



Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Electrónica

Diseño de un sistema de inversión y arbitraje inteligente para
inyectar energía a la red proveniente de energías alternativas

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de
Ingeniero Electrónico

Autores:

Andrés Bernardo Izquierdo Vintimilla.
Mateo Fernando Cobos Córdova.

Director:

Francisco Eugenio Vásquez Calero.

Cuenca, Ecuador
2013

DEDICATORIA

Este trabajo de graduación va dedicado primero a DIOS por guiarme absolutamente en todo paso que doy, y luego a mis padres por ser mis pilares en todo momento.

Mateo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios por estar presente en mi vida y darme la sabiduría necesaria para concluir este trabajo de graduación. Y gracias a mis padres por todo lo que aportaron para hacer realidad este sueño.

Mateo.

DEDICATORIA

Este trabajo de graduación se lo dedico en primer lugar a Dios, por haber guiado mi camino y darme la fuerza para nunca desmayar y seguir adelante, para comprender que un tropiezo no es una caída y que con su ayuda todos los sueños se pueden lograr.

También se lo dedico a mi madre, la mujer que estuvo conmigo siempre dándome su apoyo y su amor, porque sin ella yo no estaría en este lugar ahora.

Andrés.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por darme la sabiduría necesaria para culminar este trabajo de tesis, a mi madre, que fue la mujer que lucho sola por mí , dándome su amor, su fuerza, y su apoyo incondicional, siempre guiándome por el buen camino.

Andrés.

[Handwritten signature]
2/12/13

RESUMEN

Diseño de un sistema de inversión y arbitraje inteligente para inyectar energía a la red proveniente de energías alternativas

La demanda energética proviene casi en su totalidad de las energías fósiles cuyo consumo, por combustión son causantes directos de problemas ambientales graves. Debido a esto es necesario implementar un sistema de energías limpias con un inversor inteligente y un sistema de arbitraje capaz de controlar de manera eficiente la energía entregada por los módulos fotovoltaicos y generadores eólicos, satisfaciendo así todas las necesidades del hombre en cuanto a energía se refiere. Se diseñó e implementó el hardware y firmware del sistema de inversión y arbitraje inteligente. Mediante la recopilación de información en diversos medios, el análisis detallado de circuitos y la construcción de un prototipo, se inyectó energía a la red local, demostrando así la funcionalidad, beneficios y versatilidad del sistema.

Palabras Claves: Micro-controladores, Sincronización, Inyección, Ensamblador, 18F4550, ACS714, Amplificador, Internet.

[Handwritten signature]
Ing. Francisco Eugenio Vásquez
UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Director de Escuela
ESCUELA
Ingeniería Electrónica

[Handwritten signature]
Ing. Francisco Eugenio Vásquez
Director de Tesis

[Handwritten signature]
Mateo Fernando Cobos Córdova

[Handwritten signature]
Andrés Bernardo Izquierdo Vintimilla

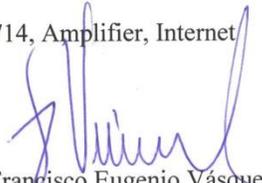
ABSTRACT

DESIGN OF A SMART INVERTER AND ARBITRATION SYSTEM TO BE FED INTO THE NETWORK POWER FROM ALTERNATIVE ENERGY

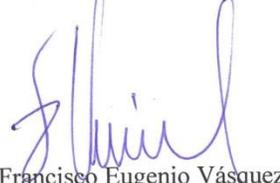
Energy demand comes almost entirely from fossil fuels whose consumption, by combustion, is the direct cause of serious environmental problems. Because of this, it is necessary to implement a clean energy system with a smart inverter and an arbitration system capable of efficiently controlling the energy delivered by the Photovoltaic modules and wind generators, in order to satisfy all men's needs for energy.

A hardware and firmware smart inverter and arbitration system was designed and implemented. A collection of information from various sources, the detailed analysis of circuits and the construction of a prototype were made. Energy was fed to the local network, demonstrating the functionality, benefits and versatility of the system.

