desarrollo de la programación, con los que se pudo hacer posible automatizar al dispositivo indicador de falla.

En el capítulo V, se describen las pruebas realizadas, tanto las de funcionamiento como las de consumo de energía; de igual manera en este capítulo se describe el presupuesto para la construcción del dispositivo.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

GSM	: Sistema global para comunicaciones móviles
LCE	: Ley de concesiones eléctricas
NTCSE	: Norma técnica de calidad de servicios eléctricos
NTCSER	: Norma técnica de calidad de servicios eléctricos rurales
PIC	: Circuito integrado programable, generalmente conocido como microcontrolador.
RECLOSER	: Dispositivo de protección utilizado en redes de distribución que realiza apertura y cierres para despejar fallas transitorias.
RF	: Radio frecuencia
SAIDI	: Índice promedio de duración de interrupciones en un sistema eléctrico.
SAIFI	: Índice promedio de frecuencia de interrupciones en un sistema eléctrico
SMS	: Servicio de mensajes cortos
TIR	: Tasa interna de retorno
TCC	: Curvas de corriente tiempo
VAN	: Valor actual neto
SPDT	: Interruptor unipolar de doble salida
DPDT	: Interruptor bipolar de doble salida
led	: Diodo emisor de luz
DURING	: Acción realizada por el microcontrolador durante la permanencia en un estado
EXIT	: Acción realizada por el microcontrolador cuando se ejecuta la salida de algún estado

ENTRY : Acción realizada por el microcontrolador cuando se ingresa a algún estado

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento del Problema

El diseño de un sistema de distribución de energía eléctrica es una parte delicada en la implementación de los suministros de energía. Existen diversos factores que deben considerarse para satisfacer las necesidades de los consumidores de energía eléctrica. Uno de los factores de diseño importantes es el sistema de protección eléctrico, ya que el sistema de distribución experimenta fallas de operación de manera aleatoria debido a diversas razones. Por lo que estas fallas ocasionan la interrupción del servicio de energía a los consumidores, el cual debe ser repuesto de manera rápida, ya que afecta la continuidad y confiabilidad del sistema.

A partir de la expansión de los sistemas de distribución de energía eléctrica en el país, los problemas que conlleva la continuidad en el servicio se han convertido en un tema de gran interés para los agentes del sector eléctrico (en las áreas de planeación, operación, distribución) y especialmente para los usuarios residenciales e industriales. Tanto las empresas prestadoras del servicio de energía eléctrica como los usuarios interactúan con respecto a la valoración de los costos debido a las interrupciones del suministro de energía eléctrica.

Con el aumento de la población, las empresas prestadoras del servicio de electricidad realizan estudios para valorar los costos generados por la inadecuada continuidad en el suministro. De esta forma, pueden obtener un punto equidistante entre el costo de inversión para mejorar la confiabilidad de un sistema y los costos que las interrupciones representan a la concesionaria al momento de la compensación a los

usuarios. Asimismo, vale la pena recordar que la localización de fallas no es un problema nuevo. Sin embargo, las investigaciones que se han realizado en esta área recaen sobre los sistemas de transmisión, donde las características homogéneas de la línea, la medición en ambos terminales y la disponibilidad de más equipos, permiten localizar el sitio de falla con alta precisión, realizar una inversión similar en un sistema de distribución no sería viable, ya que el costo sería muy elevado y no sería redituable para la empresa, la instalación de dispositivos de bajo costo que permitan localizar la falla con exactitud es la opción más viable en un sistema de distribución.

La localización de fallas en sistemas de distribución es más problemática por la complejidad que produce la presencia de conductores no homogéneos, cargas intermedias, laterales y desbalance del sistema y de la carga, esto evidencia que un sistema de distribución local es más vulnerable a los diferentes factores que afecten la continuidad del servicio prestado.

Debido a la singularidad de las topologías de sus redes eléctricas, las redes de distribución en MT por lo general superan los 100 km, y el realizar el recorrido de estos tramos hasta localizar la falla conlleva mucho tiempo para los encargados de la reposición del servicio; lo que repercute en los indicadores de evaluación del sistema y en la satisfacción del cliente.

Mejorar la calidad del servicio prestado es de vital importancia para la sociedad actual, más aún con las nuevas condiciones de vida que trajo consigo la pandemia causada por el coronavirus, lo que conlleva a que las interacciones de manera remota entre las personas tomen mayor importancia a fin de reducir los contagios y salvaguardar la salud de las personas. Las actividades relacionadas a trabajo, estudios y tramites de diversa índole pasaron a realizarse de manera virtual, esto hizo que la continuidad del servicio

eléctrico tome aún más importancia en estos años. La energía eléctrica es indispensable en la mayoría de las actividades del ser humano, tanto en labores cotidianas domésticas como actividades comerciales e industriales.

1.2 Formulación del Problema

La falta de continuidad del servicio de energía es uno de los problemas más recurrentes en una empresa de distribución; además la localización de la falla que ocasionó la interrupción, en la mayoría de los casos, es difícil de ubicar, debido a las características técnicas no homogéneas de la red, la extensión de esta y la topología que en algunos casos es de difícil acceso, sobre todo en el ámbito rural. Esto conlleva a un tiempo mayor para la localización de la falla y, por ende, la reposición del servicio; lo que acarrea pérdidas económicas para la empresa, repercute en los indicadores de evaluación del sistema y afecta a la satisfacción del usuario. En consecuencia, es necesario adoptar metodologías que faciliten la rápida y confiable identificación de fallas y, de esta manera, establecer medidas que mitiguen el impacto económico y social.

Sin embargo, actualmente no se cuenta con un dispositivo que permita localizar e informar de manera rápida la ocurrencia de fallas en una red de distribución. Al contar con este dispositivo, el servicio podría ser repuesto de manera rápida, ya que ahorraría tiempo en la identificación del tramo en falla y mejoraría la continuidad de servicio, así como los indicadores de evaluación del sistema.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo principal

Desarrollar un dispositivo que identifique e informe en tiempo real la apertura de seccionamientos tipo *cut out* en redes de distribución mediante un sistema de

comunicación, un sensor de inclinación y un microcontrolador PIC a fin de reducir los tiempos de reposición de servicio en la zona afectada, esto para mejorar los indicadores del sistema de distribución.

1.3.2 Objetivos secundarios

- Permitir que el centro de control pueda monitorear fallas en ramales de media tensión de la empresa distribuidora
- Facilitar el trabajo de reposición de servicio al personal técnico brindando la información pertinente de la ubicación de la falla y la capacidad de amperaje del fusible a cambiar
- Evaluar los tiempos de reposición de fallas en media tensión en seccionamientos que cuentan con el dispositivo de identificación de fallas en comparación con los que no.

1.4 Justificación e Importancia

En los últimos años, el crecimiento económico del país permitió que el consumo de energía escale de una manera rápida, no solo con el crecimiento urbano y demográfico, sino también con las pequeñas industrias que operan en todo el país y el desarrollo tecnológico. Esto ha hecho que la demanda de energía eléctrica vaya en alza, porque a medida que crece la población y la economía; hay un aumento en la demanda de energía, ya que se introducen muchas más cargas eléctricas en las líneas de distribución, estas no se encuentran exentas a fallas que podrían ocasionar la interrupción del servicio de energía,

De acuerdo con las estadísticas de la empresa distribuidora Electrocentro, las redes eléctricas rurales, que son alimentadas por seccionamientos laterales, no son repuestas en

un tiempo adecuado (reposición en horas), esto debido a una falta de conocimiento o reporte de la interrupción y en otros casos, se realizan maniobras no autorizadas con motivo de hurto de energía, la cual al no ser monitoreada, son vulneradas con facilidad, lo que evidencia una repercusión en los indicadores de SAIFI-SAIDI de la empresa Electrocentro.

Los alimentadores que suministran energía eléctrica a zonas rurales generalmente superan los 100 km de longitud, además estas redes se caracterizan por ser radiales y con muchas laterales. Asimismo, tienen bajo consumo eléctrico (menor a 1 amperio por fase), lo cual dificulta usar tecnología actual para la identificación de fallas en tiempo real. Otro de los factores que afectan el uso de tecnología actual para su monitoreo de forma remota es que se necesita instalar módulos de comunicación que usan internet 3G, 4G, servicio con la cual en la mayoría de los puntos donde se ubican los seccionamientos son inaccesibles.

Por tanto, el presente proyecto permitirá ubicar en tiempo real seccionamientos de media tensión con fusibles quemados, con la identificación de manera instantánea se conseguirá una rápida reposición del servicio de energía en zonas de difícil acceso y se mejoraran los indicadores de evaluación de la empresa distribuidora, en resumen, este dispositivo permite lo siguiente:

- Reducir el tiempo de ubicación de la falla y, por ende, la reposición de suministro en zonas rurales.
- Aumentar los ingresos económicos para la empresa por concepto de energía no suministrada.
- Mejorar la imagen empresarial de la empresa como resultado de la disminución del índice de interrupciones en el sistema eléctrico

- Reducción del indicador de confiabilidad SAIDI.
- Mejorar la confiabilidad de nuestro sistema eléctrico.
- Reducir los montos por compensaciones según establece la NTCSE y NTCSE

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1 Estado del Estudio

Los sistemas de protección son equipos importantes para el sistema eléctrico, ya que de ellos depende la seguridad de las personas y equipos, además de la sostenibilidad de la transmisión y distribución de energía, por tanto, este tema es de especial cuidado tanto en diseño e implementación. Asimismo, la mayoría de los sistemas de protección tiene como finalidad aislar zonas defectuosas del sistema, para salvaguardar equipos y personas, además, permitir que el sistema siga operando de manera permanente a pesar de la falla ocurrida.

Por ello, en el presente capítulo se describe la estructura de los sistemas eléctricos, dándole énfasis a los sistemas de protección en redes primarias de media tensión, en especial a los seccionamientos que son los equipos donde se desea implementar este proyecto.

2.2 Aspectos Generales de los Sistemas Eléctricos

2.2.1 Sistema de energía eléctrica

Un sistema de energía eléctrica se refiere a una red que utiliza máquinas eléctricas y otros componentes en las actividades de suministro, transmisión y utilización de energía eléctrica (Kothari, 2015).

La planta de generación normalmente se encuentra lejos del centro de carga. Hay diferentes niveles de consumo de energía eléctrica dependiendo del propósito por el cual un consumidor use electricidad. Los consumidores de energía eléctrica pueden ser

industriales, comercial o residenciales. Estos consumidores requieren diferentes niveles de suministro de energía eléctrica.

Para cumplir con sus necesidades específicas, ciertos dispositivos ajustan los niveles de voltaje según el tipo de carga utilizada. Algunos de esos componentes incluyen transformadores elevadores y reductores, bancos de capacitores, dispositivos de protección, entre otros.

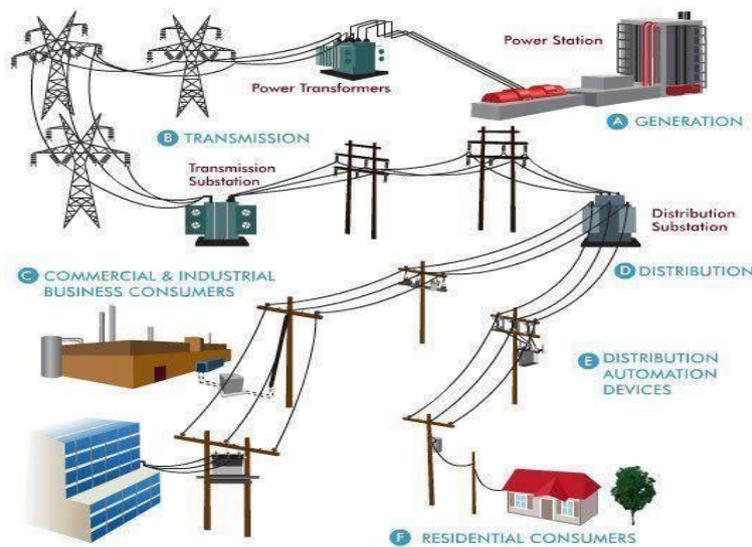


Figura 1. Sistema eléctrico

2.2.2 Transformador de distribución

Un transformador se define como una máquina eléctrica estática, cuya finalidad es transformar energía mediante un campo electromagnético alterno que varía los factores de voltaje y corriente (Ras, 1972). Otra definición importante es la siguiente: se denomina transformador a una máquina eléctrica que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal, esto es, sin pérdidas, es igual a la que se obtiene a la salida (Hubert, 1991).

El transformador de distribución forma parte de la red eléctrica, esta máquina permite el intercambio y distribución de energía a través de distintos niveles de tensión, esta variación de niveles de tensión hace posible el funcionamiento de la red eléctrica de manera eficiente y menos costosa en sus distintos sectores, por ello, es de importancia en cualquier red eléctrica.

Es uno de los elementos más costosos en la subestación de distribución con un impacto económico de consideración, ya que cualquier falla o interrupción afecta la confiabilidad de toda la red.

2.3 Protección del Sistema de Distribución

Los sistemas de distribución están expuestos a fallas que pueden ser temporales o permanentes, las fallas temporales son las que se pueden despejar por la acción de los dispositivos de protección y estas no vuelven a aparecer cuando se vuelve a la operación normal. Cuando se dan las fallas permanentes, se aísla la falla por acción de los dispositivos de protección hasta que la parte afectada sea reparada y vuelva a ser energizada por medio de la parte operativa de la empresa.

Las fallas ocurren por diversos motivos como cortocircuito, sobrevoltaje, sobrecarga; para poder minimizar el daño ocasionado por estas fallas, los dispositivos de protección están programados para actuar según el tipo de falla que se detecte, actuando en el momento correcto para que se pueda asegurar la continuidad del servicio.

El objetivo principal del sistema de protección para sistemas de distribución es desactivar una sección que es defectuosa en el sistema sin afectar al resto de suministros. Esto asegura que la parte restante pueda funcionar bloqueando satisfactoriamente las

posibilidades de daños que pueden ser causados por la corriente de falla (Painthankar, 2010).

Un interruptor de circuito se cierra automáticamente como resultado de las señales de disparo que recibe del relé cada vez que se detecta una falla. Por ello, la filosofía básica de un sistema de protección de energía es que no se puede evitar que las fallas fluyan en el sistema, pero se puede detener su propagación en el sistema (Vishwakarma, 1995)

Asimismo, la ocurrencia de una falla es peligrosa tanto para el usuario de energía eléctrica como para el sistema eléctrico en sí. La principal preocupación del sistema es garantizar una estabilidad del suministro de energía eléctrica al consumidor y garantizar que los componentes eléctricos no sean destruidos. En resumen, la protección es necesaria para lo siguiente:

- Garantizar la seguridad del usuario.
- Proteger el equipo de los casos de sobrecorriente, sobretensión que pueden destruir el equipo.
- Estabilidad asegurando el suministro de electricidad.
- Costo de operación, para asegurar una eficiencia operativa óptima para reducir el equipo y el costo de mantenimiento

2.3.1 Dispositivos de protección

Los dispositivos utilizados en la protección de redes de distribución son los relés, seccionadores, reclosers y fusibles de desconexión (*cut out*), en este trabajo se profundizará en los seccionadores y fusibles, ya que el dispositivo a diseñar trabajará en conjunto con estas protecciones.

2.3.1.1 Recloser

Los estudios de fallas en las líneas aéreas de distribución han demostrado que la mayoría son transitorias y se pueden despejar sin interrumpir el suministro de energía, sobre todo, en áreas que experimentan descargas atmosféricas o existen arboles cercanos a las líneas de distribución.

Además, un recloser detectará una falla y luego se abrirá durante un tiempo preprogramado antes de cerrarse automáticamente. Este cierre automático puede realizar múltiples operaciones de apertura y cierre para despejar fallas transitorias. Si la falla es transitoria y se despeja cuando la línea está aperturada, el siguiente cierre automático restablecerá el suministro. Si la falla es permanente, el recloser eventualmente se abrirá y no intentará cerrarse hasta que se revise la línea (Sallam, 2011). Este estado se conoce como bloqueo.

Para ello, los fabricantes han estandarizado un máximo de cuatro operaciones de disparo de protección antes de que ocurra el bloqueo. Por lo general, el primer disparo es instantáneo mientras que los próximos disparos están programados por tiempos.

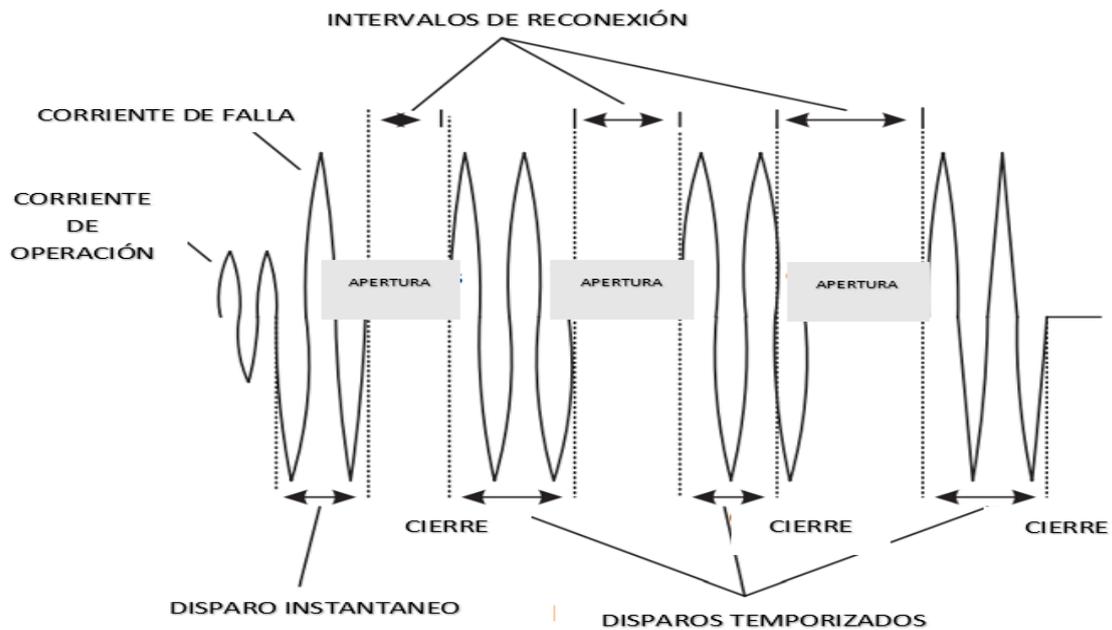


Figura 2 Intervalos de reconexión de un recloser

2.3.1.2 Seccionamientos

Un seccionador es un dispositivo de protección que aísla automáticamente una sección de línea con falla del resto del sistema de distribución. Un seccionador no debe confundirse con un recloser, ya que este no interrumpe la corriente de falla. Solo cuenta el número de operaciones de un dispositivo de interrupción que se encuentra aguas arriba, como un recloser o un interruptor controlado por algún relé en la subestación. Después de haber detectado un número preseleccionado de interrupciones de corriente, el seccionador se abre y el alimentador en el lado de carga del seccionador no se vuelve a energizar hasta que se revise la línea (Coburn, 2012).

2.3.1.3 Fusibles

Un fusible es un dispositivo de protección contra sobrecorriente que responde a una combinación de magnitud y duración de la corriente del circuito que lo atraviesa. Un fusible puede trabajar de manera continua al valor de corriente nominal, cuando esta

corriente excede su corriente nominal debido a cualquier falla, el fusible responde para desenergizar e interrumpir la fase o fases afectadas del circuito o equipo que se encuentre en falla.

Estas protecciones son frecuentemente utilizadas en los sistemas de distribución por su menor costo de instalación, es la protección más barata y por ende poco confiable, su principal defecto es el estrés térmico al que es sometido con cada falla lo que conlleva que su característica de operación se vea disminuida o desplazada. La selección de la capacidad y tipo del elemento fusible se hace sobre la base de la carga que protege, la magnitud de la corriente de corto circuito que va a despejar y el tiempo de operación (Sallam, 2011).

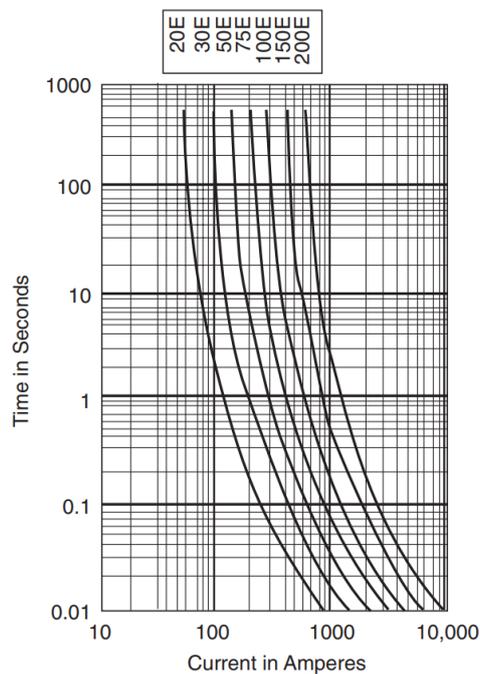


Figura 3. Curva corriente tiempo de un fusible

2.3.2 Coordinación de protecciones en sistemas de distribución

La mayoría de los equipos de protección utilizados en redes de distribución son los reclosers, seccionadores y fusibles. Estos deben actuar sobre la base de una correcta coordinación para que la falla sea despejada de manera rápida y afectando a la menor cantidad de usuarios posibles. La coordinación se realiza de distintas maneras.

2.3.2.1 Coordinación recloser- fusible

Depende de la ubicación de ambos dispositivos con respecto a la fuente de energía y la carga; es decir, el recloser del lado de la fuente dispara al fusible en el lado de la carga, o viceversa.

Fusibles en el lado de la carga. La coordinación debe satisfacer que el máximo tiempo de despeje del fusible debe ser menor que la curva retardada del recloser. El recloser debe tener al menos dos operaciones retrasadas para evitar la pérdida de servicio en caso de que este se dispare cuando el fusible opera. además, el tiempo mínimo de fusión del fusible debe ser mayor que el primer disparo del recloser.

La óptima coordinación entre el recloser y los fusibles ubicados en el lado carga es obtenida por el ajuste de la curva de operación del recloser por encima de la curva de fusión del fusible con un margen no menor a 35ms (dos ciclos) en el punto de máxima corriente de falla, los fusibles se fusionarán para despejar antes que opere el recloser. Los fusibles son muy veloces al operar en la zona de corto circuito (altas corrientes) al ser este un elemento análogo operara más rápido que un relé o recloser, este último al ser un dispositivo microprocesado requiere de al menos un ciclo para determinar si es falla o no y de allí iniciar su temporización (General Electric, 2002).

Fusibles en transformadores de distribución. Para la selección de los fusibles que se recomienda instalar en los transformadores y en las derivaciones que alimentan un solo transformador, se toma en cuenta lo siguiente:

- La corriente nominal
- La corriente de energización
- La curva de daño térmico del transformador
- Curvas de operación de los relés, reclosers y demás fusibles ubicados en la red de distribución.

2.3.2.2 Coordinación recloser-seccionalizador

El principio de esta coordinación es que el número de operaciones del reclose puede ser cualquier combinación de disparos instantáneos y cronometrados. El seccionador está configurado para un disparo menos que los del recloser para que al seccionar abra y aisle la falla, esto permite que el recloser vuelva a energizar la sección y restablezca el circuito.

2.3.3 Indicadores SAIFI - SAIDI

Los indicadores de calidad SAIFI y SAIDI evalúan las tasas de falla e indisponibilidad de los sistemas eléctricos de distribución, mediante estos indicadores el ente supervisor de calidad de suministro (Osinergmin) evalúa a las empresas distribuidoras de electricidad.

2.3.3.1 Indicador SAIFI

El indicador SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) mide la frecuencia de ocurrencia de las interrupciones en las instalaciones eléctricas de los

sistemas eléctricos, ante las fallas en los componentes, maniobras e indisponibilidades que afectan a los sistemas eléctricos, estas pueden ser propias (sistemas de protección, diseño de redes, estado de las instalaciones) y externos (ambiente y terceros).

2.3.3.2 Indicador SAIDI

El indicador SAIDI (System Average Interruption Duration Index) mide el tiempo de la duración de la interrupción, está relacionado con la ubicación de falla, con la intensidad de la falla y los recursos disponibles para la reposición como: cuadrillas, vehículos, materiales, medios de comunicación, además las vías de acceso, la longitud de redes, etc.

Para la evaluación de los niveles límites de tolerancia anual del SAIFI y SAIDI a nivel nacional, el estado peruano cuenta con 5 sectores típicos, los cuales son los siguientes:

- Sector de distribución típico 1. Sector urbano de alta densidad de carga (LIMA).
- Sector de distribución típico 2. Sector urbano de media y baja densidad de carga (capitales de provincia).
- Sector de distribución típico 3. Sector urbano-rural de baja densidad de carga.
- Sector de distribución típico 4. Sector rural de baja densidad de carga.
- Sector de distribución típico sistemas eléctricos rurales (SER). Sector rural de baja densidad de carga a efectos de la ley general de electrificación rural.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

El funcionamiento de esta propuesta se basa en la utilización de sensores y módulos de comunicación GSM, las cuales nos servirán de alarma para la identificación de fusibles fusionados, ahorrando tiempo en la identificación del tramo en falla y, por tanto, en la reposición del suministro.

Para poder realizar esta función de manera óptima, el dispositivo debe ser desarrollado utilizando los dispositivos electrónicos necesarios para el sistema de control y el de alimentación. Además, una correcta selección de dispositivos permitirá un intercambio de información rápido entre los sensores y el controlador que reducirá el tiempo de comunicación y el consumo de energía, con lo que se puede dimensionar el sistema de alimentación.

En el presente capítulo se muestra de manera resumida los sensores a utilizar, el sistema de control y los dispositivos de comunicación con sus respectivos circuitos de acondicionamiento

3.1 Selección de Dispositivo a Requerir

Para la selección de dispositivos se tuvo en cuenta los requerimientos de operación del detector de fallas, el dispositivo debe ser de fácil montaje en redes de MT, la alimentación debe ser mediante un sistema de corriente continua y para que pueda comunicar la ocurrencia de fallas se debe disponer de red GSM, la cual es una red de acceso común,

3.1.1 Dispositivos para el sistema de comunicación

El objetivo del dispositivo es informar de fallas en fusibles de redes de alimentación en media tensión, para que se informe de manera rápida se enviará un mensaje de texto por la red GSM, para que esto pueda ser posible se necesita de un sensor que informe cuando es que ocurre la falla y de un dispositivo que pueda conectarse a la red GSM para comunicarla en tiempo real, el sensor utilizado será uno de posicionamiento (TILT) y para informar la falla un dispositivo que pueda conectarse a la red GSM luego de recibir la señal del sensor, todos estos dispositivos serán detallados a continuación.

3.1.1.1 Sensor de posicionamiento

Un sensor de posicionamiento es un dispositivo que permite detectar la ubicación vertical u horizontal de un objeto, es equivalente a un pulsador activado mediante la orientación física. Para detectar la orientación física el dispositivo se vale de dos esferas metálicas que conmutan los pines del sensor de posición abierta a cerrada o viceversa si es que ambas unen los contactos en la terminal de los cables se cerrará el circuito, caso contrario, si es que ambas se encuentran en la parte de la tapa el circuito se encuentra en posición abierta.

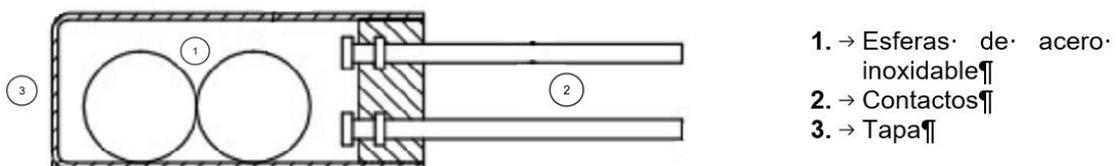


Figura 4. Partes del sensor TILT

El sensor Tilt será el encargado de informar sobre la falla al variar su posición vertical cuando el seccionador caiga debido a una falla en el sistema de media tensión, al

ser un cambio de posición vertical no tiene relevancia la cantidad de grados que el sensor se desplace.

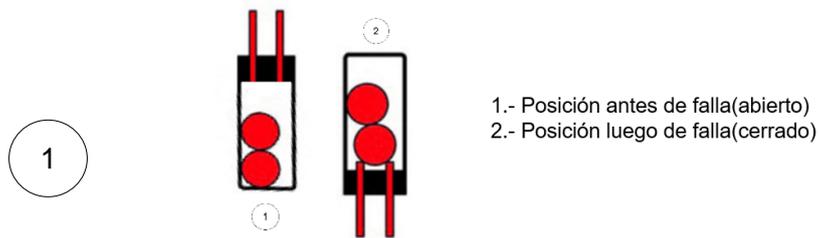


Figura 5. Posición de encendido del TILT

El sensor Tilt es el encargado de enviar la señal de falla al cambiar su posición, esta debe ser comunicada de manera rápida a los encargados del sistema para que se pueda reponer el servicio en el menor tiempo posible, al no tener importancia la cantidad de ángulos que gire ni que la señal se mantenga constante (solo es necesario el primer pulso) el sensor a elegir es el SW520D (Bailin Electronics Co.), ya que es el más accesible en el mercado y puede trabajar en la intemperie sin problemas.



Figura 6. Tilt SW520D

3.1.1.2 Módulo de radiofrecuencia

El sensor de posicionamiento será instalado en los seccionamientos de media tensión de los alimentadores de distribución de energía eléctrica, al ser el nivel de tensión mayor a 10kV, y al enviar la señal de manera cableada conllevaría a diversos problemas (pérdida de señal, daño de sensores), que harían más difícil el trabajo del dispositivo. Es

por ello que se debe llevar la señal de manera inalámbrica, se optó por el envío de esta mediante radiofrecuencia, debido a que el envío de la señal es de comunicación simple.

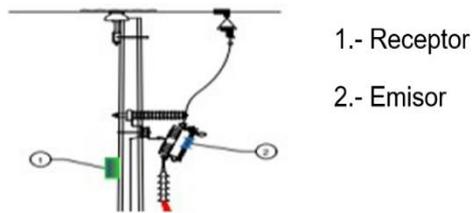


Figura 7 Ubicación del módulo RF

Como se ve en la figura 7, el emisor se encuentra instalado en el fusible del seccionamiento de media tensión y el receptor se colocará en la estructura. Además, el dispositivo de comunicación debe ser capaz de enviar la señal a una distancia de 3 metros como mínimo, por ello, para el módulo de comunicación inalámbrica se utilizara el RF 433MHz (ARM MCU), ya que cumple con los requisitos de comunicación simple además que la distancia de recepción y emisión de la señal puede llegar hasta los 100 metros con una antena funcional.

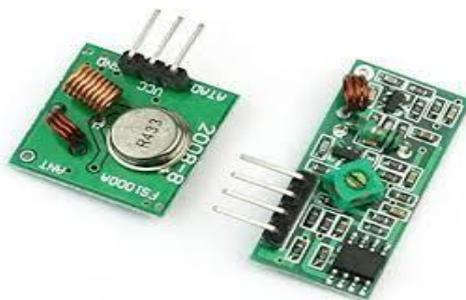


Figura 8. Módulo RF 433MHz

El módulo RF 433MHz no puede trabajar de manera independiente, este necesita de un dispositivo que pueda codificar la señal enviada por el emisor y luego decodificarla para que el receptor pueda interpretarla, para motivos de este trabajo el dispositivo RF trabaja con un microcontrolador como intermediario entre las 2 partes del módulo, el

Tabla 2. *Características principales GSM SIM800*

Nivel de alimentación	<i>3.4V a 4.4V</i>
Corriente de transmisión GSM	<i>350mA-2000mA</i>
Bandas de Frecuencia	<i>Quad Band</i>
Interfaz SIM	<i>SIM Card: 1.8V, 3V</i>
Reloj Interno	<i>RTC</i>
Temperatura de operación	<i>-40°C a 85°C</i>

El módulo GSM SIM800 tiene un consumo muy alto cuando está conectado a la red (2A de pico), este motivo haría que la alimentación con baterías sea inviable, este problema se puede solucionar y hacer que funcione el módulo en el modo SLEEP. Este funcionamiento hace que el consumo se reduzca a solo 0.7Ma, lo que hace viable el uso de baterías para su alimentación.

3.1.2 Dispositivos para el sistema de control

3.1.2.1 Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado único que se utiliza para controlar una función específica de un sistema. Estos circuitos son mayormente utilizados en sistemas que requieran realizar procesos pequeños de manera funcional y rápida mediante las interacciones entre señales digitales, analógicas y componentes electromecánicos.

Para poder realizar las tareas encargadas al microcontrolador se vale de los siguientes componentes:

- Microprocesador(μ CPU). Es el encargado de procesar las instrucciones dadas al microcontrolador y realizar las funciones encargadas como respuesta.
- Memoria. La función de este componente es el manejo de datos, se encarga del almacenamiento y el procesamiento de estos para realizar las funciones programadas en el microcontrolador. Todo microcontrolador tiene dos tipos de memoria
- Memoria del programa. Se encarga de almacenar la información a largo plazo de las instrucciones que ejecutará el CPU, no es una memoria volátil.
- Memoria de datos. Es una memoria temporal que almacena los datos para la ejecución de las instrucciones programadas, es una memoria volátil y solo se mantiene si el microcontrolador se encuentra alimentado.
- Puertos I/O. Dispositivos de entradas y salidas es la interfaz entre el microcontrolador y el exterior, el puerto de entrada recibe la información y la envía al procesador en código binario. El procesador recibe estos datos y envía las instrucciones necesarias al puerto de salidas para que ejecute las tareas externas encargadas el microcontrolador.
- Puerto serial. Permite al microcontrolador conectarse a componentes externos.

En resumen, un microcontrolador es un circuito que reúne las señales que recibe a través de sus puertos analógicos y digitales para luego realizar una acción sobre la base de la información recibida utilizando el procesador central que posee.

Se optó por un microcontrolador, debido a que nos permite realizar todas las tareas necesarias con un tiempo de respuesta óptimo, además de que ofrece un bajo consumo

que es de importancia por la lejanía de algunos seccionamientos y la dificultad que presentaría otro dispositivo de control que tuviera un mayor consumo de energía y un constante cambio de baterías, su tamaño compacto y su fácil instalación hacen de este el controlador óptimo para el proyecto.

Otro factor de elección del microcontrolador frente a otras opciones es que la tarea a realizar es un proceso aislado, luego de enviar el mensaje de texto, debido a falla no es necesaria realizar otra acción más; además de esto, el dispositivo de radiofrecuencia usado no puede realizar la conexión entre el emisor y el receptor sin un intermediario que en este caso viene a ser el microcontrolador. Por ello, al realizarse solo un proceso único y ser necesario un dispositivo que cuente con un puerto serial, el microcontrolador es la opción más eficiente y económica.

Para la selección del microcontrolador se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Puertos de entrada y salida bidireccionales (3)
- Puerto para comunicación serial (USB)
- Puerto para comunicaciones UART

El microcontrolador elegido fue el PIC18F2550 (Microchip), este microcontrolador cubre todas las necesidades del proyecto además de que es de bajo costo y accesible en el mercado.



Figura 10. PIC18F2550

En la siguiente tabla se muestran las características más importantes de este microcontrolador:

Tabla 3. *Características principales PIC 18F2550*

Nivel de alimentación	4.2V a 5.5V
Tamaño del núcleo	8 bits
Puertos I/O	A B C
Frecuencia	48MHz
Memoria programa	32KB
Comunicación serial	MSSSP, UART

3.1.2.2 Microrelé

Se optó por el uso de un microrelé, debido al alto consumo que tiene el dispositivo GSM SIM800, al momento de conectarse a la red este llega a consumir hasta 2 A de corriente; por lo que tenerlo alimentado en todo momento agotaría el suministro de energía rápidamente. Para que esto no suceda, el microcontrolador debe activar al microrelé solo si es necesario y este a su vez activar el flujo de energía hacia el SIM800 para que pueda realizar el envío de mensaje y luego volver a estar desenergizado.

