



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

TESIS:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN
SISTEMA DE MONITOREO DE LA
CONDICIÓN DE ALIMENTACIÓN DE LAS
ESTACIONES DE LA RED SÍSMICA DEL
AUSTRO**

Trabajo previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y
Telecomunicaciones.

Director:

Ing. Remigio Clemente Guevara Baculima

Autores:

Diego Armando Toledo Ortiz

José Sebastián Placencia León

23 de Enero del 2016



Resumen

En el presente documento se diseña e implementa un controlador de carga de baterías a pulsos, el cual está basado en el circuito integrado BQ24650 de National Instruments, para mejorar el sistema de alimentación de las estaciones sísmicas de la Red Sísmica del Austro.

Además, se ha desarrollado un sistema de monitoreo de los niveles de tensión del panel solar y la batería. Esta información será transmitida a través de un radio enlace analógico existente en la RSA, usando el ancho de banda no ocupado del sistema analógico de transmisión de información sísmica, sin alterar, perturbar o añadir ruido al sistema.

Posteriormente esta información será visualizada y almacenada en una base de datos en las oficinas de la RSA en la ciudad de Cuenca.

Palabras Clave:

Controlador de Carga, Panel Solar, Batería, Sismología, Monitoreo, JAVA, Netbeans, MySQL, Microcontrolador, 18F4550, Conexión, USB.



Abstract

In this document, a Battery Charge Controller is designed and performed, based in the integrated circuit BQ24650, by National Instruments, to improve the supply system of the "Red Sísmica del Austro" seismic stations. Additionally, a monitoring system of battery and solar panel voltage levels is performed. This information is transmitted through an existing analog radio link in the RSA using the bandwidth not occupied of the transmission analog system of seismic information, without modify, perturb or add noise to the system.

Later, this information is visualized and stored in a database in the RSA offices.

Keywords:

Charge, Controller, Solar, Panel, Battery, Seismology, Monitoring, JAVA, Netbeans, MySQL, Microcontroller, 18F4550, USB, Connection.



Índice

Resumen	I
Abstract	II
Lista de Figuras	V
Lista de Tablas	VIII
Dedicatoria	XIV
Agradecimientos	XV
1 Introducción	1
2 Teoría de Paneles Solares y Baterías	3
2.1 Tecnologías Actuales de Paneles Solares.	3
2.1.1 Aspectos Generales	4
2.1.2 Funcionamiento	4
2.1.3 Tecnologías	6
2.2 Tecnologías Actuales de Baterías.	10
2.2.1 Baterías de Plomo Ácido.	10
2.2.2 Baterías de Niquel Cadmio.	12
2.3 Curva de Carga Óptima de Baterías.	13
2.3.1 Etapa 1.	13
2.3.2 Etapa 2.	14
2.3.3 Etapa 3.	15
2.3.4 Carga por Pulsos.	16
Diego Toledo	III
Sebastián Placencia	



3	Descripción del Estado Actual y Desarrollo Electrónico de la Red Analógica Sismológica de la Red Sísmica del Austro.	18
3.1	Estaciones de Monitoreo de la R.S.A.	18
3.1.1	Estaciones Sensoras.	18
3.1.2	Estaciones Repetidoras.	19
3.1.3	Estaciones Mixtas.	20
3.2	Controlador de Carga.	20
3.3	Desconectador de Batería.	21
3.4	Funcionamiento del Controlador y Desconectador de Batería.	21
3.4.1	Funcionamiento con la Mayor Radiación Solar.	21
3.4.2	Funcionamiento con Menor Radiación Solar.	22
3.5	Mezclador.	23
3.6	Mezclador Inteligente.	24
3.7	Sistema Analógico de Transmisión y Espectro de Frecuencias.	26
3.7.1	Módulo de Conexión Amplificador/Filtro AM-2.	26
3.7.2	Módulo Oscilador Controlado por Tensión OM-2.	27
4	Propuestas Electrónicas y Mejoras.	29
4.1	Controlador de Carga Integrado.	29
4.1.1	Carga de la Batería.	29
4.1.2	Búsqueda del Punto de Máxima Potencia. MPPT.	33
4.1.3	Temperatura del Controlador y la Batería.	36
4.1.4	Filtro de Salida LC.	39
4.1.5	Detección de Batería.	39
4.1.6	Operación en Modo Síncrono y Asíncrono.	40
4.2	Sistema de Transmisión de Datos.	41
4.2.1	Fuente de Alimentación.	41
4.2.2	Sistema de Control.	42
4.2.3	Acondicionamiento de la Señal.	44
4.3	Sistema de Demodulación.	46
4.3.1	Etapas de Amplificación.	47
4.3.2	Detector de Envolvente.	47
4.3.3	Filtro Pasa Bajas y Comparador.	48
4.3.4	Microcontrolador PIC18F4550.	49
5	Software de Monitoreo del Sistema.	50
5.1	Conexión USB en JAVA.	50
5.1.1	Velocidad del Bus de comunicación USB.	50
5.1.2	Tipos de Transferencias de Datos.	51
5.1.3	Enumeración del dispositivo.	51



5.1.4	Endpoint.	52
5.1.5	Clases.	52
5.1.6	Reconocimiento del Microcontrolador por Parte del Host.	53
5.1.7	Conexión de la Librería de JAVA Netbeans con el Dispositivo.	53
5.2	Gestión de Bases de Datos en Java.	54
5.3	Visualización de Datos.	56
6	Resultados y Discusión.	59
6.1	Controlador de Carga de la Batería.	59
6.1.1	Arranque Suave.	61
6.1.2	MPPT.	62
6.1.3	Activación de los Transistores.	62
6.1.4	Conexión y Desconexión de la Batería.	64
6.1.5	Temperatura.	65
6.1.6	Rendimiento a Diferentes Potencias.	66
6.2	Sistema de Transmisión.	67
6.2.1	Generación de Trama.	67
6.2.2	Acondicionamiento de la Señal.	71
6.3	Demodulación	73
7	Conclusiones y Recomendaciones.	75
	Bibliografía	77
	Apéndice	80
I	Esquema del Circuito de Control del Controlador de Carga.	80
II	Esquema del Circuito de Potencia del Controlador de Carga.	82
III	Esquema Completo del Circuito Transmisor.	84
IV	Esquema Completo del Circuito Receptor.	86



Lista de Figuras

2.1	Estructura de los Acumuladores de Plomo.	11
2.2	Tensión y Corriente. Etapa de Carga Rápida.	14
2.3	Tensión y Corriente. Etapa de Carga de Absorción	15
2.4	Tensión y Corriente. Etapa de Carga de Flote.	16
2.5	Curva Característica de Carga.	17
3.1	Diagrama de una Estación Sensora	19
3.2	Diagrama de una Estación Repetidora.	20
3.3	Diagrama de una Estación Mixta.	21
3.4	Esquema del Controlador de Carga.	22
3.5	Esquema de un Mezclador de Cuatro Canales.	23
3.6	Sistema de Transmisión de Datos en Diferentes Frecuencias. .	24
3.7	Diagrama de un Mezclador Inteligente.	25
3.8	Esquema de la Tarjeta Amplificadora AM-2.	27
3.9	Esquema de la Tarjeta Moduladora OM-2.	28
4.1	Corriente y Tensión de Carga	30
4.2	Medición de Corriente de Salida.	31
4.3	Medición de la Tensión de Salida.	32
4.4	Curva V-I del Panel Solar	34
4.5	Datos del Panel Solar sm-55	34
4.6	Divisor de Tensión MPPT.	35
4.7	Control de Temperatura de la Batería	37
4.8	Esquema de la Fuente de Alimentación de $\pm 12V$	42
4.9	Bits a la Salida del Controlador.	43
4.10	Tiempo de Bit y Período de Pulso.	43
4.11	Formato de Trama de los Datos Enviados.	44
4.12	Esquema del Sistema de Control.	45
4.13	Esquema del Filtro.	46



4.14	Esquema Filtro Pasa Altas de Orden 2.	47
4.15	Esquema del Amplificador no Inversor.	48
4.16	Esquema del Circuito Detector de Envolvente.	48
4.17	Esquema del Filtro Pasa Bajas y del Comparador.	49
5.1	Diagrama de Conexión de la Interfaz Física.	53
5.2	Diagrama de la Base de Datos.	55
5.3	Datos Almacenados en MySQL.	56
5.4	Algunos Valores de Tensión Almacenados en MySQL.	57
5.5	Datos Visualizados en Java NetBeans.	57
5.6	Visualización de las estaciones Activas e Inactivas.	58
6.1	Prototipo del Controlador de Carga de Baterías.	59
6.2	Prototipo Funcionando a una Potencia de Entrada de 18W.	60
6.3	Prototipo Funcionando a una Potencia de Entrada de 36W.	60
6.4	Prototipo Funcionando a una Potencia de Entrada de 76W.	60
6.5	Arranque Suave (Soft Start)	61
6.6	Arranque Suave Ampliado(Soft Start)	61
6.7	MPPT	62
6.8	Tensión V_{g1}	63
6.9	Tensión V_{g2}	63
6.10	Conexión y Desconexión de la Batería	64
6.11	V_{out} y V_{shunt}	64
6.12	Funcionando a 28 grados	65
6.13	Desconectado a 45 grados	65
6.14	Rendimiento a Diferentes Potencias.	66
6.15	Prototipo del Sistema de Transmisión.	67
6.16	Tren de Pulsos Cuadrados.	67
6.17	Tiempo que Dura 1 Bit.	68
6.18	Trama Generada Cuando se Mide la Máxima Tensión.	68
6.19	Tiempo de Bits de Sincronización (2 bits en alto).	69
6.20	Tiempo de Bits de Sincronización (Medio Tiempo de Bit en Bajo).	69
6.21	Tiempo de una Muestra Tomada a la Máxima Tensión.	70
6.22	Tiempo de una Muestra Completa Incluido los Bits de Sin- cronización.	70
6.23	Onda Senoidal a Partir de una Cuadrada, mediante un Filtro PB.	71
6.24	Trama Antes y Despues del Filtro Pasa Bajas.	71
6.25	Senoidal luego del Filtro Pasa Altas.	72



6.26 Trama Antes y Después del Filtro Pasa Altas.	72
6.27 Trama Antes y Despues del Detector de Envolverte.	73
6.28 Trama Antes y Despues de ser Recuperada.	73
6.29 Interfaz Gráfica del Software de Monitoreo.	74
6.30 Interfaz Gráfica. Consulta en la Base de Datos	74
I.1 Esquema del Circuito de Control del Controlador.	81
II.1 Esquema del Circuito de Potencia del Controlador.	83
III.1 Esquema Completo del Transmisor.	85
IV.1 Esquema Completo del Receptor.	87



Lista de Tablas

2.1	Ventajas y Desventajas de la Energía Solar Fotovoltaica . . .	4
2.2	Rendimiento de Diferentes Tipos de Panel.	6
4.1	Umbral de Temperatura	36
4.2	NTC - Resistencia para cada Valor de Temperatura	38
4.3	Valores de L_o y C_o para diferentes Corrientes de Carga	39
4.4	Identificadores de Cada Estación y sus Tiempos de Transmisión.	42
4.5	Resistencias y Capacitores del Filtro Sallen-Key	45
4.6	Resistencias y Capacitores del Filtro Pasa Altas	46
4.7	Resistencias y Capacitores del Filtro Pasa Bajas y del Com- parador.	49
6.1	Rendimiento a Diferentes Potencias	66



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Diego Armando Toledo Ortiz, autor de la tesis "Diseño e Implementación de un Sistema de Monitoreo de la Condición de Alimentación de las Estaciones de la Red Sísmica del Austro", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor

Cuenca, 23 de enero de 2016

Diego Armando Toledo Ortiz

C.I: 0302253448



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Diego Armando Toledo Ortiz, autor de la tesis "Diseño e Implementación de un Sistema de Monitoreo de la Condición de Alimentación de las Estaciones de la Red Sísmica del Austro", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 23 de Enero de 2016

A handwritten signature in blue ink, reading "Diego Toledo", written over a horizontal line.

Diego Armando Toledo Ortiz

C.I: 0302253448



José Sebastián Placencia León, autor de la tesis "Diseño e Implementación de un Sistema de Monitoreo de la Condición de Alimentación de las Estaciones de la Red Sísmica del Austro", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 23 de enero de 2016

José Sebastián Placencia León

C.I: 0104966924



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

José Sebastián Placencia León, autor de la tesis "Diseño e Implementación de un Sistema de Monitoreo de la Condición de Alimentación de las Estaciones de la Red Sísmica del Austro", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 23 de Enero de 2016

José Sebastián Placencia León

C.I: 0104966924



Dedicatoria

Dedicado a mi familia, especialmente a mis hermanas, que siempre han estado a mi lado apoyándome. Este largo camino ha sido posible gracias a un esfuerzo conjunto, y un apoyo incesante de todas las personas que de una u otra manera me han dado una mano, y sobretodo han creído en mi.

Diego Armando Toledo Ortiz.

Dedico de una manera especial a mis padres, pues ellos han sido el cimiento para la construcción de mi vida profesional, enseñándome la responsabilidad e incentivando mis deseos de superación. A las personas que me han acompañado en este camino, por sus palabras de aliento enseñándome a nunca darme por vencido y motivándome a conseguir una meta más en mi vida.

José Sebastián Placencia León.



Agradecimientos

Quiero expresar el más sincero de los agradecimiento a mi padre Gilberto Roberto Toledo Pesantez, por haberme brindado la oportunidad de cumplir una de mis metas. A mi director de tesis Remigio Guevara, por su ayuda, confianza y paciencia en el desarrollo de este proyecto. Además, agradecer al Ing. Luis Gerardo Gonzalez, por su motivación, participación y ayuda.

Diego Armando Toledo Ortiz.

Agradezco primeramente a Dios por la bendición de tener a mis padres y hermanos, que con su apoyo moral y económico estuvieron junto a mí, ayudándome a alcanzar esta meta. A la Red Sísmica del Austro por la apertura y apoyo; de manera especial a mi director de tesis Ing. Remigio Guevara por los conocimientos brindados y haber tenido paciencia a la hora de guiarme en el desarrollo de este proyecto. También, agradezco al Ing. Luis Gonzales por su apoyo y participación.

José Sebastian Placencia León.



Capítulo 1

Introducción

Dentro de las energías renovables la energía solar es una de las más usadas actualmente, ya que muchos países han destinado miles de metros cuadrados a la instalación de granjas solares. Como ejemplo se puede mencionar a Japón o Alemania, pioneros en la producción energética mediante paneles solares.

Se estima que la energía que irradia el sol al año es miles de veces mayor a la que consumimos, por lo que se puede considerar una fuente de energía ilimitada y gratuita.

Hoy en día existen muchas aplicaciones de la energía solar en todos los ámbitos. Un ejemplo es la alimentación de estaciones remotas, entre estas, estaciones de sismología, ya que permite alimentar eléctricamente equipos en lugares donde no existe suministro de la energía convencional.

Un ejemplo es la Red Sísmica del Austro (RSA), departamento perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, que posee estaciones que requieren fuentes de energía alternativas.

En estas estaciones existen controladores de carga de baterías tipo ON-OFF, los cuales serán explicados detalladamente en el capítulo 3. Este tipo de control es muy ineficiente pues no aprovecha toda la capacidad del panel solar (Búsqueda del Punto de Máxima Potencia MPPT), y además no cuenta con un proceso de carga de baterías óptimo que se enfoque en prolongar la vida útil de la batería.

En la actualidad se han desarrollando controladores de carga de mejores prestaciones que aprovechan de manera más eficiente la cantidad de energía solar. Tomando esto como referencia, se pretende implementar un controlador de carga de baterías con estas características, optimizando el uso de la energía brindada por el panel solar y prolongando la vida útil de la batería,



pues su reemplazo es uno de los rubros más altos en el mantenimiento de las estaciones. En este caso particular se ha decidido implementar un controlador a pulsos debido a su eficiencia. El diseño del mismo se explica en el capítulo 4, sección 4.1.

Como complemento adicional se precisa tener un sistema de monitoreo de los niveles de tensión del panel y de la batería. Para esto se ha planteado usar el ancho de banda no ocupado del sistema analógico de transmisión de información sísmica, para obtener desde las distintas estaciones hasta las oficinas de la RSA, estos niveles de tensión que definen la condición del sistema de alimentación de las estaciones de sismología. Este proceso no debe alterar ni generar ruido en el radio enlace. La solución propuesta se detalla en el capítulo 4, sección 4.2.

Es necesario además visualizar y almacenar esta información en una base de datos para poder tomar acciones preventivas y/o correctivas según sea el caso. En el capítulo 5 se explica con detalles el procedimiento y el software ocupado para lograr este objetivo.



Capítulo 2

Teoría de Paneles Solares y Baterías

2.1 Tecnologías Actuales de Paneles Solares.

Un panel solar es un transductor, que en su definición más sencilla es un elemento que transforma un tipo de energía en otra; específicamente transforma la energía radiada por el sol en energía eléctrica, mediante celdas foto voltaicas que absorben los fotones de la luz solar para generar energía eléctrica.

Internamente están formados por dispositivos semiconductores fabricados de silicio, uno de los elementos más comunes en el planeta, que al recibir radiación solar provocan pequeñas diferencias de potencial. Estos dispositivos se conectan en serie con el objetivo de obtener tensiones mayores.

Cada celda contiene dos capas, positiva y negativa, que generan un campo eléctrico. Cuando este campo eléctrico absorbe un fotón, la energía adicional libera los electrones generando así electricidad.

En la actualidad son usados para un sin fin de actividades como: cargar teléfonos celulares, en automóviles, redes domésticas, etc, debido a que aprovechan la energía del sol.

Varias tecnologías de paneles solares han aparecido con el objetivo de mejorar sus características: tamaño, adaptación y sobre todo el rendimiento (poder aprovechar de la mejor manera la energía solar), teniendo como premisa no aumentar el costo de los paneles.



Ventajas	Inconvenientes
Limpia, Renovable, Silenciosa.	Gran inversión inicial.
Retribuida económicamente la producción para venta a red	Difícil Almacenamiento.
Subvenciones	Proceso de Fabricación de módulos complejo y caro.
Corto <i>pay-back</i> de la energía	No competitiva con otras energías de la actualidad.
Sin partes móviles y modular	Producción variable según climatología y épocas del año.

Tabla 2.1: Ventajas e Inconvenientes de la Energía Solar Fotovoltaica [1]

2.1.1 Aspectos Generales

El principio de funcionamiento de la energía solar fotovoltaica está basado en la incidencia de un haz de fotones sobre un material semiconductor que genera una tensión continua. En el momento que los rayos solares inciden sobre la superficie de una celda fotovoltaica, se genera una diferencia de potencial que desaparece una vez que los rayos también lo hacen.

Al establecer pros y contras del uso de este tipo de energía en relación a otros, se debe mencionar que la ventaja más grande de la energía fotovoltaica es su limpieza y amigabilidad para el medio ambiente, además de ser modular. Por otra parte, la desventaja más grande es la dificultad al almacenar la energía cuando el sol se oculta. En la Tabla 1 se presentan los inconvenientes y las grandes ventajas de la energía solar fotovoltaica [1].

2.1.2 Funcionamiento

Los paneles solares deben su funcionamiento al intervalo de energías que poseen los electrones en los materiales semiconductores en reposo, ubicados en la banda de valencia. Estos electrones, por aplicación de energía, pasan a la banda de conducción, se liberan y generan una circulación de corriente. Se puede decir que la estructura de las células fotovoltaicas es como una unión pn (diodo), que estimula y genera una diferencia de potencial en sus extremos al ser expuesta a la radiación solar.

Los paneles solares fotovoltaicos se componen de células fotovoltaicas, formadas a su vez por láminas finas de algún material semiconductor, que no tienen soporte mecánico y por lo tanto son muy frágiles y no aisladas eléctricamente. Además, por sí solas no proporcionan la potencia necesaria



(solo entre 1 y 3 W), por lo que tienen que ser unidas y adecuadamente ensambladas, formando un módulo fotovoltaico como una estructura sólida. Los módulos fotovoltaicos al ser estructuras formadas por células conectadas en serie, proporcionan valores de tensión y de corriente que van de acuerdo con los requerimientos de los dispositivos de los usuarios.

No se puede generalizar el funcionamiento de los módulos fotovoltaicos ya que dependerá de las condiciones de temperatura y de la radiación solar, sin embargo, todos los módulos fotovoltaicos deben cumplir estándares de trabajo: 25°C de temperatura y $1.000\text{W}/\text{m}^2$ de radiación solar [2].

La efectividad de estos módulos depende de su orientación con el sol y de su inclinación, puesto que se deben ubicar correctamente para conseguir su máxima optimización con respecto al lugar en la que está ubicado el módulo. Los sistemas de energía alternativa basada en módulos fotovoltaicos pueden clasificarse por la manera en que se utilizan en: sistemas aislados y sistemas conectados a la red. Por otro lado, puede tener otra clasificación que depende si es para su propio abastecimiento o para ser comercializado.

En los sistemas fotovoltaicos existen elementos adicionales importantes que deben actuar conjuntamente con los módulos fotovoltaicos, para así constituir en conjunto un sistema de generación de electricidad eficiente:

La Batería.

La batería constituye un acumulador de energía (baterías estacionarias), debido a que la intensidad de los rayos del sol, que puede en cierto momento ser máxima, puede o no coincidir con la demanda de energía requerida. Su uso es necesario e indispensable en módulos fotovoltaicos que son aislados, pero no en módulos que son conectados a la red, ya que esta energía es directamente entregada.

El Regulador de Energía.

El regulador de energía tiene como función principal proteger a las baterías de descargas excesivas o sobrecargas que se pueden presentar, ya que muchos paneles entregan 16 a 20 voltios, y que podrían llegar a estropear la batería por un efecto de sobrecarga.

No siempre se necesita de este elemento, sobretodo cuando se trabaja con paneles solares de baja potencia. En [3] se define una regla para la utilización del controlador de carga en función de la potencia entregada por el panel y la capacidad de almacenamiento de la batería.

De este elemento dependerá cuanto nos dure una batería, por lo que es vital



para la conformación del sistema.

El Convertidor de Tensión.

El convertidor de tensión es utilizado en aplicaciones que necesiten corriente continua de diferentes niveles. Pueden ser convertidores Buck (reductores), convertidores Boost (elevadores), entre otros.

El Inversor.

El inversor es un conversor de corriente continua a corriente alterna. Se utiliza en aplicaciones en donde se desea conseguir una tensión que solo nos proporciona la red eléctrica. Estos inversores incorporan un seguimiento del punto de máxima potencia, para que siempre el panel entregue su máxima capacidad al elemento almacenador de energía.

2.1.3 Tecnologías

Dentro de los paneles solares fotovoltaicos existen varias tecnologías que actualmente son utilizadas. En la tabla (2.2) se muestra el rendimiento de tres tecnologías de paneles. La clasificación de estas tecnologías se da por el material con que son construidas las celdas fotovoltaicas de los paneles, siendo actualmente el silicio mono-cristalino el más utilizado debido sus mejores prestaciones y su mayor vida útil [4].

Material	Rendimiento Energético
Silicio mono-cristalino	15-17%
Silicio poli-cristalino	12-14%
Silicio Amorfo	10%

Tabla 2.2: Rendimiento de Diferentes Tipos de Panel.

Paneles solares de Silicio Amorfo

Esta es la tecnología de paneles solares más barata y se los conoce con el nombre de paneles solares de filamento delgado. Esta tecnología en el pasado tuvo mala reputación por no tener una buena vida útil y por su baja fiabilidad, debido entre otros factores a la mala calidad de materiales para la construcción de paneles solares.

Este tipo de panel forma una red cristalina que no tiene una estructura definida, lo que hace difícil que en él se pueda dar la formación de enlaces.



Por lo tanto es necesario utilizar pequeñas cantidades de hidrógeno con el fin de que cubra los huecos que se forman en la red, permitiendo que los electrones se muevan libremente.

Para la preparación del silicio amorfo se pueden utilizar varios métodos, pero en general el más utilizado es la deposición química en fase de vapor activada [5]. Este proceso se hace a menores temperaturas que para un silicio cristalino, lo que también ayuda a reducir el consumo de energía.