Key Words: Micro-controllers, Synchronization, Injection, Assembler, 18F4550, ACS714, Amplifier, Internet



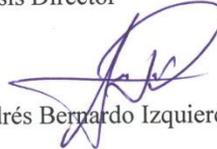
Ing. Francisco Eugenio Vásquez
School Director



Ing. Francisco Eugenio Vásquez
Thesis Director



Mateo Fernando Cobos Córdova



Andrés Bernardo Izquierdo Vintimilla




Translated by
Lic. Lourdes Crespo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE TABLAS	xix
ÍNDICE DE ECUACIONES	xx
INTRODUCCION	1

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN Y REFERENTE TEÓRICO RELACIONADO CON EL PROYECTO

1.1	Energía Renovable.....	3
1.1.1	Energía Solar.....	4
1.1.2	Energía Eólica.....	4
1.1.3	Energía Geotérmica	5
1.1.4	Energía Hidráulica	6
1.1.5	Energía Mareomotriz	6
1.1.6	Energía de la Biomasa	7
1.2	Energía Solar.....	8
1.2.1	Energía Solar Térmica	10
1.2.1.1	Colector de Baja Temperatura.....	11
1.2.1.2	Colector de Media Temperatura.....	12
1.2.1.3	Colector de Alta Temperatura.....	13
1.2.2	Energía Solar Pasiva	13
1.2.3	Energía Solar Fotovoltaico	14
1.2.3.1	Sistemas Aislados.....	14

1.2.3.2	Sistemas de Conexión a Red.....	15
1.2.4	Efecto Fotovoltaico.....	15
1.2.4.1	Materiales Cristalinos.....	15
1.2.4.2	Explicación Eléctrica.....	15
1.2.5	Célula Fotovoltaica.....	16
1.2.5.1	Células de silicio amorfo.....	16
1.2.5.2	Célula de silicio mono-cristalino.....	17
1.2.5.3	Célula de silicio poli-cristalino.....	18
1.2.5.4	Célula Tándem.....	18
1.2.5.5	Célula multi-unión.....	19
1.2.6	Paneles Solares.....	20
1.2.6.1	Descripción de un Panel Solar.....	20
1.2.6.2	Curva Característica de un Panel Solar.....	21
1.2.6.3	Punto de Máxima Potencia.....	22
1.3	Energía Eólica.....	23
1.3.1	Sistemas de Bombeo.....	24
1.3.2	Sistemas Eléctricos.....	24
1.3.3	Teoría de la Generación del Viento.....	25
1.3.4	Velocidad y Dirección del Viento.....	26
1.3.5	Gradiente de Presión.....	26
1.3.6	Fuerza de Coriolis.....	27
1.3.7	Aerogeneradores.....	27
1.3.7.1	Aerogeneradores Lentos.....	28
1.3.7.2	Aerogeneradores Rápidos.....	29
1.3.7.3	Generadores eólicos de eje vertical.....	30
1.4	Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.....	31
1.4.7	Características del sistema fotovoltaico con conexión a red.....	31
1.4.7.1	Sistema MPPT.....	32
1.4.7.2	Inversor DC/AC.....	32
1.4.7.3	Sistemas de Medición de Energía.....	33
1.5	Sistemas Eólicos para el hogar y conectados a la Red.....	33

1.5.1	Características de un sistema eólico conectado al hogar y a la red	34
1.5.1.1	Equipo de regulación.....	34
1.5.1.2	Banco de Batería.....	35
1.5.1.3	Inversor.....	35
1.6	Sistema Híbrido Eólico-Solar.....	36
1.6.1	El Potencial Energético de un Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico....	36
1.6.2	Método Series Sintéticas.....	37
1.6.3	Dimensionamiento	37
1.7	Microcontrolador.....	39
1.7.1	Características del PIC 18F4550.....	40
1.8	Herramientas de software.....	42
1.8.1	Herramientas de Hardware	43
1.8.2	Interrupciones	44
1.8.2.1	Interrupciones por temporización.....	44
1.8.2.2	Interrupciones por periféricos.....	44
1.8.3	Puertos I/O	45
1.8.4	Convertor Analógico/Digital	45
1.8.5	Pulse Width Modulation (PWM)	46
1.8.6	Método de cruce por cero	46
1.9	Amplificador.....	47
1.9.1	Transistor	47
1.9.1.1	Transistor de Unión Bipolar.....	47
1.9.1.2	Transistor de Efecto de Campo.....	48
1.9.2	Transistores y Electrónica de Potencia	49
1.9.3	Amplificador de potencia clase b.....	49
1.9.4	Amplificador Push-Pull	50