El microrelé debe ser de 5V, ya que tanto el microcontrolador como el GSM SIM 800 funcionan a partir de 4.4V, por disponibilidad en el mercado se optó por trabajar con el relé de marca Omron G5V-1 (Omron Corporation).



Figura 11. G5V-1

Las características del microrelé son las siguientes:

Tabla 4. Características G5V-1

Voltaje nominal	5V
Corriente de la bobina	100mA
Resistencia de la bobina	50Ω
Consumo	500mW
Voltaje máximo	120% del voltaje nominal

3.1.3 Dispositivos para el sistema de alimentación

El objetivo de este proyecto es reportar las fallas que ocurran en los seccionamientos de las redes de distribución en MT, por lo general en las zonas residenciales se conoce bien la ubicación de la falla gracias a los equipos instalados en la red, el dispositivo desarrollado está más orientado a redes rurales, ya que encontrar las fallas en estas es muy tedioso y el tiempo de reposición del servicio no es eficiente.

El sistema de alimentación del dispositivo debe tener autonomía, por este motivo, se optó por alimentar al dispositivo con baterías de polímero de litio, para manejar el nivel del voltaje del circuito se utilizará un regulador de tensión, estos serán detallados a continuación.

3.1.3.1 Baterías de polímero de litio

Las baterías de polímero de litio, también conocidas como baterías LiPo, son baterías recargables que usan como electrolito un polímero en vez de un líquido como las baterías convencionales. Los polímeros utilizados son semisólidos de gran conductividad, esta batería es ideal para proyectos que necesitan periodos largos de funcionamiento y gran potencia.

Las características más importantes de las baterías LiPo son el nivel de voltaje, la capacidad de corriente y el índice de descarga o índice C. La gran mayoría de estas baterías son fabricadas con niveles de voltaje de 3.7V o 4.2V y se conectan en serie para poder aumentar la capacidad de voltaje que pueden brindar o se conectan en paralelo para brindar mayor capacidad de corriente, la capacidad de la batería es la medida de cuanta potencia puede brindar y el índice de descarga define la rapidez de descarga y la máxima carga que puede mantener la batería (HiCharge).



Figura 12. Batería LiPo

La razón por la que se eligieron las baterías de polímero de litio sobre otras opciones fue que tienen una gran capacidad de corriente, son recargables y son muy livianas, lo que facilita su instalación en las estructuras de media tensión.

Tabla 5. *Características batería LiPo*

Voltaje nominal	3.7V
Capacidad	2000mAh
Modo de carga	CC
Tiempo de carga	6h 0.2C
Voltaje máximo	4.2V

Al momento de seleccionar la batería se debe tener en cuenta el nivel de voltaje de las celdas, tanto el microcontrolador como el módulo GSM SIM800 necesitan de una fuente de alimentación, cuya capacidad sea mayor a los 5V, asimismo se necesita de una capacidad de corriente mayor a 2 A debido a que al conectarse a la red GSM el SIM800 llega a picos de corriente de hasta 2 A.

Otro de los factores usados para seleccionar la batería fue el índice de descarga, que es indicado en las baterías con la letra “C”. Este índice nos indica la rapidez de descarga y la máxima carga que puede soportar la batería. Al trabajar con una batería que tenga una capacidad de 2 A y no tener otras cargas más, el índice de descarga en corriente continua es de 1C.

Por estas razones se necesita de una batería de 7.4V, con una capacidad de 2000mAH y un índice de descarga de 1C. Debido a la pandemia no se pudo conseguir una batería de 7.4V, por lo que se trabajó con 2 baterías de 3.7V conectadas en serie, esto no afecta para nada a la capacidad de la batería y tampoco al funcionamiento del dispositivo.

3.1.3.2 Regulador de voltaje

Al estar trabajando con dos baterías de polímero de litio conectadas en serie, el valor de voltaje en la entrada del circuito es de 7.4V, este nivel de voltaje dañaría tanto al microcontrolador como al módulo GSM; por lo que se tiene que reducir este nivel de voltaje a 5V, para esto se utilizó un regulador de voltaje. El regulador utilizado fue el AMS1117 (Advanced Monolithic Systems.), que permite ajustar el voltaje desde 1.5V a 5v de manera eficiente.



Figura 13. AMS1117

3.1.4 Diseño conceptual del dispositivo

El sistema evalúa la existencia de falla en un seccionamiento. Este seccionamiento de tipo lateral es el más usado en un sistema de distribución, cuando se presenta una falla en el sistema que sobrepasa la corriente de operación del fusible, este se quema y hace que el seccionamiento lateral caiga. El dispositivo trabaja sobre la base de la posición del seccionamiento, si este se encuentra en su posición normal o de operación se considera que no existe falla, si es que varía la posición del seccionamiento debido al desgaste térmico del fusible, se considera un estado de falla, el microcontrolador recibe la señal del sensor de posición y se comunica con el módulo GSM para informar a los responsables del sistema de distribución de la existencia de falla, la ubicación del seccionamiento afectado y la capacidad de amperaje del fusible afectado para que estos puedan reponer el servicio en el menor tiempo posible. Una vez repuesto el servicio, el

seccionamiento vuelve a su condición de operación normal, el sensor informa al microcontrolador que no existe falla y se encuentra listo para operar nuevamente.

Para poder analizar mejor el funcionamiento del sistema se optó por realizar una estructura de funciones, el dispositivo cuenta con cuatro bloques principales (energía, sensores, control y actuadores). A continuación, se describe a detalle la función parcial de cada uno.

3.1.4.1 Estructura de funciones

El bloque de energía debe brindar alimentación al bloque de control, sensores y actuadores, este se alimentará por medio de corriente continua brindada por las baterías de polímero de litio, el nivel de voltaje que estas brindan es mayor al necesario, por lo que existe una etapa de regulación de voltaje.

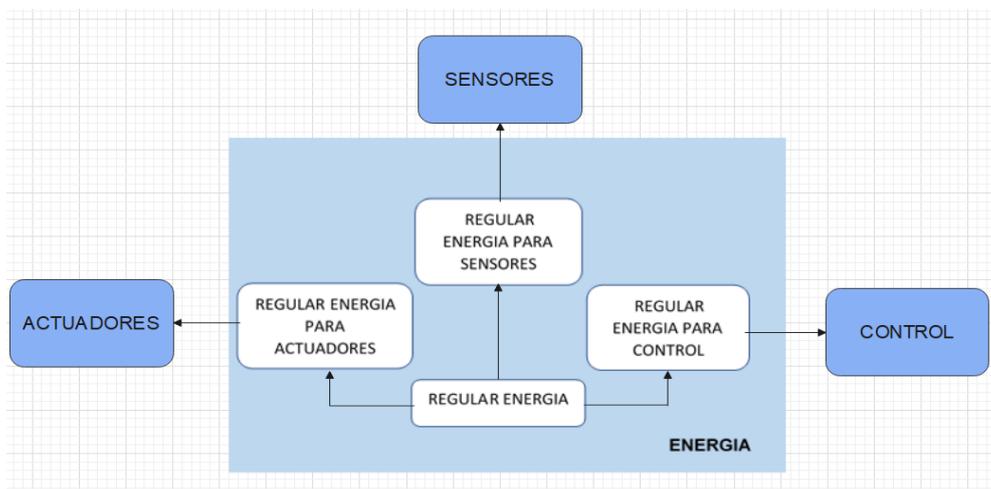


Figura 14. Bloque de energía del dispositivo

En la figura 14 se muestra el bloque de sensores del dispositivo, que consta del sensor Tilt y del emisor del dispositivo de radiofrecuencia; estos dos trabajan en conjunto, ya que el Tilt activa al emisor y a partir de este se obtienen los datos requeridos para pasar al bloque de control.

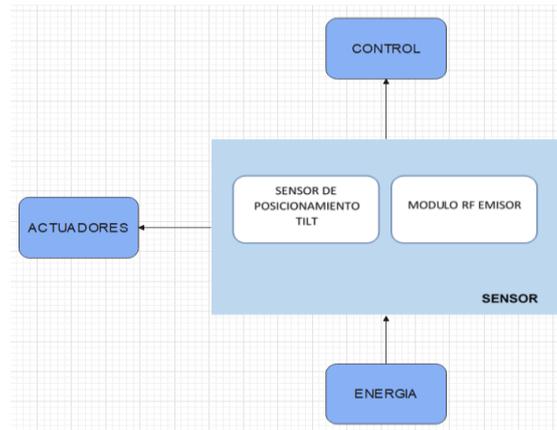


Figura 15. Sensores del dispositivo

El bloque de control recibe la señal de cambio de posición del Tilt por medio del emisor del RF, una vez recibida, el microcontrolador iniciará la identificación de datos y pasará a realizar verificaciones iniciales correspondientes para que pueda entrar en funcionamiento de manera óptima. Las verificaciones realizadas son, principalmente, la posición inicial del sensor y la disponibilidad de red GSM para el SIM800, luego de las verificaciones realizará el encendido de leds indicadores, si es que ocurre el evento de falla se detectara el cambio de posición del Tilt y pasara al bloque de actuadores.

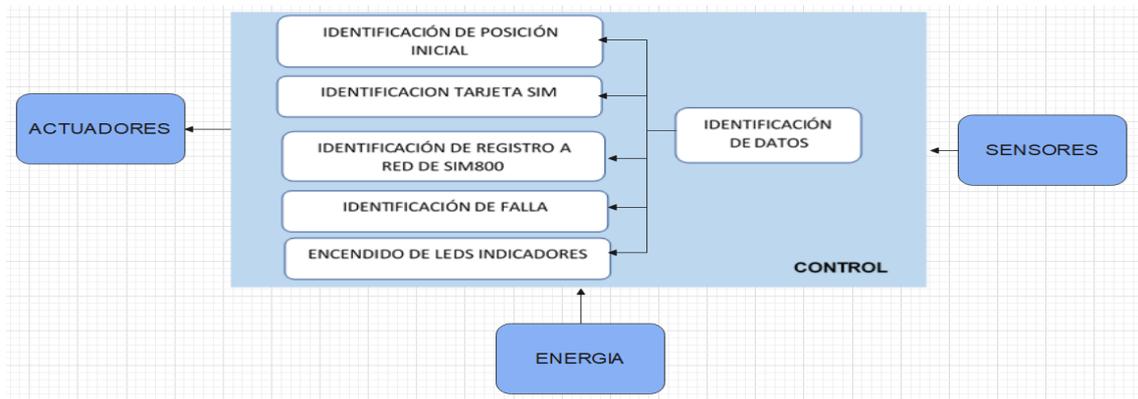


Figura 16. Bloque de control

Una vez realizadas la identificación de datos y las verificaciones iniciales, se procede a la activación de leds indicadores de falla. Al iniciar el dispositivo el microcontrolador corroborará que se cumplan todas las condiciones para su correcto funcionamiento, el microcontrolador recibirá esta información de los dispositivos que se encuentran instalados en el dispositivo, en el encendido el dispositivo GSM SIM800 debe tener insertada la tarjeta SIM y los números deben estar guardados en su memoria RAM. El sensor Tilt debe encontrarse en la posición correcta y el SIM800 debe tener acceso a la red GSM, una vez se cumplan todas estas condiciones el dispositivo está listo para usarse, si es que se produce una falla, el dispositivo procede a la activación del microrelé para que este pueda activar al SIM800 y este realice el envío del mensaje a los encargados de la red de distribución.

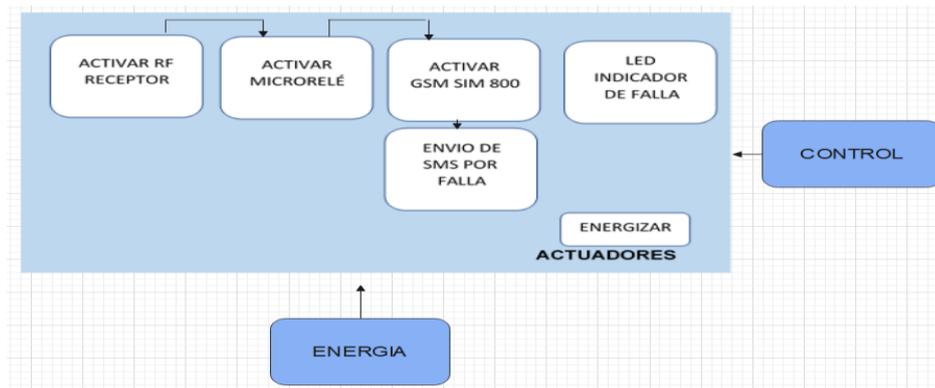


Figura 17. Bloque de actuadores

El sistema en conjunto posee las siguientes entradas y salidas:

- Entradas: energía, sensor Tilt, RF emisor
- Salidas: leds, microrelé, SIM800

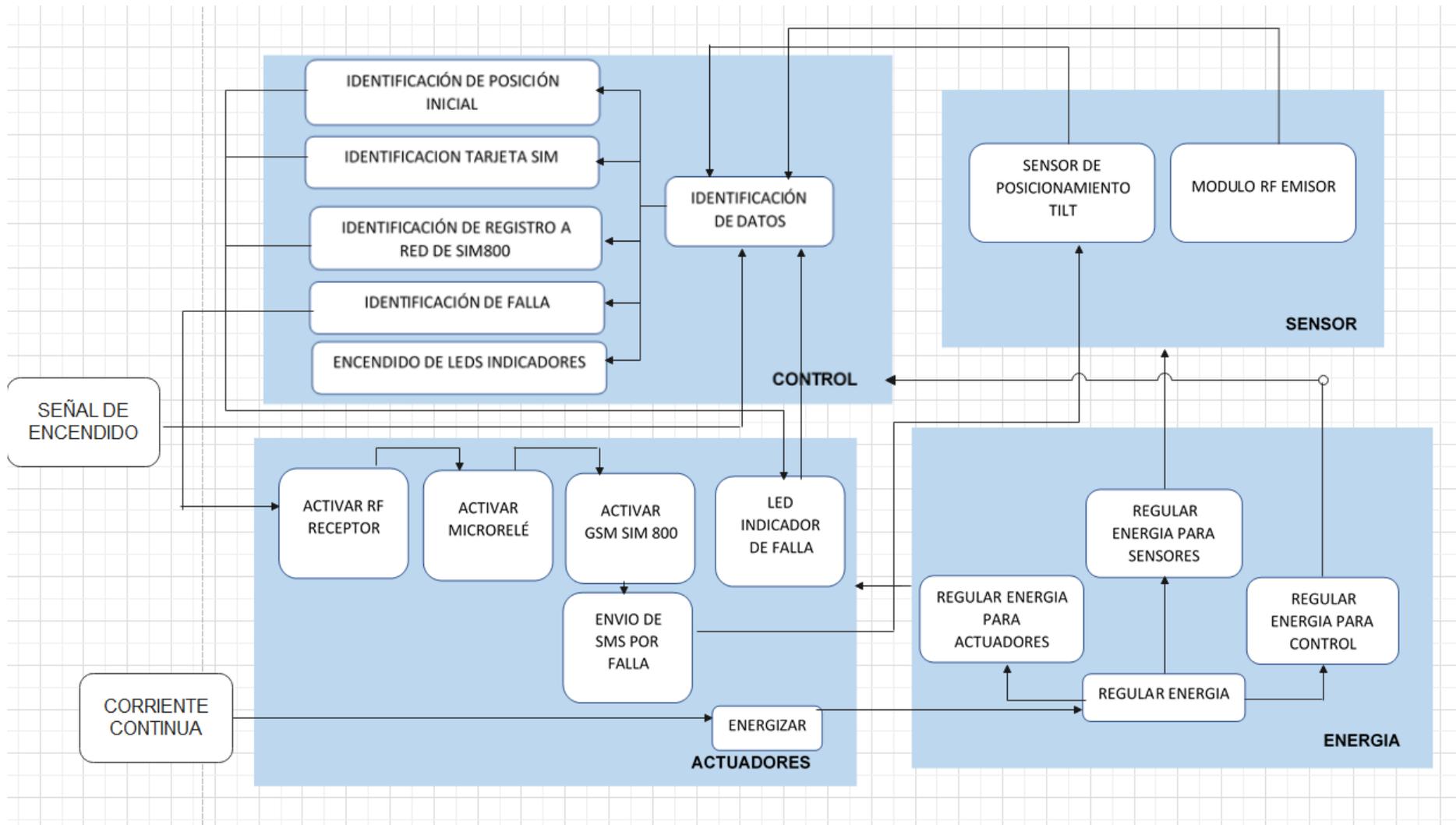


Figura 18. Estructura de funciones del sistema completo

3.1.5 Concepto de solución

El dispositivo debe trabajar cuando exista una falla en los seccionadores de la red de distribución eléctrica, por ello, el sensor de posicionamiento debe estar instalado en el seccionador. Este debe enviar la señal de cambio de posición al microcontrolador mediante el dispositivo de radiofrecuencia, al ser el microcontrolador un dispositivo electrónico, este debe estar instalado lejos del seccionamiento, ya que las fallas por cortocircuito podrían llegar a dañarlo y evitar su funcionamiento.

Para que el microcontrolador no se vea afectado, se instalará a la máxima distancia posible del seccionamiento donde se encuentra el sensor de posicionamiento y el dispositivo de radiofrecuencia, como se muestra en la siguiente figura.

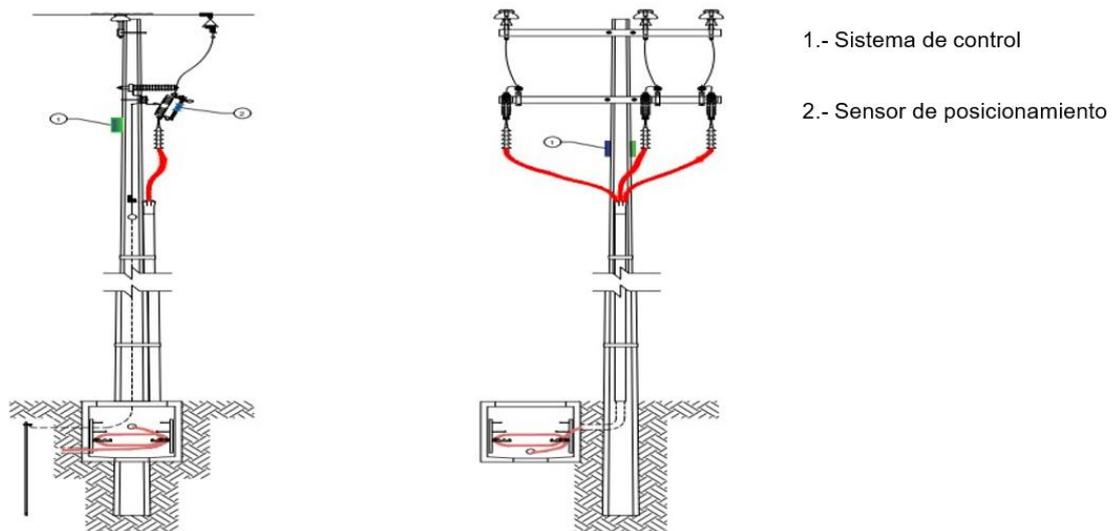


Figura 19. Propuesta de instalación del dispositivo

3.1.6 Aplicación de alarmador de fusible quemado

El alarmador de fusible quemado permite identificar secciones de red eléctrica fuera de servicio. El sensor verifica la posición de instalación del fusible, si hay un

desplazamiento en la dirección de apertura del fusible, se envía un mensaje SMS instantáneo a los encargados del sistema de distribución, alertando de esta manera de la interrupción de servicio y permitiendo ubicar con facilidad la sección de red fallada.

El sistema propuesto se integra fácilmente en las redes existentes, facilitando así la implementación para los diferentes sectores del servicio eléctrico.

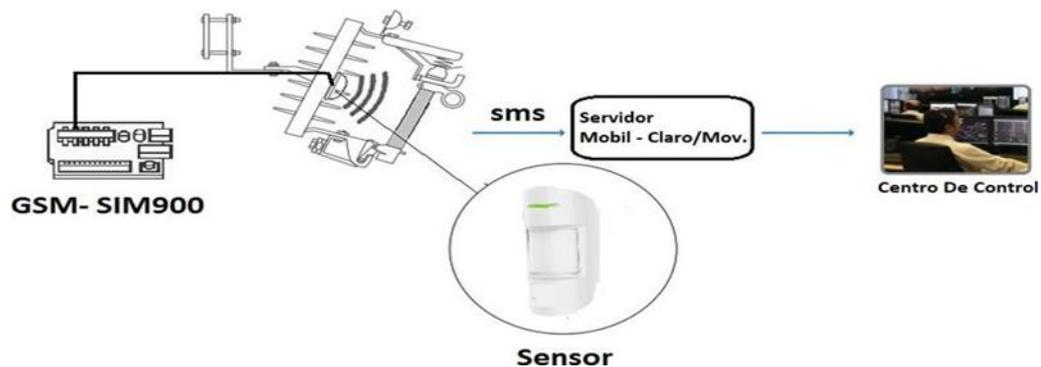


Figura 20. Sistema propuesto

En la figura 20 se puede apreciar el funcionamiento del sensor y del módulo GSM-SIM900, en condiciones normales no habrá ninguna lectura o alarma, pero en el momento que ocurra la apertura o fusión del fusible, el sensor se comunica con el módulo enviando un mensaje a los encargados del sistema para una rápida reposición del servicio.

El mensaje reporta la información básica del fusible fusionado: la fase, el lugar de ubicación del fusible y el calibre del mismo, para garantizar sea reemplazado por uno de las mismas características

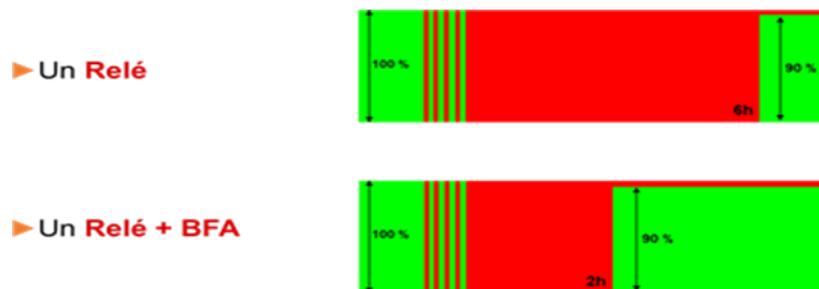


Figura 21. Reducción en tiempos de reposición de servicio

En la figura 21 se aprecia la diferencia de tiempos en reposición de servicio de un sistema normal contra un sistema con alarmador de fusibles quemados, cuando la falla en el sistema sucede, el centro de control de la empresa distribuidora avisa a los encargados de reposición de la pérdida de carga en alguna radial, y estos a su vez dan aviso a las cuadrilla para que recorran la línea y localicen la falla, por lo general, retirar los materiales necesarios y realizar el recorrido hasta ubicar la falla toma alrededor de 30 a 45 minutos dependiendo de la topología de la red, el dispositivo nos permite ubicar la falla y nos brinda información sobre el amperaje del fusible a cambiar, en consecuencia el tiempo de reposición se reduce a un tercio del tiempo normal aproximadamente.

El sistema de monitoreo de fallas en fusibles nos proporciona grandes ventajas para mejorar la confiabilidad de las redes eléctricas de distribución, otras de las ventajas son los siguientes:

- Obtener una mejora en el indicador SAIDI, por ende, la reducción de las compensaciones
- Facilidad de instalación y replicabilidad a nivel de Electrocentro y otras empresas de distribución.
- Costo por SMS económico con relación a otros medios de comunicación.
- Acción inmediata posterior a maniobra o fusión del fusible

3.1.7 Modo de operación

El sistema propuesto tiene funcionamiento automático y se basa principalmente en lo siguiente:

- Bajo condiciones normales, el sensor no percibirá alguna perturbación, es decir no envía ninguna alerta al módulo GSM, esto se interpreta como un estado sin falla.

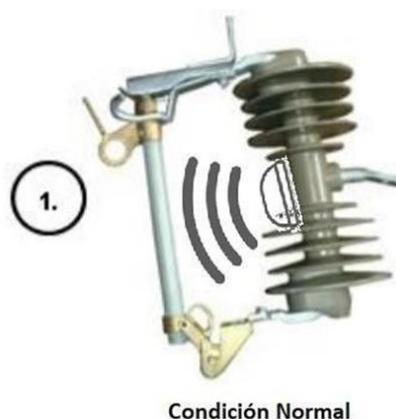


Figura 22. Seccionador en operación normal

- Al ocurrir un evento de falla en la red eléctrica el fusible se funde, y deja una sección de red sin servicio eléctrico, al mismo tiempo el sensor detecta un estado de falla y manda una señal al microcontrolador mediante el dispositivo de radiofrecuencia. para que active el módulo GSM



Figura 23. Seccionador en falla

- El tubo porta fusible estará fuera de servicio y el microcontrolador activará el Módulo GSM para que este pueda enviar un SMS a la empresa distribuidora y a su centro de control para alertar a la cuadrilla encargada de la red afectada indicando el seccionamiento afectado en un tiempo máximo de 10 s.



Figura 24. Seccionador fuera de servicio

- Una vez repuesto el servicio, el sistema vuelve a su estado inicial para que pueda seguir trabajando en caso de que ocurra otra falla.

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DEL DISPOSITIVO

En esta parte se explicará a detalle el desarrollo del sistema electrónico y de control, además se verán las funciones utilizadas del microcontrolador y sus interacciones con los otros componentes para poder realizar el envío del mensaje por falla de manera óptima.

4.1 Diseño Electrónico

4.1.1 Circuito electrónico

Para el sistema de alimentación del dispositivo se utilizaron 2 baterías LiPo de 3.7V que trabajan en serie para poder obtener un nivel de voltaje de 7.4V, todos los dispositivos utilizados en el desarrollo del dispositivo (microcontrolador, SIM800, RF 435MHZ, Microrelé G5V1) trabajan a un nivel de voltaje de 5V, para acoplar el voltaje se utilizó el regulador AMS1117, la conexión para la alimentación del circuito es la siguiente:

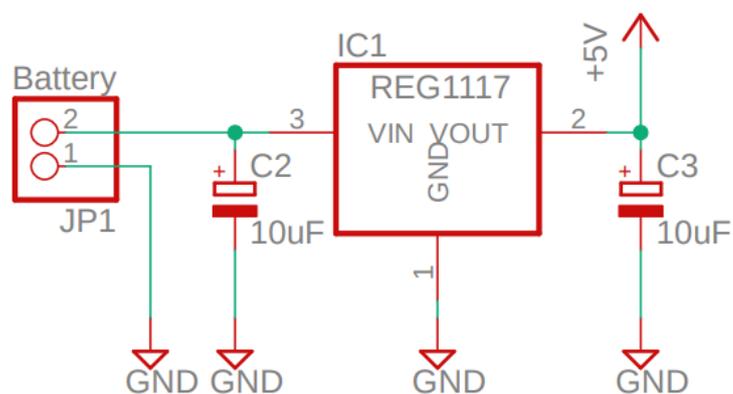


Figura 25. Regulación de tensión del dispositivo

El polo positivo de la batería está conectado al pin 3 del regulador de tensión y el polo negativo va a tierra, a la entrada y a la salida de los voltajes (7.4V y 5V) se les colocaron capacitores de 10uF para que el nivel de voltaje sea estable, a fin de obtener los 5V exactos a la salida.

El dispositivo posee 8 led indicadores que brindan información sobre el funcionamiento del dispositivo, esto se detalla más adelante cuando se hable de las conexiones del microcontrolador con los demás dispositivos, los leds se conectaron de la siguiente manera:

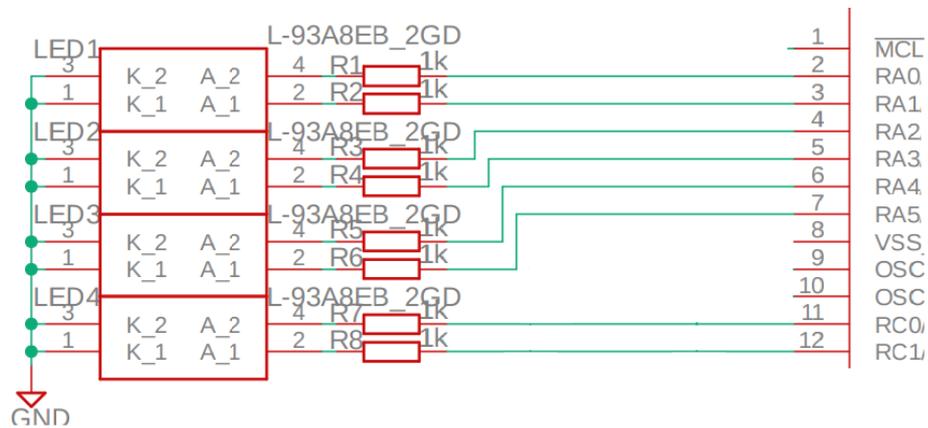


Figura 26. Conexión de leds indicadores

El microcontrolador posee comunicación por puerto USB, para poder habilitar este puerto se utilizó un adaptador USB tipo b hembra, y la conexión es la siguiente:

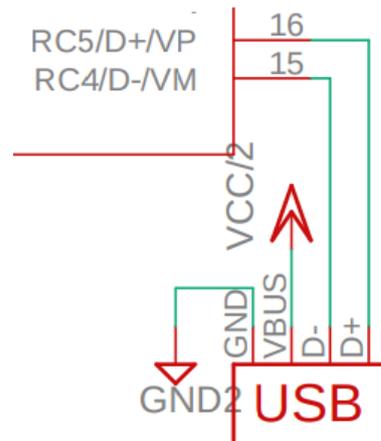


Figura 27. Conexión puerto USB

Utilizar la comunicación del microcontrolador por el puerto USB es de importancia para la rápida programación del dispositivo, los microcontroladores por lo general son programados mediante una tarjeta, utilizar este método de programación para este dispositivo no habría sido práctico, la programación se realiza utilizando un Boot Loader mediante el puerto USB, esto será explicado cuando se detalle la programación del dispositivo.

El dispositivo utiliza un interruptor DPDT, este funciona como un conmutador de dos caminos, con estos se puede conmutar el modo de funcionamiento normal con el modo de programación, esto nos permite realizar la programación del dispositivo mediante el puerto USB desde cualquier ordenador. El interruptor conmutador está conectado de la siguiente manera:

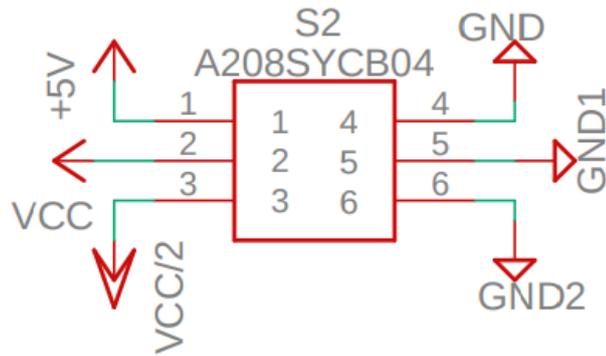


Figura 28. Conmutador DPDT

Los pines 3 y 6 se encuentran conectados a 5V+ y a tierra, al utilizar el interruptor en el primer modo se conectan los pines 2,3 y 5,6, lo que significa el encendido del módulo, al cambiar el interruptor al segundo modo se conectan los pines 1,2 y 4,5 cambiando al modo de programación.

El dispositivo SIM 800 está conectado a la fuente de voltaje de 5V y a tierra mediante los pines 1 y 2, el pin 1 va conectado directamente a 5V+ pero el pin 2 se conecta al microrelé, por lo que se encuentra apagado, en el momento en el que este se active, se cerrará el circuito y se activará el SIM800, el uso del microrelé es para mantener el consumo de energía del SIM 800 lo más bajo posible, los pines 4 y 5 son para la conexión del receptor y el transmisor.

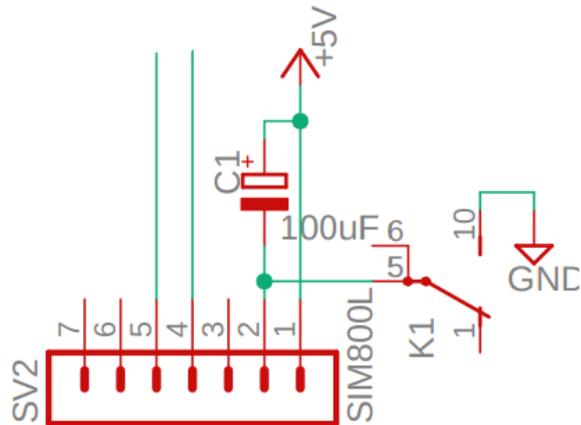


Figura 29. Conexión SIM800

El microrelé se encuentra conectado a un transistor, esta conexión es necesaria para alcanzar el nivel de corriente mínimo para activar la bobina del microrelé, se conecta un diodo en paralelo con el relé para evitar que dañe el transistor, cuando el relé esta desactivado se encuentra conectado al negativo del SIM800,

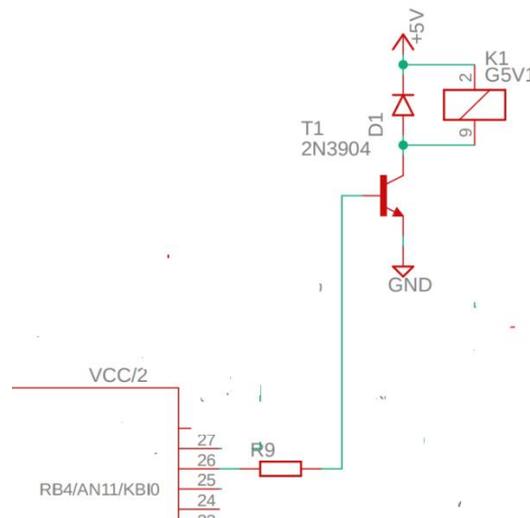


Figura 30. Conexión Microrele G5V-1

El dispositivo de radiofrecuencia RF 435MHZ está conectado de la siguiente manera, los pines 3 4 y 5 van conectados al microcontrolador estos serán los encargados

de mandar la señal de falla para que se active el envío del mensaje de texto, los pines 1 y 2 son conectados a tierra y a 5V+ respectivamente.

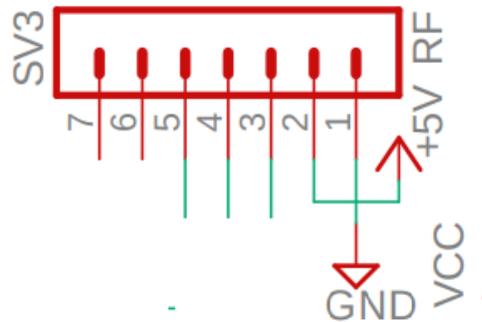


Figura 31. Conexión RF 435MHZ

Para iniciar al dispositivo se utilizó un pulsador SPDT, este se encuentra cerca a la antena del dispositivo RF, por lo que este sujeto a ruido, para solucionar este problema se conectó un capacitor de 100nF.

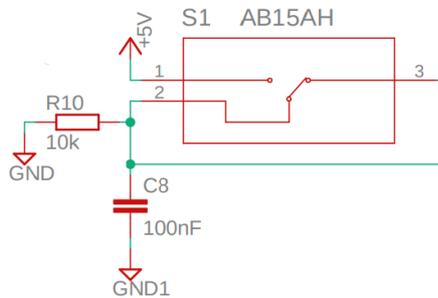


Figura 32. Conexión, pulsador S1

Para el reinicio del dispositivo se utiliza el pulsador S3, este va conectado al pin 1 del microcontrolador.