Ahora bien, en los últimos cinco años esta tecnología ha madurado mucho, pasando a ser considerada como de alta fiabilidad y teniendo algunos beneficios sobre las otras tecnologías actuales. Un número considerable de fabricantes (Mitsubishi, Sanyo y Sharp), han optado por fabricar esta tecnología [6].

Los paneles solares de silicio amorfo son los de menor eficiencia, puesto que convierten la luz solar disponible solo en un porcentaje aproximado del 6% al 8%. En comparación con los paneles solares cristalinos, se necesita el doble de espacio para la misma capacidad en paneles solares de silicio amorfo.

Estos paneles solares son mucho mejores en generación de potencia en días sin suficiente radiación solar; también son mucho mejores en condiciones de temperatura extrema puesto que tienen baja pérdida de potencia en condiciones de temperaturas altas.

El montaje de estos paneles solares puede ser dentro de una estructura, e incluso en superficies curvas. Hoy en día, gracias a la resistencia de los materiales con los cuales son construidos, estos paneles pueden ser colocados en el piso por donde las personas caminan; o también son integrados en los techos de nuevas construcciones.

Por todo esto, esta tecnología de paneles solares es usada para productos de consumo como teléfonos móviles o en computadoras portátiles, y en combinación con productos mobiliarios como los techos de las construcciones. Debido a que estos tipos de paneles solares son los más baratos de fabricar, muchas casas fabricantes han optado por elegir esta tecnología.

Desde hace tres años el costo de estos paneles solares ha decrecido en un 30% por año. Por otra parte estos paneles solares, para conseguir la misma eficiencia que un panel policristalino, deben ser más grandes y por tanto están limitados a lugares en donde los espacios no son un problema o en donde la potencia requerida es baja.

Con respecto al impacto ambiental causado por estos paneles, hay que mencionar que tienen una baja contaminación en su producción comparada con otros. La amortización del carbono, que es lo importante en la producción para tener menos impacto ambiental, se debe dar en un periodo de 12 a 30 meses [5]. La potencia de salida de estos paneles es relativamente baja,



por lo que puede trabajar de buena manera en instalaciones pequeñas que no requieran una potencia de salida mayor a 300 W. En instalaciones con requerimientos de potencia mayor, donde se requiere un mayor número de paneles y el consiguiente aumento de costos, es poco recomendable.

Paneles solares de Silicio Poli-cristalino y Silicio Mono-cristalino.

Los paneles de silicio mono-cristalino, están formados por células de silicio mono-cristalino que a su vez están compuestas por un cristal sin defectos, de máxima pureza. La obtención de este tipo de silicio se puede dar por dos métodos: el llamado método Czochralski y el método de Zona Flotante [5]. En el primero se toma un crisol y se coloca el silicio poli-cristalino para fundirlo a una temperatura aproximada de 1400°C , dando como resultado el silicio mono-cristalino al ser puesto en contacto con un pequeño cristal de silicio. En el segundo método se consigue un cristal mucho más puro, utilizándose una bobina que funde el silicio poli-cristalino para conseguir el silicio mono-cristalino.

Los paneles solares de silicio poli-cristalino, que generalmente están contruidos de múltiples celdas de silicio cristalino, forman en conjunto una sola estructura. Este tipo de paneles tiene mayor eficiencia con radiación solar directa que los paneles solares de silicio amorfo (aproximadamente eficiencias entre 12 y 14%). Los paneles solares poli-cristalinos utilizan en su fabricación el proceso de Czochralski, mediante un enfriamiento controlado en crisoles de cuarzo. A diferencia de los mono-cristalinos, no se utiliza una semilla mono-cristalina que fije la dirección de cristalización [2]. Dado que este tipo de paneles tiene un mayor contacto con el crisol, se aumenta el número de imperfecciones y por tanto el rendimiento baja con respecto a los paneles mono-cristalinos.

La vida útil para este tipo de paneles se considera en unos 25 años, o incluso más dependiendo de las condiciones. Hasta el día de hoy hay paneles de este tipo que siguen en funcionamiento y que comenzaron a estar disponibles entre los años 1970 y 1980. La construcción de este tipo de paneles solares es muy complicada, y por esto el precio que se debe pagar es muy elevado (un 30% más que de un panel de Silicio Amorfo). Genera también un impacto ambiental más alto que el generado por el panel de silicio amorfo, teniendo una amortización de carbono de 4 años aproximadamente. Sin embargo los paneles solares de este tipo también están reduciendo su precio, debido a que los fabricantes se interesan cada vez más en ellos por tratarse de la misma tecnología utilizada en la fabricación de televisores. En los últimos cinco años los precios se han reducido en un 25% y siguen bajando, con-



forme también se reducen los precios de las otras tecnologías usadas en la construcción de paneles.

Paneles Solar de Última Generación

Los paneles solares en la actualidad utilizan celdas solares formadas por semiconductores con dos niveles de energía, a estas celdas se las denomina mono unión. El funcionamiento de estas celdas se da cuando un fotón actúa sobre ellas; puede ser que el fotón cuente con la energía suficiente como para llevar los electrones del nivel más bajo al más alto, en cuyo caso se puede recuperar la energía entre los dos niveles. Por otro lado, si el fotón no cuenta con la energía suficiente para excitar al electrón, toda la energía se perderá. En cualquiera de los casos no se aprovecha del todo la energía. Debido a esto han aparecido las celdas solares multiunión, en las cuales se han unido en serie celdas con diferentes espacios de banda y se han colocado de forma descendente con respecto a dicho espacio. Los investigadores del Instituto Fraunhofer de Sistemas de Energía Solar (ISE) han trabajado con celdas multiunión, en condiciones de radiación concentrada, logrando obtener eficiencias del 41,1% [5].

En los últimos años ha tomado fuerza el concepto de las celdas solares de banda intermedia que básicamente son semiconductores con una banda parcialmente ocupada llamada banda intermedia, la cual se encuentra entre la banda de valencia y la banda de conducción. Su funcionamiento se da a través de un fotón que excita el electrón hasta la banda intermedia y otro que lo hace hasta la banda de conducción. También han aparecido nuevos conceptos en cuanto a tecnologías en paneles solares, como por ejemplo las celdas solares de generación por múltiple excitación (MEG), que consisten en que para cada fotón se genere varios electrones, logrando una mayor eficiencia en la generación de energía. La generación por múltiple excitación no solo se da lugar en nano cristales de materiales semiconductores sino que también se puede dar en nano cristales de silicio, con esto se puede mejorar la eficiencia de las celdas basadas en silicio.

El material que constituirá el futuro de las celdas solares son los cristales fotónicos, constituidos por una banda prohibida para los fotones, que a su vez pueden ser tratadas a voluntad para absorber o reflejar los fotones y aprovechar de mejor manera la energía [2].



2.2 Tecnologías Actuales de Baterías.

Las baterías pueden ser clasificadas según el tipo de electrolitos que utilizan en su construcción, siendo los más comunes: alcalinos, ácidos y mediamente ácidos.

Las baterías de electrolitos alcalinos utilizan para su construcción hidróxido de sodio o hidróxido de potasio, y son muy utilizadas en equipos de telecomunicaciones, iluminación, reserva o como suministro de corriente continua [7].

Las baterías basadas en ácido tienen en su electrolito ácido sulfúrico en la mayoría de los casos. Estas son en general las baterías que utilizan los automóviles.

Por otra parte las baterías de electrolitos mediamente ácidas son menos corrosivas que las basadas en ácido e incluyen una cantidad de sales para producir la acidez deseada, de este tipo son las baterías para el hogar y son mucho más baratas.

2.2.1 Baterías de Plomo Ácido.

Este tipo de baterías son las más utilizadas en el presente debido a su bajo costo. Consta de un electrolito que puede estar presente en forma líquida o gelificada y que está hecho de plomo y ácido sulfúrico. En general está formado por dos electrodos de plomo que constituyen tanto la materia activa de la placa positiva como también la materia activa de la placa negativa, por otra parte está la solución de agua destilada y ácido sulfúrico [8].

Otros elementos que constituyen a este tipo de batería son: las rejillas que se utilizan para soportar los electrodos, los separadores que van colocados entre las placas de polaridades opuestas (usados para que no se produzca un cortocircuito entre las placas), la carcasa, los conectores y terminales. Ver figura (2.1)

Funcionamiento de las Baterías de Plomo Ácido

Estas baterías cuentan, cuando están cargadas, con un depósito de dióxido de plomo en el electrodo positivo y negativo. En el momento en que la batería se descarga, los dos compuestos, tanto de electrodo positivo como del electrodo negativo, se convierten en sulfato de plomo que a su vez produce agua, provocando una reducción del ácido; de esta manera el electrolito se hace menos denso.

Cuando la batería se descarga, su masa activa es sulfato de plomo y sus

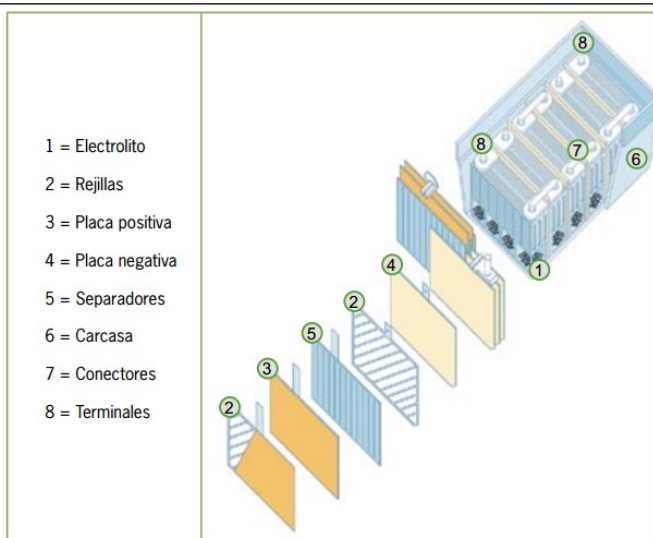


Figura 2.1: Componentes y Estructura Interna de los Acumuladores de Plomo Convencionales [8].

electrodos son disolución de ácido sulfúrico. Esta disolución es menos densa que la que tenía cuando la batería estaba cargada.

Mientras la batería se está cargando, el sulfato de plomo entra un proceso de disociación y electrolisis del agua, produciendo que el hidrógeno y oxígeno sean liberados y disminuyendo los niveles de agua. De esta manera se consigue tanto en el electrolito como en los electrodos positivo y negativo, las condiciones iniciales de una batería cargada.

Clasificación de las Baterías de Plomo Ácido según su Fabricación.

Estas baterías pueden clasificarse según el tipo de tecnología utilizada para su fabricación, y se distinguen las siguientes:

Baterías Abiertas.- Este tipo de batería contiene el electrolito en estado líquido, generalmente cuentan con unos orificios que pueden ser destapados fácilmente para darle un correcto mantenimiento y poner a punto el agua y el electrolito que se pierden, además facilita el desfogue de los gases que se producen en el interior. Este tipo de baterías tiene una ventaja muy grande en precio con respecto a otras tecnologías, pero su mayor desventaja es que desfoga una cantidad de hidrógeno que las hace explosivas.

Baterías Reguladas por Válvula (VRLA).- Este tipo de baterías cuen-



tan con una válvula que es sensible a la presión, por medio de la cual se controla los gases que se producen en el proceso de electrolisis producido por los electrolitos. Estas baterías pueden ser de gel o de electrolito absorbido. Las primeras tienen la ventaja de que ya no existe un líquido que puede perderse y las segundas tienen una gran resistencia en bajas temperaturas. Para ambos casos, en este tipo de baterías se aprovechan los gases de hidrógeno y oxígeno que se generan para formar nuevamente agua y devolverla a la celda y reducir así las pérdidas de agua. Las baterías VRLA tienen menor contaminación debido a que no se produce la emisión de los gases, pero también un limitado número de ciclos de carga.

Clasificación de las Baterías de Plomo Ácido Según su Uso.

También existe otro tipo de clasificación para las baterías de plomo que se hace según su uso, teniendo baterías de arranque, baterías de tracción y baterías estacionarias.

Baterías de Arranque. Son utilizadas en aplicaciones de gran consumo de corriente en poco tiempo, en donde la profundidad de la descarga sea mínima. Generalmente se utiliza en camiones, automóviles, motos, etc.

Baterías de Tracción. Son utilizadas en aplicaciones de bajas corrientes en tiempos prolongados, donde se dan ciclos de carga y descarga continuos, generalmente utilizadas en vehículos eléctricos.

Baterías Estacionarias. Son un tipo especial, ya que estas están en carga constante y soportan descargas profundas esporádicas, lo que les hace ser útiles en: sistemas de alarmas de incendios, sistemas de alimentación interrumpida, entre otros [8].

2.2.2 Baterías de Niquel Cadmio.

Una de las características principales de este tipo de baterías es su buen funcionamiento eléctrico y su mejor vida útil en comparación a otras tecnologías utilizadas. En cuanto a su funcionamiento, dependerá de las corrientes que intervienen en su operación. Con respecto a la construcción, los electrodos están formados por placas pegadas a láminas de acero que están en contacto con los materiales activos tanto positivos como negativos.

Este tipo de batería cuenta con una carcasa de plástico para alojar los electrodos. El contenedor debe ser llenado con electrolitos, para esto cuenta con una tapa que lo mantiene libre del polvo y permite que pueda despedir los gases producidos.



Funcionamiento.

Un factor de mucha importancia para lograr prolongar la vida útil en las baterías es proporcionarle una buena carga. Para este tipo de baterías existen dos clases de almacenamiento: a largo plazo y a corto plazo.

Para el almacenamiento en tiempo prolongado se recomienda que la batería este en un lugar que mantenga una temperatura de unos 25°C aproximadamente y que esté libre de humedad; también se debe colocar un elemento encargado de la ventilación.

Para baterías de almacenamiento en corto tiempo, se recomienda estén en un lugar que mantenga una temperatura de unos 25°C aproximadamente, libre de humedad y con los tornillos del elemento de ventilación bien justados.

2.3 Curva de Carga Óptima de Baterías.

El proceso de carga de una batería es el factor más importante para su vida útil, pues las baterías están constituidas por placas de plomo y un electrolito (ácido sulfúrico generalmente) que realizan el proceso que se describe a continuación.

El momento en que la batería se descarga, se produce una sustancia de sulfato de plomo en las placas; por otra parte en el proceso de carga este sulfato es nuevamente convertido en plomo, y se pega sobre las placas para formar parte del electrolito. Con el tiempo el sulfato de plomo queda en las placas y pierde su propiedad de deshacerse con la carga, con esto la batería pierde poco a poco su capacidad de carga y debe ser sustituida [8].

Existen un método de tres etapas para cargar baterías que es el más utilizado, sin embargo, cada fabricante de baterías tiene sus formas de mejorar los procesos de carga [9, 7].

2.3.1 Etapa 1.

La primera etapa de carga de la batería es llamada **carga rápida**. En esta etapa se entrega la máxima corriente de una manera constante, mientras que la tensión va aumentando desde el límite actual, hasta alcanzar el límite de la siguiente etapa (**Etapa de absorción**). Durante esta primera etapa, el cargador de batería debe limitar la corriente de carga, de tal manera que no se produzca demasiada gasificación interna en la batería, y por ende la temperatura no exceda los límites. Varios fabricantes recomiendan que el valor de la corriente de carga no exceda el 20% de la corriente nominal de la batería [7]. Como se puede observar en la figura (2.2), la corriente de carga



tiene un valor constante, mientras que la tensión de la batería incrementa.

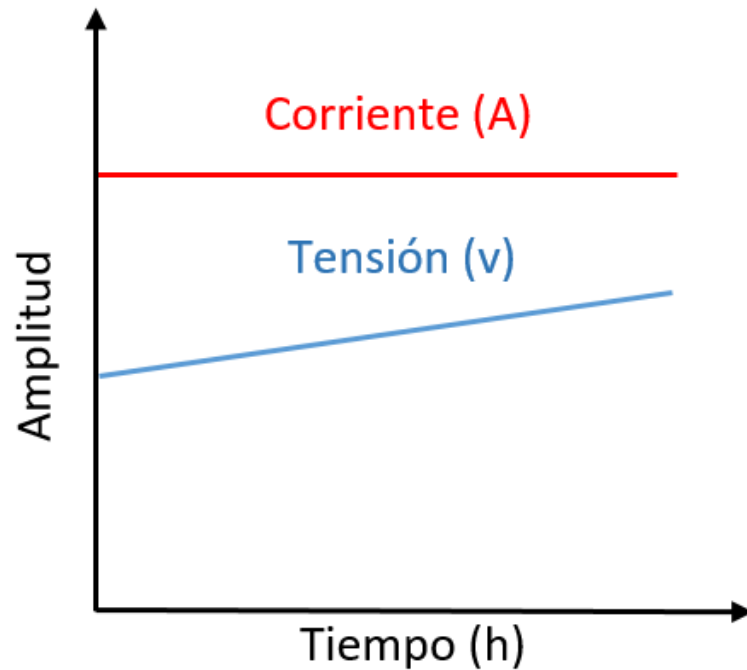


Figura 2.2: Gráfica de la Corriente y la Tensión durante la Etapa de Carga Rápida.

2.3.2 Etapa 2.

La segunda etapa es llamada **carga de absorción**. Empieza cuando la batería se ha cargado hasta el 80% de su valor de carga nominal; a partir de este momento la tensión que se entrega a la batería es constante, hasta alcanzar el 100% de la carga [10].

Por otra parte, la corriente entregada disminuye hasta que la batería absorba la carga completa, tal y como se observa en la figura (2.3)

En esta etapa es de mucha importancia que estén bien definidos las tensiones de carga de la batería, que van a depender de cada fabricante.

En [10] se definen los valores de corriente y tensión de flotación para la carga de sus baterías, y se especifica 2.45V por celda. Para las baterías de 12V se recomienda establecer la tensión de flotación en 14V aproximadamente, para prolongar la vida útil de la misma.

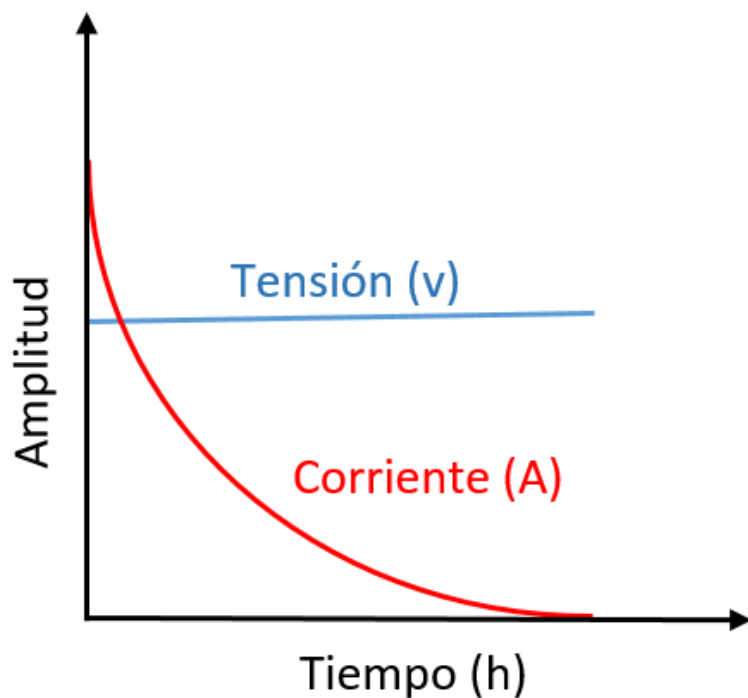


Figura 2.3: Gráfica de la Tensión y Corriente durante la Etapa de Carga de Absorción.

2.3.3 Etapa 3.

La tercera etapa es llamada también **carga de flotación**. Comienza cuando la batería está cargada al 100%. En unos casos la tensión en la batería se mantiene constante; en otros casos se desconecta el cargador de la batería, hasta que su tensión sea inferior a un valor fijo, y se conecta nuevamente con una tensión constante.

La curva general de carga de la batería está dada por estas tres etapas como se puede observar en la figura (2.5), en donde se puede diferenciar claramente el comportamiento tanto de la tensión como de la corriente de carga.

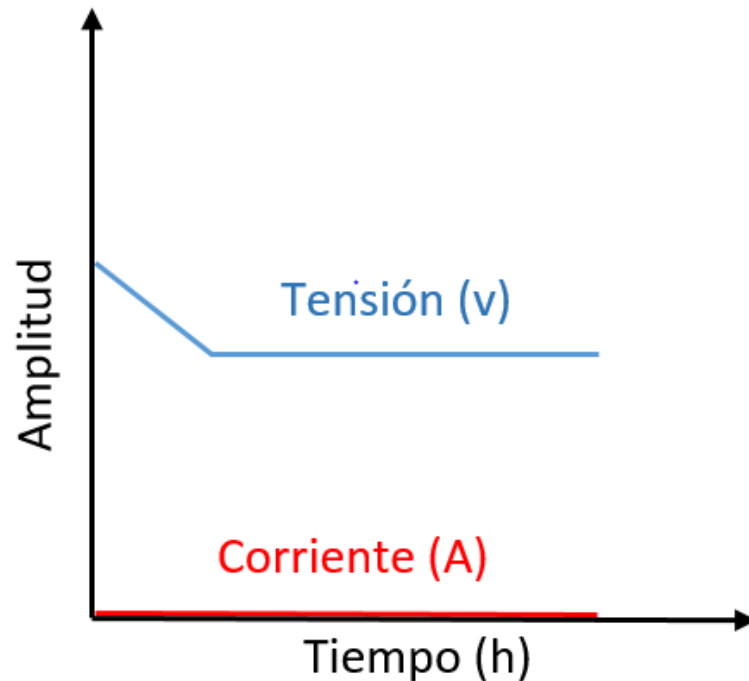


Figura 2.4: Gráfica de Tensión y Corriente durante la Etapa de Carga de Flote.

2.3.4 Carga por Pulsos.

Un cargador de pulsos envía corriente a la batería durante periodos muy cortos de tiempo, de manera que actúe como un “latigo” para las agregaciones cristalizadas sobre las placas, eliminando el sulfato de plomo de estas [11].

Varios fabricante coinciden en que el sistema de carga por pulsos es más efectivo para cargar las baterías, puesto que mantienen sus prestaciones y alargan su vida útil. De esta manera también contribuyen con el medio ambiente, ya que fabricar baterías nuevas y deshacerse de las usadas son procesos caros y perjudiciales para la naturaleza.

El controlador de carga propuesto en esta tesis, es un controlador de carga por pulsos, que será analizado detalladamente en el capítulo 4.

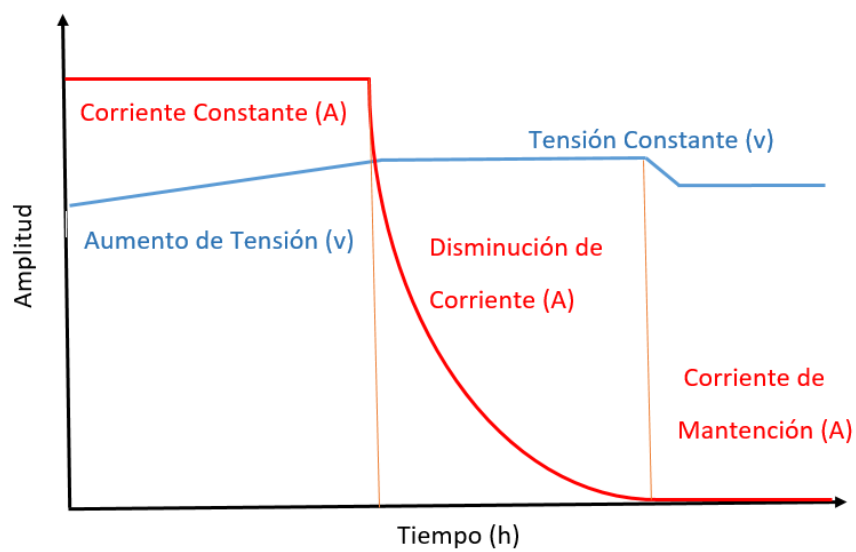


Figura 2.5: Gráfico de la Tensión y Corriente de Carga de una Batería.



Capítulo 3

Descripción del Estado Actual y Desarrollo Electrónico de la Red Analógica Sismológica de la Red Sísmica del Austro.