CAPITULO 2: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE Y SOFTWARE DE CONTROL BASADO EN UN PIC 18F452

2.1	Software.....	51
2.1.1	Diagrama de flujo del software del inversor.....	52

2.1.2	Algoritmo del sistema de inversión	54
2.2	Hardware..	54
2.2.1	Herramientas para diseño de hardware	55
2.2.1.1	Herramientas CAD.....	55
2.2.1.2	Altium Designer.....	56
2.2.2	Hardware de sincronización con la red.....	56
2.2.2.1	Diodo 1N704.....	56
2.2.2.2	Amplificador Operacional LM358.....	57
2.2.3	Hardware para el microcontrolador	59
2.2.3.1	Microcontrolador 18F4550.....	59
2.2.3.2	Fuente de Alimentación.....	59
2.2.3.2.1	Regulador de voltaje L7805CV.....	59
2.2.3.3	Oscilador.....	60
2.2.3.4	Capacitor.....	61
2.2.4	Hardware para la onda seno.....	62
2.2.4.1	Mosfet IRF540.....	62
2.2.4.2	Transistor 2N3904.....	64
2.2.4.3	Condensador electrolítico.....	65
2.2.5	Diseño del hardware de sincronización con la red.....	65
2.2.5.1	Etapa A.....	66
2.2.5.2	Etapa B.....	67
2.2.5.3	Esquema eléctrico del hardware de sincronización con la red.....	68
2.2.6	Diseño del hardware para el micro-controlador.....	69
2.2.7	Diseño del hardware para la generación de la onda seno	70
2.2.7.1	Puente H.....	70
2.2.7.2	Diseño del filtro.....	72
2.2.7.3	Esquema final.....	73

CAPITULO 3: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE DE POTENCIA DEL SISTEMA

3.1	Identificación de los Sistemas de potencia.....	75
-----	---	----

3.2	Sistema de potencia A.....	75
3.2.1	Sistema de control A.....	76
3.3	Sistema de potencia B.	77
3.3.1	Convertidor Boost.....	77
3.3.2	Calculo de Inductancia y Condensador.....	79
3.3.3	Sistema de control B.	80
3.4	Elementos de Hardware del Sistema de Potencia A.....	80
3.4.1	Transistor de potencia MOSFET	81
3.4.1.1	Funcionamiento del MOSFET tipo N.....	81
3.4.1.2	Modos de operación.....	82
3.4.1.3	Características Eléctricas Del IRF620.....	83
3.4.2	Transformador.....	83
3.4.2.1	Funcionamiento.....	84
3.4.2.2	Relación de Transformación.....	84
3.4.3	Cable AWG.....	86
3.4.4	Amplificadores Operacionales.....	87
3.4.4.1	Comportamiento en Corriente Continua.....	88
3.4.4.2	Comparador.....	89
3.4.4.3	Amplificador No Inversor.....	89
3.4.4.4	Sumador Inversor.....	90
3.4.4.5	Integrador Ideal.....	91
3.4.5	Disipadores	91
3.4.5.1	Propagación de Calor.....	92
3.4.5.2	Cálculo de un disipador.....	92
3.5	Elementos de Hardware del Sistema de Potencia B.....	94
3.5.1	Bobinas	94
3.5.1.1	Construcción de una Bobina.....	94
3.5.1.2	Funcionamiento de una Bobina.....	96
3.5.1.3	Energía Almacenada en una Bobina.....	97
3.5.2	Transistor de Potencia (TIP).....	97
3.5.3	Diodo de Potencia (1N5408).....	98

3.5.4	Relé.....	99
3.5.4.1	Estructura y Funcionamiento.....	100
3.5.4.2	Tipos de Relé.....	100
3.5.5	Potenciómetros.....	102
3.5.5.1	Construcción.....	102
3.6	Esquemas Eléctricos de Potencia Diseñados en Altium Designer 2008.....	103

CAPITULO 4: PROGRAMAR EL FIMWARE DEL SISTEMA

4.1	Fimware del inversor y arbitraje.....	107
-----	---------------------------------------	-----

CAPITULO 5: DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA TANTO EN GENERACIÓN INYECTADA A LA RED COMO EN CONSUMO DE LA RED