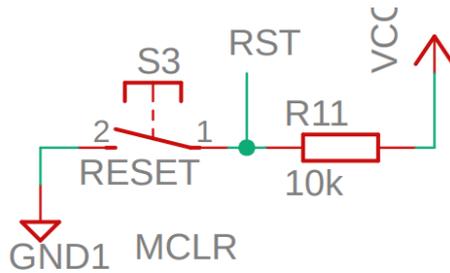


Figura 33. Conexión, pulsador de reinicio S3

Al estar trabajando con un microcontrolador, un dispositivo para envío de mensajes mediante la red GSM y un dispositivo RF el circuito electrónico debe estar diseñado para poder filtrar ruido y alguna otra interferencia que pueda llegar a generar dificultades al momento del envío del mensaje de texto, para solucionar este problema se instaló un capacitor de 100nF, este capacitor debe encontrarse lo más cercano físicamente a los pines de alimentación del microcontrolador para que pueda realizar su función como filtro de mejor manera,



Figura 34. Capacitor para filtrar ruido

El circuito completo se muestra en la siguiente figura:

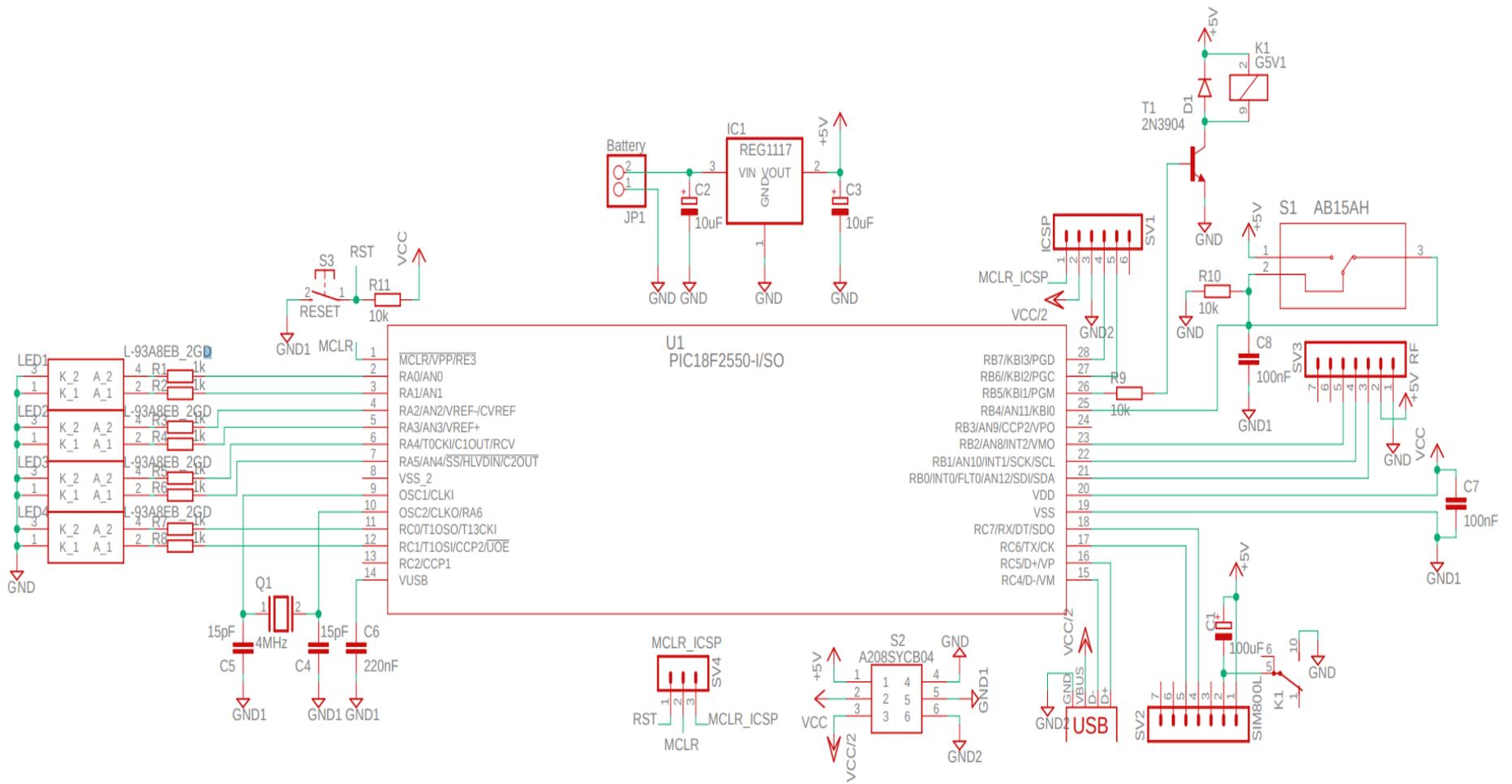


Figura 35. Esquemático del dispositivo

4.1.2 Diagrama PCB

La figura 36 muestra el diagrama PCB del circuito

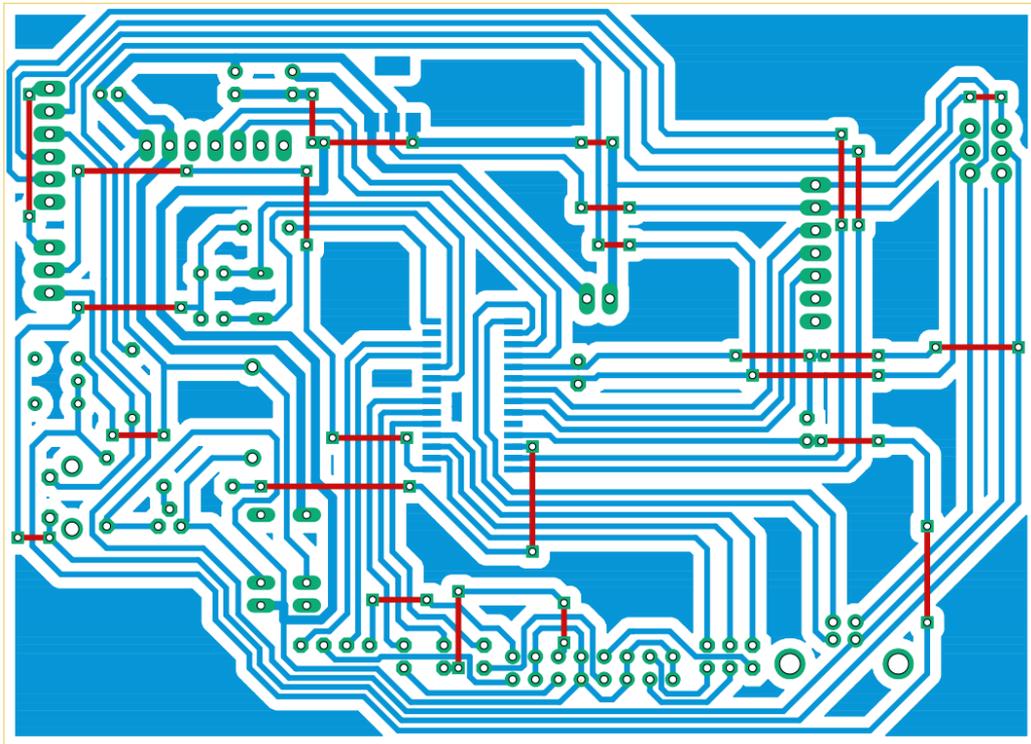


Figura 36. PCB del dispositivo

La siguiente figura muestra la placa impresa

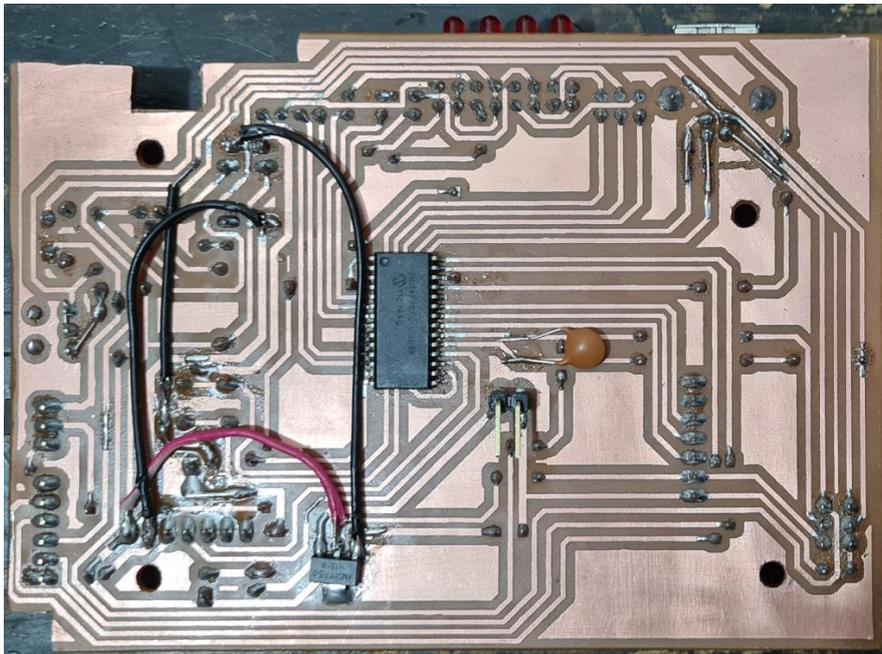


Figura 37. Placa impresa

4.2 Diseño de Control

4.2.1 Funciones del microcontrolador

La base del control del dispositivo es el PIC18F2550, este microcontrolador es el encargado de realizar el control de todos los dispositivos para conseguir el envío de mensajes de texto cuando ocurra una falla en el sistema, para poder realizar estas tareas de manera eficiente el microcontrolador debe brindar las prestaciones necesarias, a continuación, se describe el microcontrolador y las funciones utilizadas en este trabajo

4.2.2 PIC18F2550

El microcontrolador PIC18F2550 es un circuito de control integrado desarrollado por la empresa Microchip. Este es ideal para trabajar en sistemas de control incorporado que requieran un bajo consumo de energía conexión USB y un puerto para comunicación universal asíncrona de receptor/transmisor (UART). Este microcontrolador también posee la capacidad de ser autoprogramable mediante el uso de un *bootloader*, esta rutina debe ser escrita al inicio del programa.

Por las prestaciones que brinda este microcontrolador es ideal para el desarrollo del dispositivo, en especial por el puerto para comunicaciones UART, ya que la tarea principal es recibir la señal de falla desde el transmisor RF hacia el receptor. El dispositivo RF con el que se trabajó no puede realizar la comunicación entre emisor y receptor de manera directa, este necesita un intermediario que pueda codificar y decodificar la señal, en este caso el microcontrolador realiza esta tarea.

A continuación, se detallará la estructura del microcontrolador, se verán los puertos de entradas y salidas, el modo de bajo consumo, el temporizador de vigilancia (WDT), las interrupciones utilizadas y el módulo de comunicaciones UART.

4.2.2.1 Pines

El microcontrolador utilizado posee 28 pines, los cuales están divididos en 3 puertos, el nivel de voltaje con el que trabaja el microcontrolador es de 5V, el diagrama de pines del microcontrolador es el siguiente:

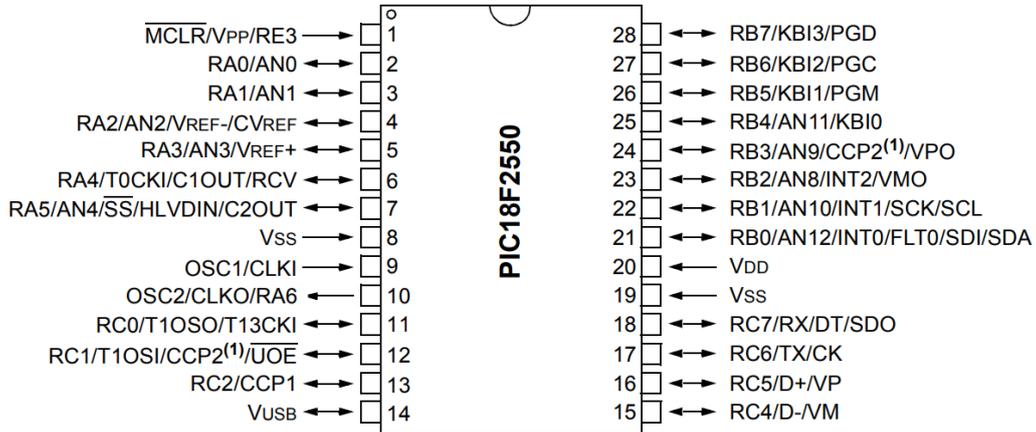


Figura 40. Diagrama de pines

Para el desarrollo del proyecto se utilizó la mayoría de los pines, la función de cada pin y su conexión con los otros dispositivos se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6. *Función de cada PIN*

Pin	Nombre	Función	Conexión
1	MCLR	Reset	PULSADOR S3
2	RA0	Salida digital	led D8
3	RA1	Salida digital	led D7
4	RA2	Salida digital	led D6
5	RA3	Salida digital	led D5
6	RA4	Salida digital	led D4
7	RA5	Salida digital	led D6
8	VSS_2	No utilizado	-
9	OSC1/CLK1	Oscilador externo entrada	Capacitor C5/ Cristal Q1
10	OSC2/CLK0	Oscilador externo salida	Capacitor C6/ Cristal Q1
11	RC0/T1OS0	Salida digital/ Salida temporizada Oscilador externo	led D2
12	RC1/T1OS1	Salida digital	led D1
13	RC2	No utilizado	
14	VUSB	Regulador de voltaje para USB	Capacitor C4
15	D-	Línea negativa del USB	Conector USB
16	D+	Línea positiva del USB	Conector USB
17	TX	EUSART transmisor asíncrono	SIM800
18	RX	EUSART receptor asíncrono	SIM800
19	VSS	Referencia a tierra	GND
20	VDD	Suministro positivo de voltaje	5V+
21	RB0/INT0	Interrupción externa 0	RF 433MHZ
22	RB1/INT1	Interrupción externa 1	RF 433MHZ
23	RB2/INT2	Interrupción externa 2	RF 433MHZ
24	RB3	No utilizado	-
25	RB4/KBI0	Interrupción al cambio en un pin	Microrelé G5V-1
26	RB5/KBI1	Interrupción al cambio en un pin	Transistor T1
27	RB6/PGC	Depurador	ICSP
28	RB7/PGD	Depurador	ICSP

El pin 1 es conocido como MCLR, la función de este es realizar el reseteo del dispositivo si es que el programa encontrará algún error al ejecutarse.

La mayoría de los pines del puerto A sirven para conectar los leds indicadores del dispositivo (Pines RA0 al RA6), el led D2 está conectado al pin RC0, ya que este led

realiza un parpadeo mientras se realizan las verificaciones iniciales del dispositivo, esto se detallará en la sección de diagrama de estados.

Los pines 9 y 10 son los encargados del oscilador del dispositivo, en este caso se utiliza un oscilador externo. Los pines 14, 15 y 16 están destinados a la conexión del puerto USB, el pin 14 VUSB regula el nivel de tensión USB.

De este modo, los pines 17 y 18 son los encargados de las comunicaciones seriales, el pin TX es el transmisor y el pin RX es el receptor, ambos pines van conectados al SIM800 para que este pueda servir como intermediario al codificar y decodificar las señales.

Igualmente, los pines 19 y 20 son los encargados de suministrar el voltaje al microcontrolador, el pin VSS es la referencia a tierra y el pin VDD es el suministro de voltaje positivo, el microcontrolador trabaja a 5Vcc.

Además, los pines RB0, RB1 y RB2 son los encargados de realizar interrupciones por señales externas, para este caso esta señal será enviada por los sensores TILT, los 3 pines van conectados al receptor del dispositivo de radiofrecuencia.

Asimismo, los pines 25 y 26 son los encargados de realizar interrupciones cuando detecten un cambio en el voltaje suministrado a estos pines, ambos son accionados cuando se detecte la señal de falla, el pin KBI1 es el encargado de conectar el transistor para que este active el microrelé y el pin KBI0 es la referencia, ya que está conectado al microrelé cuando este se encuentra desactivado.

Mientras que los pines 27 y 28 van al conector ISCP, estos pines cumplen la función de depurador cuando el sistema entra en una falla crítica.

4.2.2.2 Oscilador

El oscilador es el reloj del microcontrolador, que cada instrucción es ejecutada en sincronización con el reloj, y el oscilador temporiza las diferentes operaciones que realice el microcontrolador. Para el dispositivo se vio conveniente trabajar con un oscilador externo de alta velocidad (HLS), ya que este nos permite elegir el nivel máximo de división en el amplificador inversor interno del microcontrolador.

Para el oscilador externo del dispositivo se trabajó con un cristal de 4MHZ, este fue conectado con 2 capacitores de 15pF como se muestra en la siguiente figura:

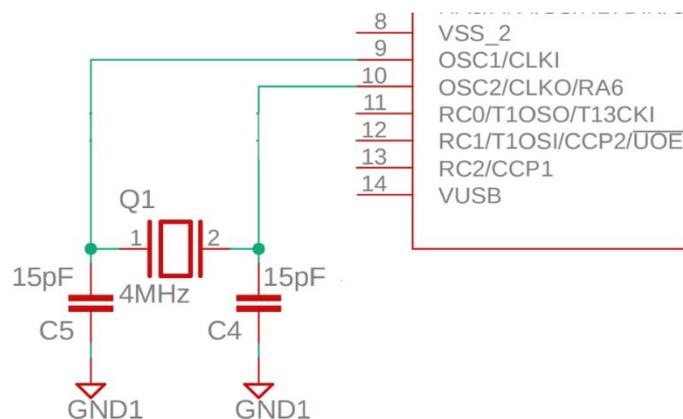


Figura 41. Oscilador externo

4.2.3 Modo sleep

El microcontrolador tiene un alto consumo de energía, debido a que se está trabajando con un dispositivo de envío de mensajes de texto por medio de la red GSM. El sistema de alimentación del dispositivo es por medio de baterías LiPo, si es que se mantiene energizado al microcontrolador en todo momento el tiempo de uso de la batería no sería óptimo, por este motivo se debe de activar el modo de bajo consumo o *sleep*, en este modo el microcontrolador desactiva el CPU y también los osciladores (interno y externo), este lleva a un consumo de corriente mínimo

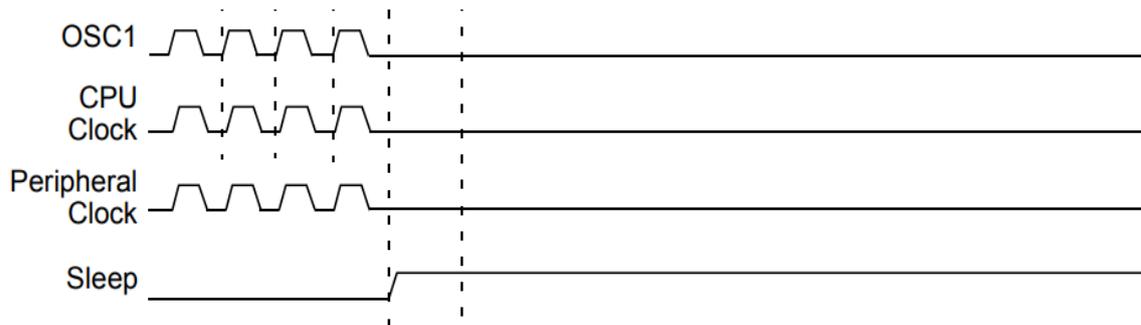


Figura 42 Tiempo de transición hacia el modo *sleep*

Las únicas funciones que se encuentran activas cuando el microcontrolador está en modo de bajo consumo son el temporizador de vigilancia (*watchdog timer*), interrupciones (externas, temporizadas, UART) y el reinicio, la activación de cualquiera de estas hace que el microcontrolador salga de este modo y vuelva a estar operativo.

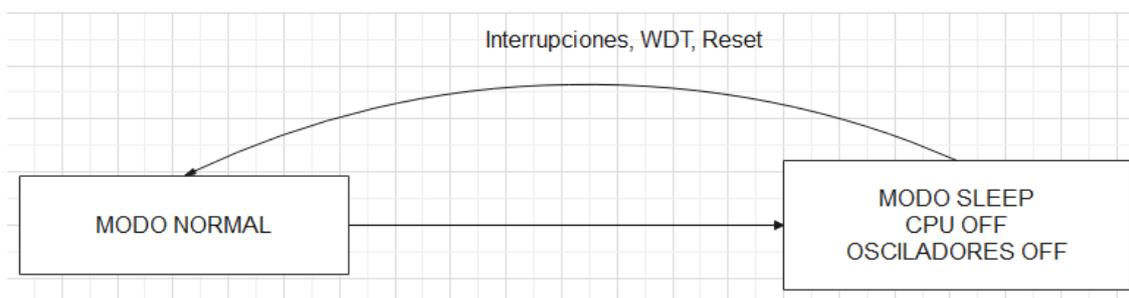


Figura 43. Funcionamiento modo *sleep*

4.2.4 *Watchdog timer*

El *watchdog timer* también conocido como temporizador de vigilancia tiene como función principal reiniciar el microcontrolador una vez agote el tiempo para el que este fue programado, un reinicio es requerido para prevenir una falla en el sistema debido a un error de hardware o algún error grave de programación.

El contador de tiempo del WDT es independiente de los osciladores internos o externos del sistema, este cuenta con un oscilador propio que trabaja de manera independiente del reloj del sistema.

Debido a que cuenta con un oscilador, este temporizador es capaz de forzar al microcontrolador a abandonar el modo de bajo consumo (*sleep*). Este oscilador provee al WDT con un reloj propio, el tiempo mínimo temporizado del WDT es de 4 milisegundos, en el dispositivo se utiliza el WDT para poder enviar el mensaje de verificación de funcionamiento del dispositivo, este mensaje informa cada 48 horas que el dispositivo se encuentra funcionando sin ninguna eventualidad.

El tiempo mínimo temporizado es de 4ms y se utiliza un post divisor para multiplicar este tiempo con un máximo de 32768 veces (2^{15}) con lo que se lleva el temporizador del WDT a 2 minutos con 10 segundos, al cumplir este tiempo despertará al microcontrolador y realizará un registro de contador y volver a modo *sleep*, una vez el programa realice esta acción 1220 veces se llegará a cumplir el tiempo de 48 horas y se enviará el mensaje de verificación de funcionamiento del dispositivo.

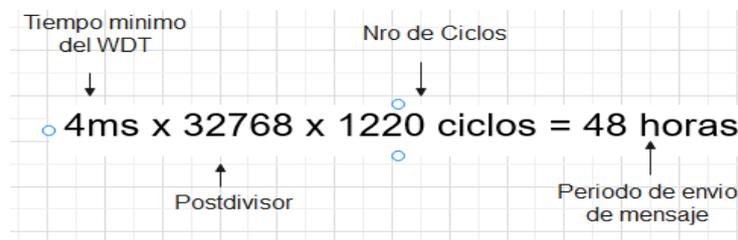


Figura 44. Periodo de envío de mensaje de verificación

4.2.5 Interrupciones

En los sistemas de control si se desea monitorear un cambio específico en algún estado y que al ocurrir este se realice alguna acción por lo general se realiza un monitoreo periódico a dicha acción, esta forma de control es conocida como sondeo.

Si bien el sondeo es útil para registrar el estado que se quiere controlar, tiene dos grandes desventajas, al ser un monitoreo temporizado si es que el tiempo de monitoreo es

muy largo pueden darse respuestas lentas entre la ocurrencia y la detección de la acción, si es que el tiempo de monitoreo es muy corto conlleva a un gran consumo de energía.

La otra opción de monitoreo es mediante las interrupciones, una de ellas es un evento que requiere atención inmediata del microcontrolador, pues al recibir la señal de interrupción el microcontrolador pone en pausa la tarea que está realizando, recuerda la parte del programa en la que se encuentra y atiende la interrupción, este conjunto de acciones es conocido como rutina de servicio de interrupción (ISR). La figura 45 muestra cómo se ejecuta una ISR.

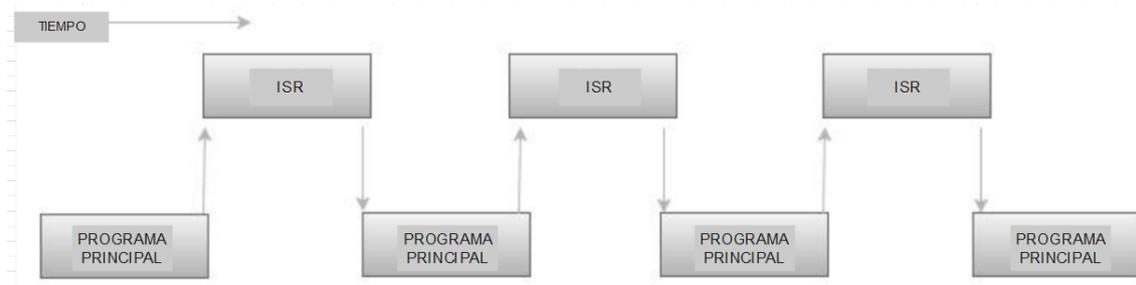


Figura 45. Rutina de servicio de interrupción

Las interrupciones pueden ser generadas de manera externa, por medio de señales o activación de algún dispositivo externo, por lo general, estas deben estar conectadas a algún pin del microcontrolador, cuando se activa este tipo de interrupción se envía una solicitud de interrupción (IRQ) al CPU.

Las interrupciones generadas de manera interna pueden darse por temporizadores, UART, entre otros. Este tipo de interrupciones son notificadas de manera directa hacia el CPU del microcontrolador.

Para el desarrollo del dispositivo se utilizaron ambos tipos de interrupción, a continuación, se detalla el funcionamiento de cada una.

4.2.5.1 Interrupción por PIN

Las interrupciones por PIN son interrupciones activadas mediante señales externas conectadas a los pines del microcontrolador; este tipo de interrupciones son activadas por flancos, es decir, se activan si es que reciben un flanco ascendente o un flanco descendente.

Para el desarrollo del dispositivo se utilizaron los tres pines de interrupción externa, estos están conectados al receptor del dispositivo de radiofrecuencia, los sensores Tilt están conectados al emisor, estos brindan la señal de falla mediante un flanco ascendente, el pin detecta este cambio de voltaje y ejecuta la ISR para que se active el SIM800 y pueda enviarse el mensaje por falla.

Tabla 7. Pines para interrupción externa

Pin	Interrupción	Fase
RB0	INT1	R
RB1	INT2	S
RB2	INT3	T

Cada pin está conectado a un sensor Tilt, de esta manera se instala un sensor en cada fase y cuando ocurra la falla se puede distinguir la fase fallada, lo cual es útil para la empresa de distribución.

Los pines utilizados para la activación de estas interrupciones se encuentran en el puerto B del microcontrolador de la siguiente manera.



Figura 46. Conexión de pines para interrupción al dispositivo RF

4.2.5.2 Interrupción por temporizador

Esta interrupción es del tipo interna y ocurre al momento de iniciar el dispositivo, una vez encendido este se realizan verificaciones iniciales para que este pueda entrar en funcionamiento, durante el tiempo en el que se realizan estas verificaciones iniciales la rutina de interrupción hace parpadear al led D2. El pin encargado de realizar este parpadeo es el RC0/T1OS0.



Figura 47. Conexión RC0 a led D2

4.2.5.3 Interrupción al cambio

Este tipo de interrupción basa su funcionamiento en el cambio de estados según el voltaje que reciba, puede ir de alto a bajo voltaje o de bajo a alto voltaje, cuando este cambio ocurre se ejecuta la interrupción.

En el dispositivo se utilizó este tipo de interrupción para conectar al SIM800 por medio del microrelé, el pin RB5/KBI1 se encuentra en estado bajo de voltaje, cuando se requiere el envío de mensaje de texto ya sea de verificación o falla este pasa a un estado alto, en este momento se conecta al transistor 2N2222A, al activar el transistor se logra llegar al nivel de corriente necesario para poder activar al microrelé.

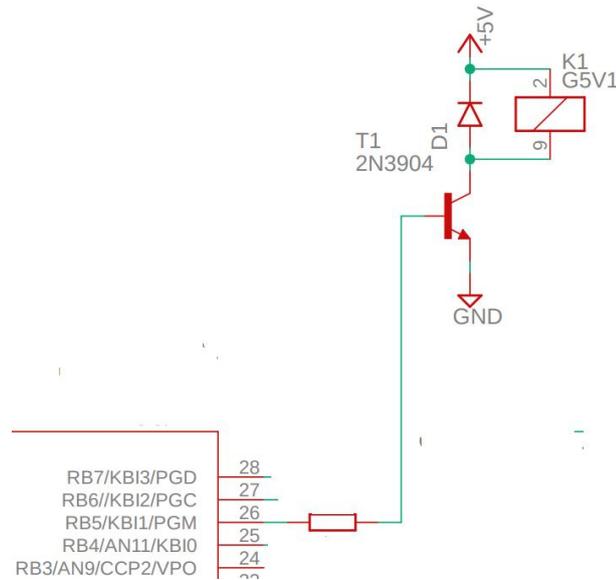


Figura 48. Conexión RB5/KBI1 a transistor

El otro pin de interrupción al cambio utilizado es el RB4/KBI0, este pin se encuentra conectado al pin del microrelé cuando este se encuentra activado por lo que siempre está en un estado alto de voltaje, una vez se realiza la interrupción en el PIN RB5 y se conecta el microrelé este pasa a un estado bajo y realiza la interrupción.

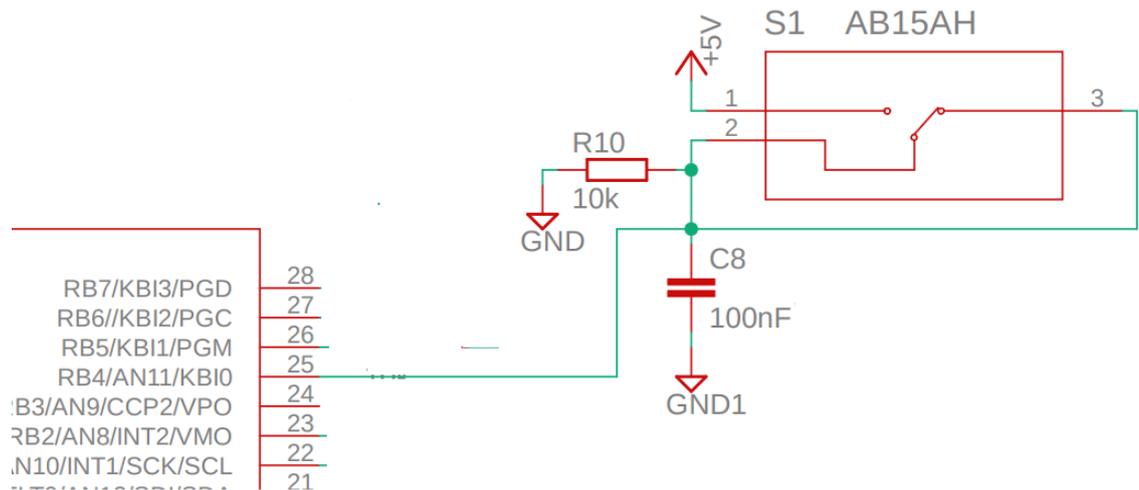


Figura 49. Conexión RB4/KBI0 al microrelé

4.2.6 UART comunicaciones asíncronas

Para que el microcontrolador pueda comunicarse con dispositivos que realizan transmisión y recepción de datos debe existir un protocolo. El microcontrolador posee de manera interna un módulo universal para comunicaciones asíncronas (UART). Este módulo permite la comunicación entre el microcontrolador y el dispositivo GSM, este módulo de comunicación serial es dual y permite la recepción y transmisión de datos en ambos sentidos

4.3 Diagrama de Estados

Para la programación del microcontrolador se utilizan los diagramas de estado, pues el utilizar este diagrama nos permite una mejor organización y la depuración de errores es más simple; lo que ahorra tiempo en el momento de realizar modificaciones dentro del código de programación.

Los diagramas de estado se basan en un numero finito de estados por los que un sistema puede pasar, al conjunto de estados se le conoce como máquina de estados, cada

estado dentro de la máquina de estados puede tener las siguientes acciones: acción de entrada (entry) esta acción se realiza al momento de ingresar al estado, una acción que se realice durante la ejecución del programa dentro de este estado(during), una condición de salida(exit) que solo se ejecuta al abandonar el estado y una acción de transición que se realiza entre el cambio de estados, para cambiar de estado deben cumplirse las condiciones impuestas dentro del mismo, a continuación se detallara el diagrama de estados del dispositivo.

La figura 50 corresponde al estado de verificación inicial, al encender el dispositivo el microcontrolador se encuentra en este estado, el punto negro es el inicio del programa.

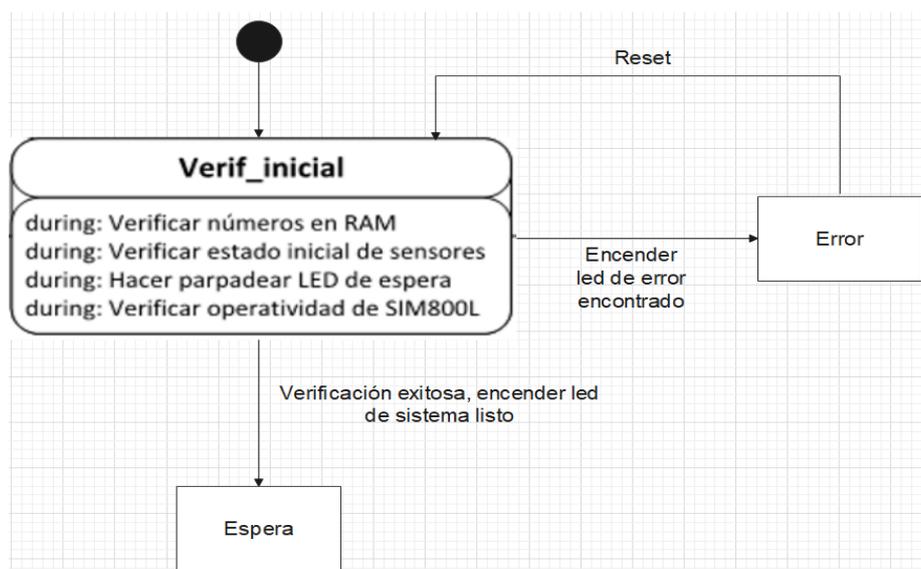


Figura 50. Verificación inicial

El sistema realiza verificaciones iniciales, si la verificación de todas estas es exitosa el microcontrolador procede al estado de espera.

El estado de verificaciones iniciales tiene cuatro condiciones que debe realizar durante la ejecución del código (condiciones *during*), si una de estas no se cumple no se podrá pasar al siguiente estado, estas condiciones son las siguientes:

- Verificar que existan números almacenados dentro de la memoria RAM del SIM800, dentro de la memoria se pueden almacenar hasta un máximo de 6 números telefónicos.
- Verificar la posición inicial del sensor, si es que el sensor se encuentra en posición de falla al momento de iniciar el dispositivo esta señal se tomara como error.
- Verificar operatividad del SIM800, el módulo GSM debe ser capaz de conectarse a la red y el nivel de voltaje de operación debe ser mayor a 5V para que pueda trabajar de manera normal.
- Hacer parpadear led de espera, este led indicara que se están realizando las verificaciones iniciales, los parpadeos se realizan cada $\frac{1}{2}$ segundo durante el tiempo que tome realizar las verificaciones, este depende de la calidad de la red del punto donde se encuentre el dispositivo.

Una vez cumplidas todas las verificaciones iniciales se avanza hacia el estado de espera, la acción de transición del estado de verificaciones iniciales hacia el de espera es encender el led D2, si es que no se llegaron a cumplir alguna de estas condiciones se ingresa al estado de error, la acción de transición es la de encender el led de error, los errores en las verificaciones iniciales están indicados mediante led de la siguiente manera.



Figura 51. Leds Indicadores del dispositivo

Tabla 8. Función de cada led

Diodo led	Indicador
D1	Todas las verificaciones iniciales se realizaron de manera correcto y el sistema está listo para entrar en funcionamiento.
D2	Indicador de Espera
D3	La memoria RAM del SIM800 no contiene números telefónicos almacenados.
D4	El sensor TILT se encuentra en posición de falla
D5	SIM800 inoperativo
D6	SIM800 no logra registrarse en la red GSM
D7	SIM800 no pudo enviar el SMS por falla
D8	SIM800 realizó envió de SMS de manera exitosa

Si es que se indica algún error en las verificaciones iniciales del dispositivo se ingresa al estado de error, para salir de este estado se debe reiniciar el dispositivo mediante el botón RESET o se debe de desenergizar el dispositivo, al hacer esto se volverá al estado inicial.