La Red Sísmica del Austro (RSA) cuenta con diferentes estaciones para el monitoreo de la actividad sísmica, clasificadas de acuerdo a la actividad que realizan en: estaciones de monitoreo o sensoras, repetidoras, mixtas y una estación base. Cada estación está compuesta de dispositivos eléctricos y electrónicos que realizan las tareas de acondicionamiento, amplificación, modulación, mezcla, transmisión y adquisición de las señales [12].

3.1 Estaciones de Monitoreo de la R.S.A.

3.1.1 Estaciones Sensoras.

Las estaciones sensoras adquieren las señales de la actividad sísmica a través de los geófonos, las adecuan y las transmiten hacia las repetidoras. Cuentan con un sistema de alimentación de 12 V, utilizando como fuente paneles solares o directamente la red eléctrica.

En el caso de alimentación mediante paneles solares se utiliza un controlador de carga, mientras que en el caso de usar la red eléctrica, un sistema de conexión y desconexión mediante relés denominado desconectador

de baterías [13].

Este tipo de estaciones además cuentan con un sistema de alimentación de $\pm 4V$, a través de una tarjeta denominada “fuente”, y cuya función es alimentar las tarjetas electrónicas para el acondicionamiento de la señal del geófono, su amplificación, modulación y transmisión. [12].

La señal que entrega el geófono es amplificada antes de ingresar al VCO. Una vez amplificada se realiza una modulación tipo FM con frecuencias centrales desde 680 a 3060 Hz. Posteriormente la señal pasa a una segunda etapa de modulación por parte del radio transmisor también de tipo FM con frecuencias de 400 a 420 MHz, de esta manera la señal es radiada por la antena hasta la estación receptora.

En la figura (3.1) se muestra un diagrama de bloques de una Estación Sensora.

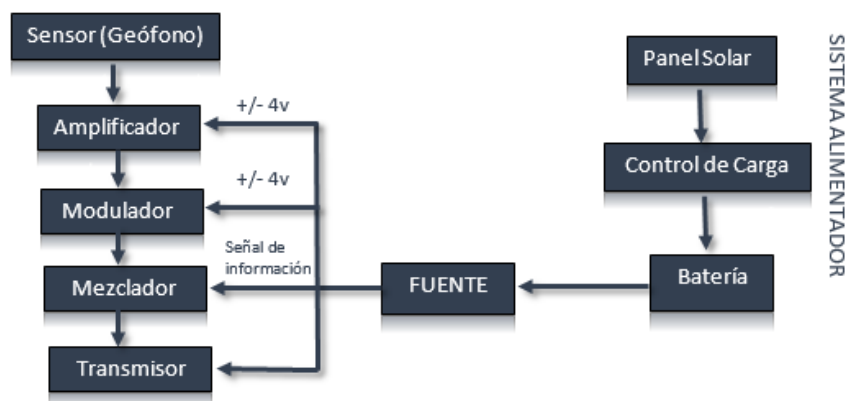


Figura 3.1: Diagrama de una Estación Sensora.

3.1.2 Estaciones Repetidoras.

Las estaciones repetidoras reciben las señales en sus radios receptores desde otras estaciones más lejanas, las mezclan y las retransmiten. Están ubicadas entre la estación sensora y la estación base y existen como solución a la geografía de la sierra andina, permitiendo los enlaces donde no hay línea de vista. Cuentan con un sistema de alimentación de 12v de las mismas características de la estación sensora y como elemento central un mezclador de 4 canales.

Las antenas de recepción están diseñadas para trabajar conjuntamente con los radios receptores en las frecuencias de 400 a 420 MHz. Los radios re-



ceptores recuperan las señales de las estaciones sensoras en la frecuencia de modulación del VCO. Estas señales son mezcladas con las que llegan de otros radios receptores.

La señal del canal de salida del mezclador es modulada por el radio transmisor en una frecuencia entre 400 a 420 MHz para ser transmitida a la estación base.

En la figura (3.2), se muestra un diagrama de bloques de una estación repetidora.

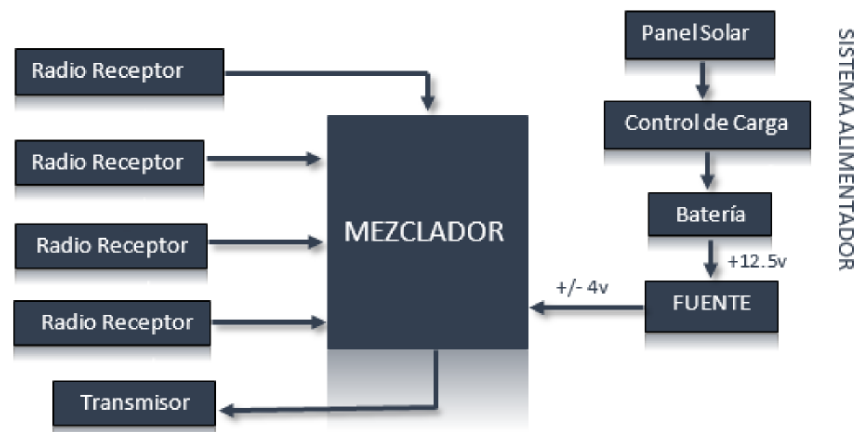


Figura 3.2: Diagrama de una Estación Repetidora.

3.1.3 Estaciones Mixtas.

Este tipo de estaciones son una combinación de las estaciones sensoras y repetidoras, puesto que están compuestas del sistema de acondicionamiento de señal, y un mezclador.

Estas estaciones se utilizan para aprovechar las condiciones del sitio de emplazamiento, es decir, lugares donde es factible la instalación de un sensor [12].

La figura (3.3) muestra un diagrama de bloques de una estación mixta.

3.2 Controlador de Carga.

Todas las estaciones que tienen como fuente de alimentación paneles solares utilizan baterías en conjunto con un controlador de carga, cuyo objetivo es

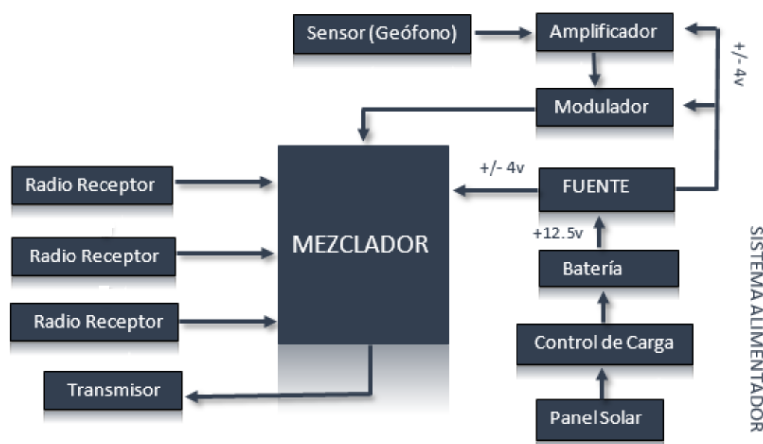


Figura 3.3: Diagrama de una Estación Mixta.

mantener la carga de la batería para cuando no hay condiciones apropiadas (por la noche o en poca luz solar).

El funcionamiento del controlador de carga depende de la tensión del panel solar y de los niveles de tensión de la batería, donde se distinguen principalmente dos: nivel máximo o superior (NS) y nivel mínimo o inferior (NI) [13].

3.3 Desconectador de Batería.

El controlador de carga tiene la capacidad de discernir entre niveles de tensión máximo o mínimo, para de esta manera ordenar la desconexión o reconexión del completo circuito de instrumentación de la estación, incluidos los radios transmisores y receptores existentes. La idea principal es la de evitar descargas profundas de las baterías ante condiciones poco favorables de recarga.

3.4 Funcionamiento del Controlador y Desconectador de Batería.

3.4.1 Funcionamiento con la Mayor Radiación Solar.

Esto se da cuando la tensión entregada por el panel es mayor a 12V. Si el nivel de tensión en la batería es inferior a 12V, se activa el relé de carga que



permite la conexión entre el panel solar y la batería, permitiendo que se recargue. En caso contrario si es superior a un nivel umbral (NS), se desactiva el relé de carga y desconecta el panel solar de la batería, interrumpiendo su recarga y dejando que sea la batería la que alimente los circuitos de acondicionamiento y transmisión de las señales sísmicas.

3.4.2 Funcionamiento con Menor Radiación Solar.

Cuando la tensión de la batería es inferior a 11V, es necesario desconectar los circuitos de acondicionamiento y transmisión de la batería, para lo cual se desactiva el relé principal. Este relé solo se vuelve a activar si el nivel en la batería tiene un valor de 13V [12].

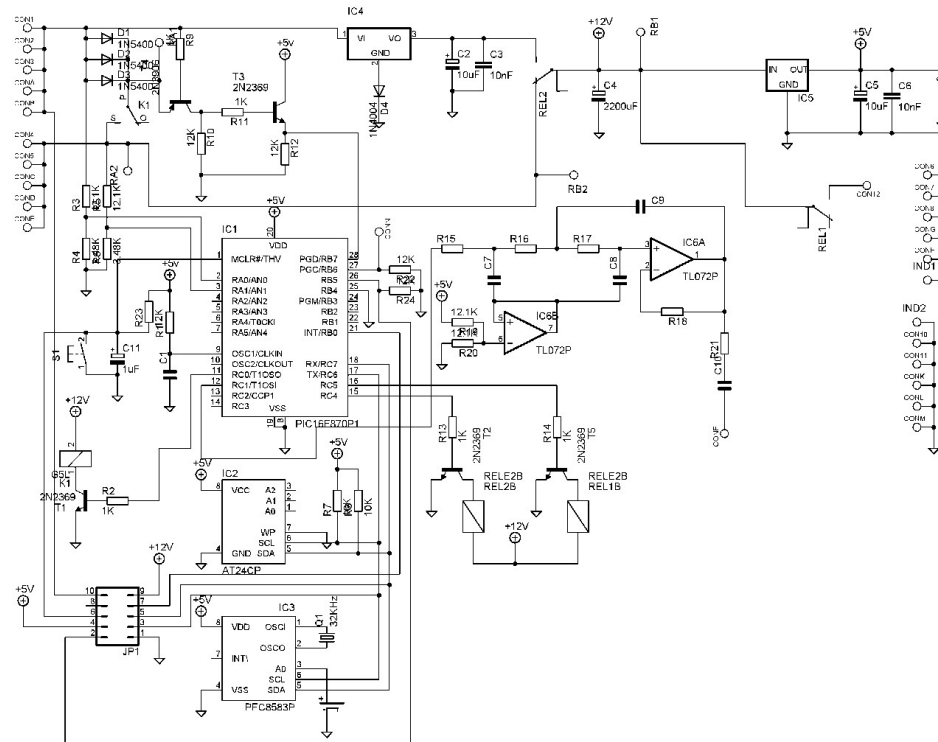


Figura 3.4: Esquema del Controlador de Carga [12].



3.5 Mezclador.

El mezclador multiplexa las señales que están en diferentes frecuencias, permite ajustar la amplitud de las señales de entrada y del canal de salida, de tal manera que se tenga una señal de 2V pico pico que es lo recomendable para ser transmitida. Es usado en las estaciones mixtas o repetidoras. La tarjeta del mezclador tiene las siguientes características [13]:

Cuatro canales de entrada.

Un canal de salida.

Tensión de alimentación de 12V.

Tensión de +8V y -8V para los requerimientos de dispositivos internos.

Corriente de 2mA.

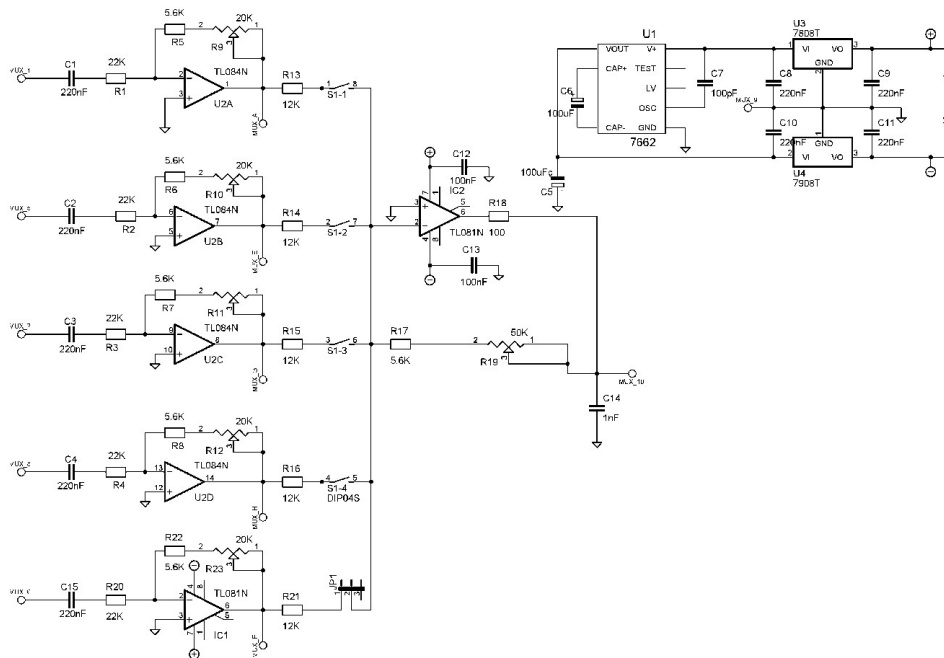


Figura 3.5: Esquema de un Mezclador de Cuatro Canales [14].

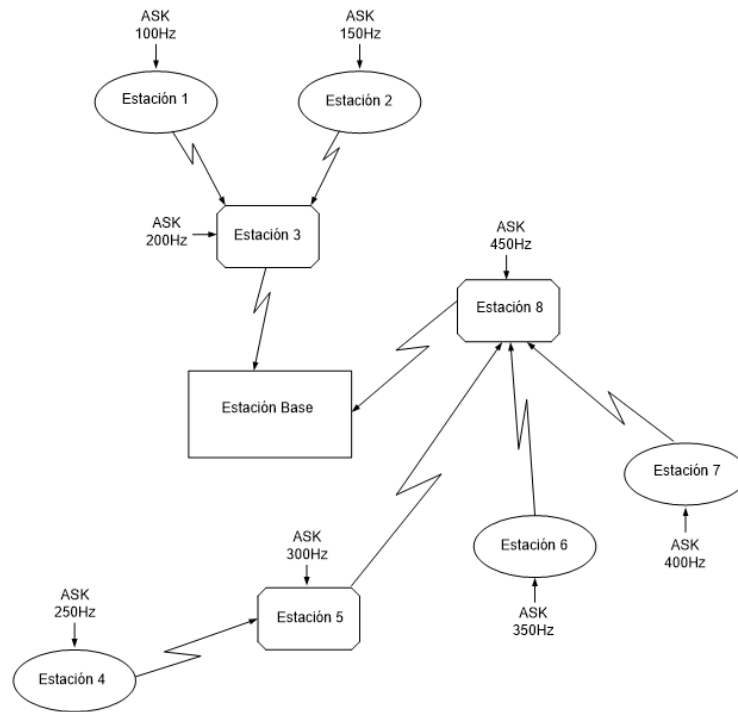


Figura 3.6: Sistema de Transmisión de Datos en Diferentes Frecuencias [12].

3.6 Mezclador Inteligente.

Por la necesidad de un sistema en el cual se pueda verificar el estado de las señales antes de ingresar al mezclador, la Red Sísmica del Austro (RSA) precisa contar con un sistema capaz de discernir entre señales.

La RSA dispone para la transmisión de las señales con portadoras que oscilan entre los 680Hz y 3060Hz, que luego son moduladas mediante radios analógicos con portadoras de 400MHz. Por lo tanto quedan disponibles las frecuencias entre 100Hz y 450Hz, lo cual permite realizar el diseño de un sistema de transmisión de muy baja frecuencia (100Hz, 150Hz, 200Hz, 250Hz, 300Hz, 350Hz, 400Hz y 450Hz), con modulación por desplazamiento de amplitud (ASK, Amplitude Shift Keying) [12].

En cada estación sensora se deben producir señales auxiliares que lleguen a las estaciones tanto repetidoras como mixtas. Estas señales auxiliares son: un byte que representa la tensión de la batería y un byte para reconocimiento. Por medio del byte de reconocimiento se verifica si existe o

no enlace; si el byte existe el canal es mezclado con el resto de canales y si el byte no existe indica que el enlace de la estación se ha perdido, por lo tanto el canal es bloqueado. En la siguiente figura se presenta los diagramas de bloques del mezclador inteligente para la estaciones base, estaciones repetidoras y mixtas; sabiendo que en las estaciones base no existe un mezclador, pero requiere un microcontrolador para verificar el estado del enlace. Hay que mencionar que el sistema funciona mal cuando hay mas de dos canales (sobretudo cercanos), por lo que es necesario que se cambie el sistema de modulación en frecuencia por modulación en el tiempo.

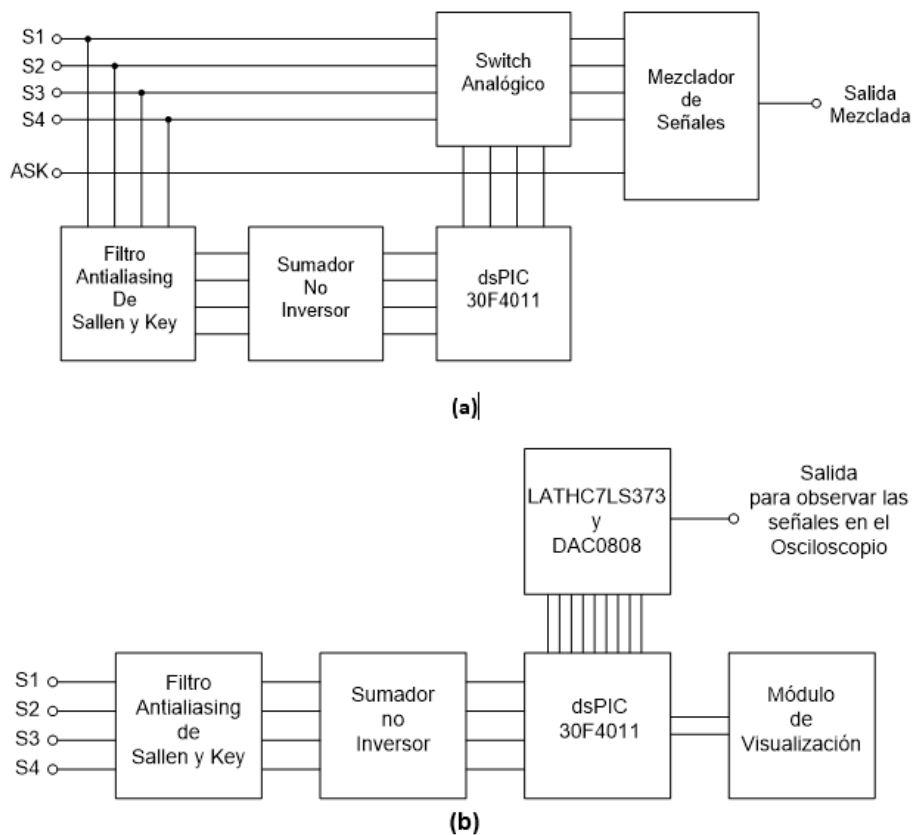


Figura 3.7: Diagrama de un Mezclador Inteligente [12]. a) Estaciones Mixtas y Repetidoras. b) Estación Base.



3.7 Sistema Analógico de Transmisión y Espectro de Frecuencias.

El sistema de transmisión analógico está compuesto por dos tarjetas que en conjunto permiten que la señal sea acondicionada y modulada, para que de esta manera pueda ser transmitida por los radios. Estas dos tarjetas pertenecen a la marca *Kinematics*, y su funcionamiento se explica a continuación.

3.7.1 Módulo de Conexión Amplificador/Filtro AM-2.

Esta tarjeta es la encargada de tomar la señal del geófono y acondicionarla para la transmisión mediante la amplificación y el filtrado de la misma. De una manera general se puede decir que es un amplificador de entrada diferencial de alta ganancia (máximo 90 dB), con un atenuador en el panel frontal de hasta 60 dB en pasos de 6 dB y un paso de 30 dB para ganancia unitaria. Entre sus características resaltan: estabilidad, bajo ruido, y filtros seleccionables pasa bajos y pasa altos.

El modulo Amplificador/Filtro modelo AM-2 tiene las siguientes especificaciones técnicas: [12]

Impedancia de Entrada: 100,00 ohmios, diferenciales.

Rechazo de modo común: 100dB en 60 Hertz.

Ruido: menor que 1.5 micro voltios en valores pico-pico, entre 0.03 hasta 100 Hertz con una entrada con una fuente de 5K ohmios, y 0.7 micro voltios pico-pico, entre 0.03 hasta 20 Hertz.

Ganancia: 90 dB como máxima ganancia.

Tensión de Salida: +/- 3.0 voltios pico-pico, máxima solo en uno de los extremos.

Respuesta de frecuencia: Con 90 dB de ganancia tenemos desde 0.03 hasta 100 Hertz.

Temperatura de operación: Desde $-18^{\circ}C$ hasta $+70^{\circ}C$.

Potencia: 12mW (+/- 4 VDC, 1.5 mA)

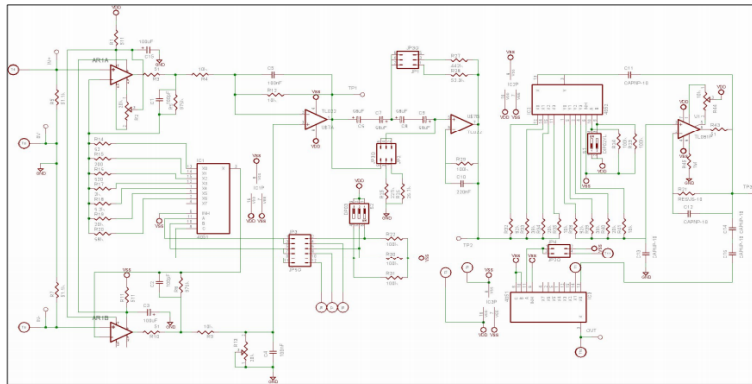


Figura 3.8: Esquema de la Tarjeta Amplificadora AM-2 [14].

3.7.2 Módulo Oscilador Controlado por Tensión OM-2.

Este módulo es el encargado de tomar la señal del geófono que está en frecuencias entre 0 a 50 Hertz y llevarla a una frecuencia superior entre 680 a 3060 Hertz, que es el espectro de frecuencias que utiliza la RSA, para su transmisión por radio con una modulación FM.

El módulo OM-2 tiene una impedancia de 100,000 ohmios y el VCO está ajustado de fábrica para que funcione en las siguientes frecuencias: 680, 1020, 1360, 1700, 2040, 2380, 2730, o 3060 Hertz.

La circuitería de entrada acepta datos sobre un ancho de banda en DC a 30 Hertz y a la vez limita la señal del VCO, de tal manera que no cause una desviación mayor de ± 132 Hertz. Cuenta con un panel central desde donde se ajusta la entrada que llega al VCO para no sobrepasar los límites permitidos por el mismo.

El Módulo oscilador controlado por tensión modelo OM-2 tiene las siguientes especificaciones: [14]

Frecuencias centrales del VCO: 680, 1020, 1360, 1700, 2040, 2380, 2730, o 3060 Hertz.

Impedancia de Entrada: 100,000 ohmios.

Linealidad: $\pm 0.25\%$ del total de ancho de banda, frecuencia de salida a tensión de entrada.

Sensibilidad de desviación: ± 2.5 voltios para desviación de escala completa.

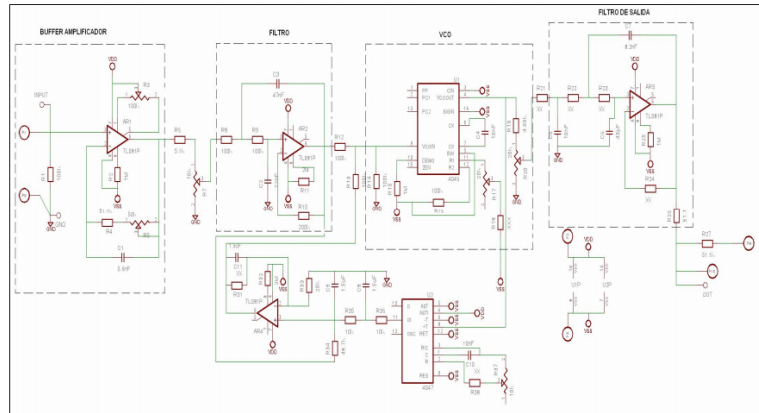


Figura 3.9: Esquema de la Tarjeta Moduladora OM-2 [14].