5.1	Regulación del CONELEC – 004/11.....	117
5.2	Diseño de Software del Sistema de Medición de Energía.....	118
5.2.1	Diagrama de flujo del sistema de acoplamiento ACS714-PIC 18F4550.....	117
5.2.2	Software implementado en Micro-controlador.....	119
5.3	Diseño de Hardware del Sistema de medición de Energía.....	125
5.3.1	PCB del Sistema de Medición de Energía Diseñado en Altium Designer 2008.....	126
5.3.2	Elementos que conforman el Hardware del Sistema de Medición	126
5.3.2.1	Sensor ACS714.....	125
5.3.2.2	Visualizador LCD16x2.....	127
5.3.2.2.1	Características del Visualizador.....	127
5.3.2.2.2	Funcionamiento.....	128

CAPITULO 6: RESULTADOS

6.1	Onda PWM generada por el micro-controlador y filtrada.....	130
6.2	Onda amplificada obtenida en el secundario del transformador.....	131
6.3	Onda de la Red Eléctrica.....	132

6.4	Ondas Sincronizadas.....	133
6.5	Características del Inversor.....	133
6.6	Placa de Control.....	136
6.7	Placa de Potencia.....	137
6.8	Placa del Contador de Energía.....	138
	CONCLUSIONES.....	139
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	140
	REFERENCIAS ELECTRONICAS.....	141

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Distribución de Energía Solar.....	4
Figura 1.2 Energía Eólica	5
Figura 1.3 Energía Geométrica.....	5
Figura 1.4 Energía Hidráulica.	6
Figura 1.5 Energía Mareomotriz.	7
Figura 1.6 Biomasa..	7
Figura 1.7 Incoming Solar Energy..	9
Figura 1.8 Sistemas Aislados.	14
Figura 1.9 Sistemas conectados a red.....	15
Figura 1.10 Fotografía de Célula Fotovoltaica.	16
Figura 1.11 Célula de silicio amorfo.....	17
Figura 1.12 Célula de silicio Mono-cristalino.	17
Figura 1.13 Célula de silicio Poli-cristalino.	18
Figura 1.14 Célula Tándem.....	19
Figura 1.15 Célula Multi-unión.	19
Figura 1.16 Fotografía de Panel Solar.	20
Figura 1.17 Curva Característica del Panel Solar.....	22
Figura 1.18 Máximo Punto de Potencia... ..	23
Figura 1.19 Sistema de Bombeo Eólico.	24
Figura 1.20 Sistema Eléctrico	25
Figura 1.21 Aerogenerador Lento.	28
Figura 1.22 Aerogenerador Rápido	29
Figura 1.23 Aerogenerador de eje Vertical.	30
Figura 1.24 Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red de Distribución.	31
Figura 1.25 Diagrama de bloques del Sistema MPPT	32
Figura 1.26 Diagrama del Inversor DC/AC.....	32
Figura 1.27 Diagrama del Sistema de Medición de Energía.....	33
Figura 1.28 Sistema eólico conectado a un Hogar y la Red.....	33
Figura 1.29 Regulador	34
Figura 1.30 Banco de Baterías	35

Figura 1.31 Sistema Híbrido Eólico-solar.	36
Figura 1.32 Representación esquemática de la estructura de un micro controlador.....	40
Figura 1.33 PIC 18F4550.	42
Figura 1.34 Pantalla de trabajo en MPLAB IDE v8.46.	43
Figura 1.35 Imagen del programador PICKit 2 de Microchip ®.....	44
Figura 1.36 Esquema de conversión A/D del microcontrolador de la serie 18F4550....	45
Figura 1.37 Imagen de Onda PWM.....	46
Figura 1.38 Punto cruce por cero.....	46
Figura 1.39 Transistor de unión bipolar.	48
Figura 1.40 Transistor de Efecto de Campo	49
Figura 1.41 Amplificador de potencia clase b	50
Figura 1.42 Esquema de configuración Push-Pull.	50
Figura 2.1 Diagrama de flujo del sistema de inversión.....	53
Figura 2.2 Diodo.....	57
Figura 2.3 Amplificador Operacional LM358.....	58
Figura 2.4 Pines del regulador de voltaje 7805.....	60
Figura 2.5 Oscilador	61
Figura 2.6 Capacitor.....	62
Figura 2.7 Mosfet IRF540.....	62
Figura 2.8 Transistor 2N3904.....	64
Figura 2.9 Condensador.....	65
Figura 2.10 Diagrama de la etapa A del circuito de sincronización con la red.....	66
Figura 2.11 Diagrama de la etapa B del circuito de sincronización con la red.....	67
Figura 2.12 Diagrama del circuito de la sincronización con la red.....	68
Figura 2.13 Esquema del circuito de sincronización con la red.....	69
Figura 2.14 Esquema del circuito del micro-controlador... ..	70
Figura 2.15 Esquema del funcionamiento del puente H.....	71
Figura 2.16 Esquema del circuito del filtro pasa bajo.....	72
Figura 2.17 Esquema del circuito puente H y filtro.....	73
Figura 3.1 Identificación de Sistemas de potencia.....	75
Figura 3.2 Diagrama de Sistema de potencia A.	76