Cuando se cumplen todas las condiciones del estado de verificaciones iniciales el microcontrolador enciende el led D2 para indicar que se encuentra en el estado de espera,

El estado de espera se muestra en la figura 52, este estado es accesible solo si las verificaciones iniciales fueron exitosas, esto es indicado mediante el led D2.

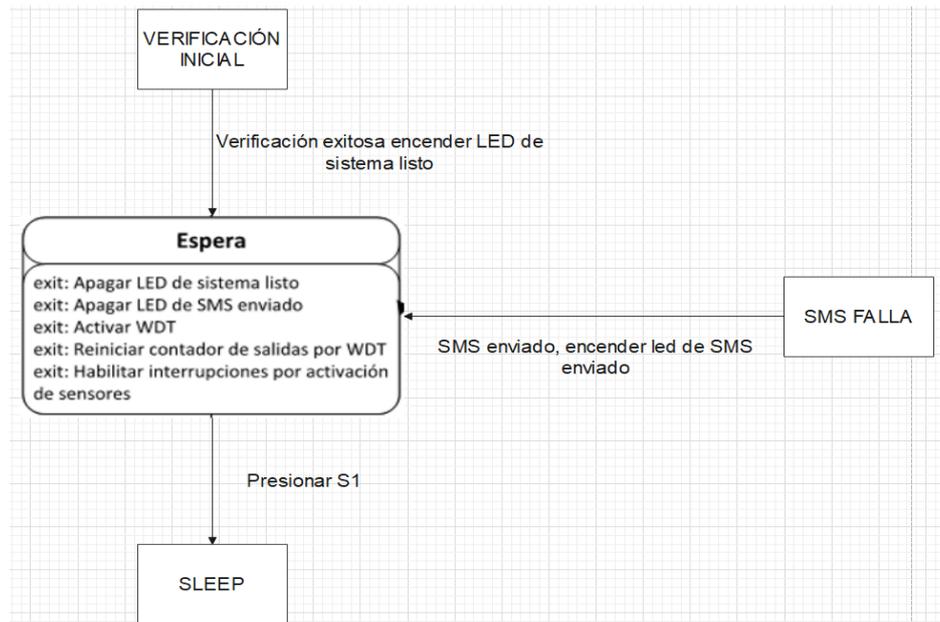


Figura 52. Estado de espera

Una vez encendido el led D2 el sistema se encuentra en el estado de espera, este estado solo tiene acciones *exit*, estas acciones se realizarán una vez se abandone este estado, esto sucede si se presiona el botón S1. Las acciones que realiza el microcontrolador al abandonar este estado son las siguientes:

- Activar el *watch dog timer* del microcontrolador
- Apagar led D2 indicador de verificación exitosa
- Apagar led D8 de envío de SMS
- Habilitar interrupción por activación de sensores
- Reiniciar contador del WDT

Las acciones de salida importantes realizadas por el microcontrolador cuando abandona el estado de espera es la activación del temporizador de vigilancia(WDT) y la habilitación de interrupción por sensores, al pasar al estado *sleep* el microcontrolador se encontrará en modo de bajo consumo. El *watch dog timer* realizará la función de vigilancia para el envío del mensaje de texto de verificación y las interrupciones por activación de sensores realizaran el envío de mensaje en caso ocurra una falla, por este motivo es importante activar ambas antes de ingresar al modo de bajo consumo.

Siempre que se regrese al estado de espera, se realizará el reinicio del conteo de ciclos realizado por el *watch dog timer*, este conteo de ciclos es para enviar el mensaje de texto de confirmación de funcionamiento, este SMS es enviado cada 48 horas y es un registro de que el sistema sigue operando de manera óptima.

Si es que se activará el envío de SMS por falla, se activará el led D8 y se regresará al estado de espera, la razón por la que se vuelve a este estado es para obligar al personal encargado de la reposición del servicio a reiniciar el dispositivo para que este pueda continuar funcionando con normalidad. Una vez repuesta la falla se debe activar el pulsador S1 para apagar el led D8, realizada esta acción el dispositivo vuelva a estar en funcionamiento normal.

El siguiente estado es el de *sleep* (ver figura 53), en este estado se tiene una acción *entry* y una acción *exit*, la acción que se realiza al ingresar al estado es la de poner al microcontrolador en modo de bajo consumo, en este modo el microcontrolador se encuentra teóricamente apagado, las únicas funciones activas son el WDT y las interrupciones por sensores, existen 2 maneras para salir de este estado, si es que se activa el sensor TILT lo que significa el envío de mensaje por falla o que el temporizador de

vigilancia llegue a contar los ciclos para el envío del mensaje de texto de verificación, en ambos casos al abandonar el estado *sleep* se desactivara el WDT.

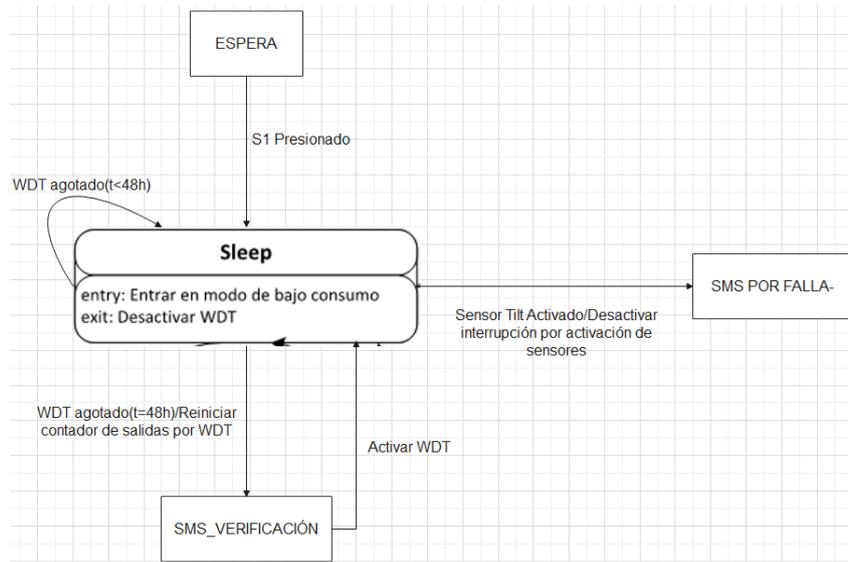


Figura 53. Estado *sleep*

Si se abandona el estado *sleep* por la activación del sensor Tilt, se hace una transición hacia el estado de SMS por Falla, en esta transición se desactiva la interrupción por sensores, el microcontrolador PIC18F2550 cuenta con 3 entradas para interrupción por PIN (RB0, RB1 y RB2) con lo que al instalar un sensor Tilt en cada fusible de las fases RST del sistema de distribución se puede reportar la falla por fase. Una vez enviado el mensaje de texto por falla el sistema regresa al modo de espera hasta que se reponga el servicio y se active el pulsador S1 para que el dispositivo pueda seguir funcionando.

El WDT es un temporizador de vigilancia, y el tiempo mínimo de activación que posee es de 4 mili segundos, una vez se active reinicia al microcontrolador, utilizando el post divisor del microcontrolador se puede ampliar el tiempo hasta 2 minutos y 10 segundos y multiplicando 1320 ciclos se lleva el tiempo a 48 horas-, la acción que realiza el microcontrolador en el estado *sleep* es la de monitorear que se haya llegado a los 1320 ciclos, si es que no se cumple el número de ciclos necesarios volverá al estado *sleep* hasta

conseguir el tiempo programado. Cada vez que se activa el WDT se vuelve a realizar la acción *entry* de activar el modo de bajo consumo.

El salir del estado *sleep* por envío de mensaje de verificación significa que el temporizador de vigilancia llego a contar las 48 horas sin ser interrumpido por señal de falla. Al realizar esta transición hacia el estado de SMS_VERIFICACIÓN se reinicia el contador del WDT, una vez enviado el mensaje de verificación se regresa al estado *sleep*, al transicionar de vuelta hacia este estado se activa el WDT para que este pueda volver a enviar el SMS de verificación nuevamente.

La figura 54 nos muestra el estado de SMS Verificación, este estado contiene acciones *during*, para ingresar a este estado se debe de agotar el contador del temporizador de vigilancia.

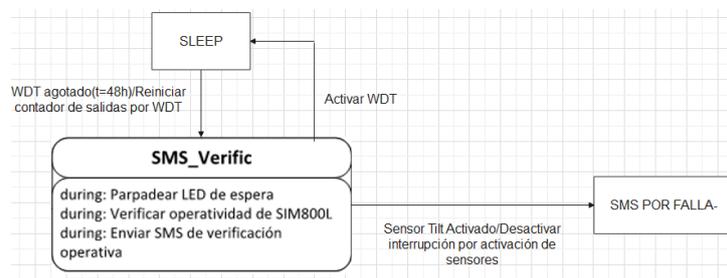


Figura 54. Estado de SMS Verificación

El acceso a este estado se da cuando se agota el contador del temporizador de vigilancia, mientras se encuentre en este estado el microcontrolador debe realizar las siguientes tareas:

- Parpadear led de espera D2
- Verificar operatividad del SIM800
- Enviar SMS de verificación de funcionamiento del dispositivo

El envío de mensaje de verificación es la manera en la que el microcontrolador comunica que continúa en funcionamiento, si se diera el caso en que el SIM800 no pueda conectarse a la red para enviar el mensaje de texto. Una vez enviado el SMS de verificación se vuelve a activar el WDT para que se realice el conteo de ciclos nuevamente y se pueda enviar otro mensaje de verificación de funcionamiento en 48 horas.

Si es que se llegara a activar la interrupción por sensor y se está ejecutando el envío de mensaje de verificación, el mensaje de texto por falla tendrá prioridad sobre el mensaje de verificación. Al momento de realizar la transición hacia el estado de SMS por falla, se desactivan las interrupciones por pin, aunque es algo poco probable también se contempló este supuesto en la programación del microcontrolador.

El estado de SMS por falla se muestra en la figura 55, este estado es el que ejecuta el envío del mensaje de texto cuando ocurre una falla en el sistema de distribución, se ejecutan las siguientes acciones *during*:

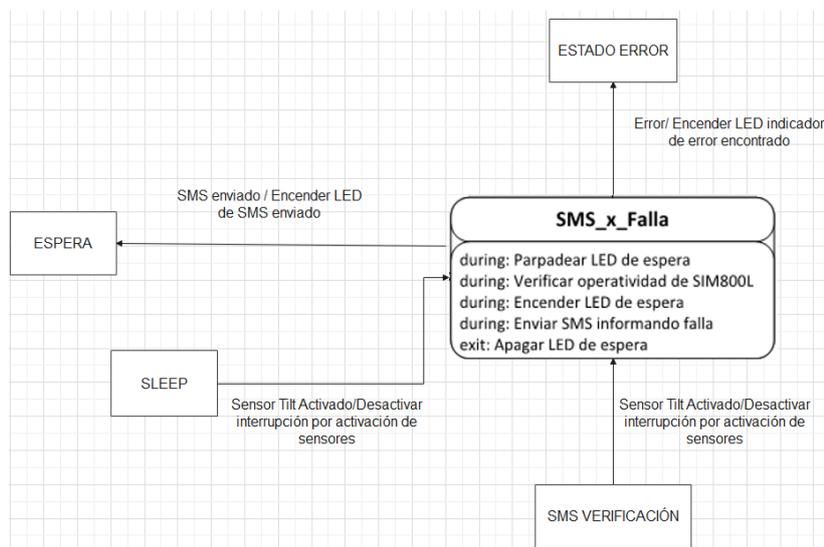


Figura 55. Estado de SMS por Falla

- Encender led de espera D2
- Hacer parpadear led de espera

- Verificar operatividad del SIM800
- Enviar SMS de información sobre falla en seccionamiento

Existen dos maneras de acceder al estado de envío de mensaje por falla, desde el estado SLEEP y desde el estado de SMS de Verificación; en ambos casos, el acceso a este estado se da si es que se activan la interrupción por pines al recibir la señal del sensor TILT. Al momento de realizar la transición hacia este estado, se desactivan las interrupciones por pines, si es que se está enviando un SMS de verificación y ocurre una falla el mensaje de falla tendrá prioridad sobre este.

Una vez enviado el SMS por Falla se enciende el led D8, este indica el envío exitoso del mensaje y el microcontrolador regresa al estado de espera. El led D8 continuará activado hasta que el sistema sea repuesto y el sensor vuelva a estar en posición normal. Esto obliga al encargado de reponer el servicio de distribución a activar el pulsador S1 para que el sistema vuelva al modo *sleep* y pueda estar listo para una nueva eventualidad.

Si ocurre una falla y el mensaje no puede ser enviado en el primer intento, el programa tratará de enviar el SMS hasta 3 veces por número, si es que no se logra enviar el SMS luego de estos intentos se encenderá el led D7, indicando que ocurrió un error grave. La única manera de salir de este estado es mediante el botón *reset*, este error se puede dar bajo las siguientes circunstancias:

- El SIM800 se quedó sin batería, si es que el nivel de voltaje de la batería es menor a 4.6 voltios el SIM800 no funcionará.
- El chip insertado dentro del SIM800 se quedó sin saldo para envío de mensajes.

- El SIM800 no puede conectarse a la Red GSM, ante una eventual falla general en el sistema de distribución al desenergizar no se podrá acceder a la red GSM.

El último estado es el de error (ver figura 56); para acceder a este estado debe de ocurrir un error en el envío del SMS por falla (error grave) o un error en las verificaciones iniciales (error leve), un error en el envío de mensaje de verificación de funcionamiento no está contemplado, ya que ese mensaje es solo para brindar información.

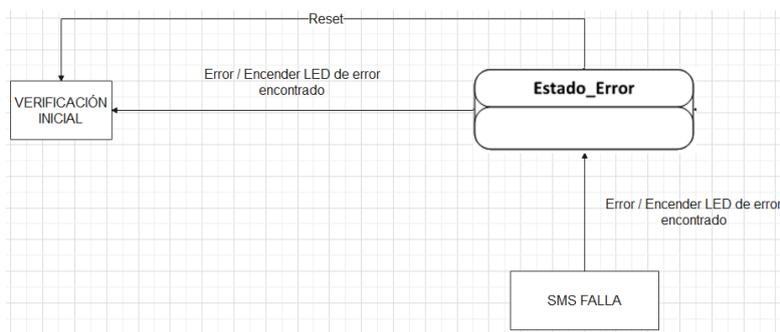


Figura 56. Estado de error

La única manera para abandonar este estado es mediante el botón *reset*, una vez reiniciado el equipo los led indicadores de error se apagarán y se volverá al estado de verificación inicial.

Los errores contemplados dentro de este estado son los siguientes:

- No se encuentran números en la RAM del SIM800 (indicador led D3)
- El sensor se encuentra en posición de falla al encender el dispositivo (indicador led D4)
- El SIM800 se encuentra inoperativo (indicador led D5)
- El SIM800 no puede acceder a la red GSM (indicador led D6)
- No se puede enviar el mensaje de falla (indicador led D7)

En la figura 57 se puede apreciar la máquina de estados del dispositivo.

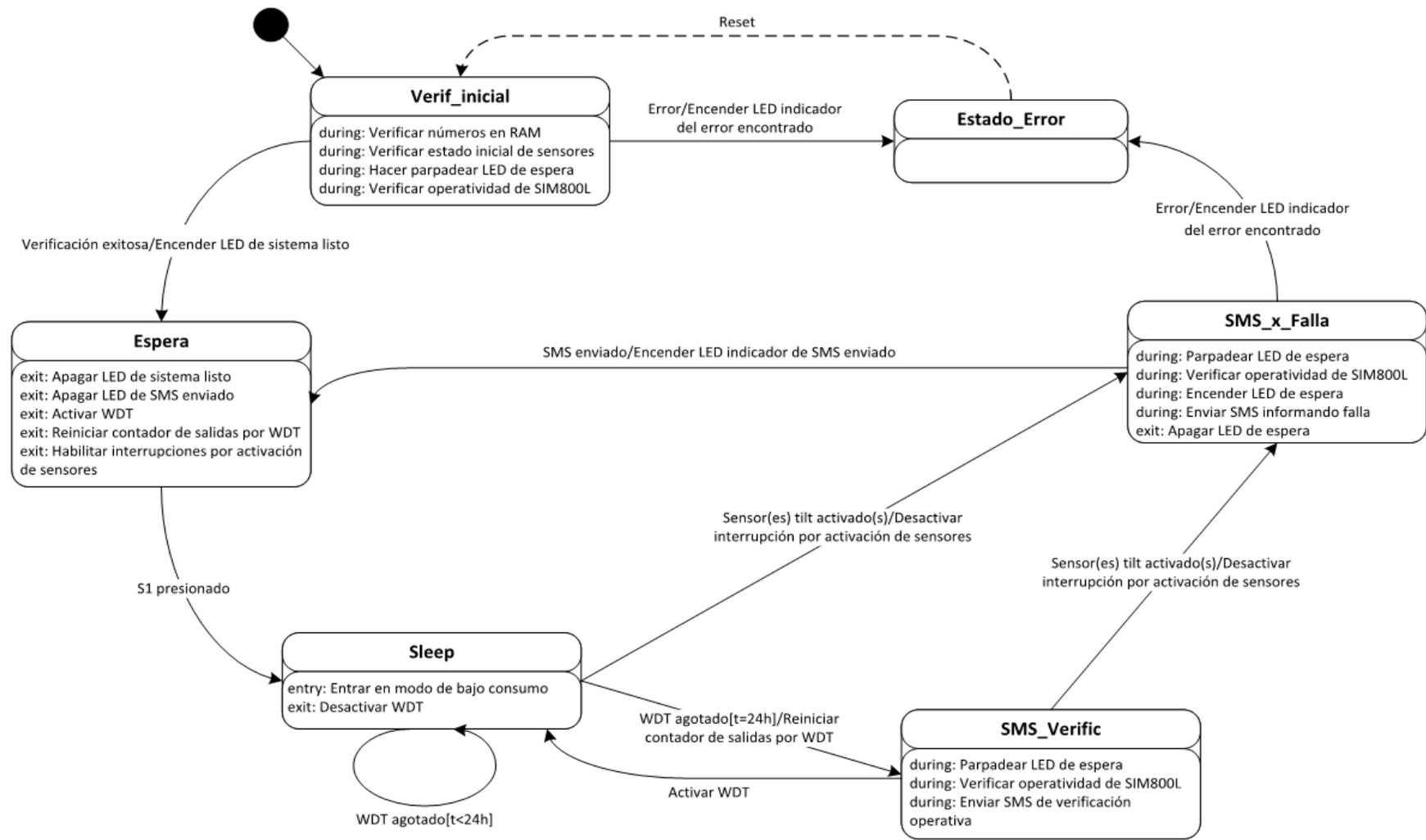


Figura 57. Máquina de estados del dispositivo

4.4 Desarrollo del Programa

Para la programación del microcontrolador se utilizó el *software* Micro C para PIC, este permite ingresar instrucciones al microcontrolador mediante el lenguaje C. Como se explicó en el capítulo anterior, el diagrama de estados se ve reflejado en el código escrito para el programa. En este capítulo se detallarán las definiciones, variables y funciones utilizadas.

4.4.1 Constantes

Para que trabajar con los puertos de entradas y salidas del microcontrolador y sea más sencillo se le asignó a cada uno de ellos una constante de la siguiente manera:

Tabla 9. *Definiciones y constantes del programa*

Constantes	Función
S1 RB4_bit	Pulsador de inicio/reinicio
Fase R INTOIF_bit	<i>Flag</i> de interrupción externa Fase R
Fase S INT1IF_bit	<i>Flag</i> de interrupción externa Fase S
Fase T INT2IF_bit	<i>Flag</i> de interrupción externa Fase T
En_SIM800 LATB5_bit	Habilitación de SIM800
OK_led LATA0_bit	Led de sistema preparado
Wait_led LATA1_bit	Led de espera
DataErr_led LATA2_bit	Led de error de datos
SensorErr_led LATA3_bit	Led de error en sensores
SIM800Err_led LATA4_bit	Led de error en SIM800L
NetworkErr_led LATA5_bit	Led de error de conexión a red GSM
SMSErr_led LATC0_bit	Led de error de envío de SMS
SMS_Sent_led LATC1_bit	Led de SMS enviado
SMS_de_Verif 0	Constante de tipo de SMS a enviar
SMS_de_Falla 1	Constante de tipo de SMS a enviar
ON 1	Constante de encendido
OFF 0	Constante de apagado
TRUE 1	Constante para <i>flag</i>
FALSE 0	Constante para <i>flag</i>

Estas definiciones nos permiten realizar de manera eficiente la programación de todos los pines del microcontrolador que gobernarán a los periféricos que conforman el dispositivo. Las constantes permiten diferenciar entre el tipo de mensaje a ser enviado (verificación o falla), estado de encendido o apagado de algún dispositivo y las constantes para los *flags* de activación.

Al estar la programación basada en el diagrama de estados, explicados anteriormente, es necesario definir los estados también como constantes del programa. Cada estado se encuentra definido en el orden en el que se ejecutaran, de la siguiente manera:

Tabla 10. *Constantes para la máquina de estados*

Estado	Orden de ejecución
Verif_inicial	0
Espera	1
Sleep_	2
SMS_Verif	3
SMS_x_Falla	4
Estado_Error	5

4.4.2 Configuración

4.4.2.1 Inicialización del microcontrolador

Al iniciar el programa, el microcontrolador debe tener preestablecidas algunas configuraciones para que pueda trabajar de manera correcta. Dentro de estas configuraciones se definió el tipo de oscilador a utilizar, las entradas y salidas digitales de los puertos, y se habilitó al temporizador de vigilancia (WDT) y el módulo UART del microcontrolador. Asimismo, todos los bits habilitados para la configuración se definen con los comandos establecidos para estos en la hoja de datos del microcontrolador y se

asignan con números en base hexadecimal para que la expresión binaria sea más simple de representar.

Las configuraciones del microcontrolador se definieron dentro del código del programa de la siguiente manera:

Tabla 11. *Configuración del microcontrolador*

Comando/Bit	Definición
OSCCON=0x73	Se habilita el oscilador interno con frecuencia de 8MHZ
ADCON=0x0F	Habilita las líneas digitales en los puertos A y B
TRISA=0	Habilita como salidas los pines del puerto A, desde el RA0 hasta el RA5
TRISB=0x17	Habilita los pines del puerto B, RB0 RB2 y RB4 como entradas y RB5 como salida
TRISC=0xC0	Habilita los pines del puerto C, RC7:RC6 entradas para el USB, RC0 como salida

4.4.2.2 Temporizadores

El dispositivo necesita de los temporizadores del microcontrolador para poder realizar dos tareas importantes, la primera es el parpadeo del led D2 cuando el dispositivo se encuentra en el estado de verificación inicial, y la segunda es el monitorio del temporizador de vigilancia en el modo de bajo consumo con la ayuda de un post divisor.

Para habilitar los temporizadores se utilizaron los siguientes comandos:

Tabla 12. *Comandos temporizadores*

Comando /Bit	Definición
T0CON=0x17	Temporizador 0 habilitado con post divisor 1:256 para multiplicar el tiempo de monitoreo del WDT
T1CON=0xB0	Temporizador 1 habilitado con post divisor 1:8 para hacer parpadear el led D2
SWDTEN	Habilitar el WDT en el modo de bajo consumo

4.4.2.3 Contadores

El contador del microcontrolador es utilizado en conjunto con el temporizador de vigilancia para que se pueda enviar el mensaje de verificación de funcionamiento del dispositivo. Este contador está programado para registrar 1320 ciclos en los que el WDT llega al tope de tiempo de monitoreo y se reinicia, para utilizar el contador solo se definió como una constante llamada Contador_WDT y se le asignó una función For para que pueda contar hasta 1320 ciclos lo que vendría a ser 48 horas que es el periodo de tiempo en el que el dispositivo envía el mensaje de texto de verificación de funcionamiento.

4.4.2.4 Mensaje de texto (string)

Para poder concatenar los caracteres que conforman el mensaje de texto a enviar cuando ocurre una falla se utilizó la librería llamada C_String, esta librería nos permite utilizar variables de tipo *string* dentro del código del programa. Para el envío del mensaje se definió la variable char RecText, esta nos permite escribir los caracteres para el mensaje de texto dentro de la memoria del microcontrolador.

El dispositivo envía dos tipos de mensaje de texto (verificación y falla), que por falla debe brindar el código del seccionamiento afectado, el alimentador al que pertenece, la ubicación y el número de clientes afectados. Además, para el mensaje de verificación solo se reporta el funcionamiento del dispositivo, cada uno de estos datos son enviados por partes mediante la concatenación de caracteres de la siguiente manera:

Tabla 13. Caracteres para el mensaje de texto

Caracteres	Mensaje
char_Mensaje_1	Subestación, alimentador y seccionamiento
char_Mensaje_2	Ubicación y calibre del fusible afectado
char_Mensaje_3	Número de clientes
char_Mensaje_4	Mensaje de verificación de funcionamiento

Se dividen los caracteres del mensaje en partes, ya que el máximo es de 40 caracteres.

La librería C_String también se utilizó para poder registrar los números dentro de la memoria del dispositivo SIM800, se pueden registrar hasta un máximo de 70 caracteres. Asimismo, los números que se manejan dentro del país poseen 9 dígitos, por esto el máximo número de contactos para el envío del mensaje sería de 7 personas.

4.4.3 Instrucciones

4.4.3.1 Bucle principal

Para poder enviar el mensaje de falla, el dispositivo está programado para realizar tareas sobre la base de estados establecidos, como se explicó en el capítulo anterior cada estado cumple una función cuando se ingresa, cuando se encuentra dentro y cuando se abandona el estado. La programación de estos se realizó de la siguiente manera:

Una vez iniciado el programa este evaluará el estado en el que se encuentra el dispositivo, además los estados por los que pasa el programa están definidos dentro de las constantes del código, una vez el programa interpreta que se encuentra dentro de un estado ejecuta todas las acciones establecidas.

```
// Estado de espera a que se inicie el sistema
if(Estado==Espera)
{
    if(S1)
    {
        OK_LED=OFF;           // Apagar LED de verificación exitosa
        SMS_Sent_LED=OFF;    // Apagar LED de SMS enviados correctamente
        SWDTEN_bit=ON;       // Activar WDT con postdivisor a 32768
        // Reiniciar contador de salidas de sleep por WDT
        Contador_WDT=0;
        // Desactivar flags de interrupciones externas
        Fase_R=0; Fase_S=0; Fase_T=0;
        INTOIE_bit=1;        // Habilitar int. externa por RB0
        INT1IE_bit=1;        // Habilitar int. externa por RB1
        INT2IE_bit=1;        // Habilitar int. externa por RB2
        Estado=Sleep_;      // Pasar a estado de Bajo consumo
    }
}
```

Figura 58. Programación para el estado de espera

Como se ve en la figura 58 se tiene una sentencia IF, con esta se evalúa el estado en el que se encuentra el programa, si se cumple la condición se ingresa el estado y se ejecutan las tareas asignadas. En este caso se ingresa al estado de espera, si es que se presiona el pulsador S1 se activa el WDT y se habilitan las interrupciones, una vez realizadas todas las tareas dentro del bucle el sistema evalúa nuevamente en qué estado se encuentra el dispositivo y sigue ejecutando las tareas.

Una vez se ejecuta el envío del mensaje de texto, el sistema debe ser reiniciado para que pueda evaluar nuevamente la ocurrencia de algún evento.

4.4.3.2 Rutina de servicio de interrupción (ISR)

El dispositivo se alimenta mediante baterías de polímero de litio, además el consumo de los dispositivos necesarios para enviar el mensaje de texto cuando ocurre alguna eventualidad es alto, en especial el consumo del dispositivo SIM800. Por este motivo, el programa hace que una vez realizadas las verificaciones iniciales el microcontrolador ingrese al modo de bajo consumo, la única manera en la que el microcontrolador puede abandonar este estado es si ocurriese alguna eventualidad.

Por tanto, se habilitan las interrupciones del microcontrolador y estas nos permiten despertar al microcontrolador, solo cuando sea necesario con lo que se reduce drásticamente el consumo de energía.

Las rutinas de servicio a la interrupción son las siguientes:

```

void interrupt ()
{
  // Rutina de interrupción para parpadeo del LED de espera mientras espera
  // que el módulo GPRS conteste los comandos previos. El tiempo de espera es
  // de 1 minuto como máximo. El LED se enciende 0,1 s cada 5 segundos
  if(TMR0IF_bit)
  {
    if(Wait_LED)           // Si el LED de espera está encendido
    {
      TMR0H=106; TMR0L=119; // Preparar Timer0 para 4,9 s
      Wait_LED=OFF;        // Apagar LED de espera
    }
    else                   // Si el LED de espera está apagado
    {
      TMR0H=252; TMR0L=242; // Preparar Timer0 para 0,1s
      Wait_LED=ON;         // Encender LED de espera
    }
    TMR0IF_bit=0;         // Borrar flag de Timer0
  }
}

```

Figura 59. ISR para el parpadeo del led en el estado de verificación

```

if(Estado==Sleep_)
{
  asm sleep;           // Entrar a modo de bajo consumo
  SWDTEN_bit=OFF;     // Desactivar WDT
  if(Fase_R || Fase_S || Fase_I) // Si se activó uno de los sensores
  {
    INTOIE_bit=0;     // Deshabilitar int. externa por RB0
    INT1IE_bit=0;     // Deshabilitar int. externa por RB1
    INT2IE_bit=0;     // Deshabilitar int. externa por RB2
    Estado=SMS_x_Falla; // Pasar a estado de envío de SMS
  }
}

```

Figura 60. ISR por señal de falla por activación de sensores

4.4.4 Bootloader

Para poder cargar el programa dentro del microcontrolador por lo general se utiliza una tarjeta de programación, para el dispositivo utilizado esto no sería conveniente, porque se tendría que retirar el microcontrolador de la placa, lo cual no sería práctico. Por este motivo se decidió trabajar con un *bootloader*, este nos permite programar el dispositivo mediante el puerto USB conectado a los pines del microcontrolador, debido a esto, el dispositivo cuenta con un interruptor conmutador que nos permite cambiar del modo de operación al modo de programación habilitando la conexión para el puerto USB.

La carga del programa mediante el *bootloader* se debe realizar cambiando el conmutador al modo de programación y una vez en este modo conectar la entrada USB

del dispositivo a una computadora portátil para realizar los cambios necesarios en la programación.

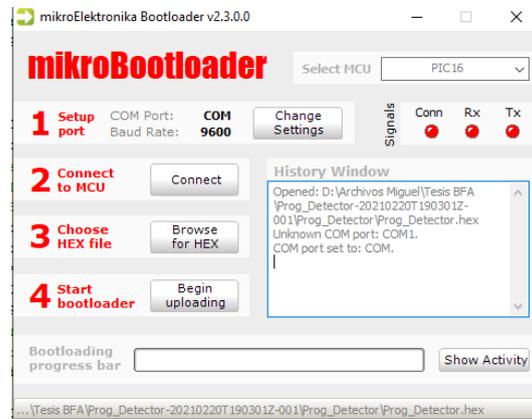


Figura 61. Bootloader

CAPÍTULO V

PRUEBAS DEL DISPOSITIVO Y ASPECTOS ECONÓMICOS

5.1 Pruebas del Dispositivo

Las pruebas realizadas al dispositivo fueron las de funcionamiento y de consumo de energía. Para las primeras se realizaron los ensayos con ayuda de un seccionalizador en la empresa Electrocentro S.A, mientras que para los ensayos para consumo de energía se ejecutaron de manera local y fueron monitoreados mediante el envío de mensajes de texto, ambos ensayos serán detallados en la siguiente sección.

5.1.1 Prueba de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento se realizaron de manera local, en estas pruebas se dio énfasis en el correcto funcionamiento del dispositivo y al de los led indicadores, los leds como se mencionó anteriormente informan los estados del dispositivo, en la figura 62 se muestra el número de led y la información que este brinda si es que está activado:



Figura 62. Indicadores de falla del dispositivo

Al iniciar el dispositivo el led D2 debe realizar un parpadeo, este nos indica que se están realizando las verificaciones iniciales dentro del dispositivo, el tiempo necesario para las verificaciones iniciales varía de acuerdo a la disponibilidad de la red, una vez realizadas las verificaciones iniciales el led D1 indica que el sistema se encuentra listo para iniciar (figura 63 y 64).



Figura 64. Encendido de LED D2 – Estado de verificación/espera



Figura 63. Encendido de LED D1 / Sistema Operativo

Una vez realizadas las pruebas en los led indicadores de inicio, se procedió a simular una falla mediante el sensor Tilt soldado al control emisor del dispositivo de radiofrecuencia, el envío del mensaje se da de manera exitosa (figura 65).



Figura 65. Led D8 / Mensaje de falla enviado

Una vez realizadas las pruebas de manera local, se simulo una falla en un seccionalizador de media tensión brindado por la empresa Electrocentro S.A, el emisor de señal del dispositivo se adhirió al portafusible del equipo y se ensayó una falla en media tensión (figura 66).

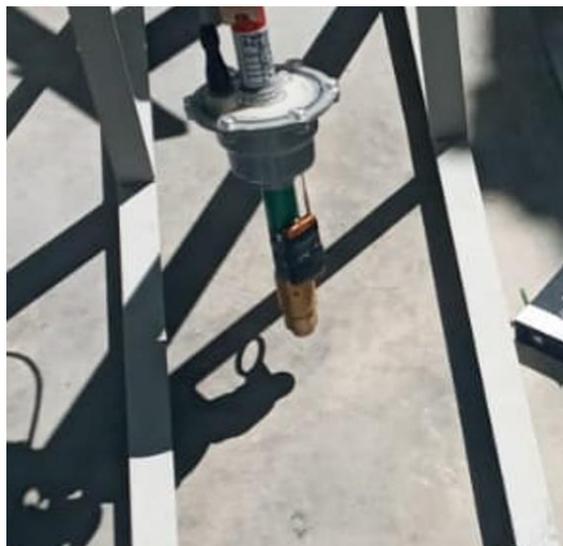


Figura 66. Emisor de RF adherido al portafusible

Luego de adherir el control emisor del dispositivo RF se procedió a encender el dispositivo para que se realicen todas las verificaciones iniciales, una vez realizadas las verificaciones el dispositivo se encuentra listo para entrar en funcionamiento (figura 67).



Figura 67. Dispositivo instalado

Con la ayuda del seccionalizador se simuló una falla en MT, al caer el portafusibles se activó la señal del emisor del dispositivo RF mediante el sensor TILT (figura 68), esta señal es procesada por el receptor e informa al microcontrolador para que se active el dispositivo SIM800, una vez activo se envió el mensaje de manera correcta.

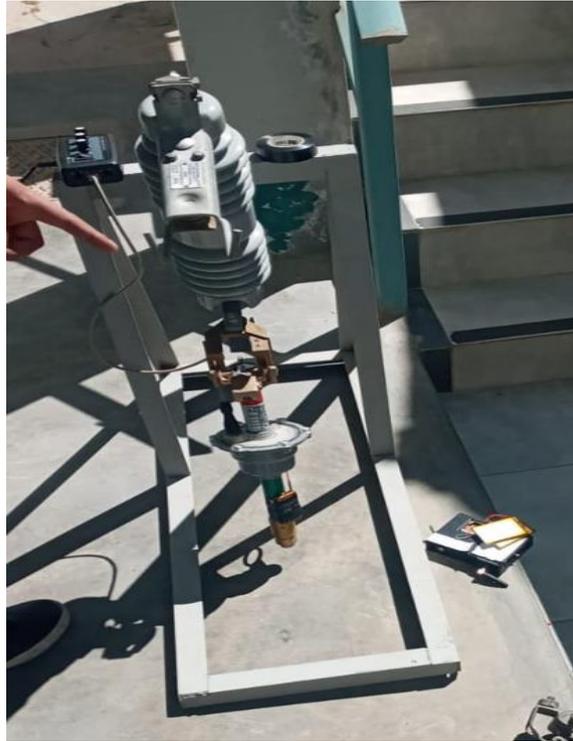


Figura 68. Ensayo de falla en MT

Se realizaron cinco (5) ensayos de falla con el dispositivo y el mensaje de información de ocurrencia de falla se envió correctamente en todos los ensayos (figura 69).