Sensibilidad de desviación al cambio de temperatura: $\pm 1\%$ voltios para desviación de escala completa, desde -18°C a 70°C .

Nivel de salida: Máximo de 2 voltios RMS. 0.7 Voltios RMS, para 600 ohmios de carga (-0.9 dBm). Cuenta con un potenciómetro para ajustar desde cero hasta el máximo.

Impedancia de Salida: Salida directa aproximada de 100 ohmios y 600 ohmios con transformador acoplado.

Temperatura de operación: desde -18°C a 70°C .

Potencia: $\pm 4.0\text{ VDC}$ y 1.5 mA máximo.



Capítulo 4

Propuestas Electrónicas y Mejoras.

4.1 Controlador de Carga Integrado.

La principal mejora se presenta en el controlador de carga de la batería, pues se ha pasado de un controlador ON/OFF muy ineficiente a uno que consigue un rendimiento mayor al 90%. Además busca el punto de máxima potencia del panel para aprovechar de mejor manera la radiación solar.

Otro punto a destacar es el tamaño del controlador, pues mide apenas 6 cm aproximadamente. El diseño ha sido realizado en base a la data técnica del dispositivo BQ24650 de National Instruments [15], que es un controlador de carga de baterías muy versátil y de buenas prestaciones de apenas 4 x 4 mm, en encapsulado QFN16 de montaje superficial. A continuación se detalla el proceso de diseño del controlador.

4.1.1 Carga de la Batería.

El dispositivo BQ24650 realiza el proceso carga de la batería en cuatro etapas. Cada una definida por la corriente suministrada a la batería y la tensión de la misma. Las etapas se enumeran a continuación:

Fase de Regulación de Corriente de Pre-carga.

Fase de Regulación de Corriente de Carga Rápida.

Fase de Regulación de Tensión de Carga Rápida (Absorción).

Terminación (Flotación).



La Tensión y Corriente de carga durante las diferentes etapas, se muestran en la figura (4.1)

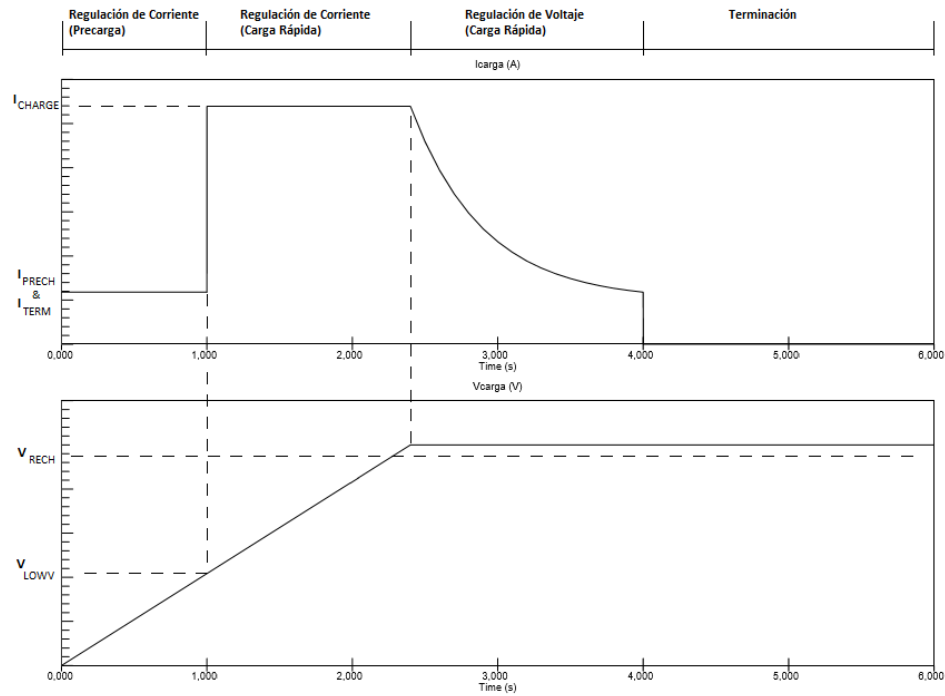


Figura 4.1: Etapas de la Carga de una Batería. Corriente y Tensión de Carga

Fase de Regulación de Corriente (Precarga).

Inicialmente el controlador mide el nivel de tensión de la batería, si este valor está por debajo de un valor umbral V_{LOWV} (1,5V según los datos del fabricante), aplica una corriente de un valor pequeño llamada Corriente de Pre-Carga. Este valor, según la data técnica, es equivalente a 1/10 de la corriente de carga y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$I_{CHARGE} = \frac{4_mV}{R_{SR}} \quad (4.1)$$

Donde R_{SR} es una resistencia SHUNT (resistencia en serie de valor muy pequeño) usada para medir la corriente que se entrega a la batería.

Si luego de transcurridos 30 minutos la tensión de la batería no logra superar el umbral V_{LOWV} , el cargador se apagará, entendiéndose que la batería ya no recibe carga, es decir, está averiada. La etapa de pre-carga es usada para “revivir” baterías que han sido descargadas profundamente, aquellas cuyo nivel de tensión ha alcanzado un valor muy bajo. La tensión y corriente de carga de la batería son factores importantes a considerar. Una tensión elevada sumada a una corriente excesiva puede aumentar drásticamente la temperatura de la batería, causando daños a largo plazo y reduciendo su vida útil.

Regulación de Corriente (Carga Rápida).

Corriente de Carga Para el caso de la corriente de carga de una batería se recomienda en [15] que no se debe exceder el 20% de la capacidad de corriente nominal de la batería. Otros fabricantes sugieren que la corriente de carga no exceda el 25% [16]. De superarse este valor la temperatura de la batería aumentará.

El controlador sensa la corriente en la batería mediante una resistencia SHUNT R_{SR} conectada entre los pines SRP y SRN del dispositivo tal y como se indica en la figura.

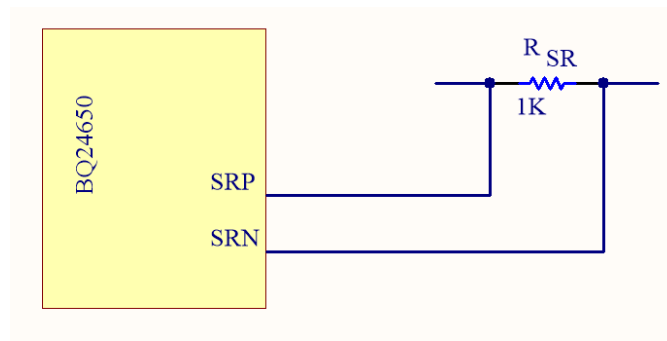


Figura 4.2: Medición de la Corriente de Salida mediante una Resistencia SHUNT

La corriente máxima de carga está limitada por la tensión en la resistencia R_{SR} . Según la data técnica el valor máximo entre los pines SRP y SRN es 40mV, por lo tanto la corriente de carga máxima estará dado por la siguiente fórmula:

$$I_{CHARGE} = \frac{40_{mV}}{R_{SR}} \quad (4.2)$$

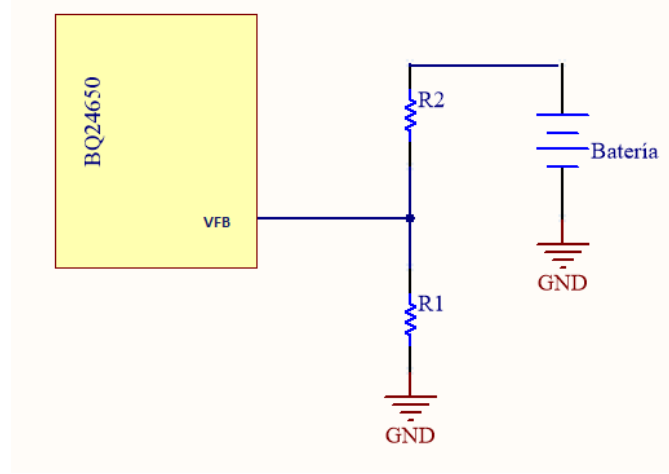


Figura 4.3: Medición de la Tensión de Salida mediante un Divisor de Tensión Resistivo.

Dado que los paneles entregan como máximo 3.5A, la resistencia SHUNT necesaria será:

$$R_{SR} = \frac{40mV}{I_{CHARGE}} = \frac{40mV}{3.5A} = 11,4m\Omega \quad (4.3)$$

Por lo tanto colocaremos una resistencia de $10m\Omega$ o inferior.

Tensión de Carga. La tensión de carga de la batería es analizada extensamente en [16]. Se concluye que un valor elevado consigue un menor tiempo de carga pero aumenta la temperatura de la batería, mientras que un valor menor requiere mayor tiempo de carga. El controlador permite programar externamente la tensión de carga mediante un divisor resistivo externo entre la tensión de la batería y GND conectado al pin VFB, tal como se indica en la figura (4.3).

Este pin se debe calibrar a un valor de tensión de 2,1V. Por lo tanto, y según la data técnica del controlador, la fórmula para el cálculo del divisor de tensión es la siguiente [15]:

$$V_{BAT} = 2,1x(1 + \frac{R_2}{R_1}) \quad (4.4)$$

Fijamos la tensión de carga en 14V siguiendo las recomendaciones dadas en [17], y nos imponemos el valor de $R_1 = 100K\Omega$, por lo que el valor de las

resistencias del divisor de tensión son:

$$R_2 = \left(\frac{V_{BAT}}{2,1} - 1\right)xR_1 = \left(\frac{14}{2,1} - 1\right)x100 = 566K\Omega \quad (4.5)$$

Regulación de Tensión de Carga Rápida (Absorción).

Una vez que el valor de la tensión de la batería es superior a un umbral llamado V_{RECH} , inicia el proceso de regulación de tensión. El controlador empieza a aplicar corriente en función de la tensión de la batería; si este valor decae, el controlador enviará más corriente con el fin de mantener la tensión estable. Este proceso se mantiene hasta que la corriente aplicada sea inferior a un nivel umbral llamado I_{TERM} . Este valor se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$I_{TERM} = \frac{4_{mV}}{R_{SR}} = \frac{4_{mV}}{10m\Omega} = 400_{mA} \quad (4.6)$$

Terminación.

Cuando la corriente aplicada es menor a I_{TERM} (1/10 de la corriente de Carga Rápida) el controlador se apaga hasta que se inicie un nuevo ciclo de carga.

4.1.2 Búsqueda del Punto de Máxima Potencia. MPPT.

Para obtener una mayor eficiencia y la mayor potencia de salida que puede entregar un panel solar es necesario que opere en el punto de máxima potencia (M.P.P). Este punto se identifica en la curva característica V-I (Tensión-Intensidad) o V-P (Tensión-Potencia) de la data técnica del panel [18].

Según la tabla dada por el fabricante, figura (4.5), el punto de máxima potencia se consigue cuando la tensión es 17,4V y la Corriente es 3,15A [18].

Existen varios métodos para mantener al panel solar trabajando en su punto de máxima potencia. En [19] y [20] se hace un análisis completo (eficiencia y costo) de varios métodos MPPT. Se comparan 10 tipos de algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia y se indican sus ventajas y desventajas. En virtud al análisis realizado se puede concluir que el método de Tensión Constante es el más sencillo y menos costoso, aunque también es el menos eficiente (80% de la energía generada es aprovechada) [19]. El controlador BQ24650 utiliza el método de Tensión Constante, es decir, reduce o aumenta la corriente de carga para mantener la tensión del panel en un valor constante al cual se obtiene la máxima potencia. Para esto dispone de

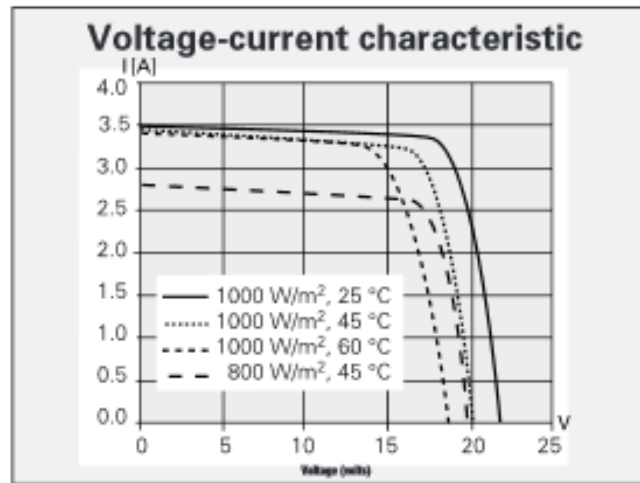


Figura 4.4: Curva V-I del Panel Solar sm-55

Solar module SM55		
Electrical parameters		
Maximum power rating P_{max}	(Wp) ¹⁾	55
Rated current I_{MPP}	[A]	3.15
Rated voltage V_{MPP}	[V]	17.4
Short circuit current I_{SC}	[A]	3.45
Open circuit voltage V_{OC}	[V]	21.7
Thermal parameters		
NOCT ²⁾	[°C]	45 ±2
Temp. coefficient: short-circuit current		1.2mA / °C
Temp. coefficient: open-circuit voltage		-0.77V / °C
Qualification test parameters ⁴⁾		
Temperature cycling range	[°C]	-40 to +85
Humidity freeze, Damp heat	[%RH]	85
Maximum permitted system voltage [V]		600 (1000 V per IEC 61730)
Wind Loading PSF	[N/m²]	50 [2400]
Maximum distortion ³⁾	[°]	1.2
Hailstone impact	Inches [mm]	1.0 [25]
	MPH [m/s]	52 [v=23]
Weight	Pounds [kg]	12 [5.5]

Figura 4.5: Característica del Panel Solar sm-55 dados por el fabricante.

una entrada llamada MPPSET, que es comparada continuamente con una tensión umbral de 1,2V. Si el valor de la tensión en MPPSET es superior a 1,2V, el controlador aumenta la corriente de carga para reducir la tensión de entrada. Si por el contrario, el valor de la tensión en MPPSET es inferior

a 1,2V, el controlador reduce la corriente de carga manteniendo la tensión constante [15]. Por lo tanto es necesario que mediante un divisor de tensión resistivo conectado externamente, el valor de la tensión en el pin MPPSET sea calibrado a 1,2V cuando el panel esté trabajando en el punto de máxima potencia, es decir, cuando la tensión de entrada sea 17,4V según la data técnica del panel solar [18]. La fórmula para el cálculo se especifica en [15].

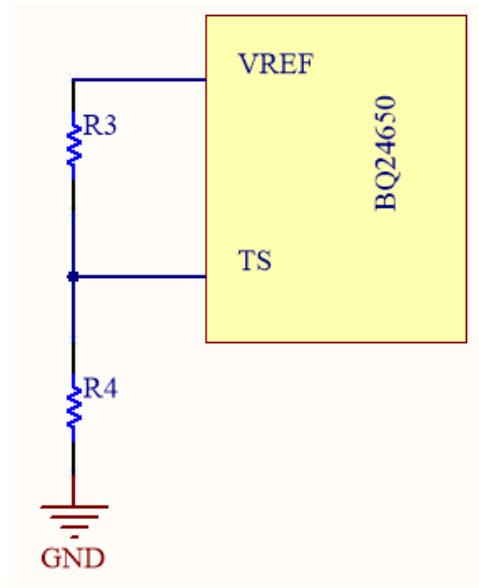


Figura 4.6: Divisor de Tensión Para Establecer el Punto de Máxima Potencia.

$$V_{MPPSET} = 1,2x(1 + \frac{R_3}{R_4}) \quad (4.7)$$

Donde $V_{MPPSET} = 17,4V$, y nos imponemos el valor de $R_4 = 35,7K\Omega$. Por lo tanto:

$$17,4V = 1,2x(1 + \frac{R_3}{35,7K\Omega}) \quad (4.8)$$

$$\therefore R_3 = (\frac{17,4V}{1,2} - 1)x35,7K\Omega = 482K\Omega \quad (4.9)$$

Otro aspecto a considerar, es que la potencia que entrega el panel solar, también depende del ángulo de incidencia. Si la fuente de energía solar no está perpendicular a las celdas solares la potencia puede reducirse. De ahí la



necesidad de tener módulos montados por separado o móviles, que permitan ajustar mecánicamente el ángulo de incidencia [20].

4.1.3 Temperatura del Controlador y la Batería.

El controlador BQ24650 cuenta con un empaquetado de baja impedancia térmica, lo que le permite una buena disipación de calor hacia el ambiente, manteniendo la temperatura del dispositivo baja. Además, y como medida de auto-protección, el dispositivo se apaga cuando su temperatura excede los $145(^{\circ}C)$ y no se enciende hasta descienda a los $130(^{\circ}C)$ [15].

Se debe controlar continuamente también la temperatura de la batería. Esto se logra colocando un NTC adherido a la misma, además de un divisor de tensión externo (R_9, R_{10}). El controlador posee un pin dedicado para este propósito (TS) que impide la iniciación de la carga de una batería o interrumpe el proceso de carga cuando la temperatura alcance un nivel de umbral frío o caliente.

Para iniciar la carga de una batería es necesario que la temperatura de la misma sea mayor al umbral de temperatura fría T_{LTF} , y menor al umbral de temperatura caliente T_{HTF} .

De manera análoga, para interrumpir una carga en proceso, la temperatura debe ser mayor al umbral de temperatura fría T_{LTF} , y menor al umbral de temperatura *cut-off* T_{TCO} .

Los valores (tomados de la data técnica) correspondientes en tensión con respecto a un valor de referencia V_{REF} se detallan en la tabla (4.1). Los

Umbral de Temperatura	Umbral de Tensión (TS)	Porcentaje Relativo a V_{REF}	V_{REF}	Valor en Voltios
T_{LTF}	V_{LTF}	73.5%	3.3	2.4255
T_{HTF}	V_{HTF}	47.5%	3.3	1.5675
T_{TCO}	V_{TCO}	45%	3.3	1.485

Tabla 4.1: Umbrales de Temperatura y sus Correspondientes Tensiones.

umbrales de temperatura dependen del NTC y de las resistencias R_9 , y R_{10} del divisor de tensión. El cálculo del divisor de tensión se realiza mediante

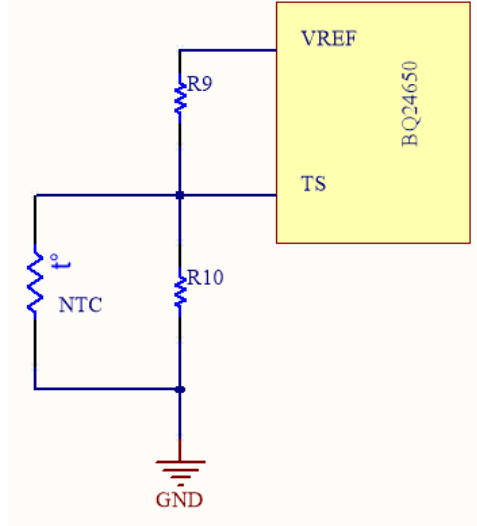


Figura 4.7: Control de Temperatura de la Batería mediante un Divisor de Tensión Externo

las fórmulas especificadas en la data técnica [15].

$$R_{10} = \frac{V_{REF} \times R_{NTC_{COLD}} \times R_{NTC_{HOT}} \times \left(\frac{1}{V_{LTF}} - \frac{1}{V_{TCO}} \right)}{R_{NTC_{HOT}} \times \left(\frac{V_{REF}}{V_{TCO}} - 1 \right) - R_{NTC_{COLD}} \times \left(\frac{V_{REF}}{V_{LTF}} - 1 \right)} \quad (4.10)$$

$$R_9 = \frac{\frac{V_{REF}}{V_{LTF}} - 1}{\frac{1}{R_{10}} + \frac{1}{R_{NTC_{COLD}}}} \quad (4.11)$$

El NTC que usamos es el NTC L E413 E2 103 F 102 L, que según los datos del fabricante posee los valores de resistencia con respecto a la temperatura, especificados en la tabla (4.2)

La temperatura T_{LTF} la ajustamos a $0(^{\circ}C)$, cuya resistencia es 27348Ω ; mientras que T_{TCO} será $45(^{\circ}C)$, cuya resistencia es 4910Ω . Entonces el cálculo del divisor de tensión será:

$$R_{10} = 29982\Omega \quad (4.12)$$

$$R_9 = 5165\Omega \quad (4.13)$$



$T(^{\circ}C)$	$R(\Omega)$
-40	190953
-35	145953
-30	112440
-25	87285
-20	68260
-15	53762
-10	42636
-5	34038
0	27348
5	22108
10	17979
15	14706
20	12094
25	10000
30	8310,8
35	6941,1
40	5824,9
45	4910,6
50	4158,3
55	3536,2
60	3019,7
65	2588,8
70	2228
75	1924,6
80	1668,4
85	1451,3
90	1266,7
95	1109,2
100	974,26
105	858,33

Tabla 4.2: Valores de Resistencia para cada Temperatura del NTC



Por lo tanto colocaremos los valores más cercanos, así R_9 será $5,1K\Omega$, y R_{10} será $30K\Omega$.

El esquema final del circuito de control y de potencia se puede observar en el Anexo I (I.1) y II (II.1) respectivamente.

4.1.4 Filtro de Salida LC.

El filtro LC de salida según la data técnica debe ser tal que la frecuencia de resonancia debe estar entre 12-17Khz. Esta frecuencia de resonancia está dada en la fórmula 6 de la hoja de datos [15].

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_o C_o}} \quad (4.14)$$

La tabla (4.3) tomada la data técnica provee algunos valores típicos de inductancias y capacitancias para el filtro LC de salida y resistencias SHUNT para diversas corrientes de carga.

CHARGE CURRENT	0.5A	1A	2A	4A	8A	10A
Output Inductor L_o	$22\mu H$	$15\mu H$	$10\mu H$	$6.8\mu H$	$3.3\mu H$	$3.3\mu H$
Output Capacitor C_o	$7\mu F$	$10\mu F$	$15\mu F$	$20\mu F$	$40\mu F$	$40\mu F$
Sense resistor	$80m\Omega$	$40m\Omega$	$20m\Omega$	$10m\Omega$	$5m\Omega$	$4m\Omega$

Tabla 4.3: Valores de L_o y C_o para Diferentes Corrientes de Carga [15].

Se han escogido los siguiente valores:

$$L_o = 5.6\mu H$$

$$C_o = 20\mu F.$$

Con estos valores la frecuencia de resonancia será:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_o C_o}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{5.6\mu H 20\mu F}} = 15Khz \quad (4.15)$$

Que es un valor dentro del rango de 12-17 Khz recomendado en la data técnica del dispositivo.

4.1.5 Detección de Batería.

El circuito integrado BQ24650 contiene un algoritmo de detección de baterías, el cual empieza cuando se alimenta el dispositivo y funciona de la siguiente manera [15]:



Se aplica una corriente de descarga en el pin SRN de 8mA y empieza un temporizador de 1 segundo

Si la tensión de retro alimentación en el pin VFB es mayor al umbral V_{LOWV} , inicia el proceso de carga luego completado el temporizador (1 segundo).

Si VFB es menor a V_{LOWV} luego de completado el temporizador (1 segundo), aumenta la corriente de descarga en SRN a 125mA y empieza un temporizador de 0.5 segundos.

Si VFB es mayor a V_{RECH} , inicia el proceso de carga luego de completado el temporizador (0.5 segundos).

Si VFB es menor a V_{RECH} luego de completado el temporizador (0.5 segundos), desactiva la corriente de carga e identifica la ausencia de la batería y el proceso se reinicia.

Para que este algoritmo funcione correctamente, es necesario que el valor del capacitor de salida C_o no exceda un valor máximo, dado por la siguiente fórmula:

$$C_{oMAX} = \frac{I_{DISCH} t_{DISCH}}{0.5(1 + \frac{R_2}{R_1})} \quad (4.16)$$

Donde I_{DISCH} y t_{DISCH} son la corriente de descarga (6mA) y el tiempo de descarga (1 segundo) respectivamente. Mientras que $R_2 = 566k\Omega$ y $R_1 = 100K\Omega$ son las resistencias del divisor de tensión conectado al pin VFB . Por lo tanto el valor máximo del capacitor será $C_{oMAX} = 1800\mu F$

4.1.6 Operación en Modo Síncrono y Asíncrono.

Operación en Modo Síncrono.