Figura 3.3 Diagrama del Sistema de control A.	76
Figura 3.4 Diagrama de Sistema de potencia B.	77
Figura 3.5 Relación Duty Cyle – Potencia.....	79
Figura 3.6 Diagrama del sistema de control B.	80
Figura 3.7 MOSFET-IRF620.	81
Figura 3.8 Transformador.	84
Figura 3.9 Esquema Eléctrico de un Transformador.....	85
Figura 3.10 Cable 16 AWG.....	86
Figura 3.11 Amplificadores operacionales.	87
Figura 3.12 Esquema Eléctrico de un Transformador.....	89
Figura 3.13 Esquema eléctrico de un Amplificador. No inversor.....	89
Figura 3.14 Esquema eléctrico de un Sumador Inversor.....	90
Figura 3.15 Esquema eléctrico de un Integrador Ideal.....	91
Figura 3.16 Disipadores.....	91
Figura 3.17 Bobina.....	94
Figura 3.18 Bobinas.....	96
Figura 3.19 TIP de Potencia.	98
Figura 3.20 Diodo de Potencia.	99
Figura 3.21 Relé.....	100
Figura 3.22 Potenciómetro.	102
Figura 3.23 Esquema Eléctrico del Sistema de Potencia A (Push-Pull) diseñado en Altium Designer 2008.....	103
Figura 3.24 Esquema Eléctrico del Sistema de Control A, diseñado en Altium Designer 2008.....	104
Figura 3.25 Esquema Eléctrico del Sistema de Potencia B (Sistema MPPT) diseñado en Altium Designer 2008.....	105
Figura 3.26 Esquema Eléctrico del Sistema de Control B diseñado en Altium Designer 2008.....	106
Figura 5.1 Diagrama de flujo de acoplamiento entre ACS714+PIC18F4550.....	119
Figura 5.2 Diagrama de Flujo del Sistema de medición de Energía implementado en Micro-controlador.....	120

Figura 5.3 Diagrama de Flujo del Sistema de medición de Energía implementado en Micro-controlador.....	121
Figura 5.4 Diagrama de Flujo del Sistema de medición de Energía implementado en Micro-controlador.....	122
Figura 5.5 Diagrama de Flujo del Sistema de medición de Energía implementado en Micro-controlador.....	123
Figura 5.6 Diagrama de Flujo del Sistema de medición de Energía implementado en Micro-controlador.	124
Figura 5.7 Esquema Eléctrico del Sistema de Medición Diseñado en Altium Designer 2008.....	125
Figura 5.8 PCB Diseñado en Altium Designer 2008.	126
Figura 5.9 Sensor de corriente ACS714 -5 a +5A.	127
Figura 5.10 LCD.....	128
Figura 6.1 Onda PWM generada por el micro-controlador y filtrada.....	130
Figura 6.2 Onda amplificada obtenida en el secundario del transformado.....	131
Figura 6.3 Onda de la Red Eléctrica.....	132
Figura 6.4 Ondas Sincronizadas.....	133
Figura 6.5 Voltaje de entrada que Genera el Panel Solar.....	134
Figura 6.6 Placa de Control.....	136
Figura 6.7 Placa de Potencia.....	137
Figura 6.8 Placa del Contador de Energía.....	138

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Flujo Solar Anual.....	10
Tabla 2.1 Valores Máximos del LM358.....	58
Tabla 2.2 Descripción de pines del L7805.....	60
Tabla 2.3 Valores maximos del Mosfet IRF540.....	63
Tabla 2.4 Valores maximos del Transistor 2N3904.....	64
Tabla 3.1 Características eléctricas del MOSFET-IRF620.....	83
Tabla 3.2 Cables AWG.....	86
Tabla 3.3 Características eléctricas del 2SD401.....	98
Tabla 3.4 Características eléctricas del diodo 1N5408.....	99
Tabla 5.1 Precios Preferentes Energía Renovables en (cUSD/kWh).	118
Tabla 5.2 Características Eléctricas del Sensor de corriente ACS714 -5 a +5A.....	127
Tabla 5.3 Distribución de pines de un LCD.....	129
Tabla 6.1 Características Eléctricas del Inversor.....	135