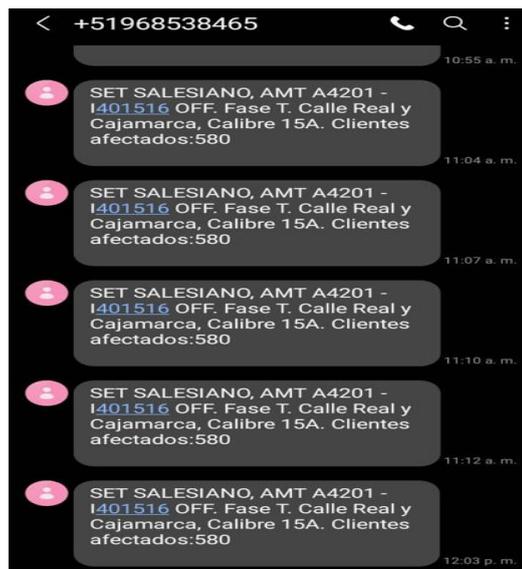


Figura 69. Mensajes de falla enviados

5.1.2 Pruebas de consumo de energía

5.1.2.1 Envío de SMS de verificación

Los dispositivos electrónicos utilizados en el desarrollo del detector de fallas son de bajo consumo de energía, a excepción del módulo para envío de mensajes SIM800, este solamente será activado bajo dos condiciones, para reportar la ocurrencia de una falla en MT o para reportar el funcionamiento del dispositivo.

La ocurrencia de falla en un sistema de media tensión es algo poco probable con lo que el envío de este tipo de mensaje no demandara un consumo de energía alto. Asimismo, el mensaje de reporte de funcionamiento sí consumirá energía de manera constante, ya que será enviado cada cierto tiempo, para las pruebas de duración de la batería se realizó la configuración para que el envío de este mensaje sea cada 24 horas y cada 48 horas, las tablas 13 y 14 muestran la duración de la batería para la configuración respectiva.

Tabla 14. *Mensajes cada 24 horas*

Prueba 1/ 24 horas	Fecha de envío	Hora de envío
Mensaje 1	5/01/2022	19:10
Mensaje 2	6/01/2022	20:12
Mensaje 3	7/01/2022	21:04
Mensaje 4	8/01/2022	21:55
Mensaje 5	9/01/2022	22:47
Mensaje 6	10/01/2022	23:39
Mensaje 7	11/01/2022	00:30
Mensaje 8	12/01/2022	01:21
Mensaje 9	13/01/2022	02:13
Mensaje 10	14/01/2022	03:17

Si se configura el envío del mensaje de verificación de funcionamiento la batería cuenta con una autonomía de 10 días, los mensajes que se registran no son enviados cada 24 horas exactas, se retrasan entre 51 y 52 minutos por envío, al solo durar por 10 días

esta configuración no es conveniente, ya que al estar dispositivo instalado en una estructura de media tensión realizar la carga de la batería sería poco práctico y difícil.

Tabla 15. *Mensajes cada 48 horas*

Prueba 2 / 48 hora	Fecha de envió	Hora de envió			
Mensaje 1	20/01/2022	11:26	Mensaje 11	30/01/2022	01:36
Mensaje 2	21/01/2022	12:51	Mensaje 12	31/01/2022	04:00
Mensaje 3	22/01/2022	14:18	Mensaje 13	1/02/2022	05:28
Mensaje 4	23/01/2022	15:40	Mensaje 14	2/02/2022	07:59
Mensaje 5	24/01/2022	17:08	Mensaje 15	3/02/2022	08:22
Mensaje 6	25/01/2022	18:33	Mensaje 16	4/02/2022	09:47
Mensaje 7	26/01/2022	19:57	Mensaje 17	5/02/2022	11:12
Mensaje 8	27/01/2022	21:22	Mensaje 18	6/02/2022	12:36
Mensaje 9	28/01/2022	22:48	Mensaje 19	7/02/2022	14:02
Mensaje 10	29/01/2022	00:11			

Al configurar el envío del SMS de verificación de funcionamiento para que suceda cada 48 horas, la autonomía de la batería brinda energía para que el dispositivo funcione de manera continua durante 19 días. El tiempo de desviación entre envío de mensaje es de aproximadamente 1 hora con 25 minutos, esta es la configuración utilizada en el dispositivo.

5.2 Presupuesto

5.2.1 Dispositivos de sistema de comunicación

Tabla 16. Precios sistema de comunicación

Componente	Precio unitario (\$)	Cantidad	Total dólares	Total soles
Sensor de posicionamiento (Tilt SW520D)	\$ 3.00	1	\$ 3.00	S/. 12.00
Módulo de radiofrecuencia (Módulo RF 433MHz)	\$ 4.00	1	\$ 4.00	S/. 15.00
Módulo GSM SIM 800	\$ 16.00	1	\$ 16.00	S/. 60.00
Chip SIM	\$ 3.00	1	\$ 3.00	S/. 12.00

5.2.2 Dispositivos de sistema de control

Tabla 17. Precios sistema de control

Componente	Precio unitario (\$)	Cantidad	Total dólares	Total soles
Microcontrolador (PIC18F2550)	\$ 14.00	1	\$ 14.00	S/. 54.00
Micro relé (G5V-1)	\$ 5.34	1	\$ 5.34	S/. 20.00

5.2.3 Dispositivos de sistema de alimentación

Tabla 18. Precios sistema de alimentación

Componente	Precio unitario (\$)	Cantidad	Total dólares	Total soles
Batería de Litio (LiPo 3.7V, 2000mAh)	\$ 14.50	2	\$ 29.00	S/. 109.00
Regulador de voltaje (AMS1117)	\$ 1.33	2	\$ 2.66	S/. 10.00

* En adición se realizó compras de componentes menores, los cuales nos representan un gasto mayor:

- Leds
- Condensadores
- Jumpers

Estos suman un valor aproximado de \$5, unos 15 soles en su totalidad.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES

1. El diseño del dispositivo de detección de fallas tiene como núcleo un microcontrolador PIC, el cual respondió adecuadamente trabajando en conjunto con el dispositivo GMS SIM800 y la señal enviada por el sensor de inclinación Tilt. Juntos respondieron como un dispositivo de comunicación e identificación ante fallas por fusión de *cut-out*'s, y dieron solución al problema de identificación de fallas en redes de distribución. Por este motivo se considera que el diseño es el adecuado, y que cumple con brindar la solución de identificar una falla en poco tiempo, esto para mejorar los indicadores SAIDI.
2. El dispositivo informa en tiempo real a los encargados del mantenimiento de las redes de distribución sobre la ocurrencia de la falla mediante el envío del mensaje de texto, este mensaje contiene los datos necesarios (tiempo de inicio, ubicación, amperaje del fusible dañado) para agilizar la reposición del servicio.
3. La reposición del servicio eléctrico en las zonas rurales toma un tiempo prolongado en estas zonas, ya que ubicar el origen de la falla o la fuente de desconexión es una labor complicada, debido a la topología de las redes monofásicas y la baja carga que esta representa, con el uso del dispositivo el tiempo de ubicación de falla es mínima.
4. Se eligió al microcontrolador PIC 18F2550, ya que este cubre todas las necesidades del proyecto además de que es de bajo costo y accesible en el mercado.
5. El dispositivo queda en estado de bajo consumo (hibernación) durante su periodo operativo, esto para maximizar el uso de la batería del dispositivo, únicamente se

- activa durante el reporte cada 72 horas y al momento de ser accionado por una falla al caer el fusible *cut-out*.
6. Para poder analizar mejor el funcionamiento del sistema se optó por realizar una estructura de funciones, el dispositivo cuenta con cuatro bloques principales (energía, sensores, control y actuadores).
 7. Para la programación del microcontrolador se utilizaron diagramas de estado. Por ello, el utilizar estos diagramas nos permite una mejor organización y la depuración de errores es más simple. Lo que ahorra tiempo en el momento de realizar modificaciones dentro del código de programación.
 8. El dispositivo es económico tanto en fabricación como en instalación (\$.78.00 o S/. 295.00).
 9. El costo operativo del dispositivo podría inclusive ser mucho más económico, ya que podría recibir alimentación autónoma por medio de paneles fotovoltaicos pequeños y únicamente se tendría como gasto mensual el del Chip SIM.
 10. Se realizaron pruebas simulando un escenario de falla, esto con el apoyo de Electrocentro S.A., quienes facilitaron los equipos de prueba. Las pruebas nos muestran que se cumple con lo esperado al ocurrir un evento de falla y tener la caída de un fusible *cut-out*.
 11. En los ensayos realizados se verificó el correcto funcionamiento del dispositivo desde el procesamiento de la señal de caída del *cut-out* por medio del sensor Tilt hasta el correcto envío del mensaje SMS a los encargados del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Advanced Monolithic Systems. AMS1117 1A Low Dropout Voltage Regulator. <http://www.advanced-monolithic.com/pdf/ds1117.pdf>. [En línea]
2. ARM MCU. 433Mhz RF Transmitter With Receiver Kit For Arduino ARM MCU Wireless. https://www.mantech.co.za/Datasheets/Products/433Mhz_RF-TX&RX.pdf. [En línea]
3. Bailin Electronics Co. Datasheet SW-520 Roll Ball Switch. <https://www.tme.com/Document/f1e6cedd8cb7feeb250b353b6213ec6c/SW-520D.pdf>. [En línea] Bailin Electronics Co.
4. Coburn, M. J. *Distribution System Design Manual*. 2012.
5. Perera, R. *Consideraciones para protección de líneas y transformadores*. Texas: IEEE Xplore, 2014.
6. Eaton. 2014. *Productos y soluciones*. [En línea] Eaton, 2014. [Citado el 14 de octubre de 2018.] <http://www.eaton.cl/conosur/ProductosSoluciones/Energia/ProductosyServicios/DistribucionEl%C3%A9ctrica/RelesdeProteccion/RelesdeTransformador/ETR-4000/index.htm>.
7. General Electric. *Network Protection & Automation Guide*. Alstom Grid, 2002. ISBN 978-0-9568678-0-3
8. HiCharge. Lithium Polymer Cell-1100mAh Specifications Report. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/acc-rn-220xp-battery-ds.pdf>. [En línea]
9. Hubert, J. *Máquinas eléctricas*. Estados Unidos: s.n. PEARSON EDUCATION, 1991 INC 978-81-317-0802-6
10. Kothari, D. P. *Sistemas Eléctricos de Potencia*. Nueva Dheli: McGraw Hill, 2015. ISBN 9781456241209.
11. Microchip. PIC18F2455/2550/4455/4550. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632b.pdf>. [En línea]

12. OMRON Corporation. G5V-1 Low Signal Relay.
https://omronfs.omron.com/en_US/ecb/products/pdf/en-g5v_1.pdf. [En línea]
13. Ras, E. *Transformadores de potencia, de medida y de protección*. España: s.n., 1972.
14. Sallam, A. A. *Electric Distribution Systems*. New Jersey: IEEE, 2011. 978-0-470-27682-2
15. SIMcom. SIM800F_Hardware Design_V1.00.
<https://cdn.sos.sk/productdata/d7/a4/88433a31/sim800f.pdf>. [En línea]
16. Vishwakarma, D.N. 1995. *Protección de sistemas de potencia e interruptores*. New Dheli: McGraw Hill, 1995. ISBN. 9780071077743
17. Painthankar, S.R. Bhide. *Fundamentos de protección de sistemas eléctricos de potencia*. Nueva Dheli: PHI Learning, 2010. ISBN 8120341236

ANEXOS

FICHAS DE PRUEBAS



UNIVERSIDAD CONTINENTAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Tesis: Diseño de dispositivo de ubicación de fallas en tiempo real mediante un sistema de comunicación para seccionadores *cut out*.

Tesistas: Arnold Medina Sanchez-Miguel López Capcha

Ensayo: Tiempo de conexión a Red GSM

FECHA: Julio 2022



El objetivo de este ensayo es monitorear el tiempo que requiere el dispositivo para realizar las verificaciones iniciales y conectarse a la red GSM, los tiempos de conexión variaran según la calidad y disponibilidad de la red, la conexión a la red será

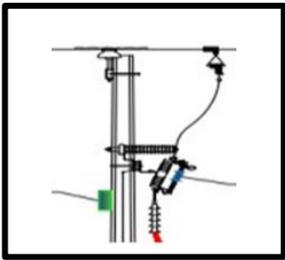
Ensayo	Hora de encendido	Hora de activación de led 01	Tiempo (segundos)
1	18:50:00	18:50:22	22
2	19:00:00	19:00:28	28
3	19:10:00	19:10:25	25
4	19:20:00	19:20:21	21
5	19:30:00	19:30:35	35
6	19:40:00	19:40:32	32
7	19:50:00	19:50:40	40
8	20:00:00	20:00:31	31

Los ensayos se realizaron cada 10 minutos debido a que el microcontrolador se reinicia una vez que el dispositivo es desenergizado, el tiempo de respuesta promedio obtenido fue de 29 segundos lo que demuestra que la conexión a la red GSM mediante el dispositivo SIM800 se realiza de manera eficiente lo que reduce el consumo de la batería del dispositivo

Tesis: Diseño de dispositivo de ubicación de fallas en tiempo real mediante un sistema de comunicación para seccionadores *cut out*.

Tesistas: Arnold Medina Sanchez-Miguel López Capcha

Ensayo: Tiempo de respuesta envío SMS por falla **FECHA: Julio 2022**



El objetivo de este ensayo es monitorear el tiempo que necesita el dispositivo para enviar el mensaje de texto cuando ocurre una falla, la falla será simulada y el tiempo será medido desde la caída del sensor Tilt hasta la recepción del SMS en el celular.

Ensayo	Hora de caída del sensor Tilt	Hora de recepción del SMS	Tiempo (minutos)
1	20:00:00	20:01:02	1:02
2	20:15:00	20:16:10	1:10
3	20:30:00	20:30:58	0:58
4	20:45:00	20:46:01	1:01
5	21:00:00	21:01:18	1:18
6	21:15:00	21:15:59	0:59
7	21:30:00	21:31:08	1:08
8	21:45:00	21:46:22	1:22

Tesis: Diseño de dispositivo de ubicación de fallas en tiempo real mediante un sistema de comunicación para seccionadores *cut out*.

Tesistas: Arnold Medina Sanchez-Miguel López Capcha

Ensayo: Consumo de batería por SMS

FECHA: Julio 2022



El objetivo de este ensayo es monitorear el voltaje de la batería luego del envío de un SMS, para ello se simuló envíos de SMS por falla y se midieron los valores de voltaje en la batería.

Ensayo	Voltaje inicial	Voltaje final	Diferencia
1	7.4	7.3	0.10
2	7.3	7.18	0.12
3	7.18	7.04	0.14
4	7.04	6.88	0.16
5	6.88	6.70	0.18
6	6.70	6.55	0.15
7	6.55	6.39	0.16
8	6.39	6.23	0.16
9	6.23	6.09	0.14
10	6.09	5.94	0.15

El consumo de corriente del SIM800 cada vez que envía un SMS es muy alto, es por ello que se conecta un micro relé a este dispositivo para mantenerlo activo solo cuando sea necesario, cuando este se encuentra activo consume en promedio 0.146V de la batería, se debe tener en cuenta que si el voltaje es menor a 4.4V el SIM800 ya no será capaz de enviar un SMS.

Tesis: Diseño de dispositivo de ubicación de fallas en tiempo real mediante un sistema de comunicación para seccionadores *cut out*.

Tesistas: Arnold Medina Sanchez-Miguel López Capcha

**Ensayo: Tiempo de duración de batería
por envío de SMS cada 24/48 horas**

FECHA: Julio 2022



El objetivo de este ensayo es monitorear la duración de la batería si es que se programa el envío de SMS de reporte de funcionamiento cada 24 horas y 48 horas, esto nos permite monitorear que el sistema se encuentra operativo.

24 horas

Prueba 1/ 24 horas	Fecha de envío	Hora de envío
Mensaje 1	5/01/2022	19:10
Mensaje 2	6/01/2022	20:12
Mensaje 3	7/01/2022	21:04
Mensaje 4	8/01/2022	21:55
Mensaje 5	9/01/2022	22:47
Mensaje 6	10/01/2022	23:39
Mensaje 7	11/01/2022	00:30
Mensaje 8	12/01/2022	01:21
Mensaje 9	13/01/2022	02:13
Mensaje 10	14/01/2022	03:17

Si se configura el envío del mensaje de verificación de funcionamiento la batería cuenta con una autonomía de 10 días, los mensajes que se registran no son enviados cada 24 horas exactas, se retrasan entre 51 y 52 minutos por envío, al solo durar por 10 días esta configuración no es conveniente, ya que al estar dispositivo instalado en una estructura de media tensión realizar la carga de la batería sería poco práctico y difícil.

48 horas

Prueba 2 / 48 Hora	Fecha de envío	Hora de envío			
Mensaje 1	20/01/2022	11:26	Mensaje 11	30/01/2022	01:36
Mensaje 2	21/01/2022	12:51	Mensaje 12	31/01/2022	04:00
Mensaje 3	22/01/2022	14:18	Mensaje 13	1/02/2022	05:28
Mensaje 4	23/01/2022	15:40	Mensaje 14	2/02/2022	07:59
Mensaje 5	24/01/2022	17:08	Mensaje 15	3/02/2022	08:22
Mensaje 6	25/01/2022	18:33	Mensaje 16	4/02/2022	09:47
Mensaje 7	26/01/2022	19:57	Mensaje 17	5/02/2022	11:12
Mensaje 8	27/01/2022	21:22	Mensaje 18	6/02/2022	12:36
Mensaje 9	28/01/2022	22:48	Mensaje 19	7/02/2022	14:02
Mensaje 10	29/01/2022	00:11			

Al configurar el envío del SMS de verificación de funcionamiento para que suceda cada 48 horas la autonomía de la batería brinda energía para que el dispositivo funcione de manera continua durante 19 días, el tiempo de desviación entre envío de mensaje es de aproximadamente 1 hora con 25 minutos, esta es la configuración utilizada en el dispositivo.

DATASHEET DE DISPOSITIVOS

SW 520D DATASHEET

BAILIN ELECTRONICS CO.,LTD
SW-520 Roll Ball Switch



- Modelnumber:SW-520D
 - BrandName:Beelee
 - Type:Ball
 - Material:Housing and cover: PE heat shrinkable tubing/ Ball: Stainless steel, gold-plated / Guide pin: Brass, gold-plated / Copper tube: Brass
 - Shape:Round
 - color:Black / Gray
-

Electrical Characteristics:

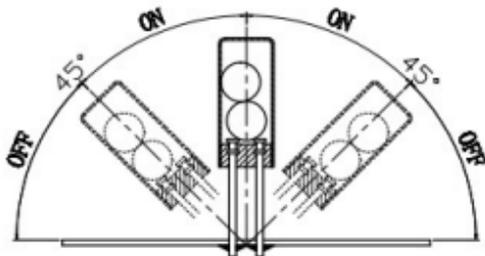
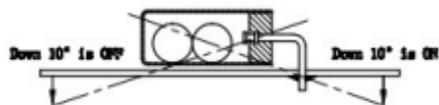
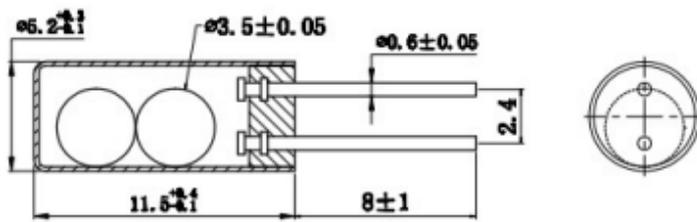
- Contact Rating:12V
 - Differential angle:
 - Contact Resistance: <10 ohm
 - InsulationResistance:>10M ohm
 - Capacitance:5PF
-

Applications:

- Digital picture frames rotation and up-side down detecting. Cameras rotation detecting. Automotive devices. Home electrical appliances. Information devices. Communication settings,automatic power-off function for household appliances. Toys etc

Features:

- 1.SW-520 istwo balls type single direction tilt sensitive trigger switch
- 2.When the products tilt to the cap terminaland the tilt angle is more than 10degree, it will be a opened circuit "OFF-stated". When the products of horizontal placed tilt change, the trigger lead terminal is below the horizontal and tilt angle is more than 10degree, it will be a closed circuit "ON-stated".
- 3.When the products parallel and tilt to the Pin feet, the trigger lead feet of tilt angle is less than 45 degree for the opened circuit "OFF-stated". When the trigger lead feet terminal of tilt angle is more than 45 degree for the closed circuit " ON-stated
- 4.Product completelyairtight, waterproof, dustproof
- 5.In the normal,switchlifespancam reach10,0000 cycles
- 6.Switches material comply with the ROHS and can replace the mercury switches.
- 7.Switch signals simple, circuit is simple in design, economic price.



RF433 MHZ DATASHEET



433Mhz RF Transmitter With Receiver Kit For Arduino ARM MCU Wireless

Description:

This is 433Mhz RF transmitter with receiver kit for Arduino ARM MCU wireless

Application environment:

Remote control switch, receiver module, motorcycles, automobile anti-theft products, home security products, electric doors, shutter doors, windows, remote control socket, remote control LED, remote audio remote control electric doors, garage door remote control, remote control retractable doors, remote volume gate, pan doors, remote control door opener, door closing device control system, remote control curtains, alarm host, alarm, remote control motorcycle remote control electric cars, remote control MP3.

Specification:

Receiver module:

Product Model: XD-RF-5V
Operating voltage: DC5V
Quiescent Current: 4MA
Receiving frequency: 433.92MHZ
Receiver sensitivity: -105DB
Size:30x14x7mm

Transmitter:

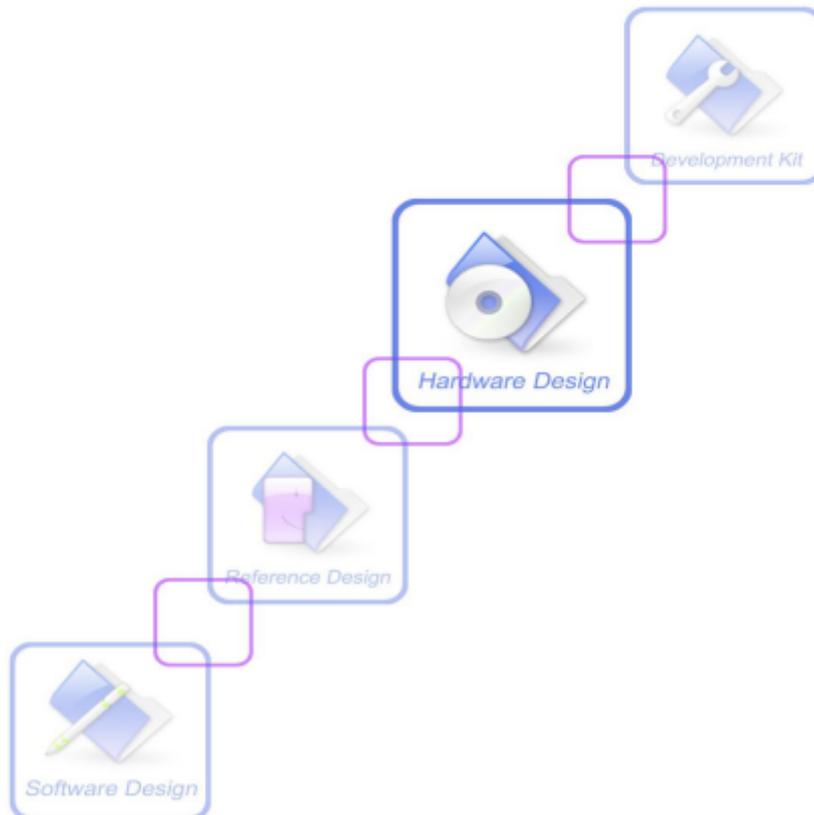
Product Model: XD-FST
Launch distance :20-200 meters (different voltage, different results)
Operating voltage :3.5-12V
Dimensions: 19 * 19mm
Operating mode: AM
Transfer rate: 4KB / S
Transmitting power: 10mW
Transmitting frequency: 433M
Pinout from left → right: (DATA; VCC; GND)

See for how to: <http://electronics-diy.com/arduino-rf-link-using-433mhz-transmitter-receiver-modules.php>

GSM SIM800 DATASHEET



SIM800_Hardware Design_V1.09



Introduction

This document describes SIM800F hardware interface in great detail.

This document can help users understand both the interface specifications and the electrical and mechanical details of SIM800F quickly. With the help of this document and other SIM800F application notes or user guide, users can use SIM800F to design various applications quickly.

SIM800F Overview

Designed for global market, SIM800F is a quad-band GSM/GPRS module that works on frequencies GSM 850MHz, EGSM 900MHz, DCS 1800MHz and PCS 1900MHz. SIM800F features GPRS multi-slot class 10/class 8 (optional) and supports the GPRS coding schemes CS-1, CS-2, CS-3 and CS-4.

With a tiny configuration of 24*24*3mm, SIM800F can meet almost all the space requirements in users' applications, such as smart phone, PDA and other mobile devices.

SIM800F is a SMT package with 68 pads, and provides hardware interfaces as below:

- One full function UART port
- One USB port for debugging and firmware upgrading
- Audio channel which includes a microphone input and a receiver output
- One SIM card interface
- Support up to 4*5 Keypads
- One display interface
- One I2C master interface for peripheral management
- Programmable general purpose input and output
- Two PWM output
- One ADC input
- Bluetooth antenna interface
- GSM antenna interface

SIM800F is designed with power saving technique so that the current consumption is as low as 0.55mA in sleepmode.

SIM800F integrates TCP/IP protocol and extended TCP/IP AT commands which are very useful for data transfer applications. For details about TCP/IP applications, please refer to

document ^[2].

SIM800F Key Features

Table 1: SIM800F key features

Feature	Implementation
Power supply	3.4V ~ 4.4V
Power saving	Typical power consumption in sleep mode is 0.55mA (AT+CFUN=0)
Frequency bands	<ul style="list-style-type: none"> ● SIM800F Quad-band: GSM 850, EGSM 900, DCS 1800, PCS 1900 ● SIM800F can search the 4 frequency bands automatically. The frequency bands also can be set by AT command “AT+CBAND”. For details, please refer to <i>document</i> ^[1] ● Compliant to GSM Phase 2/2+
Transmitting power	<ul style="list-style-type: none"> ● Class 4 (2W) at GSM 850 and EGSM 900 ● Class 1 (1W) at DCS 1800 and PCS 1900
GPRS connectivity	<ul style="list-style-type: none"> ● GPRS multi-slot class 10 (default) ● GPRS multi-slot class 8 (option)
Temperature range	<ul style="list-style-type: none"> ● Operation temperature: -40°C ~ +85°C ● Storage temperature -45°C ~ +90°C
Data GPRS	<ul style="list-style-type: none"> ● GPRS data downlink transfer: max. 85.6 kbps ● GPRS data uplink transfer: max. 42.8 kbps ● Coding scheme: CS-1, CS-2, CS-3 and CS-4 ● Integrate the TCP/IP protocol. ● Support Packet Broadcast Control Channel (PBCCH)
USSD	<ul style="list-style-type: none"> ● Unstructured Supplementary Services Data (USSD) support
SMS	<ul style="list-style-type: none"> ● MT, MO, CB, Text and PDU mode ● SMS storage: SIM card
FAX	Group 3 Class 1
SIM interface	Support SIM card: 1.8V, 3V
External antenna	Antenna pad
Audio features	Speech codec modes: <ul style="list-style-type: none"> ● Half Rate (ETS 06.20) ● Full Rate (ETS 06.10) ● Enhanced Full Rate (ETS 06.50 / 06.60 / 06.80) ● Adaptive multi rate (AMR) ● Echo Cancellation ● Noise Suppression

Serial port and USB	<p>Serial port:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Full modem serial port ● Can be used for AT commands or data stream ● Support RTS/CTS hardware handshake ● Comply with GSM 07.10 Multiplexer Protocol ● Support auto baud detect from 1200 bps to 115200bps <p>USB:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● For debugging and upgrading firmware
Phonebook management	Support phonebook types: SM, FD, LD, RC, ON, MC.
SIM application toolkit	GSM 11.14 Release 99
Real time clock	Support RTC
Physical characteristics	Size: 24*24*3mm Weight: 3.1g
Firmware upgrading	Upgrade firmware via USB port

Table 2: Coding schemes and maximum net data rates over air interface

Coding scheme	1 timeslot	2 timeslot	4 timeslot
CS-1	9.05kbps	18.1kbps	36.2kbps
CS-2	13.4kbps	26.8kbps	53.6kbps
CS-3	15.6kbps	31.2kbps	62.4kbps
CS-4	21.4kbps	42.8kbps	85.6kbps

Operating Modes

The table below summarizes the various operating modes of SIM800F.

Table 3: Overview of operating modes

Mode	Function
GSM/GPRS SLEEP	<p>Module will automatically go into sleep mode when the sleep mode is enabled and there is no on air or hardware interrupt (such as GPIO interrupt or data on serial port). In this case, the current consumption of module will reduce to the minimal level, and the module can still receive paging message and SMS.</p>

Normal operation	GSM IDLE	Software is active. Module has been registered to the GSM network and is ready to communicate.
	GSM TALK	Connection between two subscribers is in progress. In this case, the powerconsumption depends on network settings such as DTX off/on, FR/EFR/HR, hopping sequences, antenna.
	GPRS STANDBY	Module is ready for GPRS data transfer, but no data is currently sent orreceived. In this case, power consumption depends on network settings and GPRS configuration.
	GPRS DATA	There is GPRS data transfer (PPP or TCP or UDP) in progress. In this case, power consumption is related with network settings (e.g. power control level), uplink/downlink data rates and GPRS configuration (e.g. used multi-slot settings).
Power off	Normal power off by sending the AT command “AT+CPOWD=1” or using the PWRKEY. The power management unit shuts down the power supply for the baseband part of the module, and only the power supply for the RTC is remained. Software is not active. The serial port is not accessible. Power supply (connected to VBAT) remains applied.	
Minimum functionality mode	AT command “AT+CFUN” can be used to set the module to a minimum functionality mode.In this mode, the RF function and SIM card function can be disabled, but the serial port is still accessible. The power consumption in this mode is lower than normal mode.	

SIM800F Functional Diagram

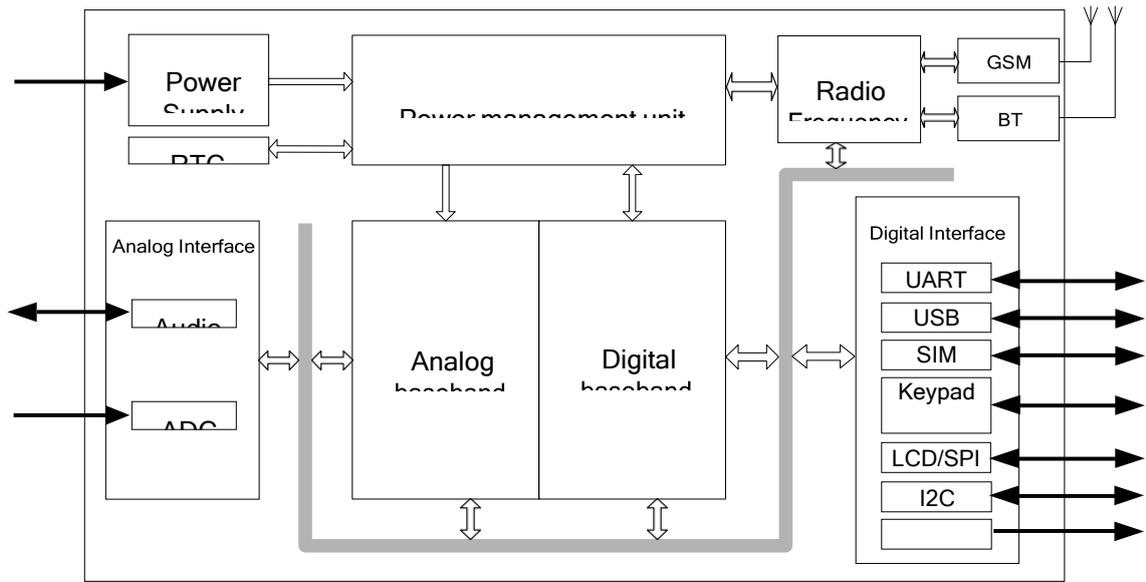


Figure 1: SIM800F functional diagram

Package Information

Pin out Diagram

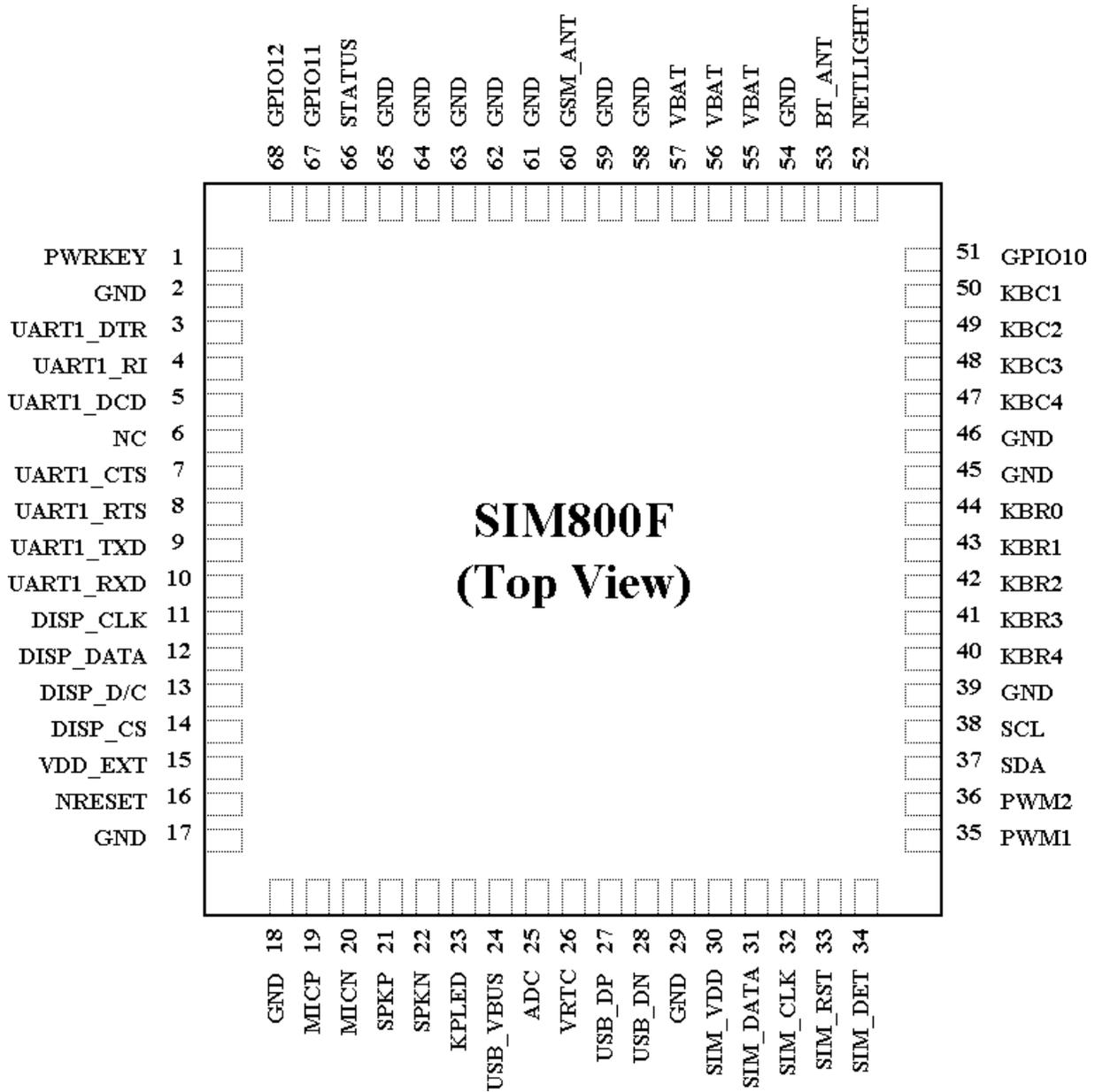


Figure 2: SIM800F pin out diagram (Top view)