El controlador opera en modo síncrono cuando la tensión en la resistencia SHUNT es superior a 5mV [15]. En este modo los dos MOSFET conducen, por lo tanto el dispositivo se encarga de agregar un tiempo muerto entre los dos para evitar un cortocircuito de rama. Durante el modo síncrono la corriente en el inductor está siempre fluyendo y el convertidor opera en **Modo de Conducción Continua**.

Operación en Modo Asíncrono.

El controlador opera en modo asíncrono cuando la tensión en la resistencia SHUNT es inferior a 5mV [15]. Durante la operación en modo asíncrono el diodo anti paralelo del MOSFET inferior conduce la corriente del inductor mientras este está apagado. Cuando la corriente de carga decrece y la corriente en el inductor llega a cero, la corriente que circula por el diodo es también cero; este modo es llamado **Modo de Conducción Discontinua**.

4.2 Sistema de Transmisión de Datos.

Los mezcladores con los que cuenta la Red Sísmica del Austro, como se mencionó, tienen la capacidad de discernir entre las señales que se van a mezclar, de tal manera que no produzcan interferencias en el canal de radio. Para esto el mezclador inteligente analiza cada señal y la bloquea o deja pasar según sea el caso, si existe o no el enlace.

La Red Sísmica del Austro utiliza 8 canales multiplexados y modulados en FM, para ser transmitidos por un enlace de radio con portadoras de: 680, 1020, 1360, 1700, 2040, 2380, 2730, y 3060 Hz. Hay que mencionar que estos canales ocupan un ancho de banda máximo de 400 Hz. Las frecuencias menores están libres para ser ocupadas para la transmisión de las señales adicionales, tanto de la tensión de la batería como del panel. Para este caso se eligió modularlas en una portadora a 300 Hz. Dichas señales adicionales son moduladas en ASK con la frecuencia portadora ya mencionada y serán transmitidas por el canal adicional del mezclador en división de tiempo; de tal manera que cada estación tenga disponible para su transmisión 7 minutos con 30 segundos, es decir, durante 1 hora transmitirán las 8 estaciones. Esto se hace para que se introduzca el menor ruido posible al canal de radio. El diseño del transmisor de estas señales está basado en 3 partes fundamentales: fuente de alimentación, sistema de control y acondicionamiento de la señal.

4.2.1 Fuente de Alimentación.

La fuente de alimentación es tomada de la batería de 12v, esta es la parte que alimenta los integrados que componen el filtro. La tensión negativa de -12v para los filtros se obtiene con un integrado ICL7662. La alimentación del reloj a tiempo real ds1307 y el PIC18F4550 se consigue con un regulador de tensión LM7805. Ver figura (4.8).

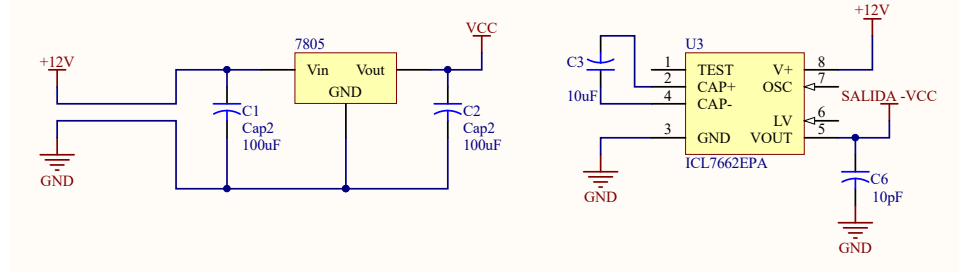


Figura 4.8: Esquema de la Fuente de Alimentación de $\pm 12V$.

4.2.2 Sistema de Control.

La parte fundamental de este sistema es el microcontrolador que sincroniza el tiempo de transmisión de cada estación mediante el reloj a tiempo real ds1307.

Para la sincronización de transmisión de cada estación se cuenta con un identificador, que está dado por un dipswitch de 3 posiciones (de 000 a 111 en binario, o de 0 a 7 en decimal), tal y como se observa en la tabla (4.4). Esto nos permite identificar las 8 estaciones y asignarles sus correspondientes tiempos de transmisión.

Estación	Identificador	Tiempo (min)
0	000	0 a 7.5
1	001	7.5 a 15
2	010	15 a 22.5
3	011	22.5 a 30
4	100	30 a 37.5
5	101	37.5 a 45
6	110	45 a 52.5
7	111	52.5 a 60

Tabla 4.4: Identificadores de Cada Estación y sus Tiempos de Transmisión.

Por otra parte el microcontrolador PIC18F4550 es el que realiza el proceso de tomar las tensiones de la batería y del panel a través de sus ADCs (AD0 y AD1) mediante partidores de tensión, ya que la máxima tensión que el microcontrolador puede recibir es de 5V.

Cuando las señales son registradas por el microcontrolador se les trata como señales digitales, es decir, como variables enteras de 16 bits. De los 16 bits,

los 10 bits más significativos son los que contienen la señal. Estas variables enteras son almacenadas cada minuto en una matriz tomando una muestra por minuto.

La matriz de almacenamiento contiene en la primera posición el identificador de cada estación, por lo que tendremos una muestra por minuto y en total 121 datos para transmitir.

El microcontrolador es el encargado de generar la señal en una modulación ASK, para ello los datos almacenados son llevados a variables de 8 bits. Luego de esto las variables son tomadas bit a bit y comparados: si el bit es 0, la salida es 0v, y si es 1 la salida son pulsos cuadrados a una frecuencia de 300 Hertz. Por lo tanto la señal de salida son pulsos cuadrados con un

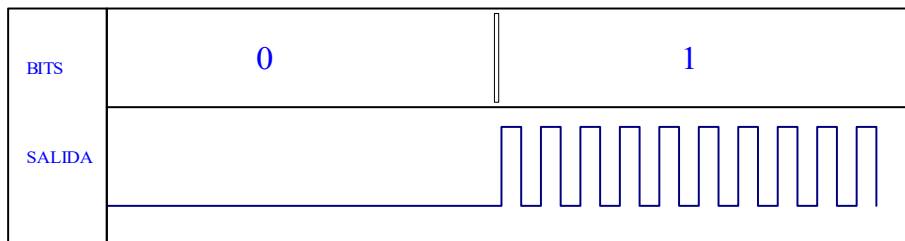


Figura 4.9: Representación de los Bits a la Salida del Controlador.

periodo de 3.3 ms. En general cada bit tiene 10 ciclos, por lo tanto el tiempo de bit va a ser de 33ms. Para que la señal pueda ser demodulada y lograr

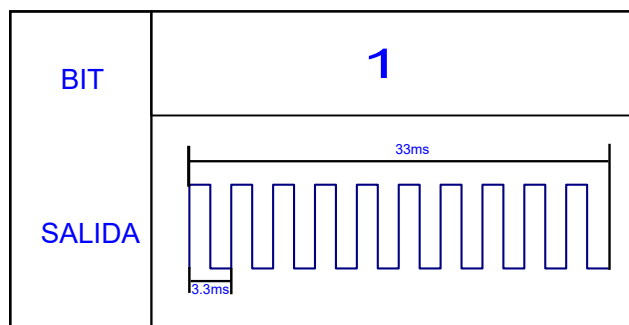


Figura 4.10: Representación del Tiempo de Bit y el Período de Pulso.

sincronizar los datos de entrada se envían dos tiempos de bit en alto y medio tiempo de bit en bajo por cada muestra, es decir, cada 16 bits. Así que la



forma en que se transmitirán los datos seguirá un formato de trama, figura (4.11):

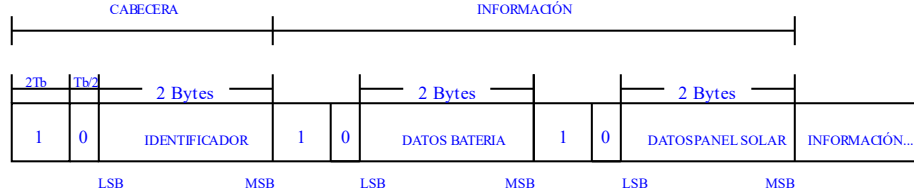


Figura 4.11: Formato de Trama de los Datos Enviados.

Algo que se debe tomar en cuenta es que el tiempo para enviar todos los datos no sobrepase al que tiene cada estación para transmitir. Para ello presentamos los siguientes cálculos:

$$f_{Portador} = 300Hz \quad (4.17)$$

$$T_{Portadora} = 3.3ms \quad (4.18)$$

$$1bit = 10ciclos \quad (4.19)$$

$$T_{BIT} = 33ms \quad (4.20)$$

$$T_{16bits} = 528ms \quad (4.21)$$

$$T_{BitsSincr} = 2T_{BIT} + \frac{T_{BIT}}{2} = 82.5ms \quad (4.22)$$

$$T_{Trama} = T_{16bits} + T_{BitsSincr} * 161 = 73.87s \quad (4.23)$$

Entonces nos fijamos que el tiempo de toda la trama es mucho menor al tiempo que tenemos para enviar los datos. Por lo tanto, si se requiere, se puede aumentar el buffer de almacenamiento de muestras.

4.2.3 Acondicionamiento de la Señal.

La etapa de acondicionamiento de la señal consta de un filtro pasa bajas ajustado a la frecuencia de portadora de 300 Hz, que básicamente convierte los pulsos cuadrados generados desde el microcontrolador a una onda senoidal con la misma frecuencia. Esta señal debe contener la menor cantidad de armónicos posible, pues podría generar problemas al combinarse con la señal que proviene del geófono, por lo cual se eligió un diseño de filtro tipo Sallen-Key de orden 6.

El filtro Sallen-Key de orden 6 tiene una configuración que utiliza 3 amplificadores operacionales con sus respectivas configuraciones de resistencias y

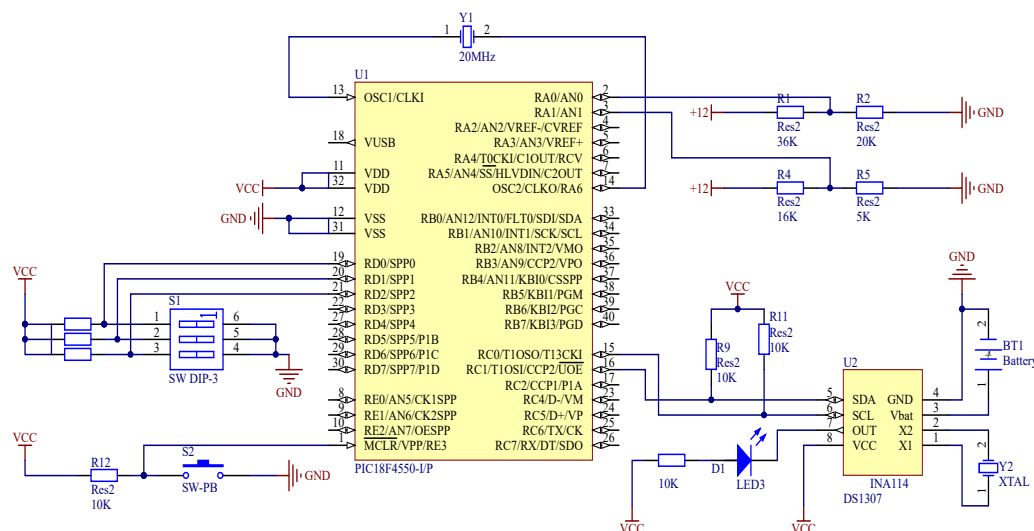


Figura 4.12: Esquema del Sistema de Control.

capacitores para cada etapa. En la figura (4.13) se presenta la configuración de un filtro Sallen-Key de orden 2.

Para este caso se conecta 3 filtros de orden 2 en cascada para tener un filtro de orden 6, cuyos valores de resistencias y capacitores para cada etapa son los presentados en la tabla 4.5.

Nombre	Etapla 1	Etapla 2	Etapla 3
R1 y R2	3.32 K Ω	3.9 K Ω	5.6 K Ω
C1	100nF	69nF	22nF
C2	104nF	100nF	100nF

Tabla 4.5: Valores de Resistencias y Capacitores para el Filtro Sallen-Key de Orden 6.

Una vez conseguida la señal senoidal con frecuencia de 300 Hz, es necesario eliminar la componente de continua debido a que esto genera ruido en el mezclador. Para esto se utiliza un filtro pasa altas de tipo Sallen-Key con frecuencia de corte de 150 Hz asegurando no eliminar la información. Ver

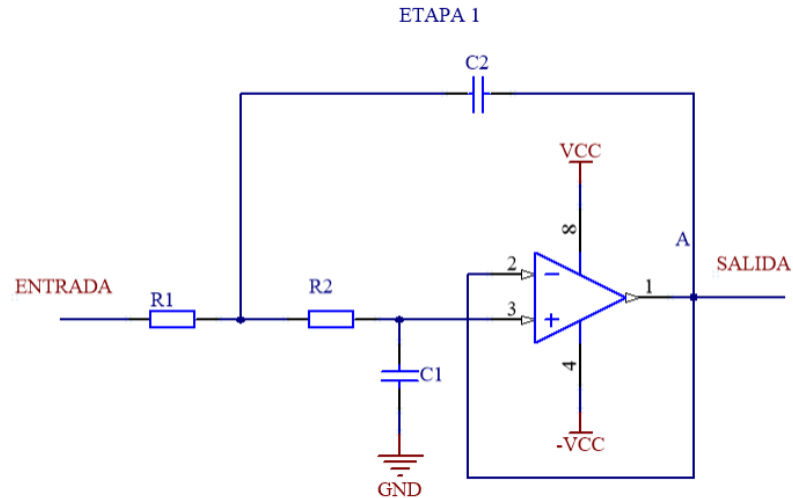


Figura 4.13: Esquema del Filtro Tipo Sallen-Key de orden 2.

figura (4.14).

Los valores calculados para este filtro se presentan en la tabla 4.6.

Nombre	Valores
C1 y C2	100nF
R1	15 K Ω
R2	7.5 K Ω

Tabla 4.6: Valores de Resistencias y Capacitores para el Filtro Pasa Altas de Orden 2.

El esquema completo del transmisor se muestra en el Anexo III (III.1).

4.3 Sistema de Demodulación.

El sistema de demodulación de la señal cuenta con una etapa de amplificación, un detector de envolvente, un filtro pasa bajas y un comparador; para finalmente entregar la señal al microcontrolador que es el encargado de reconstruir las tramas de datos.

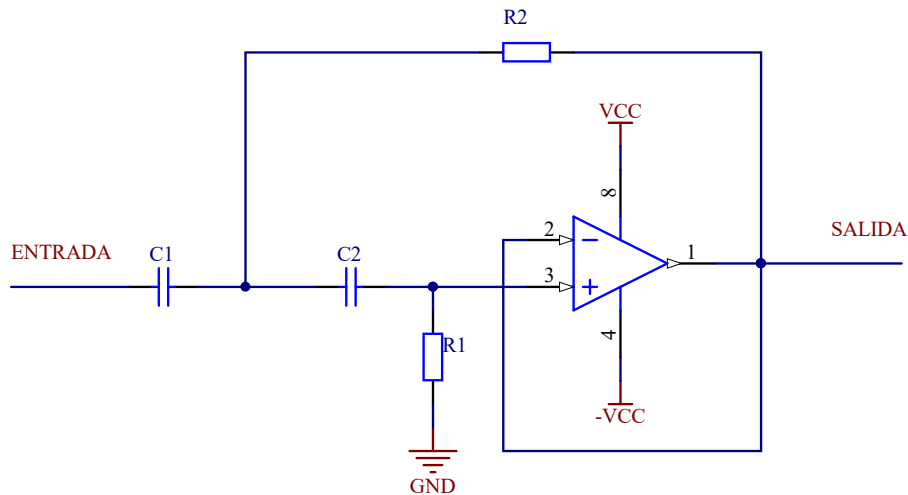


Figura 4.14: Esquema Filtro Pasa Altas de Orden 2.

4.3.1 Etapa de Amplificación.

Debido a que la señal que llega está muy atenuada es necesario amplificarla. Básicamente se utiliza un amplificador operacional lm358 en configuración amplificador no inversor. Este circuito se muestra en la figura (4.15) y cuenta con una resistencia variable para ajustar la señal.

4.3.2 Detector de Envolvente.

El circuito detector de envolvente es necesario para recuperar la forma de onda cuadrada. Está formado por un diodo, una resistencia y un capacitor. Ver figura (4.16).

Los valores de resistencia y capacitor son calculados dependiendo de la frecuencia de la portadora, en este caso 300 Hz.

$$RC \geq \frac{1}{\omega_m} \sqrt{\frac{1 - m^2}{m}} \quad (4.24)$$

Donde m es el índice de modulación y $\omega_m = 2\pi f_{Portadora}$. Para este caso el índice lo tomaremos de 0,5. Por lo tanto: $RC \geq 6.497473 \cdot 10^{-4}$. Si el valor del capacitor lo fijamos en $C=100\text{nF}$, entonces: $R \geq 6.5\text{k}\Omega$

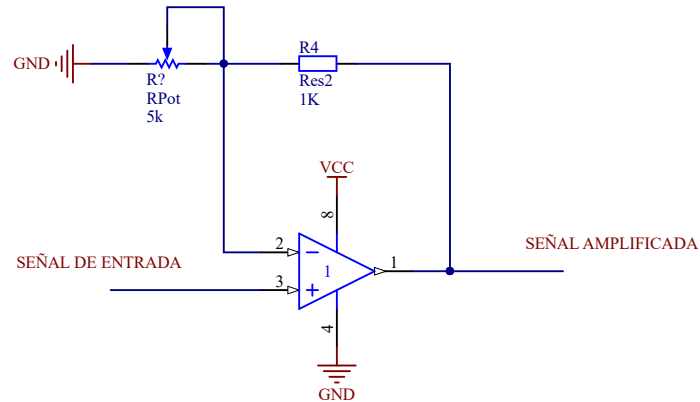


Figura 4.15: Esquema del Amplificador no Inversor.

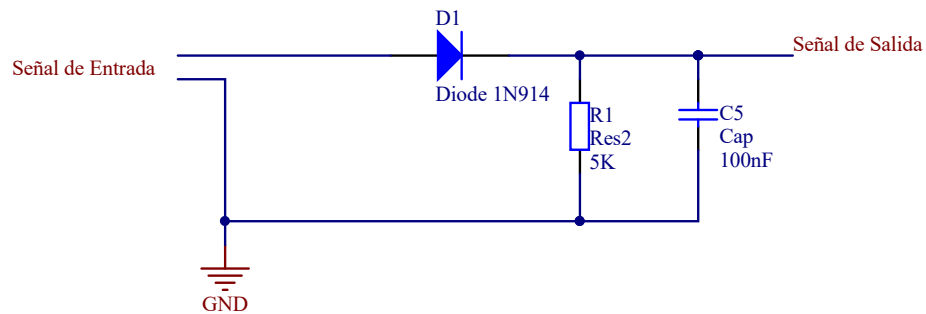


Figura 4.16: Esquema del Circuito Detector de Envolvente.

4.3.3 Filtro Pasa Bajas y Comparador.

La señal que entrega el detector de envolvente tiene unos picos propios de la carga y descarga del capacitor, que no son apropiados para el microcontrolador. Es necesario filtrar la señal en una frecuencia de 300 Hz para eliminar algunas componentes no deseadas, y posteriormente enviarla a un comparador con un valor de tensión umbral de 2.5v. De esta manera la señal a la salida del comparador son pulsos cuadrados.

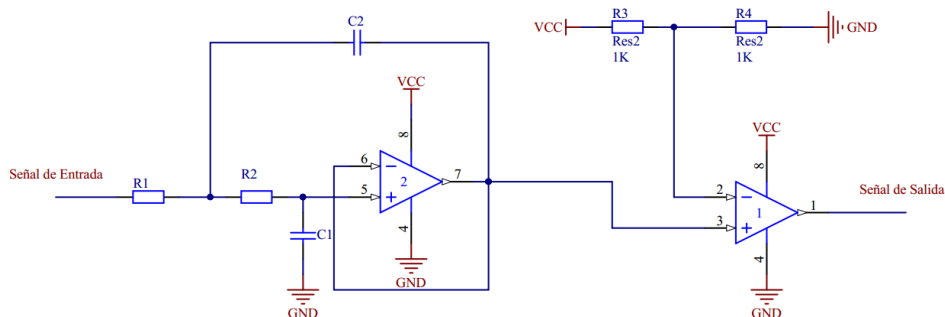


Figura 4.17: Esquema del Filtro Pasa Bajas y del Comparador.

Nombre	Valores
R1 y R2	1.88 K Ω
R3 y R4	10 K Ω
C1	100nF
C2	200nF

Tabla 4.7: Valores de Resistencias y Capacitores del Filtro Pasa Bajas y del Comparador.

4.3.4 Microcontrolador PIC18F4550.

El microcontrolador es el encargado de reconstruir la trama completa; para ello utiliza una interrupción externa de tal manera que se active solo cuando se produzca un flanco de bajada, esto es cuando ya han llegado los bits de sincronización (2 tiempos de bits en alto y la mitad de tiempo de bit en bajo). El microcontrolador está configurado para realizar la lectura en un tiempo de bit, y comienza con los primeros datos de sincronización. Luego de esto se empieza a reconstruir la trama de datos que es posteriormente almacenada en un buffer y transmitida al sistema de visualización. El esquema completo del circuito receptor, se muestra en el Anexo IV (IV.1).



Capítulo 5

Software de Monitoreo del Sistema.

El monitoreo del sistema incluye todo el proceso desde la toma de datos, modulación, acoplamiento, transmisión, demodulación y un software para presentar los datos de baterías y paneles solares de las distintas estaciones. El software de monitoreo incluye una conexión del microcontrolador por el bus de comunicación USB hacia la computadora. Para la presentación de los datos se utiliza el entorno de programación de JAVA NetBeans, que a su vez se conecta con el Gestor de Base de Datos MySQL para trabajar en conjunto en la presentación y almacenamiento de los datos.

5.1 Conexión USB en JAVA.

Es necesario previamente tener claro algunos conceptos para entender la conexión USB de un microcontrolador a la PC.

5.1.1 Velocidad del Bus de comunicación USB.

Este bus de comunicación es compartido y permite un máximo de 127 dispositivos conectados a la vez en un momento dado. La velocidad de transmisión de datos está controlada por el Host, por lo que las velocidades que describimos a continuación pueden ser tomadas como referencia [21].

- Low speed: velocidades de 1.5 Mbps, soportan USB 1.1, 2.0 y 3.0.
- Full speed: velocidades de 12 Mbps, soportan USB 1.1, 2.0 y 3.0.
- High speed: velocidades de 480 Mbps, soportan USB 2.0 y USB 3.0.



- Super speed: velocidades de 5Gbps, solo soportado en dispositivos USB 3.0. No apto para microcontroladores.

5.1.2 Tipos de Transferencias de Datos.

Los tipos de transferencias dependen de la velocidad y la aplicación requerida, existiendo básicamente 4 tipos que se describen a continuación: [22]

Control.

Esta es la transferencia más básica y se utiliza para enviar comandos.

Bulk (Transferencia Masiva).

Este es el tipo más rápido de transferencia de datos y es utilizado por dispositivos que soporten high speed y full speed. Se utiliza cuando es preciso enviar cantidades muy grandes de datos y cuenta con corrección de errores, por lo que se asegura la llegada exitosa de los datos.

Isócronas.

Utilizado en dispositivos que soportan full speed y que transmiten señales de video o audio. No utiliza corrección de errores.

Interrupción.

Este tipo de transferencia de datos es utilizado en dispositivos que ocupan un pequeño ancho de banda.

5.1.3 Enumeración del dispositivo.

La enumeración de un dispositivo consiste en obtener la información necesaria del mismo cuando está conectado al host. Esta información se obtiene del archivo descriptor incluido en el código del microcontrolador. Los parámetros más importantes dentro de este archivo son: los identificadores del dispositivo, tanto proveedor (VID) y del producto (PID), los endpoints, tipo de transferencia de datos, clase utilizada y versión USB que soporta.