Pin Description

Table 4: Pin description

Pin name	Pin number	I/O	Description	Comment
Power supply				
VBAT	55,56,57	I	Power supply	

VRTC	26	I/O	Power supply for RTC	It is recommended to connect with a battery or a capacitor (e.g. 4.7uF)
VDD_EXT	15	O	2.8V output power supply	Left floating if unused
GND	2,17,18,29, 39,45,46,54, 58,59,61,62, 63,64,65		Ground	
Power on/off				
PWRKEY	1	I	PWRKEY should be pulled low more than 1 second then released to power on/off the module.	Pulled up internally already
Audio interfaces				
MICP	19	I	Differential audio input	Left floating if unused
MICN	20			
SPKP	21	O	Differential audio output	
SPKN	22			
Status				
STATUS	66	O	Power on status indication	Left floating if unused
NETLIGHT	52	O	Network status indication	
LCD interface				
DISP_CLK	11	O	Display interface	Left floating if unused
DISP_DATA	12	I/O		
DISP_D/C	13	O		
DISP_CS	14	O		
I2C interface				
SDA	37	O	I2C bus data	Left floating if unused
SCL	38	I/O	I2C bus clock	
Keypad interface / GPIO				
KBR0	44	I/O	keypad row 0	Left floating if unused; KBC1 can not be pulled down during power on procedure
KBR1	43		keypad row 1	
KBR2	42		keypad row 2	
KBR3	41		keypad row 3	
KBR4	40		keypad row 4	
KBC1	50		keypad column 1	
	49		keypad column 2	

KBC3	48		keypad column 3	
KBC4	47		keypad column 4	
GPIO10	51		GPIO10	Left floating if unused
GPIO11	67		GPIO11	Do not pull up externally; Left floating if unused
GPIO12	68		GPIO12	Left floating if unused
Serial port				
UART1_RXD	10	I	Receive data	Left floating if unused
UART1_TXD	9	O	Transmit data	
UART1_RTS	8	I	Request to send	
UART1_CTS	7	O	Clear to send	
UART1_DCD	5	O	Data carrier detect	
UART1_RI	4	O	Ring indicator	
UART1_DTR	3	I	Data terminal ready	
USB interface				
USB_VBUS	24	I	For debugging & upgrading firmware	Left floating if unused
USB_DP	27	I/O		
USB_DN	28	I/O		
SIM interface				
SIM_VDD	30	O	Voltage supply for SIM card. Support 1.8V or 3V SIM card	Should be protected againstESD with TVS diode
SIM_DATA	31	I/O	SIM data input/output	
SIM_CLK	32	O	SIM card clock	
SIM_RST	33	O	SIM card reset	
SIM_DET	34	I	SIM card detection	Left floating if unused
ADC				
ADC	25	I	Input voltage range: 0V ~ 2.8V	Left floating if unused
External reset				
NRESET	16	I	Reset input(active low)	Recommend connecting a 100nF capacitor
Pulse width modulation(PWM)				
PWM1	35	O	Pulse-Width Modulation	Left floating if unused
PWM2	36	O	Pulse-Width Modulation	
RF interface				
GSM_ANT	60	I/O	GSM antenna	Impedence must be controlled to 50Ω
BT_ANT	53	I/O	Bluetooth antenna	Impedence must be controlled to 50Ω
Not connect				

Package Dimensions

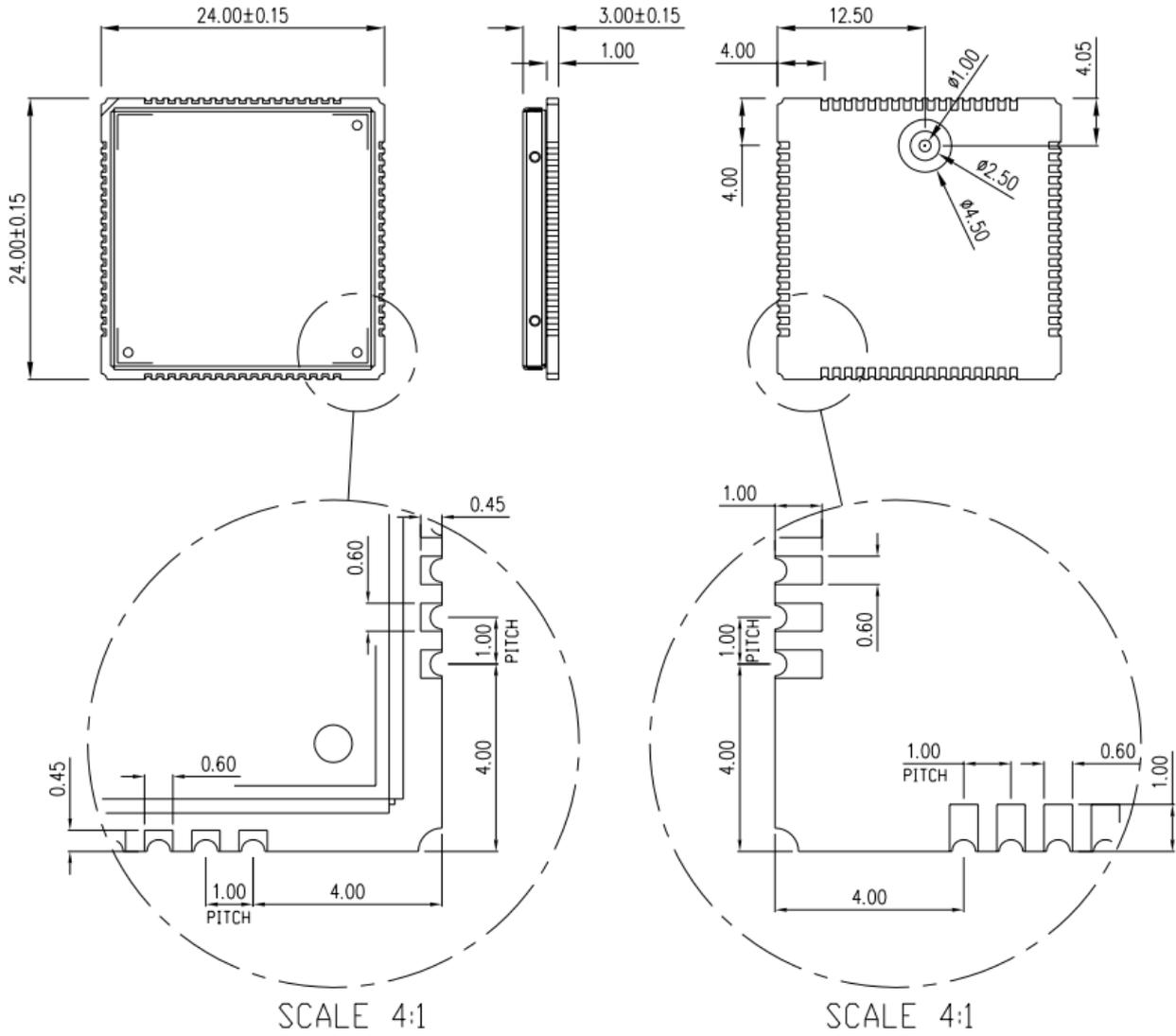


Figure 3: Dimensions of SIM800F (Unit: mm)

Recommended PCB footprint outline
(Unit:mm)

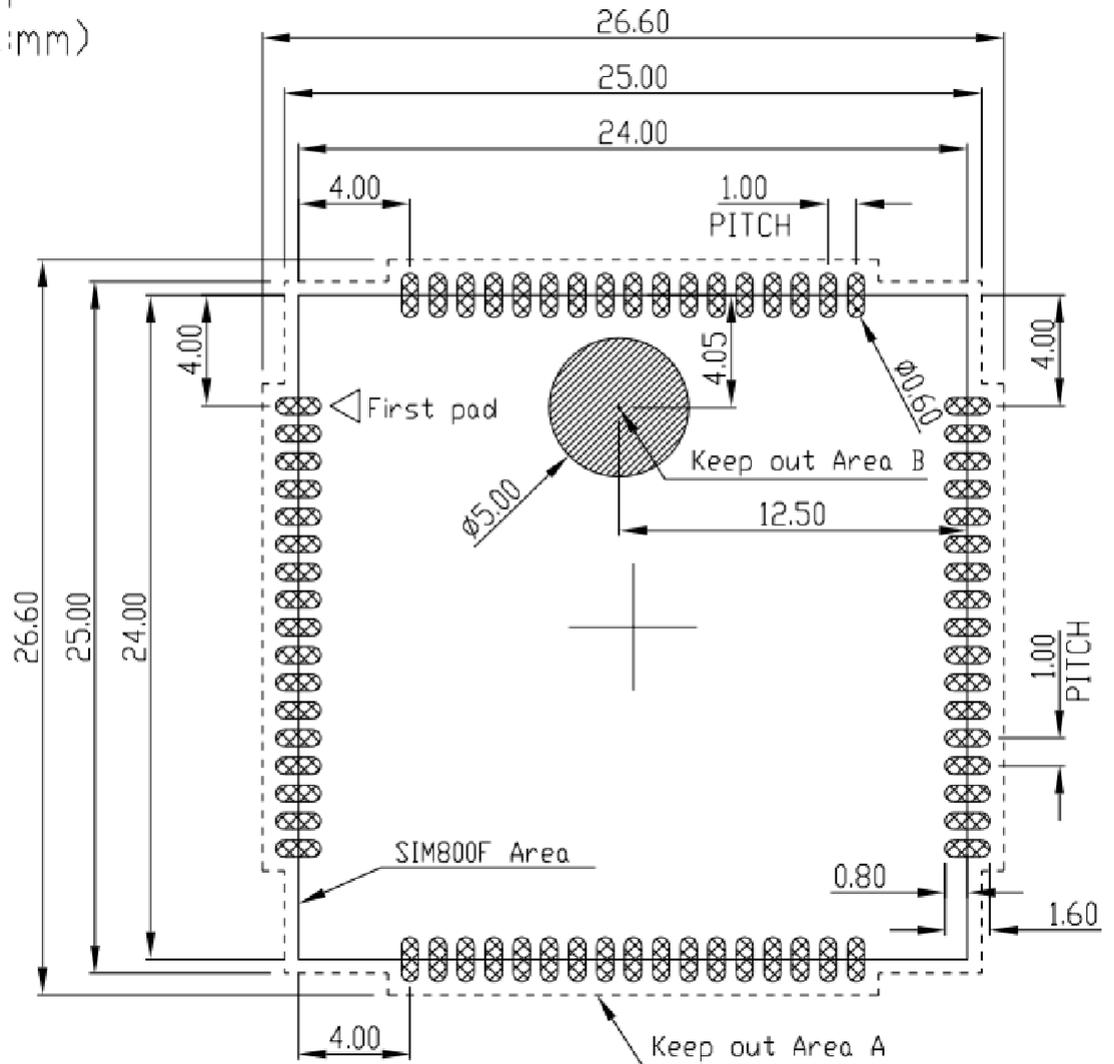


Figure 4: Recommended PCB footprint outline (Unit: mm)

Note: Keep copper out of area A. Do not place via in area B to avoid short circuit between the vias on customer board and the test points on the bottom side of the module.

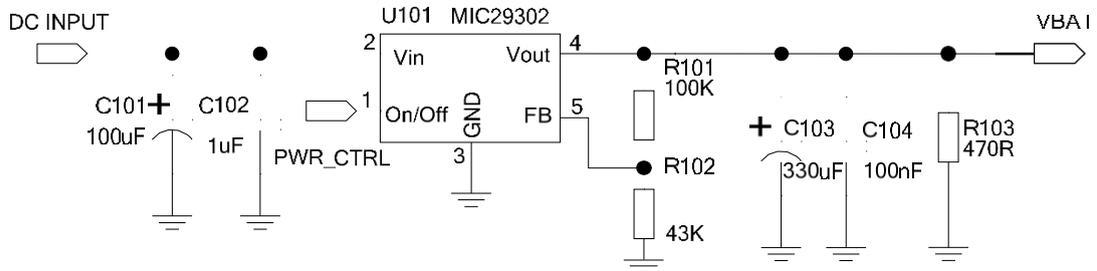
Application Interface

Power Supply

The power supply of SIM800F ranges from 3.4V to 4.4V, and 4.0V is recommended. It

must be able to provide sufficient current up to 2A for the high-power transmitting.

If the DC input voltage is +5V and customers do not care about the power efficiency, a high-current low-dropout regulator is recommended. The following figure is the reference design.



Note: To ensure a proper behavior of the regulator under light load, an extra minimum load (R103 in Figure 5) is required, because the current SIM800F consumed is very small in sleep mode and power off mode. For more details about minimum load, please refer to specification of MIC29302.

To increase power efficiency, the switching mode DC-DC converter is preferable, especially when DC input voltage is quite high. The following figure is the reference design, and it is recommended to reserve a proper ferrite bead (FB101 in Figure 6) in series for EMI suppression.

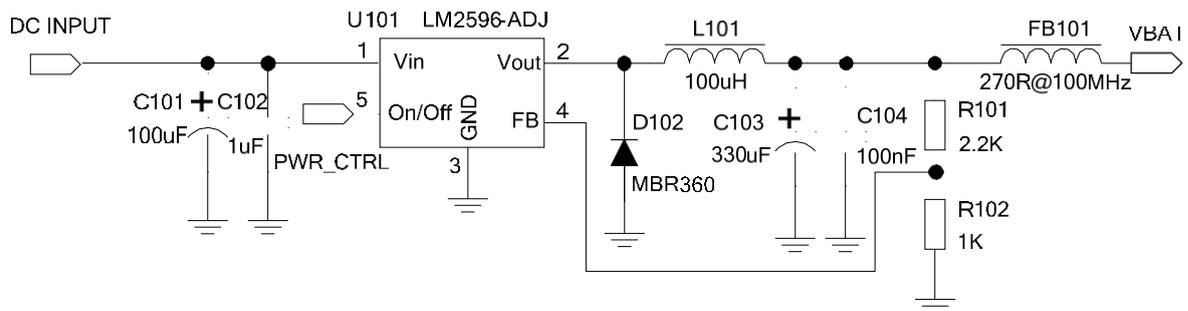


Figure 6: Reference circuit of the DC-DC power supply

For battery-powered application, the 3.7V lithium battery can be connected to SIM800F VBAT pins directly, but other types of battery must be used carefully, since their maximum voltage may rise over the absolute maximum voltage of the module. When battery is used, the total impedance between battery and VBAT pins should be less than 150mΩ.

In any case mentioned above, at the VBAT input pin side, please take below circuit as a reference:

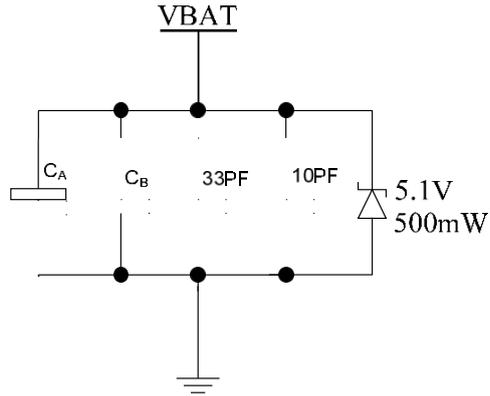


Figure 7: Reference circuit of the VBAT input

Where C_A is a 100 μ F tantalum capacitor with low ESR; C_B could be a 1~10 μ F ceramic capacitor; 33PF and 10PF capacitors are used for eliminating the high frequency interference; 5.1V/500mW zener diode can protect the module against voltage surge. All of these components should be placed as close to VBAT pins as possible.

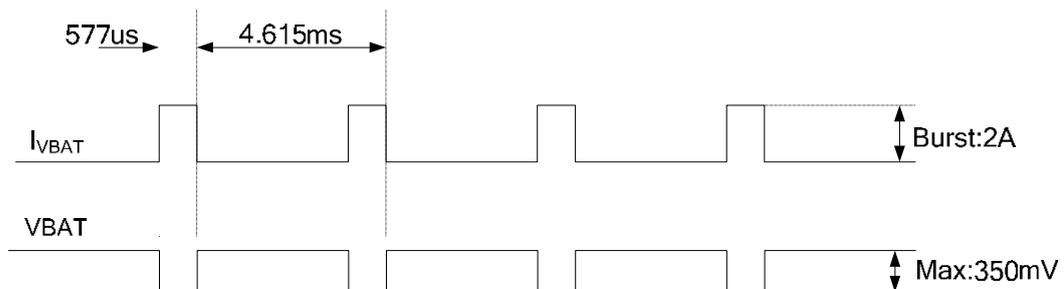
Table 5: Recommended zener diode

	Vendor	Part number	Power(watts)	Packages
1	On semi	MMSZ5231BT1G	500mW	SOD123
2	Prisemi	PZ3D4V2H	500mW	SOD323
3	Vishay	MMSZ4689-V	500mW	SOD123
4	Crownpo	CDZ55C5V1SM	500mW	0805

In addition, VBAT voltage will drop during the transmitting. The following figure shows the VBAT voltage drop during maximum power transmitting under the condition:

VBAT=4.0V

$C_A=100\mu$ F tantalum capacitor (ESR=0.7 Ω)



$C_B=1\mu\text{F}$ ceramic capacitor

However, hardware may shutdown once the voltage drops below 3.0V, which must be avoided.

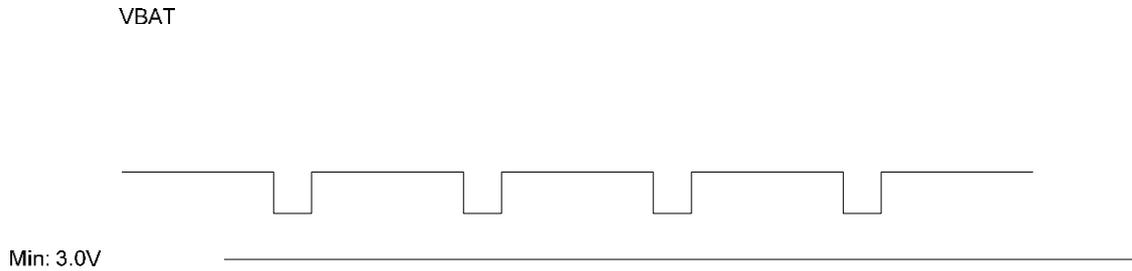


Figure 9: The low limit of VBAT voltage drop during transmitting

To decrease voltage drop, the PCB traces from power supply to VBAT pins must be wide and short enough. The power IC and the bypass capacitor should be placed as close to the module as possible.

Power Supply Pins

Pin 55, 56, 57 are VBAT input pins, and pin 62, 63, 64, 65 are the main GND for VBAT. The other GND pins should be connected as well.

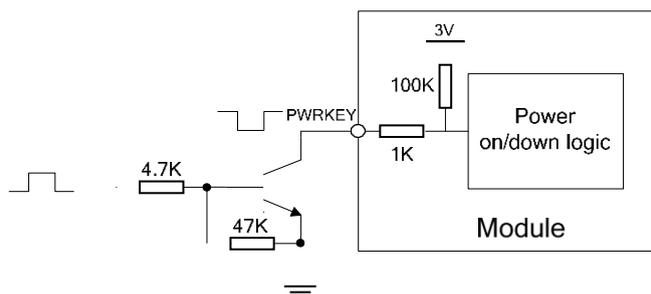
Monitoring Power Supply

The AT command “AT+CBC” can be used to monitor the VBAT voltage. For detail, please refer to document ^[1].

Power on/off

Power on SIM800F

Users can power on SIM800F by pulling down the PWRKEY pin for more than 1 second then release. This pin is already pulled up to 3V internally, so external pull up is not



necessary. Reference circuit is shown as below:

Figure 10: Powered on/down module using transistor

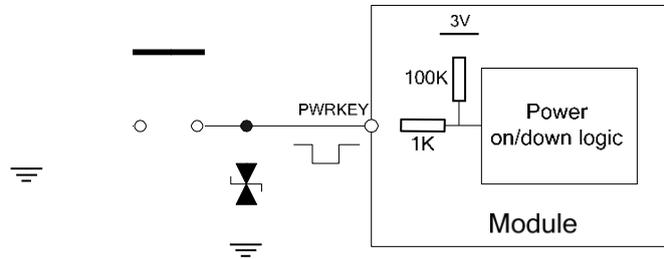


Figure 11: Powered on/down module using button

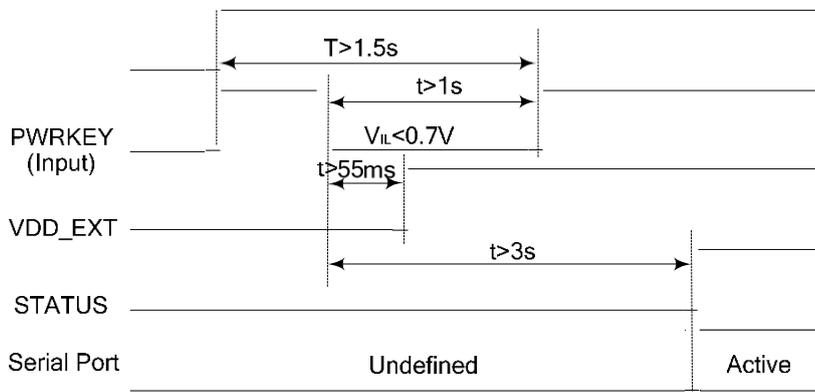


Figure 12: Timing of power on module

If a fixed baud rate was set, when power on procedure is completed, SIM800F will send following URC to indicate that the module is ready to operate:

RDY

This URC does not appear when auto baud detect function is active.

Note: Users can use AT command "AT+IPR=x" to set a fixed baud rate and save the configuration to non-volatile flash memory. After the configuration is saved as fixed baud rate, the Code "RDY" could be received from the serial port every time when

SIM800F is powered on. For details, please refer to the chapter "AT+IPR" in document ^[1].

Power off SIM800F

SIM800F will be powered off in the following situations:

- Normal power off procedure: power off SIM800F by the PWRKEY pin
- Normal power off procedure: power off SIM800F by AT command “AT+CPOWD=1”
- Abnormal power off: over-voltage or under-voltage automatic power off
- Abnormal power off: over-temperature or under-temperature automatic power off

Power off SIM800F by the PWRKEY Pin

Users can power off SIM800F by pulling down the PWRKEY pin for more than 1 second then release. The power off sequence is illustrated as below:

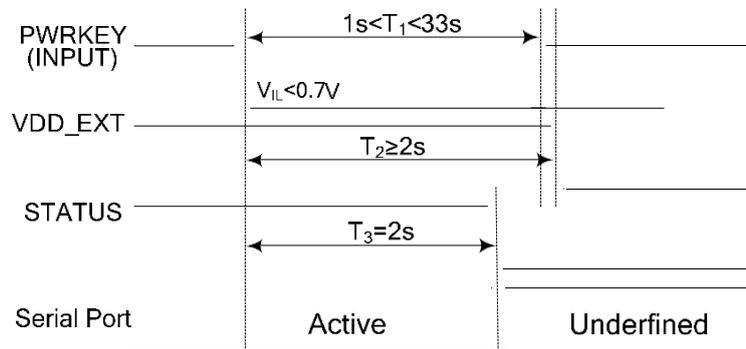


Figure 13: Timing of power off SIM800F by PWRKEY

Note:

1. *If the PWRKEY pull down time exceeds 33s, SIM800F module will power up again.*
2. *VDD_EXT will be turned off after PWRKEY was released for at least 55ms and STATUS was changed to low. If $1s < T1 < 2s$, then $T2 \geq 2s$*

If $2s \leq T1 < 33s$, then $T2 > T1 + 55ms$

This procedure makes the module log off from the network and allows the *software* to enter into a secure state to save data before completely shut down.

Before the completion of the power off procedure, the module will send URC:

NORMAL POWER OFF

At this moment, AT commands can not be executed any more, and only the RTC is still active. Power off mode can also be indicated by STATUS pin, which is at low level at this time.

Power off SIM800F by AT Command

SIM800F can be powered down by AT command “AT+CPOWD=1”. This procedure makes the module log off from the network and allows the *software* to enter into a secure state to save data before completely shut down.

Before completing the power off procedure, the module will send URC:

NORMAL POWER OFF

At this moment, AT commands can not be executed any more, and only the RTC is still active. Power off mode can also be indicated by STATUS pin, which is at low level at this time.

For details about the AT command “AT+CPOWD”, please refer to *document* ^[1].

Over-voltage or Under-voltage Power off

The module *software* monitors the VBAT voltage constantly. If the voltage $\leq 3.5V$, the following URC will be reported:

UNDER-VOLTAGE WARNING

If the voltage $\geq 4.3V$, the following URC will be reported:

OVER-VOLTAGE WARNING

If the voltage $< 3.4V$, the following URC will be reported, and the module will be automatically powered off.

UNDER-VOLTAGE POWER OFF

If the voltage $> 4.4V$, the following URC will be reported, and the module will be automatically powered off.

OVER-VOLTAGE POWER OFF

At this moment, AT commands can not be executed any more, and only the RTC is still active. Power off mode can also be indicated by STATUS pin, which is at low level at this time.

Over-temperature or Under-temperature Power off

The module will constantly monitor the temperature of the module. If the temperature $> +80^{\circ}C$, the following URC will be reported:

7.1.1.1 +CMTE: 1

If the temperature $< -30^{\circ}C$, the following URC will be reported:

7.1.1.2 +CMTE:-1

If the temperature $> +85^{\circ}\text{C}$, the following URC will be reported, and the module will be automatically powereddown:

+CMTE: 2

If the temperature $< -40^{\circ}\text{C}$, the following URC will be reported, and the module will be automatically powereddown:

+CMTE:-2

At this moment, AT commands can not be executed any more, and only the RTC is still active. Power off mode can also be indicated by STATUS pin, which is at low level at this time.

The AT command “AT+CMTE” could be used to read the temperature when the module is running. For details please refer to *document* ^[1].

Restart SIM800F by PWRKEY Pin

When users need to power off the module then restart it, please follow the procedure below:

- 1) Power off the module
- 2) Wait for at least 800ms after STATUS pin changed to low level
- 3) Power on the module

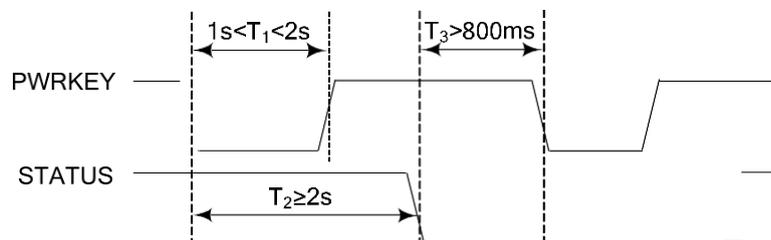


Figure 14: Timing of restart SIM800F

Reset Function

SIM800F provides a reset pin (pin 16) to reset the module. This function is used as an emergency reset only when AT command “AT+CPOWD=1” and the PWRKEY pin do not work. Pull the RESET pin to ground, then the module will reset.

This pin is already isolated from the chipset inside the module, so the external isolation is not necessary. Following figure shows the internal circuit:

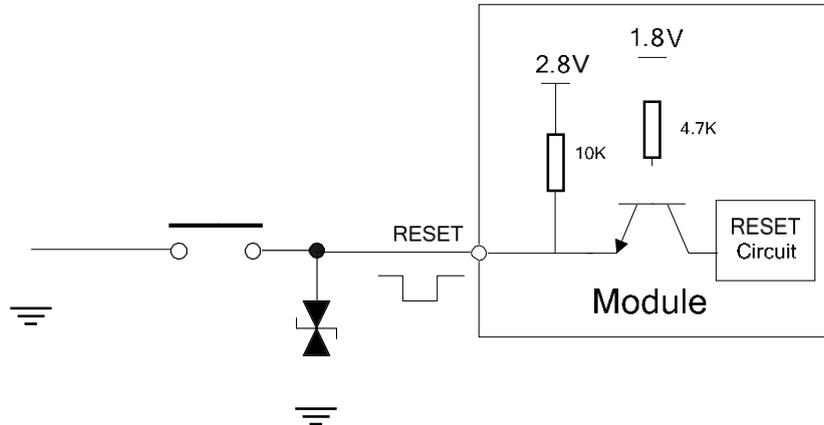


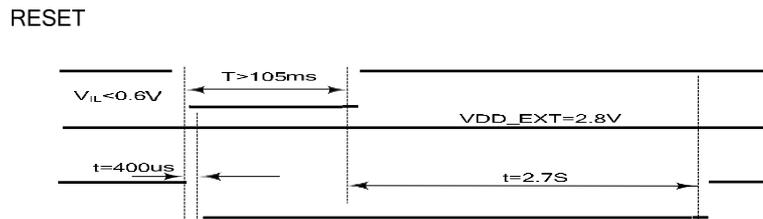
Figure 15: Reset Circuit

RESET pin is pulled up to 2.8V internally, so the users could set the GPIO as an open-drain output pin when use MCU's GPIO to control it.

Table 6: Electronic characteristic of the RESET Pin

Pin name	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
RESET	V_{IH}	2.7	-	2.9	V
	V_{IL}	-	-	0.6	V
	$T_{pull\ down}$	105		-	mS

The reset sequence is illustrated as below:



Power Saving Mode

SIM800F has two power saving modes: minimum functionality mode and sleep mode. The power consumption can be reduced to the minimum when SIM800F is in both sleep mode and minimum functionality mode.

The AT command “AT+CFUN=<fun>” can be used to set the module into minimum functionality mode.

And the command “AT+CSCLK=1” or “AT+CSCLK=2” can be used to set the module into sleep mode 1 or 2.

In sleep mode 1, whether the module can sleep is controlled by DTR signal, while in sleep mode 2, it is determined by serial port’s RXD status.

Note: The default setting is “AT+CSCLK=0”, which do not allow the module enter sleep mode. For more details please refer to document [1].

Minimum Functionality Mode

There are three functionality modes, which could be set by the AT command “AT+CFUN=<fun>”. The command provides the choice of the functionality levels <fun>=0, 1, 4.

- 0: minimum functionality mode (disable RF function and SIM card function)
- 1: full functionality mode (default, no function is disabled)
- 4: flight mode (disable RF function)

If SIM800F is set to minimum functionality mode by “AT+CFUN=0”, the RF function and SIM card function will be disabled, and all AT commands correlative with RF and SIM card functions will be invalid. But the serial port is still accessible, no matter which functionality mode it is in.

For detailed information about the AT Command “AT+CFUN=<fun>”, please refer to *document [1]*.

Table 7: Current consumption of Minimum Functionality Mode

<fun>	BS-PA-MFRMS	Current consumption in sleep mode (mA)
0	N/A	0.55
1	9	0.85
	5	0.95
	2	1.30
4	N/A	0.60

Sleep Mode 1 (AT+CSCLK=1)

Users can control SIM800F module to enter or exit the sleep mode 1 (AT+CSCLK=1) by DTR signal. When DTR is in high level and without interrupt (on air and hardware such as

GPIO interrupt or data in serial port), SIM800F will enter sleep mode 1 automatically. In this mode, SIM800F can still receive paging or SMS from network, but the serial port is not accessible.

Wake Up SIM800F from Sleep Mode 1 (AT+CSCLK=1)

When SIM800F is in sleep mode 1 (AT+CSCLK=1), the following events can wake up the module:

- DTR is pulled down
- Receive a voice or data call from network
- Receive a SMS from network

Note: After module has received incoming call or new SMS, serial port can report URC, but the serial port can not input ATcommand. Only after the DTR pin is pulled to low level for 50ms, the serial port can input AT command.

Sleep Mode 2 (AT+CSCLK=2)

In this mode, SIM800F will continuously monitor the serial port data signal. When there is no data transfer over 5 seconds on the RXD signal and there is no hardware interrupts (such as GPIO interrupt), SIM800F will enter sleepmode 2 automatically. In this mode, SIM800F can still receive paging or SMS from network.

Note: The default setting of serial port is auto baud detection, in this case, the module cannot enter sleep mode 2 before the synchronization of serial port baud rate between DTE and DCE.

Wake Up SIM800F from Sleep Mode 2 (AT+CSCLK=2)

When SIM800F is in sleep mode 2 (AT+CSCLK=2), the following events can wake up the module:

- Receive data via main serial port (the first several character will lose)
- Receive a voice or data call from network
- Receive a SMS from network

RTC Backup

VRTC is the power supply for RTC circuit, and its typical value is 2.8V. To allow the RTC to operate even when VBAT is turned off, it is recommended to connect the VRTC pin to a backup battery or an external large-capacitance capacitor (100uF is recommended).

When VBAT is turned on, RTC circuit is supplied from an internal LDO, and the backup battery or the external capacitor will be charged through VRTC pin.

When VBAT is turned off, RTC circuit will be supplied from the backup battery or

the external capacitor. The following figures show various references for RTC backup

circuit:

- **External capacitor backup**

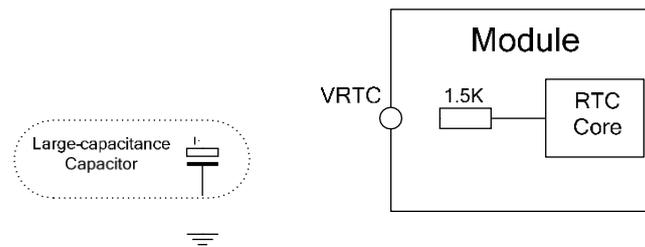


Figure 17: RTC supply from capacitor

- **Non-chargeable battery backup**

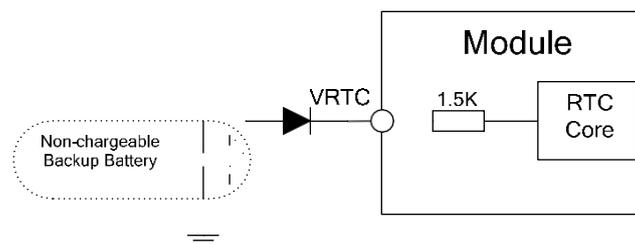


Figure 18: RTC supply from non-chargeable battery

- **Rechargeable battery backup**

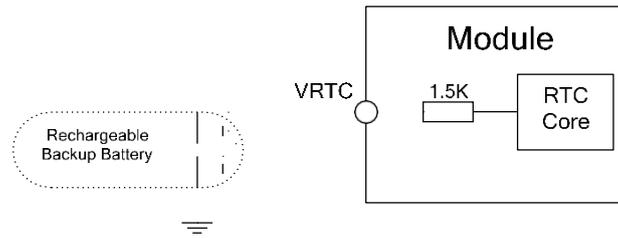


Figure 19: RTC supply from rechargeable battery

Note:

1. For electrical characteristics, please refer to Table 44: VRTC characteristics. The clock error becomes larger when VBAT is turned off and RTC circuit was supplied from the backup battery or the external capacitor



PIC18F2455/2550/4455/4550
Data Sheet

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



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 6.25 ns (Tcy/16)
 - Compare is 16-bit, max. resolution 100 ns (Tcy)
 - 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-channels Analog-to-Digital Converter module (A/D) 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
- Optional dedicated ICD/ICSP port (44-pin devices only)
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-bit A/D (ch)	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EUSART	Comparators	Timers 8/16-bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI™	Master I ² C™			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

Pin Diagrams

28-Pin PDIP, SOIC

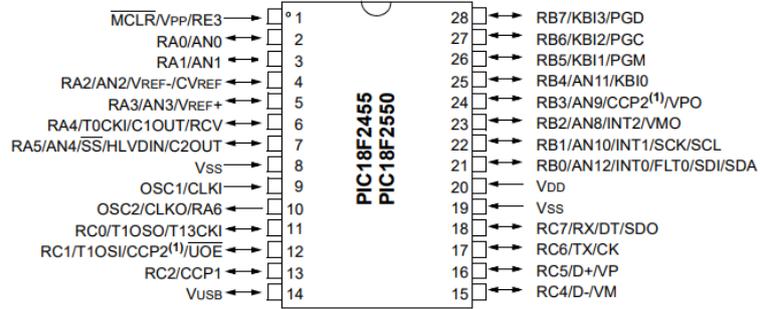
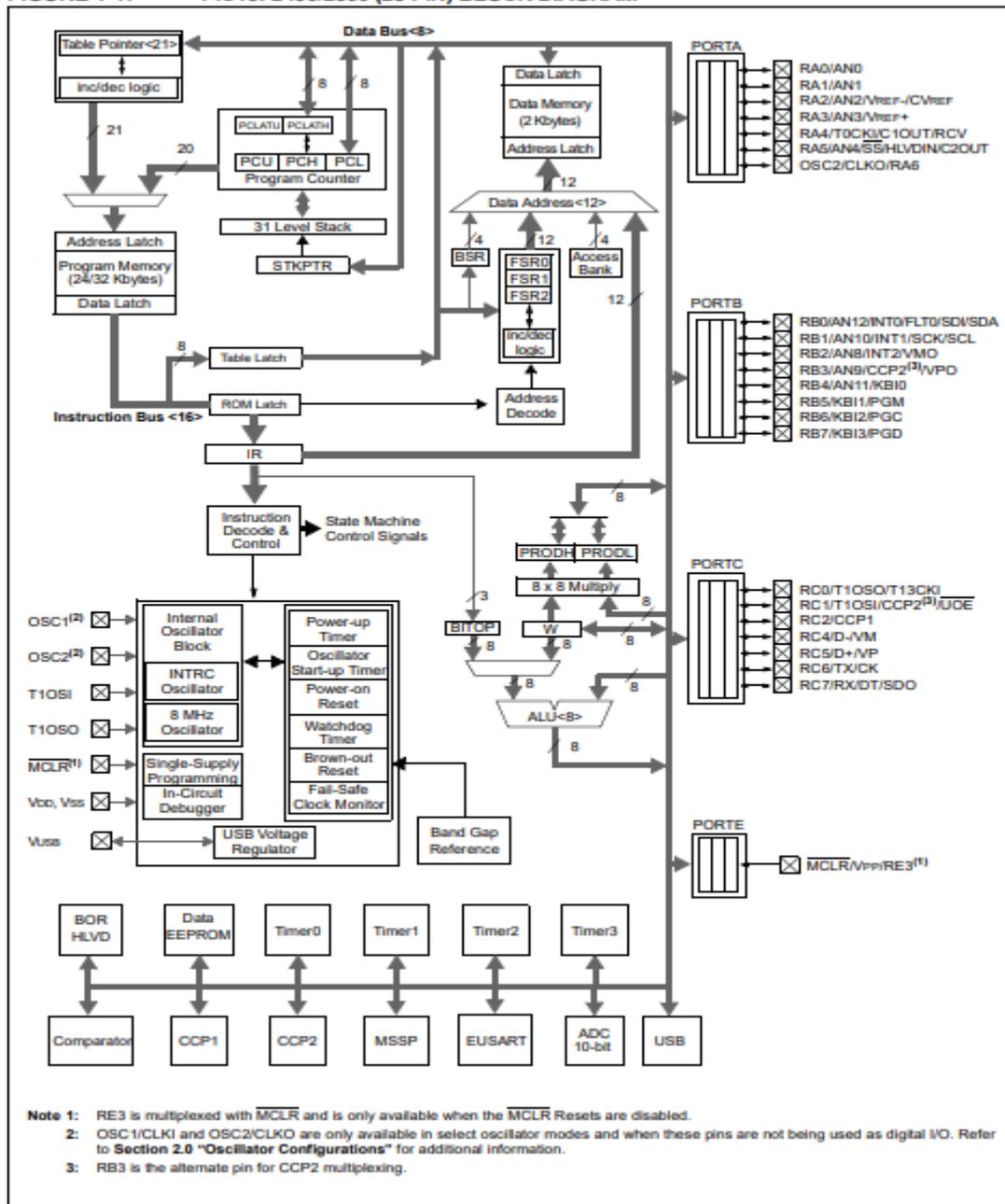


TABLE 1-1: DEVICE FEATURES

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

FIGURE 1-1: PIC18F2455/2550 (28-PIN) BLOCK DIAGRAM



2.0 OSCILLATOR CONFIGURATIONS

2.1 Overview

Devices in the PIC18F2455/2550/4455/4550 family incorporate a different oscillator and microcontroller clock system than previous PIC18F devices. The addition of the USB module, with its unique requirements for a stable clock source, make it necessary to provide a separate clock source that is compliant with both USB low-speed and full speed specifications.

To accommodate these requirements, PIC18F2455/2550/4455/4550 devices include a new clock branch to provide a 48 MHz clock for full speed USB operation. Since it is driven from the primary clock source, an additional system of prescalers and postscalers has been added to accommodate a wide range of oscillator frequencies. An overview of the oscillator structure is shown in Figure 2-1.

Other oscillator features used in PIC18 enhanced microcontrollers, such as the internal oscillator block and clock switching, remain the same. They are discussed later in this chapter.

2.1.1 OSCILLATOR CONTROL

The operation of the oscillator in PIC18F2455/2550/4455/4550 devices is controlled through two configuration registers and two control registers. Configuration registers, CONFIG1L and CONFIG1H, select the oscillator mode and USB prescaler/postscaler options. As configuration bits, these are set when the device is programmed and left in that configuration until the device is reprogrammed.

The OSCCON register (Register 2-2) selects the Active Clock mode; it is primarily used in controlling clock switching in power-managed modes. Its use is discussed in **Section 2.4.1 "Oscillator Control Register"**.

The OSCTUNE register (Register 2-1) is used to trim the INTRC frequency source, as well as select the low-frequency clock source that drives several special features. Its use is described in **Section 2.2.5.2 "OSCTUNE Register"**.

2.2 Oscillator Types

PIC18F2455/2550/4455/4550 devices can be operated in twelve distinct oscillator modes. In contrast with previous PIC18 enhanced microcontrollers, four of these modes involve the use of two oscillator types at once. Users can program the FOSC3:FOSC0 configuration bits to select one of these modes:

1. XT Crystal/Resonator
2. XTPLL Crystal/Resonator with PLL enabled
3. HS High-Speed Crystal/Resonator
4. HSPLL High-Speed Crystal/Resonator with PLL enabled
5. EC External Clock with Fosc/4 output
6. ECIO External Clock with I/O on RA6
7. ECPLL External Clock with PLL enabled and Fosc/4 output on RA6
8. ECPIO External Clock with PLL enabled, I/O on RA6
9. INTHS Internal Oscillator used as microcontroller clock source, HS Oscillator used as USB clock source
10. INTXT Internal Oscillator used as microcontroller clock source, XT Oscillator used as USB clock source
11. INTIO Internal Oscillator used as microcontroller clock source, EC Oscillator used as USB clock source, digital I/O on RA6
12. INTCKO Internal Oscillator used as microcontroller clock source, EC Oscillator used as USB clock source, Fosc/4 output on RA6

2.2.1 OSCILLATOR MODES AND USB OPERATION

Because of the unique requirements of the USB module, a different approach to clock operation is necessary. In previous PICmicro® devices, all core and peripheral clocks were driven by a single oscillator source; the usual sources were primary, secondary or the internal oscillator. With PIC18F2455/2550/4455/4550 devices, the primary oscillator becomes part of the USB module and cannot be associated to any other clock source. Thus, the USB module must be clocked from the primary clock source; however, the microcontroller core and other peripherals can be separately clocked from the secondary or internal oscillators as before.

Because of the timing requirements imposed by USB, an internal clock of either 6 MHz or 48 MHz is required while the USB module is enabled. Fortunately, the microcontroller and other peripherals are not required to run at this clock speed when using the primary oscillator. There are numerous options to achieve the USB module clock requirement and still provide flexibility for clocking the rest of the device from the primary oscillator source. These are detailed in **Section 2.3 "Oscillator Settings for USB"**.

2.2.2 CRYSTAL OSCILLATOR/CERAMIC RESONATORS

In HS, HSPLL, XT and XTPLL Oscillator modes, a crystal or ceramic resonator is connected to the OSC1 and OSC2 pins to establish oscillation. Figure 2-2 shows the pin connections.

The oscillator design requires the use of a parallel cut crystal.

Note: Use of a series cut crystal may give a frequency out of the crystal manufacturer's specifications.

FIGURE 2-2: CRYSTAL/CERAMIC RESONATOR OPERATION (XT, HS OR HSPLL CONFIGURATION)

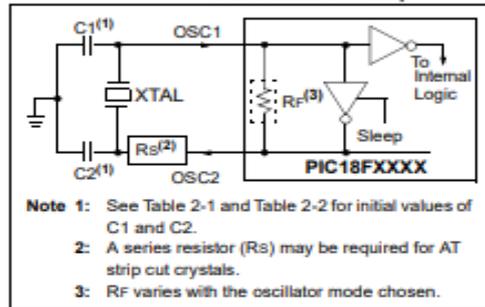


TABLE 2-1: CAPACITOR SELECTION FOR CERAMIC RESONATORS

Typical Capacitor Values Used:			
Mode	Freq	OSC1	OSC2
XT	4.0 MHz	33 pF	33 pF
HS	8.0 MHz	27 pF	27 pF
	16.0 MHz	22 pF	22 pF

Capacitor values are for design guidance only.
 These capacitors were tested with the resonators listed below for basic start-up and operation. **These values are not optimized.**
 Different capacitor values may be required to produce acceptable oscillator operation. The user should test the performance of the oscillator over the expected V_{DD} and temperature range for the application.
 See the notes following Table 2-2 for additional information.

Resonators Used:	
4.0 MHz	
8.0 MHz	
16.0 MHz	

TABLE 2-2: CAPACITOR SELECTION FOR CRYSTAL OSCILLATOR

Osc Type	Crystal Freq	Typical Capacitor Values Tested:	
		C1	C2
XT	4 MHz	27 pF	27 pF
HS	4 MHz	27 pF	27 pF
	8 MHz	22 pF	22 pF
	20 MHz	15 pF	15 pF

Capacitor values are for design guidance only.

These capacitors were tested with the crystals listed below for basic start-up and operation. **These values are not optimized.**

Different capacitor values may be required to produce acceptable oscillator operation. The user should test the performance of the oscillator over the expected V_{DD} and temperature range for the application.

See the notes following this table for additional information.

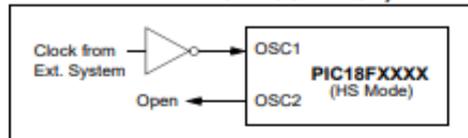
Crystals Used:	
4 MHz	
8 MHz	
20 MHz	

- Note 1:** Higher capacitance increases the stability of oscillator but also increases the start-up time.
- 2:** When operating below 3V V_{DD}, or when using certain ceramic resonators at any voltage, it may be necessary to use the HS mode or switch to a crystal oscillator.
- 3:** Since each resonator/crystal has its own characteristics, the user should consult the resonator/crystal manufacturer for appropriate values of external components.
- 4:** Rs may be required to avoid overdriving crystals with low drive level specification.
- 5:** Always verify oscillator performance over the V_{DD} and temperature range that is expected for the application.

An internal postscaler allows users to select a clock frequency other than that of the crystal or resonator. Frequency division is determined by the CPUDIV configuration bits. Users may select a clock frequency of the oscillator frequency, or 1/2, 1/3 or 1/4 of the frequency.

An external clock may also be used when the microcontroller is in HS Oscillator mode. In this case, the OSC2/CLKO pin is left open (Figure 2-3).

FIGURE 2-3: EXTERNAL CLOCK INPUT OPERATION (HS OSC CONFIGURATION)

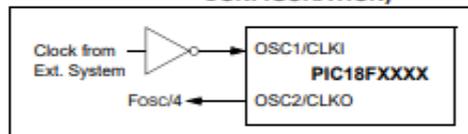


2.2.3 EXTERNAL CLOCK INPUT

The EC, ECIO, ECPLL and ECPIO Oscillator modes require an external clock source to be connected to the OSC1 pin. There is no oscillator start-up time required after a Power-on Reset or after an exit from Sleep mode.

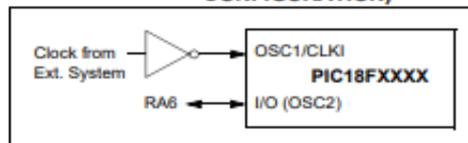
In the EC and ECPLL Oscillator modes, the oscillator frequency divided by 4 is available on the OSC2 pin. This signal may be used for test purposes or to synchronize other logic. Figure 2-4 shows the pin connections for the EC Oscillator mode.

FIGURE 2-4: EXTERNAL CLOCK INPUT OPERATION (EC AND ECPLL CONFIGURATION)



The ECIO and ECPIO Oscillator modes function like the EC and ECPLL modes, except that the OSC2 pin becomes an additional general purpose I/O pin. The I/O pin becomes bit 6 of PORTA (RA6). Figure 2-5 shows the pin connections for the ECIO Oscillator mode.

FIGURE 2-5: EXTERNAL CLOCK INPUT OPERATION (ECIO AND ECPIO CONFIGURATION)



The internal postscaler for reducing clock frequency in XT and HS modes is also available in EC and ECIO modes.

2.2.4 PLL FREQUENCY MULTIPLIER

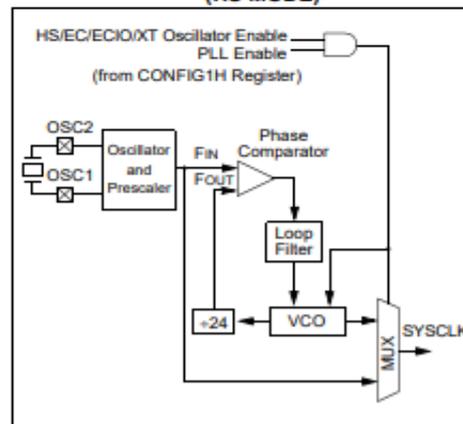
PIC18F2455/2550/4255/4550 devices include a Phase Locked Loop (PLL) circuit. This is provided specifically for USB applications with lower speed oscillators and can also be used as a microcontroller clock source.

The PLL is enabled in HSPLL, XTPLL, ECPLL and ECPIO Oscillator modes. It is designed to produce a fixed 96 MHz reference clock from a fixed 4 MHz input. The output can then be divided and used for both the USB and the microcontroller core clock. Because the PLL has a fixed frequency input and output, there are eight prescaling options to match the oscillator input frequency to the PLL.

There is also a separate postscaler option for deriving the microcontroller clock from the PLL. This allows the USB peripheral and microcontroller to use the same oscillator input and still operate at different clock speeds. In contrast to the postscaler for XT, HS and EC modes, the available options are 1/2, 1/3, 1/4 and 1/6 of the PLL output.

The HSPLL, ECPLL and ECPIO modes make use of the HS mode oscillator for frequencies up to 48 MHz. The prescaler divides the oscillator input by up to 12 to produce the 4 MHz drive for the PLL. The XTPLL mode can only use an input frequency of 4 MHz which drives the PLL directly.

FIGURE 2-6: PLL BLOCK DIAGRAM (HS MODE)



PIC18F2455/2550/4455/4550

3.0 POWER-MANAGED MODES

PIC18F2455/2550/4455/4550 devices offer a total of seven operating modes for more efficient power management. These modes provide a variety of options for selective power conservation in applications where resources may be limited (i.e., battery-powered devices).

There are three categories of power-managed modes:

- Run modes
- Idle modes
- Sleep mode

These categories define which portions of the device are clocked and sometimes, what speed. The Run and Idle modes may use any of the three available clock sources (primary, secondary or internal oscillator block); the Sleep mode does not use a clock source.

The power-managed modes include several power-saving features offered on previous PICmicro® devices. One is the clock switching feature, offered in other PIC18 devices, allowing the controller to use the Timer1 oscillator in place of the primary oscillator. Also included is the Sleep mode, offered by all PICmicro devices, where all device clocks are stopped.

3.1 Selecting Power-Managed Modes

Selecting a power-managed mode requires two decisions: if the CPU is to be clocked or not and the selection of a clock source. The IDLEN bit (OSCCON<7>) controls CPU clocking, while the SCS1:SCS0 bits (OSCCON<1:0>) select the clock source. The individual modes, bit settings, clock sources and affected modules are summarized in Table 3-1.

3.1.1 CLOCK SOURCES

The SCS1:SCS0 bits allow the selection of one of three clock sources for power-managed modes. They are:

- the primary clock, as defined by the FOSC3:FOSC0 configuration bits
- the secondary clock (the Timer1 oscillator)
- the internal oscillator block (for RC modes)

3.1.2 ENTERING POWER-MANAGED MODES

Switching from one power-managed mode to another begins by loading the OSCCON register. The SCS1:SCS0 bits select the clock source and determine which Run or Idle mode is to be used. Changing these bits causes an immediate switch to the new clock source, assuming that it is running. The switch may also be subject to clock transition delays. These are discussed in Section 3.1.3 "Clock Transitions and Status Indicators" and subsequent sections.

Entry to the Power-Managed Idle or Sleep modes is triggered by the execution of a SLEEP instruction. The actual mode that results depends on the status of the IDLEN bit.

Depending on the current mode and the mode being switched to, a change to a power-managed mode does not always require setting all of these bits. Many transitions may be done by changing the oscillator select bits, or changing the IDLEN bit, prior to issuing a SLEEP instruction. If the IDLEN bit is already configured correctly, it may only be necessary to perform a SLEEP instruction to switch to the desired mode.

TABLE 3-1: POWER-MANAGED MODES

Mode	OSCCON Bits		Module Clocking		Available Clock and Oscillator Source
	IDLEN ⁽¹⁾	SCS1:SCS0	CPU	Peripherals	
Sleep	0	N/A	Off	Off	None – all clocks are disabled
PRI_RUN	N/A	00	Clocked	Clocked	Primary – all oscillator modes. This is the normal full power execution mode.
SEC_RUN	N/A	01	Clocked	Clocked	Secondary – Timer1 oscillator
RC_RUN	N/A	1x	Clocked	Clocked	Internal oscillator block ⁽²⁾
PRI_IDLE	1	00	Off	Clocked	Primary – all oscillator modes
SEC_IDLE	1	01	Off	Clocked	Secondary – Timer1 oscillator
RC_IDLE	1	1x	Off	Clocked	Internal oscillator block ⁽²⁾

Note 1: IDLEN reflects its value when the SLEEP instruction is executed.

Note 2: Includes INTOSC and INTOSC postscaler, as well as the INTRC source.

3.3 Sleep Mode

The Power-Managed Sleep mode in the PIC18F2455/2550/4455/4550 devices is identical to the legacy Sleep mode offered in all other PICmicro devices. It is entered by clearing the IDLEN bit (the default state on device Reset) and executing the SLEEP instruction. This shuts down the selected oscillator (Figure 3-5). All clock source status bits are cleared.

Entering the Sleep mode from any other mode does not require a clock switch. This is because no clocks are needed once the controller has entered Sleep. If the WDT is selected, the INTRC source will continue to operate. If the Timer1 oscillator is enabled, it will also continue to run.

When a wake event occurs in Sleep mode (by interrupt, Reset or WDT time-out), the device will not be clocked until the clock source selected by the SCS1:SCS0 bits becomes ready (see Figure 3-6), or it will be clocked from the internal oscillator block if either the Two-Speed Start-up or the Fail-Safe Clock Monitor are enabled (see Section 25.0 "Special Features of the CPU"). In either case, the OSTS bit is set when the primary clock is providing the device clocks. The IDLEN and SCS bits are not affected by the wake-up.

3.4 Idle Modes

The Idle modes allow the controller's CPU to be selectively shut down while the peripherals continue to operate. Selecting a particular Idle mode allows users to further manage power consumption.

If the IDLEN bit is set to a '1' when a SLEEP instruction is executed, the peripherals will be clocked from the clock source selected using the SCS1:SCS0 bits; however, the CPU will not be clocked. The clock source status bits are not affected. Setting IDLEN and executing a SLEEP instruction provides a quick method of switching from a given Run mode to its corresponding Idle mode.

If the WDT is selected, the INTRC source will continue to operate. If the Timer1 oscillator is enabled, it will also continue to run.

Since the CPU is not executing instructions, the only exits from any of the Idle modes are by interrupt, WDT time-out or a Reset. When a wake event occurs, CPU execution is delayed by an interval of T_{csd} (parameter 38, Table 28-12) while it becomes ready to execute code. When the CPU begins executing code, it resumes with the same clock source for the current Idle mode. For example, when waking from RC_IDLE mode, the internal oscillator block will clock the CPU and peripherals (in other words, RC_RUN mode). The IDLEN and SCS bits are not affected by the wake-up.

While in any Idle mode or the Sleep mode, a WDT time-out will result in a WDT wake-up to the Run mode currently specified by the SCS1:SCS0 bits.

FIGURE 3-5: TRANSITION TIMING FOR ENTRY TO SLEEP MODE

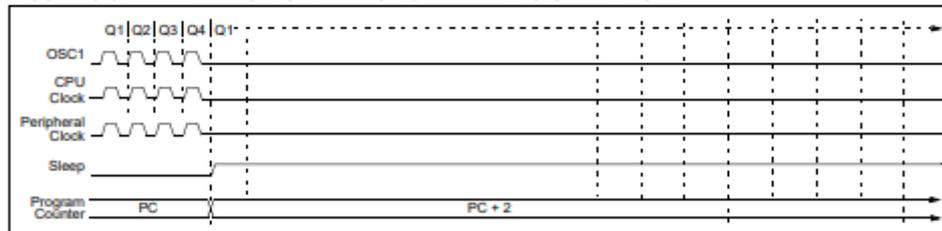
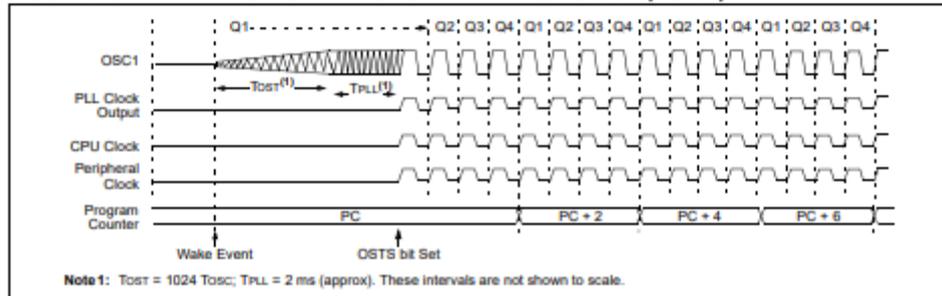


FIGURE 3-6: TRANSITION TIMING FOR WAKE FROM SLEEP (HSPLL)



Note 1: $T_{ost} = 1024 T_{osc}$; $T_{PLL} = 2 \text{ ms}$ (approx). These intervals are not shown to scale.

4.0 RESET

The PIC18F2455/2550/4455/4550 devices differentiate between various kinds of Reset:

- Power-on Reset (POR)
- MCLR Reset during normal operation
- MCLR Reset during power-managed modes
- Watchdog Timer (WDT) Reset (during execution)
- Programmable Brown-out Reset (BOR)
- RESET Instruction
- Stack Full Reset
- Stack Underflow Reset

This section discusses Resets generated by MCLR, POR and BOR and covers the operation of the various start-up timers. Stack Reset events are covered in Section 5.1.2.4 "Stack Full and Underflow Resets". WDT Resets are covered in Section 25.2 "Watchdog Timer (WDT)".

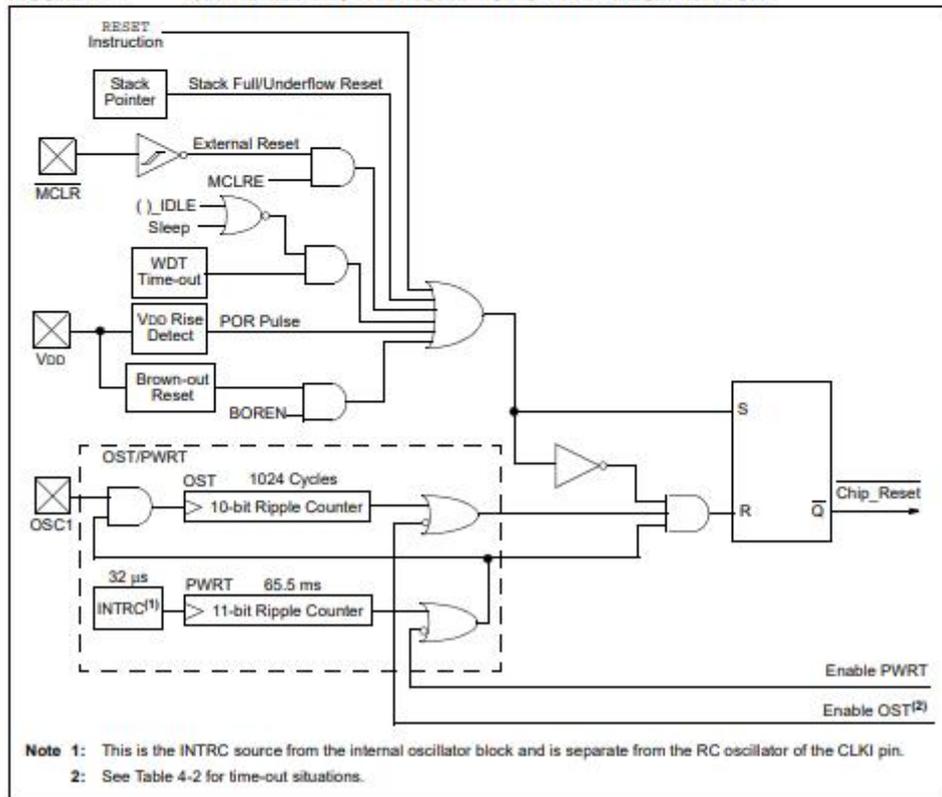
A simplified block diagram of the On-Chip Reset Circuit is shown in Figure 4-1.

4.1 RCON Register

Device Reset events are tracked through the RCON register (Register 4-1). The lower five bits of the register indicate that a specific Reset event has occurred. In most cases, these bits can only be cleared by the event and must be set by the application after the event. The state of these flag bits, taken together, can be read to indicate the type of Reset that just occurred. This is described in more detail in Section 4.6 "Reset State of Registers".

The RCON register also has control bits for setting interrupt priority (IPEN) and software control of the BOR (SBOREN). Interrupt priority is discussed in Section 9.0 "Interrupts". BOR is covered in Section 4.4 "Brown-out Reset (BOR)".

FIGURE 4-1: SIMPLIFIED BLOCK DIAGRAM OF ON-CHIP RESET CIRCUIT



REGISTER 4-1: RCON: RESET CONTROL REGISTER

R/W-0	R/W-1 ⁽¹⁾	U-0	R/W-1	R-1	R-1	R/W-0 ⁽²⁾	R/W-0	
IPEN	SBOREN	—	\overline{RI}	\overline{TO}	\overline{PD}	\overline{POR}	\overline{BOR}	
bit 7								bit 0

- bit 7 **IPEN:** Interrupt Priority Enable bit
1 = Enable priority levels on interrupts
0 = Disable priority levels on interrupts (PIC16CXXX Compatibility mode)
- bit 6 **SBOREN:** BOR Software Enable bit⁽¹⁾
If BOREN1:BOREN0 = 01:
1 = BOR is enabled
0 = BOR is disabled
If BOREN1:BOREN0 = 00, 10 or 11:
Bit is disabled and read as '0'.
- bit 5 **Unimplemented:** Read as '0'
- bit 4 **\overline{RI} :** RESET Instruction Flag bit
1 = The RESET instruction was not executed (set by firmware only)
0 = The RESET instruction was executed causing a device Reset (must be set in software after a Brown-out Reset occurs)
- bit 3 **\overline{TO} :** Watchdog Time-out Flag bit
1 = Set by power-up, CLRWD \overline{T} instruction or SLEEP instruction
0 = A WDT time-out occurred
- bit 2 **\overline{PD} :** Power-Down Detection Flag bit
1 = Set by power-up or by the CLRWD \overline{T} instruction
0 = Set by execution of the SLEEP instruction
- bit 1 **\overline{POR} :** Power-on Reset Status bit⁽²⁾
1 = A Power-on Reset has not occurred (set by firmware only)
0 = A Power-on Reset occurred (must be set in software after a Power-on Reset occurs)
- bit 0 **\overline{BOR} :** Brown-out Reset Status bit
1 = A Brown-out Reset has not occurred (set by firmware only)
0 = A Brown-out Reset occurred (must be set in software after a Brown-out Reset occurs)

Note 1: If SBOREN is enabled, its Reset state is '1'; otherwise, it is '0'.

2: The actual Reset value of \overline{POR} is determined by the type of device Reset. See the notes following this table and **Section 4.6 "Reset State of Registers"** for additional information.

Legend:

R = Readable bit W = Writable bit U = Unimplemented bit, read as '0'
-n = Value at POR '1' = Bit is set '0' = Bit is cleared x = Bit is unknown

Note 1: It is recommended that the \overline{POR} bit be set after a Power-on Reset has been detected so that subsequent Power-on Resets may be detected.

2: Brown-out Reset is said to have occurred when \overline{BOR} is '0' and \overline{POR} is '1' (assuming that \overline{POR} was set to '1' by software immediately after POR).

10.0 I/O PORTS

Depending on the device selected and features enabled, there are up to five ports available. Some pins of the I/O ports are multiplexed with an alternate function from the peripheral features on the device. In general, when a peripheral is enabled, that pin may not be used as a general purpose I/O pin.

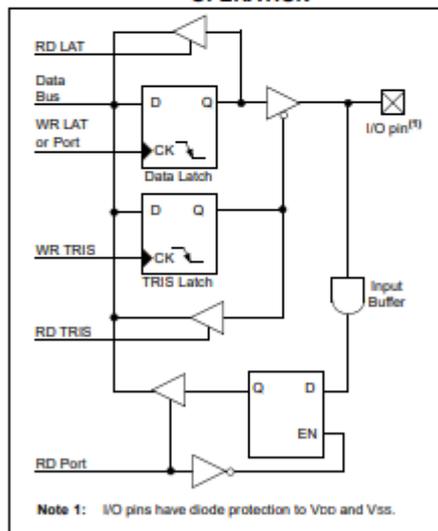
Each port has three registers for its operation. These registers are:

- TRIS register (data direction register)
- Port register (reads the levels on the pins of the device)
- LAT register (output latch)

The Data Latch register (LATA) is useful for read-modify-write operations on the value that the I/O pins are driving.

A simplified model of a generic I/O port, without the interfaces to other peripherals, is shown in Figure 10-1.

FIGURE 10-1: GENERIC I/O PORT OPERATION



10.1 PORTA, TRISA and LATA Registers

PORTA is an 8-bit wide, bidirectional port. The corresponding data direction register is TRISA. Setting a TRISA bit (= 1) will make the corresponding PORTA pin an input (i.e., put the corresponding output driver in a high-impedance mode). Clearing a TRISA bit (= 0) will make the corresponding PORTA pin an output (i.e., put the contents of the output latch on the selected pin).

Reading the PORTA register reads the status of the pins; writing to it will write to the port latch.

The Data Latch register (LATA) is also memory mapped. Read-modify-write operations on the LATA register read and write the latched output value for PORTA.

The RA4 pin is multiplexed with the Timer0 module clock input to become the RA4/T0CKI pin. The RA6 pin is multiplexed with the main oscillator pin; it is enabled as an oscillator or I/O pin by the selection of the main oscillator in Configuration Register 1H (see Section 25.1 "Configuration Bits" for details). When not used as a port pin, RA6 and its associated TRIS and LAT bits are read as '0'.

RA4 is also multiplexed with the USB module; it serves as a receiver input from an external USB transceiver. For details on configuration of the USB module, see Section 17.2 "USB Status and Control".

Several PORTA pins are multiplexed with analog inputs, the analog VREF+ and VREF- inputs and the comparator voltage reference output. The operation of pins RA3:RA0 and RA5 as A/D converter inputs is selected by clearing/setting the control bits in the ADCON1 register (A/D Control Register 1).

Note: On a Power-on Reset, RA5 and RA3:RA0 are configured as analog inputs and read as '0'. RA4 is configured as a digital input.

All other PORTA pins have TTL input levels and full CMOS output drivers.

The TRISA register controls the direction of the RA pins, even when they are being used as analog inputs. The user must ensure the bits in the TRISA register are maintained set when using them as analog inputs.

EXAMPLE 10-1: INITIALIZING PORTA

```
CLRF PORTA ; Initialize PORTA by
            ; clearing output
            ; data latches
CLRF LATA ; Alternate method
            ; to clear output
            ; data latches
MOVLW 0Fh ; Configure A/D
MOVWF ADCON1 ; for digital inputs
MOVLW 07h ; Configure comparators
MOVWF CMCON ; for digital input
MOVLW 0CFh ; Value used to
            ; initialize data
            ; direction
MOVWF TRISA ; Set RA<3:0> as inputs
            ; RA<5:4> as outputs
```

TABLE 10-1: PORTA I/O SUMMARY

Pin	Function	TRIS Setting	I/O	I/O Type	Description
RA0/AN0	RA0	0	OUT	DIG	LATA<0> data output; not affected by analog input.
		1	IN	TTL	PORTA<0> data input; disabled when analog input enabled.
	AN0	1	IN	ANA	A/D input channel 0 and Comparator C1- input. Default configuration on POR; does not affect digital output.
RA1/AN1	RA1	0	OUT	DIG	LATA<1> data output; not affected by analog input.
		1	IN	TTL	PORTA<1> data input; reads '0' on POR.
	AN1	1	IN	ANA	A/D input channel 1 and Comparator C2- input. Default configuration on POR; does not affect digital output.
RA2/AN2/ VREF-/CVREF	RA2	0	OUT	DIG	LATA<2> data output; not affected by analog input. Disabled when CVREF output enabled.
		1	IN	TTL	PORTA<2> data input. Disabled when analog functions enabled; disabled when CVREF output enabled.
	AN2	1	IN	ANA	A/D input channel 2 and Comparator C2+ input. Default configuration on POR; not affected by analog output.
	VREF-	1	IN	ANA	A/D and comparator voltage reference low input.
	CVREF	x	OUT	ANA	Comparator voltage reference output. Enabling this feature disables digital I/O.
RA3/AN3/ VREF+	RA3	0	OUT	DIG	LATA<3> data output; not affected by analog input.
		1	IN	TTL	PORTA<3> data input; disabled when analog input enabled.
	AN3	1	IN	ANA	A/D input channel 3 and Comparator C1+ input. Default configuration on POR.
	VREF+	1	IN	ANA	A/D and comparator voltage reference high input.
RA4/T0CKI/ C1OUT/RCV	RA4	0	OUT	DIG	LATA<4> data output; not affected by analog input.
		1	IN	ST	PORTA<4> data input; disabled when analog input enabled.
	T0CKI	1	IN	ST	Timer0 clock input.
	C1OUT	0	OUT	DIG	Comparator 1 output; takes priority over port data.
	RCV	x	IN	TTL	External USB transceiver RCV input.
RA5/AN4/SS/ HLVDIN/C2OUT	RA5	0	OUT	DIG	LATA<5> data output; not affected by analog input.
		1	IN	TTL	PORTA<5> data input; disabled when analog input enabled.
	AN4	1	IN	ANA	A/D input channel 4. Default configuration on POR.
	SS	1	IN	TTL	Slave select input for SSP (MSSP module).
	HLVDIN	1	IN	ANA	High/Low-Voltage Detect external trip point input.
OSC2/CLKO/ RA6	RA6	0	OUT	DIG	LATA<6> data output. Available only in ECIO, ECPIO and INTIO modes; otherwise, reads as '0'.
		1	IN	TTL	PORTA<6> data input. Available only in ECIO, ECPIO and INTIO modes; otherwise, reads as '0'.
	OSC2	x	OUT	ANA	Main oscillator feedback output connection (all XT and HS modes).
	CLKO	x	OUT	DIG	System cycle clock output (Fosc/4); available in EC, ECPLL and INTCKO modes.