El VID y PID son una combinación de 16 bits representada en números hexadecimales que utilizan los dispositivos USB para ser reconocidos por el host. Además deben ser elegidos de manera que no coincidan con otros dispositivos conectados al mismo.



5.1.4 Endpoint.

Son buffers de memoria que se alojan en la RAM del microcontrolador y son necesarios para el envío y recepción de datos. Pueden ser de entrada, de salida o bidireccionales. El endpoint 0 es el ocupado para comandos de control, es decir, realiza el proceso de enumeración.

5.1.5 Clases.

Una clase en el entorno de programación está formada por varios objetos, cada uno con sus diferentes estados y comportamientos. La clase contiene los métodos y funciones que utilizan los objetos que pertenecen a dicha clase. Las clases más utilizadas en microcontroladores son las siguientes: [22]

HID (Dispositivo de Interfaz Humana).

Esta clase proporciona una velocidad máxima de 64 kB/s y soporta transferencias de control y de interrupción. La ventaja de utilizar esta clase es que no se necesita un driver en el sistema operativo.

MSD (Dispositivo de Almacenamiento Masivo).

Esta clase es utilizada con dispositivos que soportan high speed y full speed. Soporta transferencias tipo Bulk o una combinación de transferencias de Control, Bulk e Interrupción. Para este tipo de clase es necesario utilizar un driver que permita el reconocimiento del dispositivo.

CDC (Clase de Dispositivo de Comunicación).

La velocidad máxima que proporciona esta clase es de 80 KB/s y soporta el tipo de transferencia de datos Bulk e Interrupción. Utiliza también drivers estándar incluidos en el sistema operativo, sin embargo, puede o no ser necesaria la instalación del archivo *.inf* dependiendo del sistema operativo utilizado.

La conexión del microcontrolador con el entorno de programación JAVA NetBeans se da en dos etapas:

Reconocimiento del microcontrolador por parte del host.

Conexión de la librería de JAVA NetBeans con el dispositivo.

5.1.6 Reconocimiento del Microcontrolador por Parte del Host.

En base a la data técnica del PIC18F4550 [23], los pines de alimentación son VDD (PIN11 y PIN 31) y VSS (PIN12 y PIN 32), el bus de transmisión de datos D+ (PIN 24) y D- (PIN 23) y tensión USB (PIN 18); donde es recomendado poner dos capacitores de 220pF en paralelo a tierra [23].

El dispositivo utiliza el tipo de transferencia Bulk, y una clase de tipo

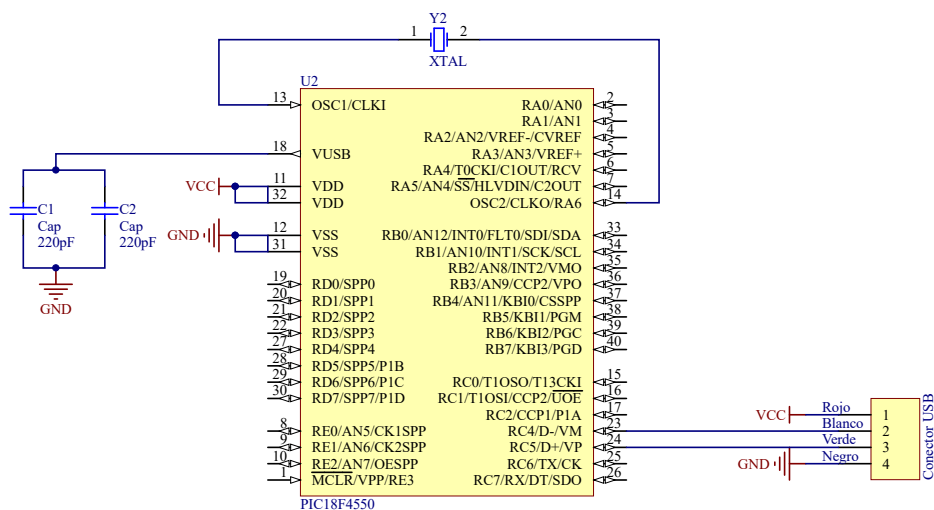


Figura 5.1: Diagrama de Conexión de la Interfaz Física.

CDC. Esta información está incluida en el descriptor del microcontrolador. Al utilizar la clase CDC es necesario instalar un driver en la PC para que el dispositivo sea reconocido. Este driver es propio de *Microchip* y proporciona un archivo *.inf* que contiene el PID y VID propios de la librería; los mismos deben coincidir con los identificadores del archivo descriptor del microcontrolador.

5.1.7 Conexión de la Librería de JAVA Netbeans con el Dispositivo.

JAVA Netbeans proporciona una librería que permite conectar el dispositivo microcontrolador con el entorno de programación, la cual contiene dos archivos: el uno es un tipo *JAR* (*jpgusb.JAR*) y el otro es un archivo *.dll*



(*jpgicusb.dll*)[22].

Es necesario agregar el archivo *jpgicusb.JAR* al proyecto de JAVA NetBeans y el archivo *.dll* al directorio de trabajo.

Los métodos que se utilizan para la inicialización del dispositivo (cargar la librería, configurar el VID y PID del dispositivo y crear la instancia) son los siguientes: [24]

```
iface.load();  
  
iface.set_vidpid("vid_numero hexadecimal&pid_numero hexadecimal");  
  
iface.set_instance(numero de solicitud);
```

La librería proporciona métodos de lectura y/o escritura del canal para gestionar la transmisión de datos a través de la conexión USB. Este canal cuenta con un buffer donde se almacenan los datos para ser leídos, de tal manera que el método para leer los datos del buffer debe contener el mismo tamaño del buffer de transmisión especificado en el microcontrolador. El método da como resultado un vector tipo byte con los datos transmitidos [22].

```
iface.QRead( int dwlen, long dwMilliseconds);
```

dwlen: es la cantidad de datos a recibir

dwMilliseconds: tiempo de espera en milisegundos

5.2 Gestión de Bases de Datos en Java.

La Gestión de Base de datos se hace desde JAVA NetBeans a través de una conexión con MySQL, en donde se almacenan los datos que son demodulados.

Para realizar la conexión es necesario agregar al proyecto un archivo *.JAR* (*mysql-connector-java-5.1.24-bin.jar*). De esta manera se gestiona el acceso a la base de datos de MySQL y se puede ejecutar comandos desde JAVA NetBeans.

La base de datos en MySQL cuenta con dos tablas, ver figura (5.2):

La tabla Estaciones, en donde se almacenan las 8 estaciones con las que cuenta la RSA y una clave primaria (idEstaciones)

La tabla ValoresRSA, en donde se almacena los datos de tensión de batería, tensión de panel solar, la fecha de almacenamiento y la clave primaria (idEstaciones).

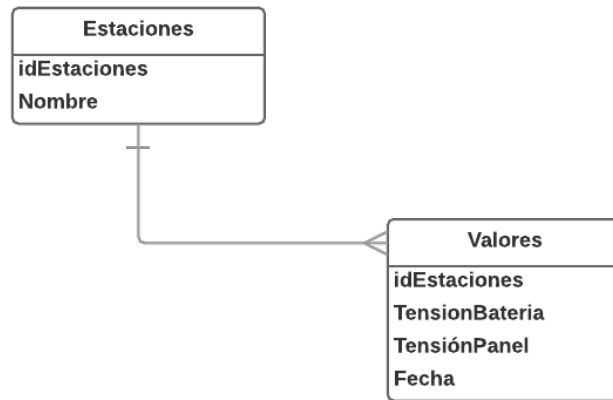


Figura 5.2: Diagrama de la Base de Datos.

La librería *mysql-connector-java-5.1.24-bin.jar* proporciona el metodo *Class.forName()* para inicializar el driver que permite la conexión.

Es necesario abrir la conexión a través de la interfaz *Connection*, la cual recibe la referencia del servidor por intermedio de la interfaz *DriverManager* y el método *getConnection()*.

Además se necesita proporcionar algunos parámetros como: el nombre de conexión, contraseña y nombre del host, los cuales deben coincidir con los creados en la conexión MySQL.

```
Class.forName("org.gjt.mm.mysql.Driver");
```

```
DriverManager.getConnection("jdbc:mysql://localhost/estacionesmonitoreo",  
"root", "xxxx");
```

Para realizar la gestión de los datos JAVA Netbeans proporciona la clase *Statement*, cuya instancia se crea utilizando el método *createStatement()*. Para insertar, borrar y actualizar valores en la base de datos se utilizan los métodos *execute()* y *executeupdate()*.

```
Statement pst = (Statement) cn.createStatement();
```

```
pst.execute("INSERT INTO Estación1 (VoltajeBateria, VoltajePanel)  
VALUES ( volt_bat, volt_panel)");
```



idValoresRSA	TensionBateria	TensionPanel	idEstacionesRSA2016	Fecha
72	4.5698924731828	1.9941348973607038	1	2016-01-25
73	4.5698924731828	1.98924731827957	1	2016-01-25
74	4.5698924731828	1.9941348973607038	1	2016-01-25
75	4.5698924731828	1.9941348973607038	1	2016-01-25
76	4.563004887985533	1.9941348973607038	1	2016-01-25
77	4.5698924731828	1.9941348973607038	1	2016-01-25
78	4.5698924731828	1.9941348973607038	1	2016-01-25
79	4.5698924731828	1.9941348973607038	1	2016-01-25
80	4.5698924731828	1.98924731827957	2	2016-01-25
81	4.563004887985533	1.9941348973607038	2	2016-01-25
82	4.5698924731828	1.98924731827957	2	2016-01-25
83	4.5698924731828	1.9941348973607038	2	2016-01-25
84	4.563004887985533	1.9941348973607038	2	2016-01-25
85	4.563004887985533	1.98924731827957	2	2016-01-25
86	4.563004887985533	1.9941348973607038	2	2016-01-25
87	4.563004887985533	1.98924731827957	2	2016-01-25
88	4.563004887985533	1.98924731827957	3	2016-01-25
89	4.563004887985533	1.98924731827957	3	2016-01-25
90	4.563004887985533	1.98924731827957	3	2016-01-25
91	4.563004887985533	1.98924731827957	3	2016-01-25
92	4.563004887985533	1.98924731827957	3	2016-01-25
93	4.563004887985533	1.98924731827957	4	2016-01-25

Figura 5.3: Algunos Datos Almacenados en la Base de Datos MySQL.

5.3 Visualización de Datos.

Los datos de tensión de la Batería y del Panel se presentan en la tabla *ValoresRSA* de la base de datos *estacionesmonitoreo*, las cuales se van almacenando con el identificador de cada estación y la fecha. De esta manera se facilita cualquier consulta de los datos almacenados. Ver figura (5.4).

Por otra parte los datos también pueden ser visualizados en el software de java NetBeans. Este software es solo de visualización, pues el almacenamiento se realiza en el gestor de Base de datos de MYSQL. Sin embargo desde JAVA NetBeans se pueden filtrar los datos que se requieran para una fecha y una estación determinada. Ver figura(5.5)

El software que presenta los datos tiene por objetivo mostrar el estado de las estaciones, es decir, si están activas o no (están o no transmitiendo). Ver figura (5.6)



idAlarmaRSA	TensionBateria	TensionPanel	idEstacionesRSA2016	Fecha
72	4.56989247311828	1.9941348973607038	1	2016-01-25
73	4.56989247311828	1.989247311827957	1	2016-01-25
74	4.56989247311828	1.9941348973607038	1	2016-01-25
75	4.56989247311828	1.9941348973607038	1	2016-01-25
76	4.565004887585533	1.9941348973607038	1	2016-01-25
77	4.56989247311828	1.9941348973607038	1	2016-01-25
78	4.56989247311828	1.9941348973607038	1	2016-01-25
79	4.56989247311828	1.9941348973607038	1	2016-01-25
80	4.56989247311828	1.989247311827957	2	2016-01-25
81	4.565004887585533	1.9941348973607038	2	2016-01-25
82	4.56989247311828	1.989247311827957	2	2016-01-25
83	4.56989247311828	1.9941348973607038	2	2016-01-25
84	4.565004887585533	1.9941348973607038	2	2016-01-25
85	4.565004887585533	1.989247311827957	2	2016-01-25
86	4.565004887585533	1.9941348973607038	2	2016-01-25
87	4.565004887585533	1.989247311827957	2	2016-01-25
88	4.565004887585533	1.989247311827957	3	2016-01-25
89	4.565004887585533	1.989247311827957	3	2016-01-25
90	4.565004887585533	1.989247311827957	3	2016-01-25
91	4.565004887585533	1.989247311827957	3	2016-01-25
92	4.565004887585533	1.989247311827957	3	2016-01-25

Figura 5.4: Algunos Valores de Tensión de la Batería y del Panel, Almacenados en la Base de Datos MySQL.

Estación	Voltaje Bateria	Voltaje Panel
Estación 1	12.48	15.70
Estación 2	12.48	15.70
Estación 3	12.47	15.70
Estación 4	12.46	15.70
Estación 5	12.47	15.70
Estación 6	12.48	15.70
Estación 7	12.48	15.70
Estación 8	12.44	15.76
	12.45	15.76
	12.48	15.76
	12.46	15.76
	12.48	15.76
	12.47	15.76

Figura 5.5: Datos de Tensión de Batería y del Panel Visualizados en Java NetBeans.



Figura 5.6: Visualización de las estaciones Activas e Inactivas.

Capítulo 6

Resultados y Discusión.

6.1 Controlador de Carga de la Batería.

Se realizó el prototipo con componentes SMD según el diseño analizado en el capítulo 4 y según varias especificaciones técnicas dadas en [25, 26, 27]. La figura (6.1) muestra el prototipo con los componentes SMD soldados.

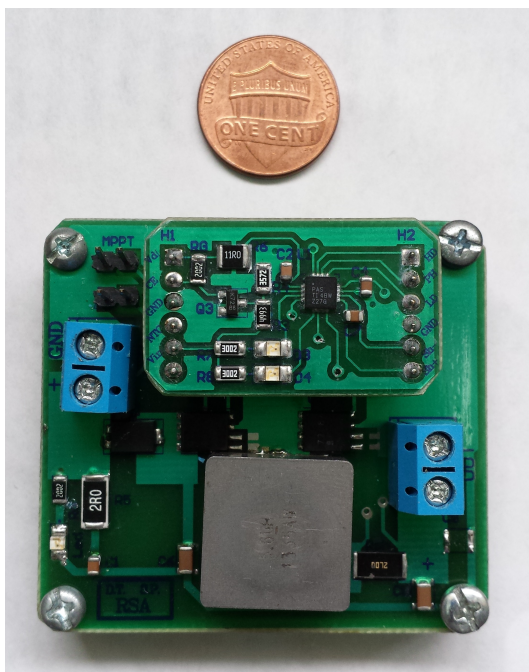


Figura 6.1: Prototipo del Controlador de Carga de Baterías.



Las figuras (6.2, 6.3, 6.4) muestran el prototipo funcionando a 18W, 36W, y 76W respectivamente.

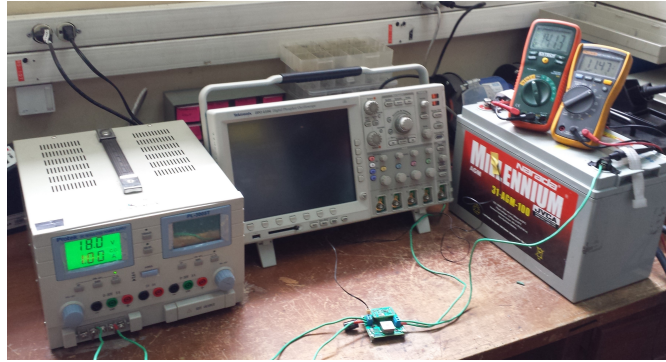


Figura 6.2: Prototipo Funcionando a una Potencia de Entrada de 18W.

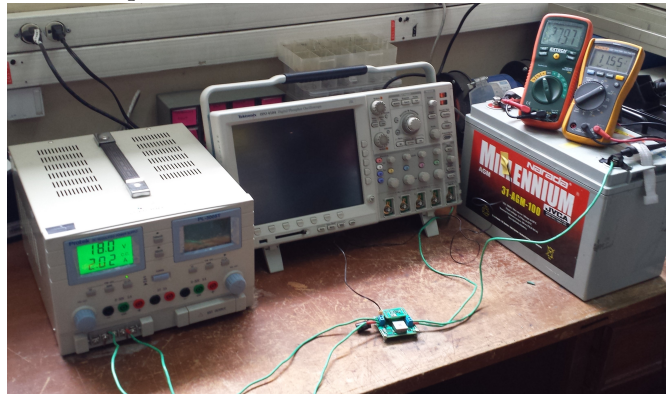


Figura 6.3: Prototipo Funcionando a una Potencia de Entrada de 36W.

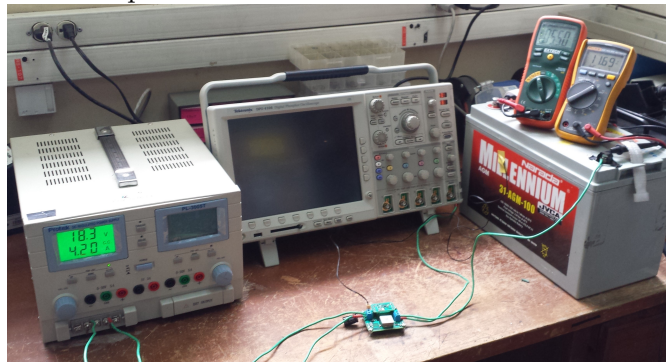


Figura 6.4: Prototipo Funcionando a una Potencia de Entrada de 76W.



Los resultados mostrados a continuación fueron obtenidos a una potencia nominal de 57,6 Watts.

6.1.1 Arranque Suave.

Esta característica se puede verificar en la figura (6.5) donde se muestra la conexión de la fuente de entrada y la corriente suministrada a la batería. Una imagen más ampliada (6.6) muestra el tiempo en que se establece la corriente de carga (aproximadamente 12ms) y que corresponde con la teoría.

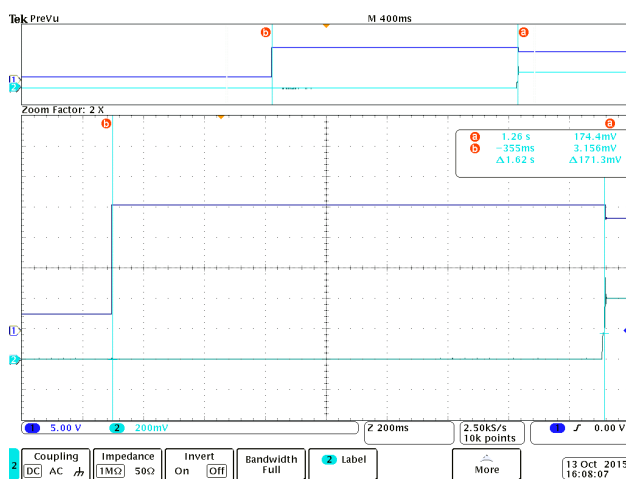


Figura 6.5: Característica de Arranque Suave (Soft Start)

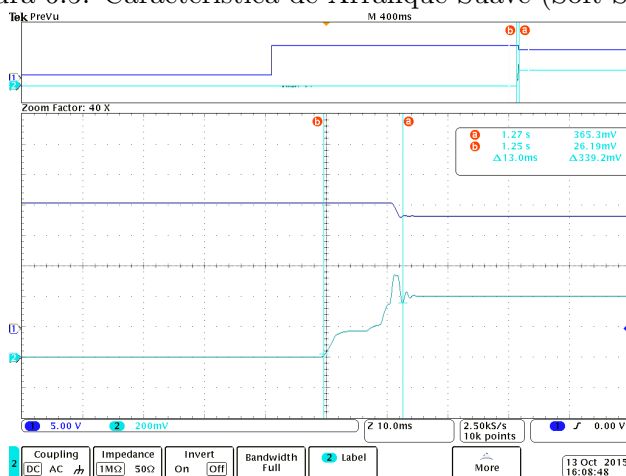


Figura 6.6: Característica de Arranque Suave Ampliado(Soft Start)



6.1.2 MPPT.

El punto de máxima potencia se estableció en aproximadamente 18V de acuerdo los parámetros técnicos de los paneles solares, como se analizó en el capítulo 4.

En la figura (6.7) se aprecia que efectivamente el controlador reduce la tensión para aumentar la corriente y así conseguir la mayor potencia del panel. Este proceso tarda apenas 1,89ms.

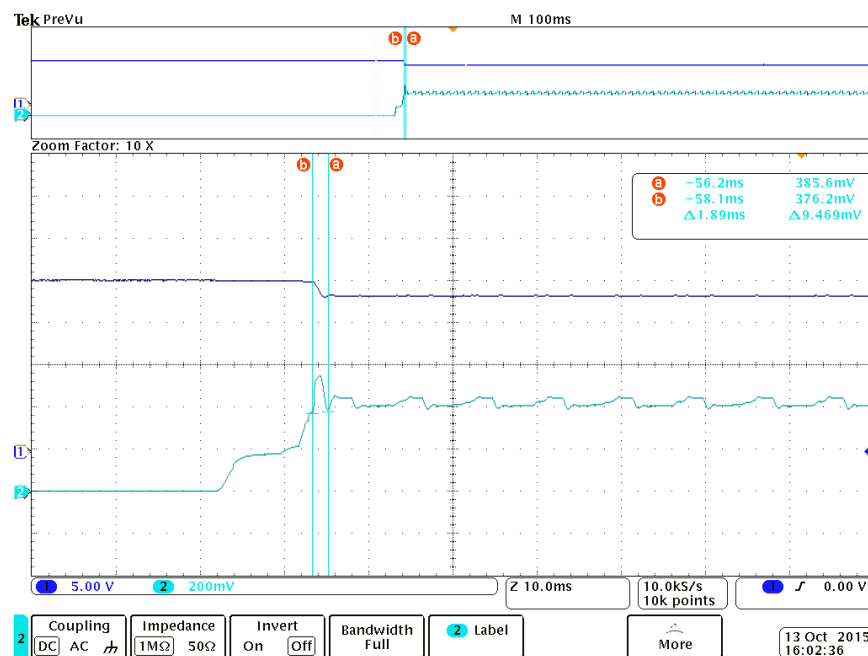


Figura 6.7: Búsqueda del Punto de Máxima Potencia

6.1.3 Activación de los Transistores.

En la figura (6.8) y (6.9) se puede ver la tensión de compuerta en los transistores Q1 y Q2 respectivamente.

Como se puede apreciar existe un tiempo muerto entre los dos que impide que los transistores estén cerrados al mismo tiempo y provoque un corto circuito de rama.