Legend: OUT = Output, IN = Input, ANA = Analog Signal, DIG = Digital Output, ST = Schmitt Buffer Input, TTL = TTL Buffer Input, x = Don't care (TRIS bit does not affect port direction or is overridden for this option).

TABLE 10-2: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTA

Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Reset Values on page
PORTA	—	RA6 ⁽¹⁾	RA5	RA4	RA3	RA2	RA1	RA0	54
LATA	—	LATA6 ⁽¹⁾	LATA5	LATA4	LATA3	LATA2	LATA1	LATA0	54
TRISA	—	TRISA6 ⁽¹⁾	TRISA5	TRISA4	TRISA3	TRISA2	TRISA1	TRISA0	54
ADCON1	—	—	VCFG1	VCFG0	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	52
CMCON	C2OUT	C1OUT	C2INV	C1INV	CIS	CM2	CM1	CM0	53
CVRCON	CVREN	CVROE	CVRR	CVRSS	CVR3	CVR2	CVR1	CVR0	53
UCON	—	PPBRST	SE0	PKTDIS	USBEN	RESUME	SUSPND	—	55

Legend: — = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used by PORTA.

Note 1: RA6 and its associated latch and data direction bits are enabled as I/O pins based on oscillator configuration; otherwise, they are read as '0'.

10.2 PORTB, TRISB and LATB Registers

PORTB is an 8-bit wide, bidirectional port. The corresponding data direction register is TRISB. Setting a TRISB bit (= 1) will make the corresponding PORTB pin an input (i.e., put the corresponding output driver in a high-impedance mode). Clearing a TRISB bit (= 0) will make the corresponding PORTB pin an output (i.e., put the contents of the output latch on the selected pin).

The Data Latch register (LATB) is also memory mapped. Read-modify-write operations on the LATB register read and write the latched output value for PORTB.

Each of the PORTB pins has a weak internal pull-up. A single control bit can turn on all the pull-ups. This is performed by clearing bit $\overline{\text{RBP}}\text{U}$ (INTCON2<7>). The weak pull-up is automatically turned off when the port pin is configured as an output. The pull-ups are disabled on a Power-on Reset.

Note: On a Power-on Reset, RB4:RB0 are configured as analog inputs by default and read as '0'; RB7:RB5 are configured as digital inputs.

By programming the configuration bit, P $\overline{\text{B}}\text{ADEN}$ (CONFIG3H<1>), RB4:RB0 will alternatively be configured as digital inputs on POR.

Four of the PORTB pins (RB7:RB4) have an interrupt-on-change feature. Only pins configured as inputs can cause this interrupt to occur; any RB7:RB4 pin configured as an output is excluded from the interrupt-on-change comparison. The pins are compared with the old value latched on the last read of PORTB. The "mismatch" outputs of RB7:RB4 are ORed together to generate the RB Port Change Interrupt with Flag bit, RBIF (INTCON<0>).

The interrupt-on-change can be used to wake the device from Sleep. The user, in the Interrupt Service Routine, can clear the interrupt in the following manner:

- Any read or write of PORTB (except with the MOVFF (ANY), PORTB instruction). This will end the mismatch condition.
- Clear flag bit, RBIF.

A mismatch condition will continue to set flag bit, RBIF. Reading PORTB will end the mismatch condition and allow flag bit, RBIF, to be cleared.

The interrupt-on-change feature is recommended for wake-up on key depression operation and operations where PORTB is only used for the interrupt-on-change feature. Polling of PORTB is not recommended while using the interrupt-on-change feature.

Pins, RB2 and RB3, are multiplexed with the USB peripheral and serve as the differential signal outputs for an external USB transceiver (TRIS configuration). Refer to Section 17.2.2.2 "External Transceiver" for additional information on configuring the USB module for operation with an external transceiver.

RB4 is multiplexed with CSSPP, the chip select function for the Streaming Parallel Port (SPP) – TRIS setting. Details of its operation are discussed in Section 18.0 "Streaming Parallel Port".

EXAMPLE 10-2: INITIALIZING PORTB

```
CLRF   PORTB   ; Initialize PORTB by
              ; clearing output
              ; data latches
CLRF   LATB    ; Alternate method
              ; to clear output
              ; data latches
MOVLW  0Eh    ; Set RB<4:0> as
MOVWF  ADCON1 ; digital I/O pins
              ; (required if config bit
              ; P $\overline{\text{B}}\text{ADEN}$  is set)
MOVLW  0CFh   ; Value used to
              ; initialize data
              ; direction
MOVWF  TRISB  ; Set RB<3:0> as inputs
              ; RB<5:4> as outputs
              ; RB<7:6> as inputs
```

TABLE 10-3: PORTB I/O SUMMARY

Pin	Function	TRIS Setting	I/O	I/O Type	Description
RB0/AN12/ INT0/FLT0/ SDI/SDA	RB0	0	OUT	DIG	LATB<0> data output; not affected by analog input.
		1	IN	TTL	PORTB<0> data input; weak pull-up when $\overline{\text{RBPU}}$ bit is cleared. Disabled when analog input enabled ⁽¹⁾ .
	AN12	1	IN	ANA	A/D input channel 12 ⁽¹⁾ .
	INT0	1	IN	ST	External Interrupt 0 input.
	FLT0	1	IN	ST	Enhanced PWM Fault input (ECCP1 module); enabled in software.
	SDI	1	IN	ST	SPI™ data input (MSSP module).
	SDA	1	OUT	DIG	I ² C™ data output (MSSP module); takes priority over port data.
		1	IN	I ² C/SMB	I ² C data input (MSSP module); input type depends on module setting.
RB1/AN10/ INT1/SCK/ SCL	RB1	0	OUT	DIG	LATB<1> data output; not affected by analog input.
		1	IN	TTL	PORTB<1> data input; weak pull-up when $\overline{\text{RBPU}}$ bit is cleared. Disabled when analog input enabled ⁽¹⁾ .
	AN10	1	IN	ANA	A/D input channel 10 ⁽¹⁾ .
	INT1	1	IN	ST	External interrupt 1 input.
	SCK	0	OUT	DIG	SPI clock output (MSSP module); takes priority over port data.
		1	IN	ST	SPI clock input (MSSP module).
	SCL	0	OUT	DIG	I ² C clock output (MSSP module); takes priority over port data.
1		IN	I ² C/SMB	I ² C clock input (MSSP module); input type depends on module setting.	
RB2/AN8/ INT2/VMO	RB2	0	OUT	DIG	LATB<2> data output; not affected by analog input.
		1	IN	TTL	PORTB<2> data input; weak pull-up when $\overline{\text{RBPU}}$ bit is cleared. Disabled when analog input enabled ⁽¹⁾ .
	AN8	1	IN	ANA	A/D input channel 8 ⁽¹⁾ .
	INT2	1	IN	ST	External Interrupt 2 input.
RB3/AN9/ CCP2/VPO	RB3	0	OUT	DIG	LATB<3> data output; not affected by analog input.
		1	IN	TTL	PORTB<3> data input; weak pull-up when $\overline{\text{RBPU}}$ bit is cleared. Disabled when analog input enabled ⁽¹⁾ .
	AN9	1	IN	ANA	A/D input channel 9 ⁽¹⁾ .
	CCP2 ⁽²⁾	0	OUT	DIG	CCP2 Compare and PWM output.
		1	IN	ST	CCP2 Capture input.
VPO	0	OUT	DIG	External USB transceiver VPO data output.	
RB4/AN11/ KB10/CSSPP	RB4	0	OUT	DIG	LATB<4> data output; not affected by analog input.
		1	IN	TTL	PORTB<4> data input; weak pull-up when $\overline{\text{RBPU}}$ bit is cleared. Disabled when analog input enabled ⁽¹⁾ .
	AN11	1	IN	ANA	A/D input channel 11 ⁽¹⁾ .
	KB10	1	IN	TTL	Interrupt on pin change.
	CSSPP ⁽⁴⁾	0	IN	DIG	SPP chip select control output.
RB5/KB11/ PGM	RB5	0	OUT	DIG	LATB<5> data output.
		1	IN	TTL	PORTB<5> data input; weak pull-up when $\overline{\text{RBPU}}$ bit is cleared.
	KB11	1	IN	TTL	Interrupt on pin change.
	PGM	x	IN	ST	Single-Supply Programming mode entry (ICSP™). Enabled by LVP configuration bit; all other pin functions disabled.

TABLE 10-3: PORTB I/O SUMMARY (CONTINUED)

Pin	Function	TRIS Setting	I/O	I/O Type	Description
RB6/KBI2/ PGC	RB6	0	OUT	DIG	LATB<6> data output.
		1	IN	TTL	PORTB<6> data input; weak pull-up when $\overline{\text{RBPU}}$ bit is cleared.
	KBI2	1	IN	TTL	Interrupt on pin change.
	PGC	x	IN	ST	Serial execution (ICSP) clock input for ICSP and ICD operation ⁽³⁾ .
RB7/KBI3/ PGD	RB7	0	OUT	DIG	LATB<7> data output.
		1	IN	TTL	PORTB<7> data input; weak pull-up when $\overline{\text{RBPU}}$ bit is cleared.
	KBI3	1	IN	TTL	Interrupt on pin change.
	PGD	x	OUT	DIG	Serial execution data output for ICSP and ICD operation ⁽³⁾ .
		x	IN	ST	Serial execution data input for ICSP and ICD operation ⁽³⁾ .

Legend: OUT = Output, IN = Input, ANA = Analog Signal, DIG = Digital Output, ST = Schmitt Buffer Input, I²C/SMB = I²C/SMBus input buffer, TTL = TTL Buffer Input, x = Don't care (TRIS bit does not affect port direction or is overridden for this option).

- Note 1:** Configuration on POR is determined by PBAEN configuration bit. Pins are configured as analog inputs when PBAEN is set and digital inputs when PBAEN is cleared.
- 2:** Alternate pin assignment for CCP2 when CCP2MX = 0. Default assignment is RC1.
- 3:** All other pin functions are disabled when ICSP™ or ICD operation is enabled.
- 4:** 40/44-pin devices only.

TABLE 10-4: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTB

Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Reset Values on page
PORTB	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0	54
LATB	LATB7	LATB6	LATB5	LATB4	LATB3	LATB2	LATB1	LATB0	54
TRISB	TRISB7	TRISB6	TRISB5	TRISB4	TRISB3	TRISB2	TRISB1	TRISB0	54
INTCON	GIE/GIEH	PEIE/GIEL	TMR0IE	INT0IE	RBIE	TMR0IF	INT0IF	RBIF	51
INTCON2	$\overline{\text{RBPU}}$	INTEDG0	INTEDG1	INTEDG2	—	TMR0IP	—	RBIP	51
INTCON3	INT2IP	INT1IP	—	INT2IE	INT1IE	—	INT2IF	INT1IF	51
ADCON1	—	—	VCFG1	VCFG0	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	52
SPPCON ⁽¹⁾	—	—	—	—	—	—	SPPOWN	SPPEN	55
SPPCFG ⁽¹⁾	CLKCFG1	CLKCFG0	CSEN	CLK1EN	WS3	WS2	WS1	WS0	55
UCON	—	PPBRST	SE0	PKTDIS	USBEN	RESUME	SUSPND	—	55

Legend: — = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used by PORTB.

Note 1: These registers are unimplemented on 28-pin devices.

12.0 TIMER1 MODULE

The Timer1 timer/counter module incorporates these features:

- Software selectable operation as a 16-bit timer or counter
- Readable and writable 8-bit registers (TMR1H and TMR1L)
- Selectable clock source (internal or external) with device clock or Timer1 oscillator internal options
- Interrupt-on-overflow
- Module Reset on CCP special event trigger
- Device clock status flag (T1RUN)

A simplified block diagram of the Timer1 module is shown in Figure 12-1. A block diagram of the module's operation in Read/Write mode is shown in Figure 12-2.

The module incorporates its own low-power oscillator to provide an additional clocking option. The Timer1 oscillator can also be used as a low-power clock source for the microcontroller in power-managed operation.

Timer1 can also be used to provide Real-Time Clock (RTC) functionality to applications with only a minimal addition of external components and code overhead.

Timer1 is controlled through the T1CON Control register (Register 12-1). It also contains the Timer1 Oscillator Enable bit (T1OSCEN). Timer1 can be enabled or disabled by setting or clearing control bit, TMR1ON (T1CON<0>).

REGISTER 12-1: T1CON: TIMER1 CONTROL REGISTER

R/W-0	R-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
RD16	T1RUN	T1CKPS1	T1CKPS0	T1OSCEN	T1SYNC	TMR1CS	TMR1ON
bit 7							bit 0

- bit 7 **RD16:** 16-Bit Read/Write Mode Enable bit
 1 = Enables register read/write of Timer1 in one 16-bit operation
 0 = Enables register read/write of Timer1 in two 8-bit operations
- bit 6 **T1RUN:** Timer1 System Clock Status bit
 1 = Device clock is derived from Timer1 oscillator
 0 = Device clock is derived from another source
- bit 5-4 **T1CKPS1:T1CKPS0:** Timer1 Input Clock Prescale Select bits
 11 = 1:8 Prescale value
 10 = 1:4 Prescale value
 01 = 1:2 Prescale value
 00 = 1:1 Prescale value
- bit 3 **T1OSCEN:** Timer1 Oscillator Enable bit
 1 = Timer1 oscillator is enabled
 0 = Timer1 oscillator is shut off
 The oscillator inverter and feedback resistor are turned off to eliminate power drain.
- bit 2 **T1SYNC:** Timer1 External Clock Input Synchronization Select bit
When TMR1CS = 1:
 1 = Do not synchronize external clock input
 0 = Synchronize external clock input
When TMR1CS = 0:
 This bit is ignored. Timer1 uses the internal clock when TMR1CS = 0.
- bit 1 **TMR1CS:** Timer1 Clock Source Select bit
 1 = External clock from pin RC0/T1OSO/T13CKI (on the rising edge)
 0 = Internal clock ($F_{osc}/4$)
- bit 0 **TMR1ON:** Timer1 On bit
 1 = Enables Timer1
 0 = Stops Timer1

Legend:

R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'
-n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared x = Bit is unknown

9.0 INTERRUPTS

The PIC18F2455/2550/4455/4550 devices have multiple interrupt sources and an interrupt priority feature that allows each interrupt source to be assigned a high priority level or a low priority level. The high priority interrupt vector is at 000008h and the low priority interrupt vector is at 000018h. High priority interrupt events will interrupt any low priority interrupts that may be in progress.

There are ten registers which are used to control interrupt operation. These registers are:

- RCON
- INTCON
- INTCON2
- INTCON3
- PIR1, PIR2
- PIE1, PIE2
- IPR1, IPR2

It is recommended that the Microchip header files supplied with MPLAB® IDE be used for the symbolic bit names in these registers. This allows the assembler/compiler to automatically take care of the placement of these bits within the specified register.

Each interrupt source has three bits to control its operation. The functions of these bits are:

- Flag bit to indicate that an interrupt event occurred
- Enable bit that allows program execution to branch to the interrupt vector address when the flag bit is set
- Priority bit to select high priority or low priority

The interrupt priority feature is enabled by setting the IPEN bit (RCON<7>). When interrupt priority is enabled, there are two bits which enable interrupts globally. Setting the GIEH bit (INTCON<7>) enables all interrupts that have the priority bit set (high priority). Setting the GIEL bit (INTCON<6>) enables all interrupts that have the priority bit cleared (low priority). When the interrupt flag, enable bit and appropriate global interrupt enable bit are set, the interrupt will vector immediately to address 000008h or 000018h, depending on the priority bit setting. Individual interrupts can be disabled through their corresponding enable bits.

When the IPEN bit is cleared (default state), the interrupt priority feature is disabled and interrupts are compatible with PICmicro® mid-range devices. In Compatibility mode, the interrupt priority bits for each source have no effect. INTCON<6> is the PEIE bit which enables/disables all peripheral interrupt sources. INTCON<7> is the GIE bit which enables/disables all interrupt sources. All interrupts branch to address 000008h in Compatibility mode.

When an interrupt is responded to, the global interrupt enable bit is cleared to disable further interrupts. If the IPEN bit is cleared, this is the GIE bit. If interrupt priority levels are used, this will be either the GIEH or GIEL bit. High priority interrupt sources can interrupt a low priority interrupt. Low priority interrupts are not processed while high priority interrupts are in progress.

The return address is pushed onto the stack and the PC is loaded with the interrupt vector address (000008h or 000018h). Once in the Interrupt Service Routine, the source(s) of the interrupt can be determined by polling the interrupt flag bits. The interrupt flag bits must be cleared in software before re-enabling interrupts to avoid recursive interrupts.

The "return from interrupt" instruction, RETFIE, exits the interrupt routine and sets the GIE bit (GIEH or GIEL if priority levels are used), which re-enables interrupts.

For external interrupt events, such as the INT pins or the PORTB input change interrupt, the interrupt latency will be three to four instruction cycles. The exact latency is the same for one or two-cycle instructions. Individual interrupt flag bits are set regardless of the status of their corresponding enable bit or the GIE bit.

Note: Do not use the MOVFPF instruction to modify any of the interrupt control registers while any interrupt is enabled. Doing so may cause erratic microcontroller behavior.
--

9.1 USB Interrupts

Unlike other peripherals, the USB module is capable of generating a wide range of interrupts for many types of events. These include several types of normal communication and status events and several module level error events.

To handle these events, the USB module is equipped with its own interrupt logic. The logic functions in a manner similar to the microcontroller level interrupt funnel, with each interrupt source having separate flag and enable bits. All events are funneled to a single device level interrupt, USBIF (PIR2<5>). Unlike the device level interrupt logic, the individual USB interrupt events cannot be individually assigned their own priority. This is determined at the device level interrupt funnel for all USB events by the USBIP bit.

For additional details on USB interrupt logic, refer to **Section 17.5 "USB Interrupts"**.

9.2 INTCON Registers

The INTCON registers are readable and writable registers which contain various enable, priority and flag bits.

Note: Interrupt flag bits are set when an interrupt condition occurs regardless of the state of its corresponding enable bit or the global interrupt enable bit. User software should ensure the appropriate interrupt flag bits are clear prior to enabling an interrupt. This feature allows for software polling.

REGISTER 9-1: INTCON: INTERRUPT CONTROL REGISTER

	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-x
	GIE/GIEH	PEIE/GIEL	TMR0IE	INT0IE	RBIE	TMR0IF	INT0IF	RBIF
	bit 7							bit 0

- bit 7 **GIE/GIEH:** Global Interrupt Enable bit
When IPEN = 0:
 1 = Enables all unmasked interrupts
 0 = Disables all interrupts
When IPEN = 1:
 1 = Enables all high priority interrupts
 0 = Disables all high priority interrupts
- bit 6 **PEIE/GIEL:** Peripheral Interrupt Enable bit
When IPEN = 0:
 1 = Enables all unmasked peripheral interrupts
 0 = Disables all peripheral interrupts
When IPEN = 1:
 1 = Enables all low priority peripheral interrupts
 0 = Disables all low priority peripheral interrupts
- bit 5 **TMR0IE:** TMR0 Overflow Interrupt Enable bit
 1 = Enables the TMR0 overflow interrupt
 0 = Disables the TMR0 overflow interrupt
- bit 4 **INT0IE:** INT0 External Interrupt Enable bit
 1 = Enables the INT0 external interrupt
 0 = Disables the INT0 external interrupt
- bit 3 **RBIE:** RB Port Change Interrupt Enable bit
 1 = Enables the RB port change interrupt
 0 = Disables the RB port change interrupt
- bit 2 **TMR0IF:** TMR0 Overflow Interrupt Flag bit
 1 = TMR0 register has overflowed (must be cleared in software)
 0 = TMR0 register did not overflow
- bit 1 **INT0IF:** INT0 External Interrupt Flag bit
 1 = The INT0 external interrupt occurred (must be cleared in software)
 0 = The INT0 external interrupt did not occur
- bit 0 **RBIF:** RB Port Change Interrupt Flag bit
 1 = At least one of the RB7:RB4 pins changed state (must be cleared in software)
 0 = None of the RB7:RB4 pins have changed state
Note: A mismatch condition will continue to set this bit. Reading PORTB will end the mismatch condition and allow the bit to be cleared.

25.2 Watchdog Timer (WDT)

For PIC18F2455/2550/4455/4550 devices, the WDT is driven by the INTRC source. When the WDT is enabled, the clock source is also enabled. The nominal WDT period is 4 ms and has the same stability as the INTRC oscillator.

The 4 ms period of the WDT is multiplied by a 16-bit postscaler. Any output of the WDT postscaler is selected by a multiplexer, controlled by bits in Configuration Register 2H. Available periods range from 4 ms to 131.072 seconds (2.18 minutes). The WDT and postscaler are cleared when any of the following events occur: a SLEEP or CLRWDT instruction is executed, the IRCF bits (OSCCON<6:4>) are changed or a clock failure has occurred.

Note 1: The CLRWDT and SLEEP instructions clear the WDT and postscaler counts when executed.

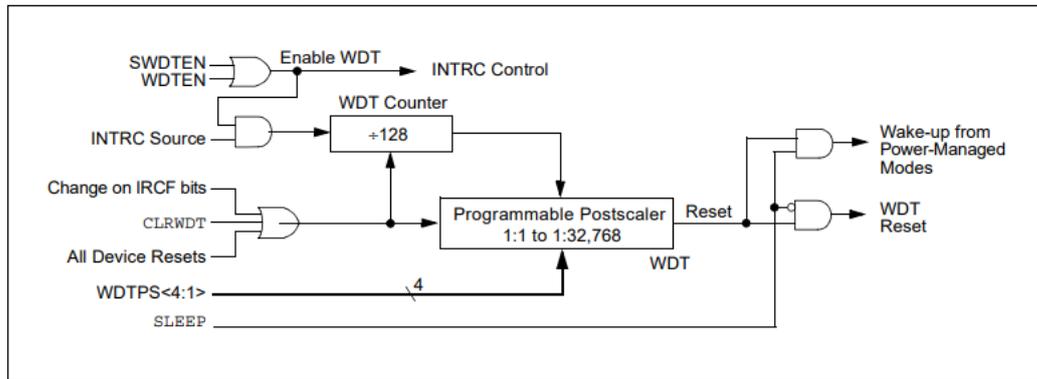
2: Changing the setting of the IRCF bits (OSCCON<6:4>) clears the WDT and postscaler counts.

3: When a CLRWDT instruction is executed, the postscaler count will be cleared.

25.2.1 CONTROL REGISTER

Register 25-15 shows the WDTCON register. This is a readable and writable register, which contains a control bit that allows software to override the WDT enable configuration bit, but only if the configuration bit has disabled the WDT.

FIGURE 25-1: WDT BLOCK DIAGRAM



REGISTER 25-15: WDTCON: WATCHDOG TIMER CONTROL REGISTER

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0
—	—	—	—	—	—	—	SWDTEN ⁽¹⁾
bit 7							bit 0

bit 7-1 **Unimplemented:** Read as '0'

bit 0 **SWDTEN:** Software Controlled Watchdog Timer Enable bit⁽¹⁾

1 = Watchdog Timer is on
0 = Watchdog Timer is off

Note 1: This bit has no effect if the configuration bit, WDTEN, is enabled.

Legend:

R = Readable bit

W = Writable bit

U = Unimplemented bit, read as '0'

-n = Value at POR

TABLE 25-2: SUMMARY OF WATCHDOG TIMER REGISTERS

Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Reset Values on page
RCON	IPEN	SBOREN ⁽¹⁾	—	R _I	T _O	P _D	P _{OR}	B _{OR}	52
WDTCON	—	—	—	—	—	—	—	SWDTEN	52

Legend: — = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used by the Watchdog Timer.

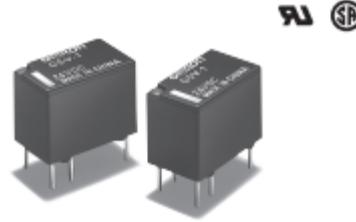
Note 1: The SBOREN bit is only available when BOREN<1:0> = 01; otherwise, the bit reads as '0'.

G5V-1

Low Signal Relay

Ultra-miniature, Highly Sensitive SPDT Relay for Signal Circuits

- Ultra-miniature at 12.5 × 7.5 × 10 mm (L × W × H).
- Wide switching power of 1 mA to 1 A.
- High sensitivity: 150 mW nominal coil power consumption.
- Fully-sealed construction offering environment resistance.
- Conforms to FCC Part 68 requirements for coil to contacts.
(1,500 V, 10 × 160 μs)
- Models for ambient temperatures up to 90°C added to series.



RoHS Compliant

Model Number Legend

G5V-□-□
1 2

1. Number of Poles/Contact Form

1: 1-pole/SPDT (1c)

2. Classification

None: Standard (Ambient operating temperature 70°C max.)

T90: Ambient operating temperature 90°C max.

Application Examples

- Telecommunication equipment
- Audio-visual products
- Security equipment
- Building automation equipment

Ordering Information

Classification	Enclosure rating	Contact form	Terminal Shape	Model	Rated coil voltage	Minimum packing unit
Standard	Fully sealed	SPDT (1c)	PCB terminals	G5V-1	3 VDC	25 pcs/tube
					5 VDC	
					6 VDC	
					9 VDC	
					12 VDC	
					24 VDC	
G5V-1-T90				G5V-1-T90	5 VDC	
					12 VDC	
					24 VDC	

Note: When ordering, add the rated coil voltage to the model number.

Example: G5V-1 DC3

□ Rated coil voltage

However, the notation of the coil voltage on the product case as well as on the packing will be marked as □ VDC.

Standard Model Specifications

Contact type: Single crossbar (Au-alloy + Ag)

Enclosure rating: Plastic sealed

Terminal shape: PCB terminals

Ratings

Coil

G5V-1 (Standard)

Rated voltage	Rated current (mA)	Coil resistance (Ω)	Must operate voltage (V)	Must release voltage (V)	Max. voltage (V)	Power consumption (mW)
3 VDC	50	60	80% max.	10% min.	200% at 23°C	Approx. 150
5 VDC	30	167				
6 VDC	25	240				
9 VDC	16.7	540				
12 VDC	12.5	960				
24 VDC	6.25	3,840				

G5V-1-T90

Rated voltage	Rated current (mA)	Coil resistance (Ω)	Must operate voltage (V)	Must release voltage (V)	Max. voltage (V)	Power consumption (mW)
5 VDC	30	167	70% max.	10% min.	200% at 23°C	Approx. 150
12 VDC	12.5	960				
24 VDC	6.25	3,840				

Note 1. The rated current and coil resistance are measured at a coil temperature of 23°C with a tolerance of ±10%.

2. The operating characteristics are measured at a coil temperature of 23°C.

3. The maximum voltage is the highest voltage that can be imposed on the relay coil.

4. G5V-1-2 types with a must operate voltage of 70% max. are available as special series products.

Contacts

Item	Load	Resistive load
Contact type	Single crossbar	
Contact material	Au-alloy + Ag	
Rated load	0.5 A at 125 VAC; 1 A at 24 VDC	
Rated carry current	2 A	
Max. switching voltage	125 VAC, 60 VDC	
Max. switching current	1 A	

■ Characteristics

Contact resistance *1	100 mΩ max.
Operate time	5 ms max.
Release time	5 ms max.
Insulation resistance *2	1,000 MΩ min. (at 500 VDC between coil and contacts, at 250 VDC between contacts of same polarity.)
Dielectric strength	Between coil and contacts
	Between contacts of the same polarity
Vibration resistance	Destruction
	Malfunction
Shock resistance	Destruction
	Malfunction
Durability	Mechanical
	Electrical
Failure rate (P level) (reference value) *3	1 mA at 5 VDC
Ambient operating temperature	-40°C to 70°C (Standard), -40°C to 90°C (GSV-1-190) (with no icing or condensation)
Ambient operating humidity	5% to 85%
Weight	Approx. 2 g

Note: The values here are initial values.

- *1. Measured with 10 mA at 1 VDC with a voltage drop method.
- *2. Measured with a 500 VDC megohmmeter between coil and contacts and a 250 VDC megohmmeter between contacts with the same polarity applied to the same parts as those used for checking the dielectric strength.
- *3. This value was measured at a switching frequency of 120 operations/min and the criterion of contact resistance is 100 Ω.
This value may vary depending on the switching frequency and operating environment. Always double-check relay suitability under actual operating conditions.

Lithium Polymer Cell - 1100mAh Specifications Report

1、 Scope:

This product specification describes model # 803048 1100mAh polymer lithium-ion battery. Please read the precautions recommended in the specifications before using the battery cell.

2、 Product Type, Model and Dimension:

2.1 Type: Polymer lithium-ion battery

2.2 Model: #803048 with PCB and lead wire

2.3 Nominal Dimension (Pack): 8.1 x 31.0 x 51.5 mm

3、 Specification:

Item	Specifications	Remark
Nominal Capacity	1100mAh	0.2C ₅ A discharge
Nominal Voltage	3.7V	Average Voltage at 0.2C ₅ A discharge
Charge Current	Standard: 0.2 C ₅ A; Max: 1C ₅ A	Working temperature: 0~40°C
Charge cut-off Voltage	4.20 ± 0.03V	
Discharge Current	Continuously: 0.2C ₅ A; Max: 2C ₅ A	Working temperature: 0~60°C
Discharge cut-off Voltage	2.75V	
Cell Voltage	3.8~3.9V	When leave factory
Impedance	≤ 130mΩ	AC 1KHz after 50% charge
Weight	Approx: 24 g	
Storage temperature	≤ 1month	-20~45°C
	≤ 3month	0~30°C
	≤ 6month	20 ± 5°C
Storage humidity	65 ± 20% RH	Best 20 ± 5°C for long-term storage

4、 General Performance:

Definition of Standard charging method: At $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, charging the cell initially with constant current $0.2C_5A$ till voltage 4.2V, then with constant voltage 4.2V till current declines to $0.05C_5A$.

Item		Test Methods	Performance
4.1	0.2C Capacity	After standard charging, laying the battery 0.5h, then discharging at $0.2C_5A$ to voltage 2.75V, recording the discharging time.	$\geq 300\text{min}$
4.2	1C Discharge	After standard charging, laying the battery 0.5h, then discharging at $1C_5A$ to voltage 2.75V, recording the discharging time.	$\geq 51\text{min}$
4.3	Cycle Life	Constant current $1C_5A$ charge to 4.2V, then constant voltage charge to current declines to $0.05C_5A$, stay 5min, constant current $1C_5A$ discharge to 2.75V, stay 5min. Repeat above steps till continuously discharging time less than 36min.	$\geq 300\text{times}$
4.4	Storage	$20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, After standard charging, laying the battery 28days, discharging at $0.2C_5A$ to voltage 2.75V, recording the discharging time.	$\geq 240\text{min}$

5、 Environment Performance:

Item		Test Methods	Performance
5.1	High temperature	After standard charging, laying the battery 4h at 60°C , then discharging at $0.2C_5A$ to voltage 2.75V, recording the discharging time.	$\geq 270\text{min}$
5.2	Low temperature	After standard charging, laying the battery 4h at $0.2C_5A$, then discharging at $0.2C_5A$ to voltage 2.75V, recording the discharging time.	$\geq 210\text{min}$
5.3	Constant humidity and temperature	After standard charging, laying the battery 48h at $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$, RH $93 \pm 2\%$. Recording $0.2C_5A$ discharging time	No distortion No electrolytes leakage $\geq 270\text{min}$
5.4	Temperature shock	After standard charging, battery stored at -20°C for 2 hours, then stored at 50°C for 2 hours. Repeat 10 times.	No electrolytes leakage

Advanced Monolithic Systems

AMS1117

1A LOW DROPOUT VOLTAGE REGULATOR

RoHs Compliant

FEATURES

- Three Terminal Adjustable or Fixed Voltages*
1.5V, 1.8V, 2.5V, 2.85V, 3.3V and 5.0V
- Output Current of 1A
- Operates Down to 1V Dropout
- Line Regulation: 0.2% Max.
- Load Regulation: 0.4% Max.
- SOT-223, TO-252 and SO-8 package available

APPLICATIONS

- High Efficiency Linear Regulators
- Post Regulators for Switching Supplies
- 5V to 3.3V Linear Regulator
- Battery Chargers
- Active SCSI Terminators
- Power Management for Notebook
- Battery Powered Instrumentation

GENERAL DESCRIPTION

The AMS1117 series of adjustable and fixed voltage regulators are designed to provide up to 1A output current and to operate down to 1V input-to-output differential. The dropout voltage of the device is guaranteed maximum 1.3V, decreasing at lower load currents.

On-chip trimming adjusts the reference voltage to 1.5%. Current limit is set to minimize the stress under overload conditions on both the regulator and power source circuitry.

The AMS1117 devices are pin compatible with other three-terminal SCSI regulators and are offered in the low profile surface mount SOT-223 package, in the 8L SOIC package and in the TO-252 (DPAK) plastic package.

ORDERING INFORMATION:

PACKAGE TYPE			OPERATING JUNCTION TEMPERATURE RANGE
TO-252	SOT-223	8L SOIC	
AMS1117CD	AMS1117	AMS1117CS	-40 to 125° C
AMS1117CD-1.5	AMS1117-1.5	AMS1117CS-1.5	-40 to 125° C
AMS1117CD-1.8	AMS1117-1.8	AMS1117CS-1.8	-40 to 125° C
AMS1117CD-2.5	AMS1117-2.5	AMS1117CS-2.5	-40 to 125° C
AMS1117CD-2.85	AMS1117-2.85	AMS1117CS-2.85	-40 to 125° C
AMS1117CD-3.3	AMS1117-3.3	AMS1117CS-3.3	-40 to 125° C
AMS1117CD-5.0	AMS1117-5.0	AMS1117CS-5.0	-40 to 125° C

*For additional available fixed voltages contact factory.

PIN CONNECTIONS

3 PIN FIXED/ADJUSTABLE VERSION

- 1- Ground/Adjust
- 2- V_{OUT}
- 3- V_{IN}

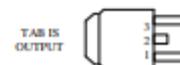
SOT-223 Top View



8L SOIC Top View



TO-252 FRONT VIEW



6、 Mechanical Performance:

Item		Test Methods	Performance
6.1	Vibration	After standard charging, put battery on the vibration table. 30 min experiment from X,Y,Z axis. Scan rate: 1 oct/min; Frequency 10-30Hz, Swing 0.38mm; Frequency 30-55Hz, Swing 0.19mm.	No influence to batteries' electrical performance and appearance.
6.2	Collision	After vibration test, batteries were laying on the vibration table about X, Y, Z axis. Max frequency acceleration: 100m/s ² ; collision times per minutes: 40~80; frequency keeping time 16ms; all collision times 1000 ± 10.	No influence to batteries' electrical performance and appearance.
6.3	Drop	Random drop the battery from 10m height onto concrete one times.	No explosion or fire

7、 Safety Test:

Test conditions: The following tests must be measured at flowing air and safety protection conditions. All batteries must standard charge and lay 24h.

Item		Test Methods	Performance
7.1	Over charge	At 20 ± 5°C, charging batteries with constant current 3C ₅ A to voltage 5V, then with constant voltage 5V till current decline to 0. Stop test till batteries' temperature 10°C lower than max temperature.	No explosion or fire
7.2	Over discharge	At 20 ± 5°C, discharge battery with 0.2C ₅ A continuously 12.5h.	No explosion or fire
7.3	short-circuit	At 20 ± 5°C, connect batteries' anode and cathode by wire which impedance less than 50m Ω, keep 6h.	No explosion or fire
7.4	Extrusion	At 20 ± 5°C, put the battery in two parallel steal broad, add pressure 13kN.	No explosion or fire
7.5	Thermal shock	Put the battery in the oven. The temperature of the oven is to be raised at 5 ± 1°C per minute to a temperature of 130 ± 2°C and remains 60 minutes.	No explosion or fire