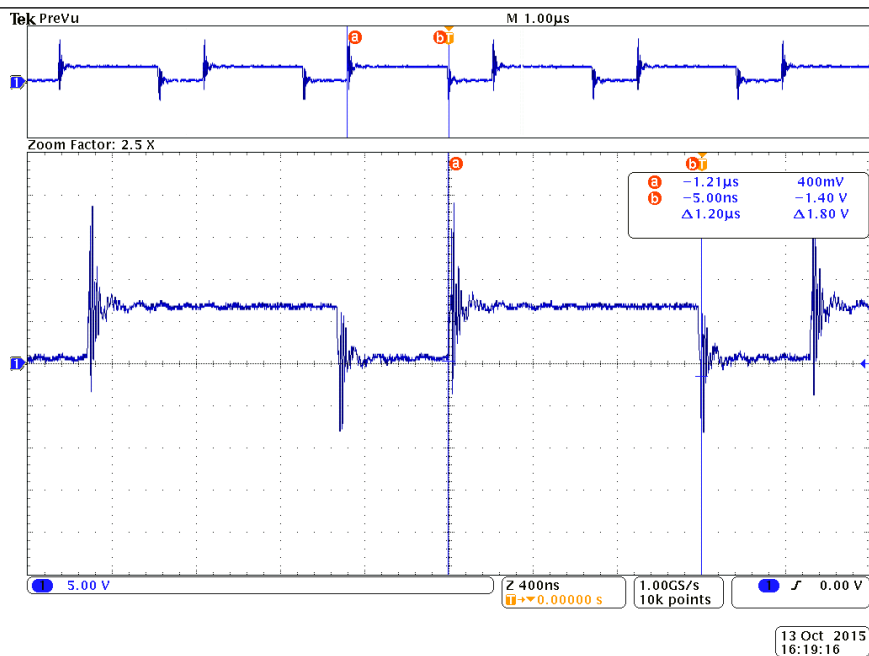


Figura 6.8: Tensión de Compuerta del Transistor Q1 (HD)

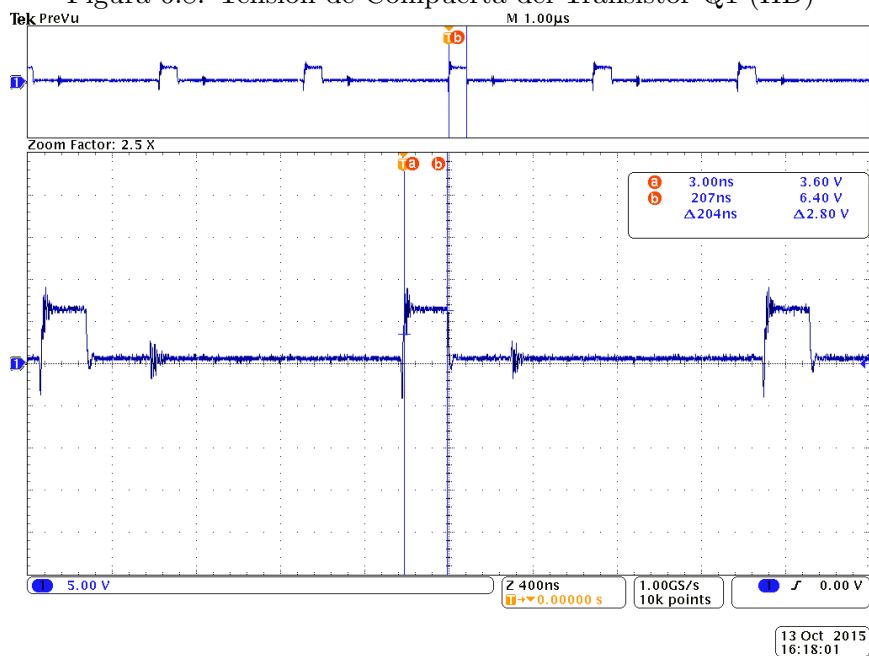


Figura 6.9: Tensión de Compuerta del Transistor Q2 (LD)



6.1.4 Conexión y Desconexión de la Batería.

EL controlador detecta la presencia de la batería y empieza el proceso de carga. Ver figura (6.10). En la primera parte de la gráfica se está ejecutando el bucle de detección de batería. Cuando se conecta la misma, el controlador inicia el proceso de carga (luego de aproximadamente 1s) según se aprecia en la figura (6.11) que muestra la corriente en la carga (tensión en la resistencia shunt) y la tensión de salida.

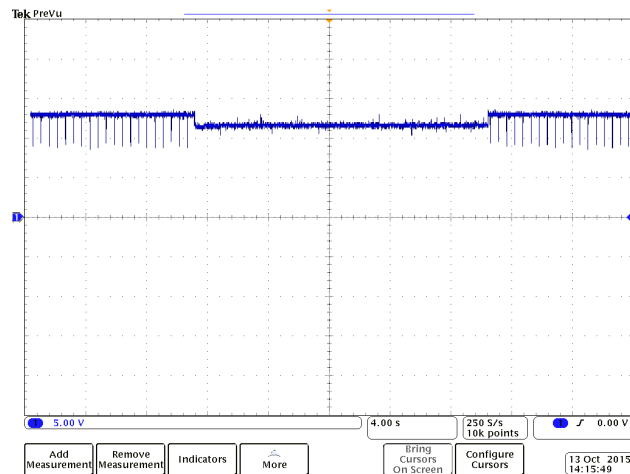


Figura 6.10: Tensión de Salida. Conexión y Desconexión de la Batería.

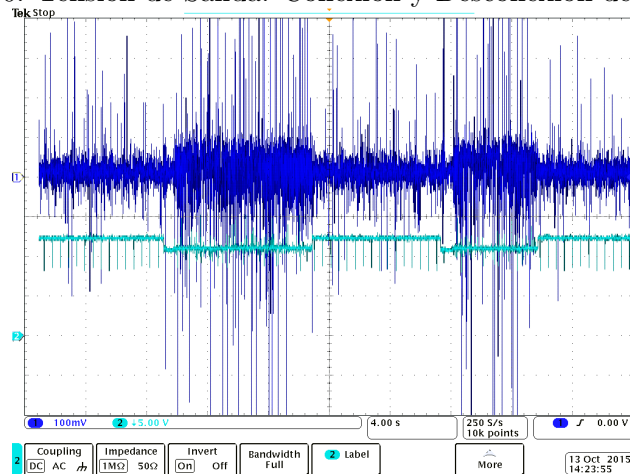


Figura 6.11: Tensión de Salida y Corriente de Salida (Vshunt)



6.1.5 Temperatura.

Según los valores calculados la temperatura a la que debe desconectarse el circuito para proteger la batería es $45(^{\circ}C)$. En la práctica la temperatura aproximada de desconexión fue de $42(^{\circ}C)$. La figura (6.12) y (6.13) muestra el circuito funcionando a una temperatura de $28(^{\circ}C)$ y desconectado a $45(^{\circ}C)$ respectivamente.

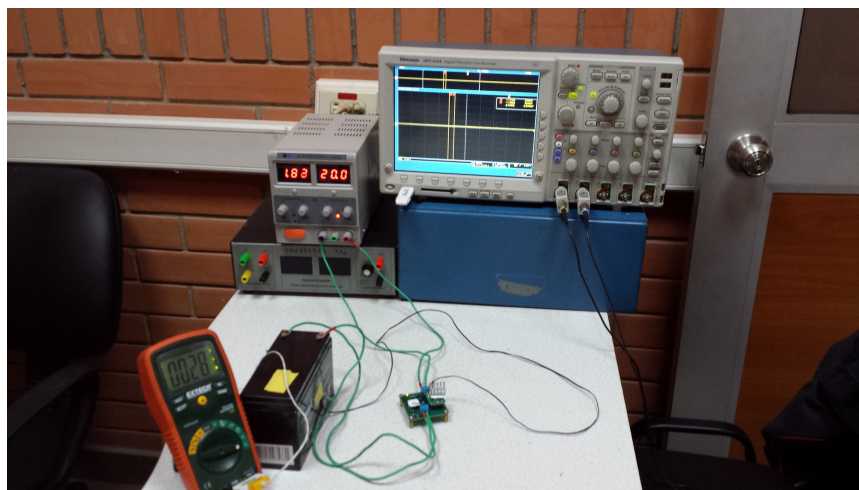


Figura 6.12: Controlador funcionando a 28 grados.

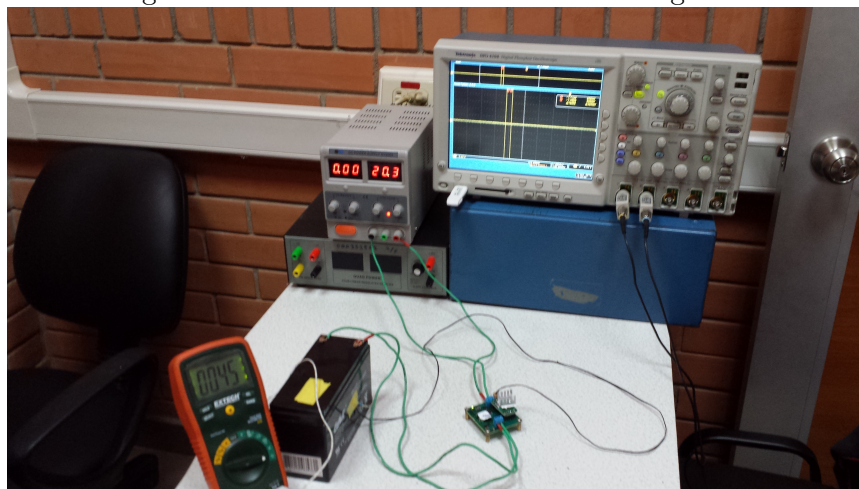


Figura 6.13: Controlador desconectado a 45 grados.



6.1.6 Rendimiento a Diferentes Potencias.

La siguiente tabla (6.1) muestra los distintos valores de potencia de entrada, salida y rendimiento conseguidos por el controlador. Para esto se ha utilizado una fuente de tensión que permite limitar la corriente de entrega.

P_{in}	V_{in}	I_{in}	V_{out}	I_{out}	P_{out}	$Rend$
76,86	18,3	4,20	11,69	5,5	64,30	83,65
57,60	18,00	3,20	11,70	4,42	51,71	89,78
51,84	18,00	2,88	11,65	3,88	45,20	87,20
46,08	18,00	2,56	11,70	3,41	39,84	86,46
43,20	18,00	2,40	11,70	3,20	37,46	86,72
36,36	18,00	2,02	11,55	2,80	32,31	88,85
28,96	18,10	1,60	11,61	2,20	25,54	88,20
23,17	18,10	1,28	11,57	1,80	20,83	89,89
18,00	18,00	1,00	11,47	1,41	16,21	90,04
17,38	18,10	0,96	11,50	1,37	15,76	90,67
11,58	18,10	0,64	11,42	0,90	10,28	88,73
5,79	18,10	0,32	11,37	0,40	4,59	79,31
2,90	18,10	0,16	11,35	0,19	2,12	73,29

Tabla 6.1: Rendimiento del Controlador de Carga a Diferentes Valores de Potencia de Entrada.

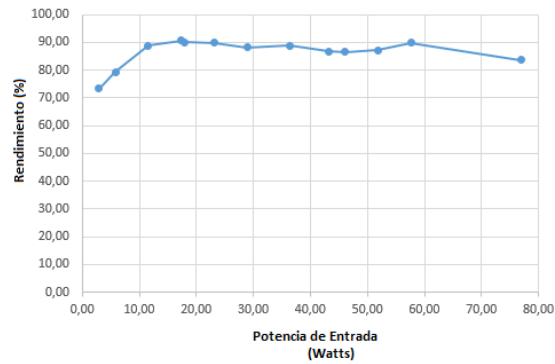


Figura 6.14: Rendimiento del Controlador de Carga a Diferentes Valores de Potencia de Entrada.

6.2 Sistema de Transmisión.

Los resultados mostrados a continuación se obtuvieron usando la tensión de la batería y remplazando el panel solar por una fuente de 21 voltios que es la máxima tensión que puede entregar el panel. La figura (6.15) muestra un prototipo soldado completamente con componentes tipo DIP.

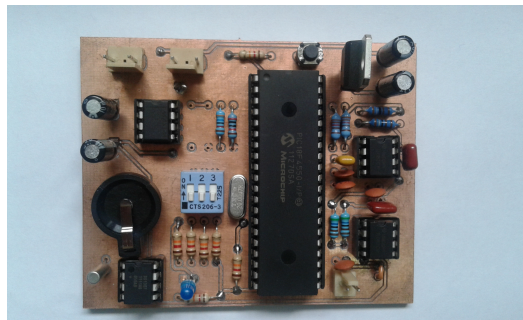


Figura 6.15: Prototipo del Sistema de Transmisión.

6.2.1 Generación de Trama.

En la figura (6.16) se puede verificar la frecuencia de modulación en una trama.

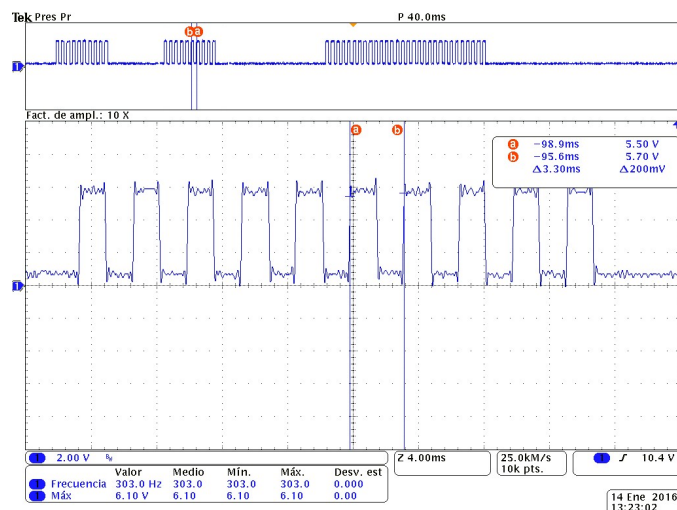


Figura 6.16: Tren de Pulsos Cuadrados.



En la figura (6.17) se observa la modulación de un bit que cuenta con 10 ciclos cuadrados a la frecuencia de modulación.

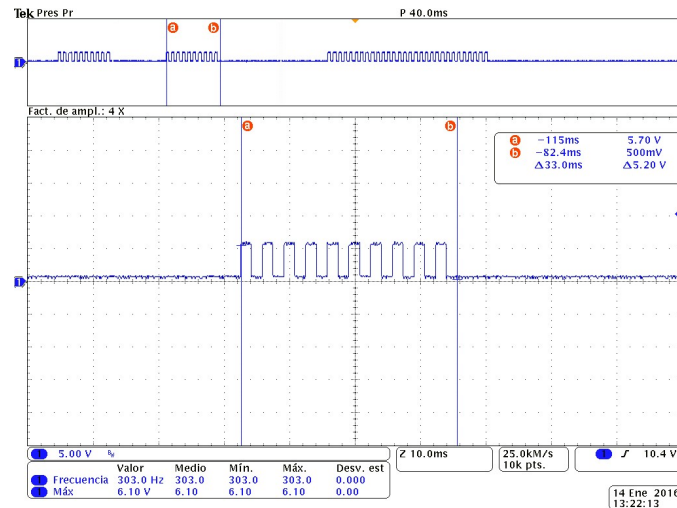


Figura 6.17: Tiempo que Dura 1 Bit.

En la figura (6.18) vemos que la trama generada (midiendo la máxima tensión) cuenta con los bits de sincronización (2 tiempos de bit en alto y la mitad de tiempo de bit en bajo).

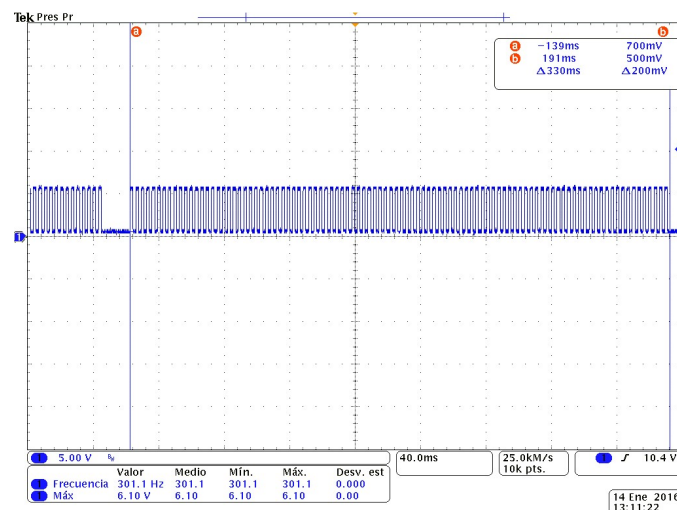


Figura 6.18: Trama Generada Cuando se Mide la Máxima Tensión.



En las siguientes figuras se muestran: los tiempos de los bits de sincronización de 2 tiempos de bit en alto (6.19) y medio tiempo de bit en bajo (6.20)

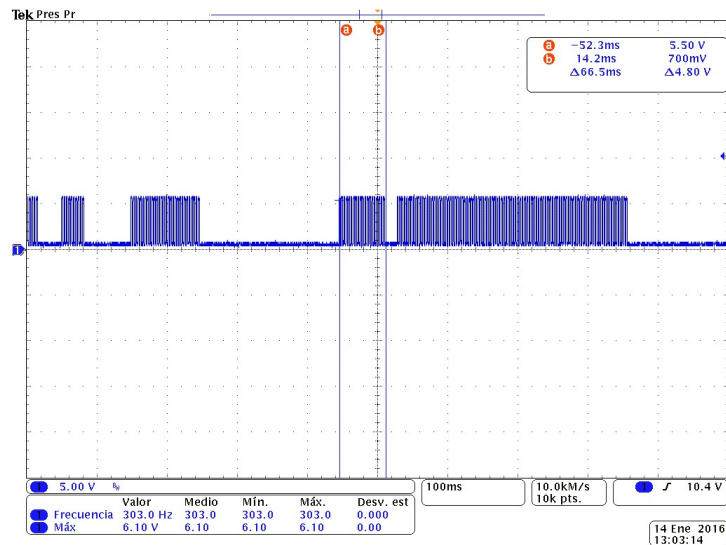


Figura 6.19: Tiempo de Bits de Sincronización (2 bits en alto).

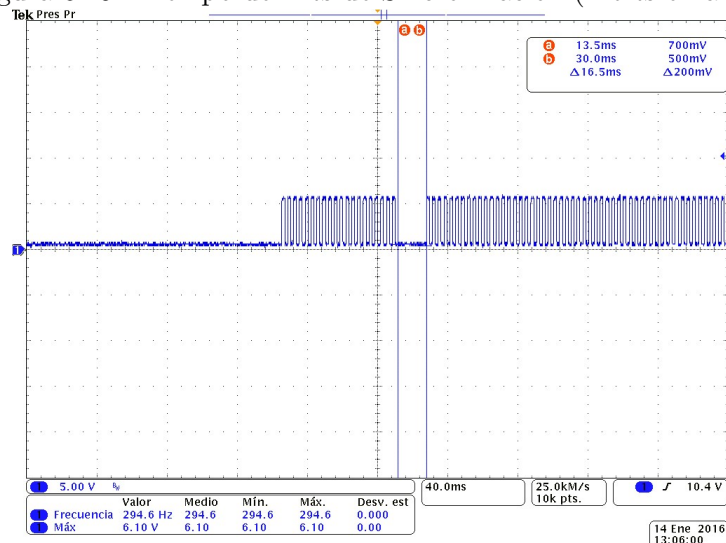


Figura 6.20: Tiempo de Bits de Sincronización (1/2 Tiempo de Bit en Bajo).



En la figura (6.21) se muestra el tiempo de los 10 bits de la muestra tomada. Por último podemos ver en la figura (6.22) el tiempo de una muestra completa incluido sus bits de sincronización.

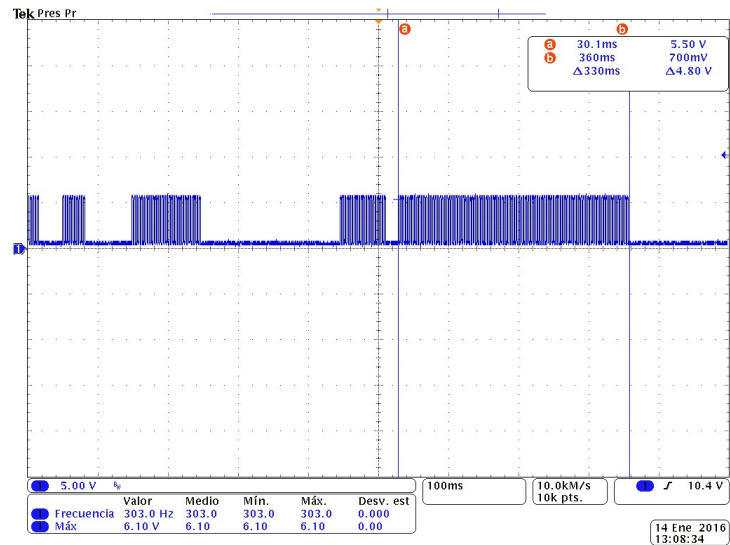


Figura 6.21: Tiempo de una Muestra Tomada a la Máxima Tensión.

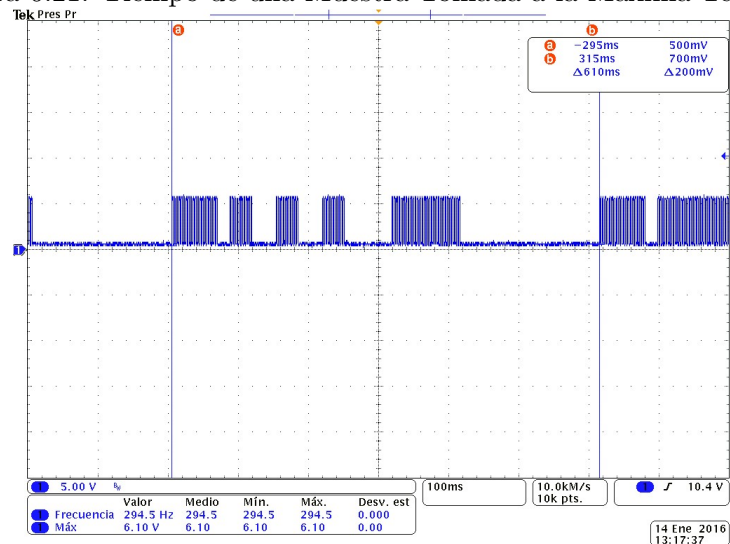


Figura 6.22: Tiempo de una Muestra Completa Incluido la Sincronización.



6.2.2 Acondicionamiento de la Señal.

Una onda senoidal fue generada a través de un filtro pasa bajas con frecuencia de corte de 300 Hz. En la figura (6.23) podemos observar la onda cuadrada y su correspondiente senoidal después del filtro. En la figura (6.24), se muestra una imagen más extendida.

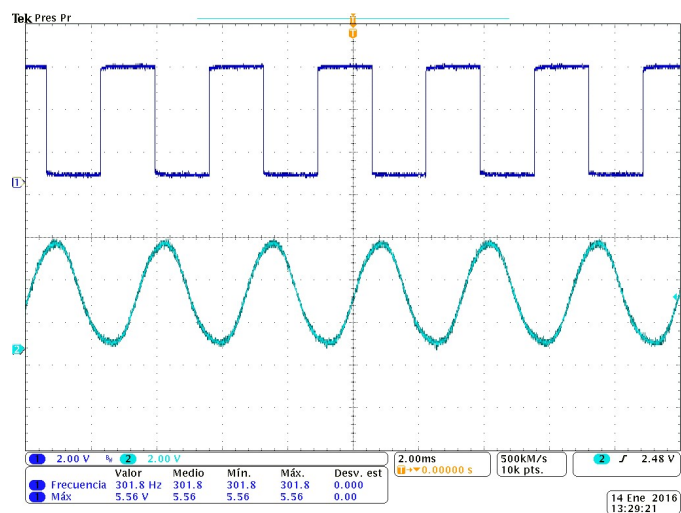


Figura 6.23: Onda Senoidal a Partir de una Cuadrada, mediante un Filtro Pasa Bajas.

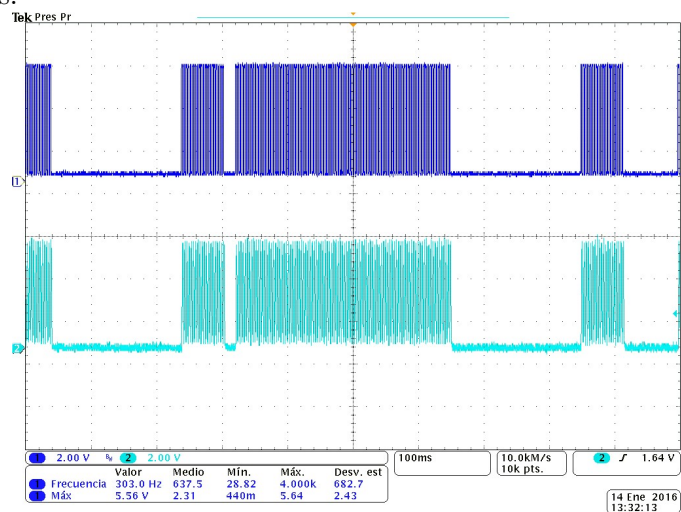


Figura 6.24: Trama Antes y Despues del Filtro Pasa Bajas.



Para la transmisión es necesario centrar la onda, es decir, eliminar las componentes de corriente continua. En las figuras (6.25) y (6.26) se muestra la onda centrada en el eje luego del filtro pasa altas.

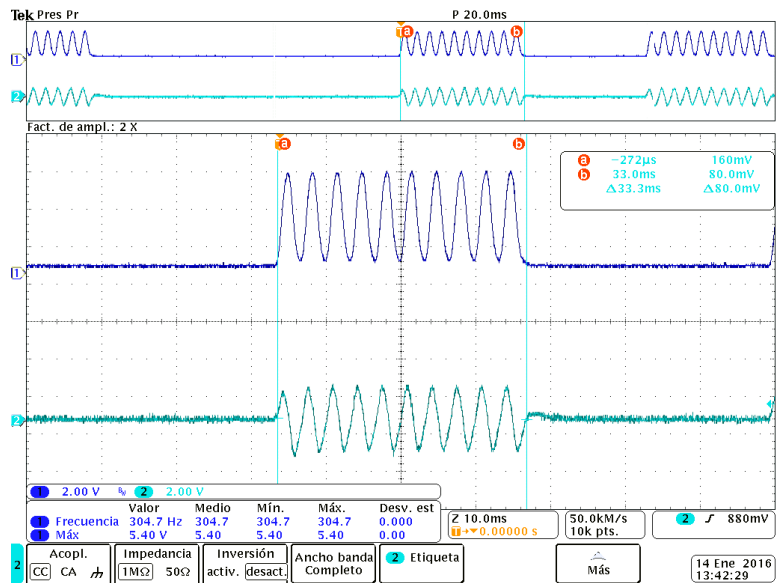


Figura 6.25: Onda Senoidal Centrada en el Eje.

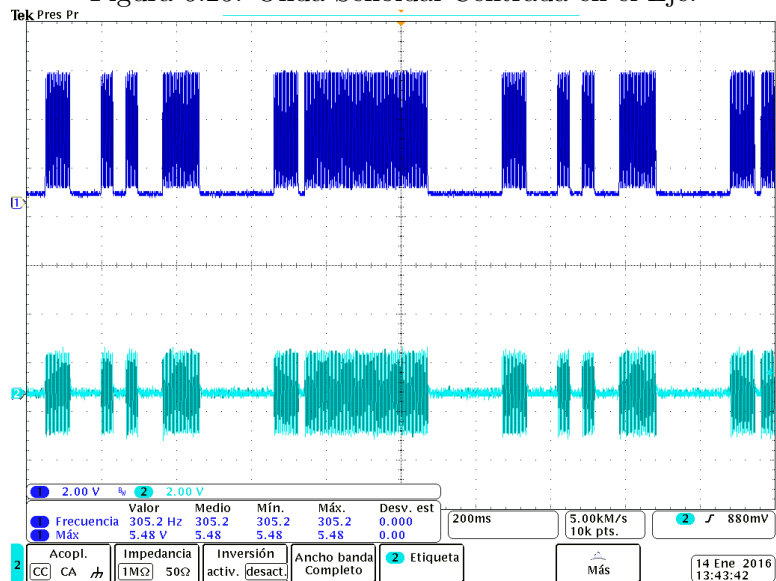


Figura 6.26: Trama Antes y Después del Filtro Pasa Altas.

6.3 Demodulación .

En la figura (6.27) se puede observar la onda senoidal que es entregada para su demodulación y su salida luego del detector de envolvente. La señal ya recuperada totalmente (luego de pasar por un filtro y un comparador) se observa en la figura (6.28).

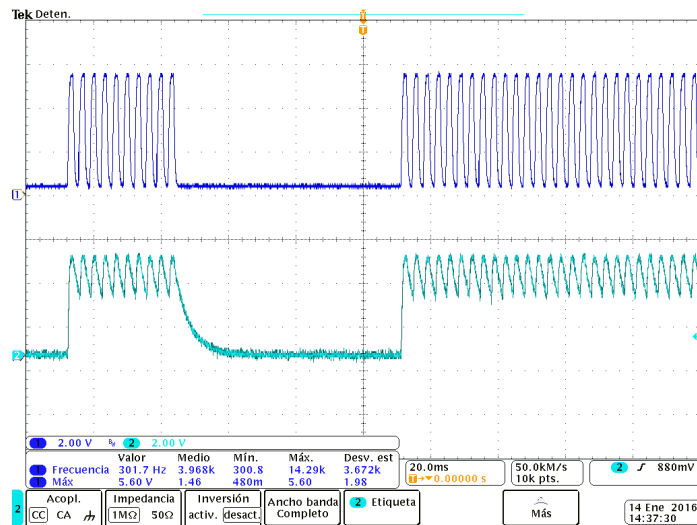


Figura 6.27: Trama Antes y Despues del Detector de Envolvente.

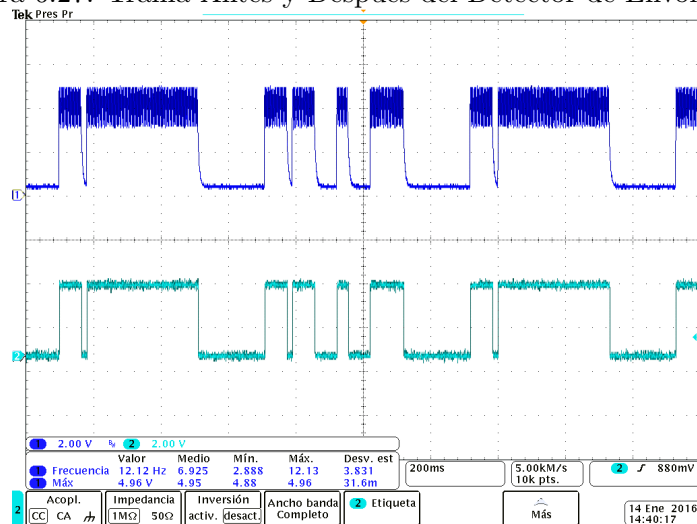


Figura 6.28: Trama Antes y Despues de ser Recuperada.

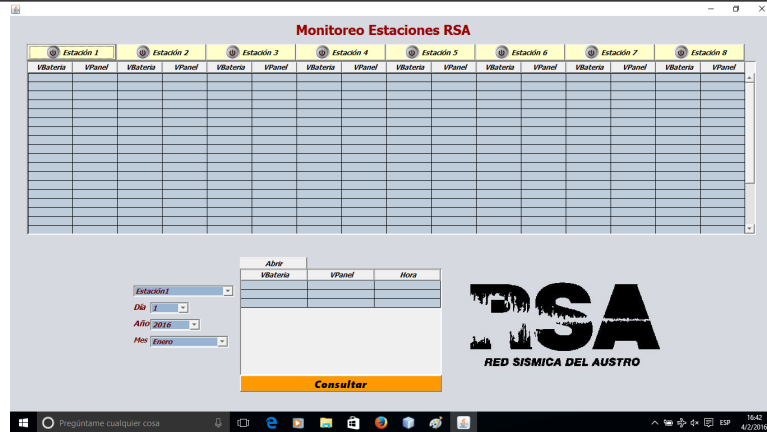


Figura 6.29: Interfaz Gráfica del Software de Monitoreo.

Finalmente la señal recuperada es decodificada y enviada a la computadora mediante conexión USB para su visualización en una interfaz gráfica. En la figura (6.29) se muestra una captura de pantalla de la interfaz gráfica en JAVA Netbeans.

Estos datos son almacenados en una base de datos MySQL, y pueden ser recuperados por fecha y estación, como se muestra en la figura (6.30):

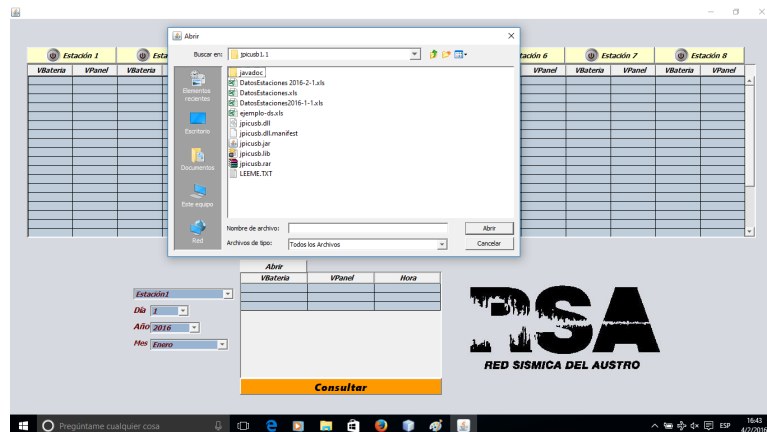


Figura 6.30: Interfaz Gráfica. Consulta en la Base de Datos por Estación y Fecha.



Capítulo 7

Conclusiones y Recomendaciones.

Conclusiones.

En este proyecto se ha desarrollado un controlador de carga de baterías que ha permitido mejorar el sistema de alimentación de las estaciones sísmicas de la RSA. Se ha conseguido un rendimiento superior al 90%, algo que desde el punto de vista económico es muy viable pues aprovecha de mejor manera la energía provista por el sol y alarga la vida útil de las baterías.

Se ha implementado un sistema de monitoreo de los niveles de tensión del panel solar y la batería que alimentan las estaciones. Esta información ha sido transmitida por el canal analógico de transmisión de información sísmica hasta las oficinas de la RSA.

Posteriormente la información recibida en las oficinas de la RSA ha sido visualizada mediante el Software JAVA Netbeans y almacenada en una base de datos MySQL.



Recomendaciones.

Se presentan las siguientes recomendaciones:

- Realizar un análisis térmico del circuito de potencia y de control del controlador de carga de baterías, dado que la temperatura es un factor importante en el normal funcionamiento de los dispositivos electrónicos.
- El sistema de alimentación de las estaciones actuales de la RSA contempla una carga tal que es suficiente con el dimensionamiento establecido en la presente tesis. Sin embargo, el crecimiento esperado para la red de sismología contempla el uso de estaciones digitales en donde el consumo es mayor, puesto que el tipo de enlace de comunicaciones es satelital. Bajo estas condiciones es recomendable para futuros proyectos aumentar la capacidad de corriente del controlador de carga y además establecer un canal de comunicación digital que permita la transmisión de la condición de alimentación de las estaciones.



Bibliografía

- [1] Grupo NAP, *Energía Solar Fotovoltaica*. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, 2002.
- [2] Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) e IALE Tecnología, S.L., “Tendencias Tecnológicas Mundiales en el Desarrollo y Aplicación de Paneles Solares Fotovoltaicos,” Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) e IALE Tecnología, S.L., Tech. Rep., 2009.
- [3] Fondear, “Todo sobre Controladores de Carga,” 2011. [En línea]. Disponible: <http://goo.gl/tdfptW>
- [4] Instituto Tecnológico de Energías Renovables (ITER), S.A. , “Energía Solar Fotovoltaica,” Instituto Tecnológico de Energías Renovables (ITER), S.A., Tech. Rep., 2007.
- [5] M. Boxwell, *Solar Electricity Handbook A simple, practical guide to solar energy : how to design and install photovoltaic solar electric systems*, 2012.
- [6] Carrillo Coll, Enric, “Instalación Solar Fotovoltaica Conectada a la Red,” 2009.
- [7] Servelec SRL, *Manual de Operación y Mantenimiento Batería Alcalina con Placas de Bolsa*. [En línea]. Disponible: <http://docplayer.es/12630322-Manual-de-operacion-y-mantenimiento.html>
- [8] Proyecto CONAMA / GTZ ”Gestión de Residuos Peligrosos en Chile, *Guía Técnica sobre Manejo de Baterías de Plomo Ácido Usadas*, 1ra ed. ByB, 2007.



- [9] P. Lagos, “Conceptos Básicos de Carga de Baterías y Algoritmo de Carga,” SIDEI Ingenieros LTDA, Tech. Rep., 2012. [En línea]. Disponible: <http://www.sidei.cl/pdfs/Carga%20de%20Baterias.pdf>
- [10] Rolls, *Carga Recomendada, Ecualización y Procedimientos para Mantenimiento Preventivo de las Baterías Rolls*. [En línea]. Disponible: <http://goo.gl/kc6Onx>
- [11] Fondear, “Cargadores de Pulsos; Segunda Juventud para sus Baterías,” 2011. [En línea]. Disponible: <http://goo.gl/Yk0Zrz>
- [12] P. V. González y J. C. Matute, “Implementación de un Sistema Inteligente de Multiplexación para las Estaciones de la Red Sísmica del Austro,” 2009. [En línea]. Disponible: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/6637>
- [13] M. E. Loja y G. A. Matute, “Implementación de un Calibrador para Estaciones Sísmicas Analógicas y Digitales,” 2011. [En línea]. Disponible: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/680>
- [14] J. Campoverde y B. Moscoso, “Diseño y Construcción de Discriminadores Digitales para la Recuperación de Señales desde las Estaciones de Sismología de la Red Sísmica del Austro ,” 2009. [En línea]. Disponible: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/6636>
- [15] Texas Instruments, *Synchronous Switch-Mode Battery Charge Controller for Solar Power With Maximum Power Point Tracking*, 06 2010. [En línea]. Disponible: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq24650.pdf>
- [16] C&D Technologies, “Charging Valve Regulated Lead Acid Batteries,” C&D Technologies, Tech. Rep., 2012. [En línea]. Disponible: http://www.cdtechno.com/pdf/ref/41_2128_0212.pdf
- [17] Victron Energy, “Baterías Gel y AGM,” Victron Energy, Tech. Rep., 2012.
- [18] Siemens, *Solar module SM55*, 1998. [En línea]. Disponible: <http://www.solarquest.com/microsolar/suppliers/siemens/sm55.pdf>
- [19] R. Faranda y S. Leva, “Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems,” *wseas.us*, 2008. [En línea]. Disponible: <http://www.wseas.us/e-library/transactions/power/2008/27-545.pdf>



- [20] D. Freeman, "Introduction to Photovoltaic Systems Maximum Power Point Tracking," Texas Instruments, Tech. Rep., 2010.
- [21] J. C. Camino y L. M. L. na, "Diseño y Construcción de una Impresora Braille ," 2011. [En línea]. Disponible: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4090>
- [22] G. I. Oñativia, "Clase Java para Comunicación USB con PICs usando API de Microchip," 2010. [En línea]. Disponible: <http://www.edutecne.utn.edu.ar/microcontrol.congr/comunicaciones/JPICUS.PDF>
- [23] Microchip, *28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology*, 2011. [En línea]. Disponible: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>
- [24] geronimox, "Creando una Aplicación JAVA con JPI-CUSB," 01 2009. [En línea]. Disponible: [http://www.ucontrol.com.ar/forosmf/tutoriales-guias-y-cursos-en-ucontrol/tutorial-java-pic-usb-\(primeros-pasos\)](http://www.ucontrol.com.ar/forosmf/tutoriales-guias-y-cursos-en-ucontrol/tutorial-java-pic-usb-(primeros-pasos))
- [25] Y. B. Quek, *QFN Layout Guidelines*, 2006. [En línea]. Disponible: <http://www.ti.com/lit/an/sloa122/sloa122.pdf>
- [26] Quan Li , Lu Li , Richard Rowan, and Mahesh Shah, *PCB Layout Guidelines for PQFN/QFN Style Packages Requiring Thermal Vias for Heat Dissipation*, 2010. [En línea]. Disponible: http://cache.freescale.com/files/rf_if/doc/app_note/AN3778.pdf
- [27] K. Gutierrez y G. Coley, *PCB Design Guidelines for 0.4mm Package-On-Package (PoP) Packages*, 2010. [En línea]. Disponible: <http://www.ti.com/lit/an/spraav1b/spraav1b.pdf>



Anexo I

Esquema del Circuito de Control del Controlador de Carga.

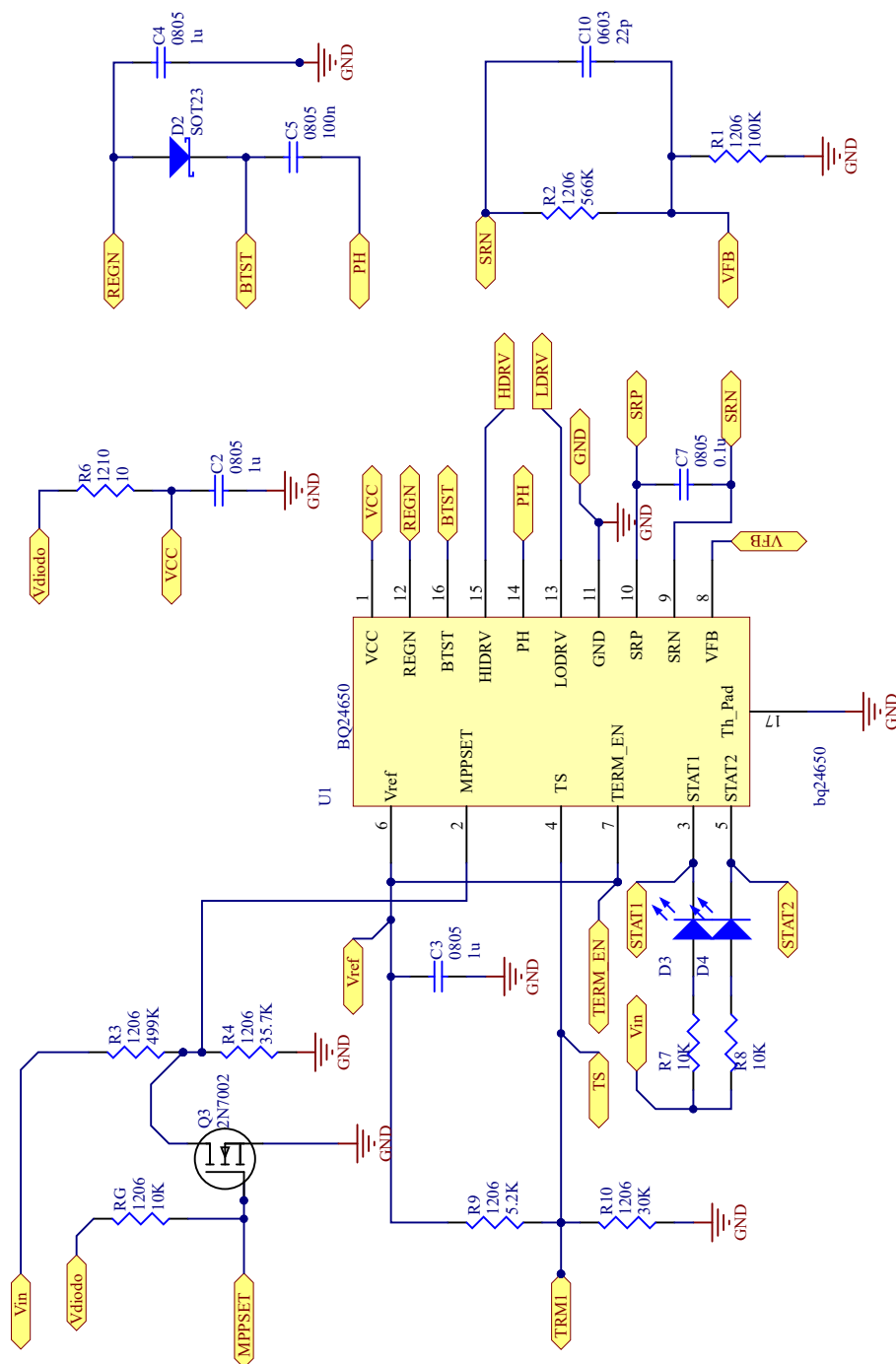


Figura I.1: Esquema del Circuito de Control del Controlador.



Anexo II

Esquema del Circuito de Potencia del Controlador de Carga.

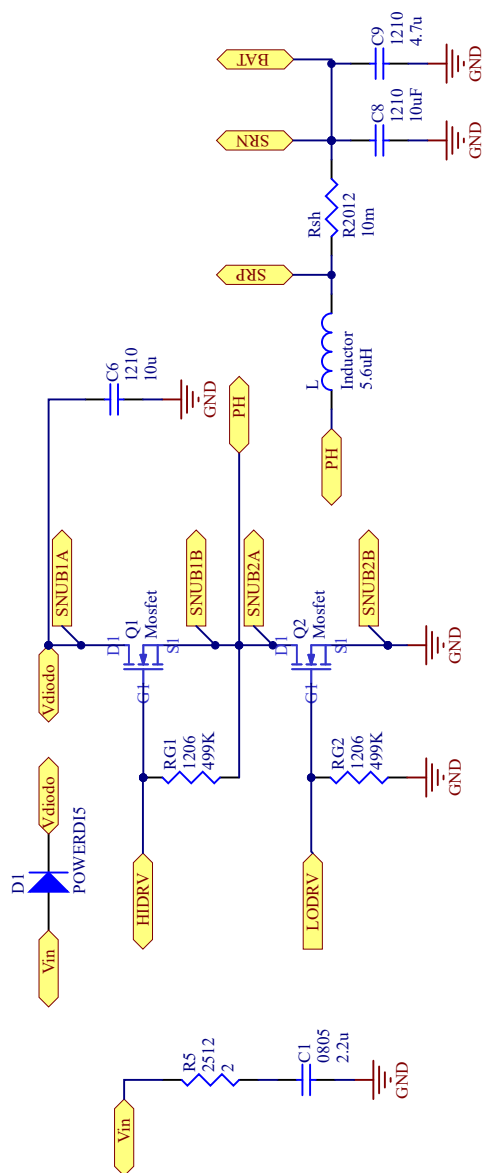


Figura II.1: Esquema del Circuito de Potencia del Controlador.



Anexo III

Esquema Completo del Circuito Transmisor.

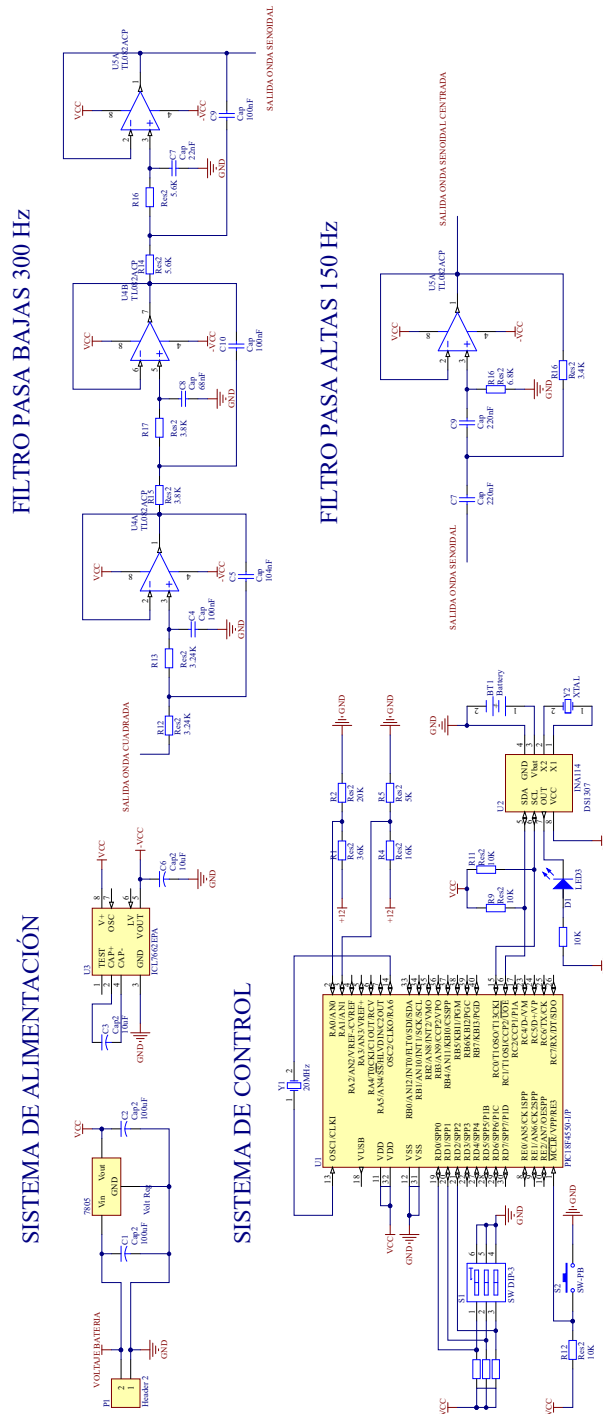


Figura III.1: Esquema Completo del Transmisor .



Anexo IV

Esquema Completo del Circuito Receptor.