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.1 Capacidad del Generador.....	37
Ecuación 1.2 Capacidad del Acumulador.....	37
Ecuación 1.3 Capacidad Utilizable del Acumulador.....	38
Ecuación 1.4 Energía Cinética.....	38
Ecuación 1.5 Energía por unidad de Volumen.....	38
Ecuación 1.6 Potencia en las masas de Aire.....	39
Ecuación 2.1 Frecuencia de corte para el filtro pasa bajo.....	72
Ecuación 3.1 Relación de Potencia.....	77
Ecuación 3.2 Duty Cyle.....	78
Ecuación 3.3 Corriente de salida.....	78
Ecuación 3.4 Voltaje de salida.....	78
Ecuación 3.5 Inductancia del Convertidor Boost.....	79
Ecuación 3.6 Condensador del Convertidor Boost.....	79
Ecuación 3.7 Relación de Transformación.....	85
Ecuación 3.8 Voltaje de salida Amplificador no inversor.....	90
Ecuación 3.9 Voltaje de salida de Sumador Inversor.....	90
Ecuación 3.10 Voltaje de salida de un Integrador ideal.....	91
Ecuación 3.11 Temperatura máxima de la unión del Transistor.....	93
Ecuación 3.12 Flujo Magnético en una bobina.....	96
Ecuación 3.13 Fuerza Contra electromotriz.....	97
Ecuación 3.14 Energía almacenada en una bobina.....	97

Mateo Fernando Cobos Córdoba

Andrés Bernardo Izquierdo Vintimilla

Trabajo de Graduación

Ing. Francisco Eugenio Vázquez Calero

Noviembre 2013

DISEÑO DE UN SISTEMA DE INVERSIÓN Y ARBITRAJE INTELIGENTE PARA INYECTAR ENERGÍA A LA RED PROVENIENTE DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS

INTRODUCCION

En la actualidad la demanda energética requerida por el hombre crece día tras día, la cual proviene casi en su totalidad de las energías fósiles tales como el petróleo, carbón o el gas natural, cuyo consumo por combustión, tiene como efecto inmediato la producción de elementos químicos, como el Dióxido de Azufre (SO₂), Dióxido de Carbono (CO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂) y compuestos orgánicos volátiles, causantes directos de problemas ambientales graves como el efecto invernadero y las lluvias ácidas. Por otro lado tenemos las energías renovables que son aquellas que se aprovechan directamente de recursos considerados inagotables, como el Sol, el Viento, los cuerpos de agua, el calor interior de la Tierra, que se regeneran con los ciclos naturales de nuestro planeta, haciendo posible que dispongamos de estos recursos permanentemente. Los consumos energéticos requeridos por el hombre son cada vez más exigentes, por lo que pensando a futuro éstas tienen que ser reemplazadas en su totalidad por energías limpias amigables con el medio ambiente e inagotables y poder así satisfacer toda la demanda energética requerida por el hombre.

En el capítulo 1 se hará un análisis profundo y detallado sobre las energías renovables, los sistemas fotovoltaicos y los sistemas eólicos ; en el capítulo 2 se realizará el diseño e

implementación del hardware y software de manera detallada del inversor inteligente con sistema de arbitraje para la conexión a red con un PIC 18F4550 utilizando Microchip MpLab. En el capítulo 3 se realizará el diseño e implementación del hardware de potencia de manera detallada para la conexión a la red. En el capítulo 4 se realizará la programación del firmware del inversor inteligente y el sistema de arbitraje. En el capítulo 5 se realizará el diseño paso a paso y de manera detallada de un sistema de medición tanto en generación inyectada a la red, como en consumo de la red con micro controlador y por último en el capítulo 6 se demostrarán todos los resultados obtenidos.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN Y REFERENTE TEÓRICO RELACIONADO CON EL PROYECTO

En la actualidad la demanda energética requerida por el hombre crece día tras día, la cual proviene casi en su totalidad de las energías fósiles tales como el petróleo, carbón o el gas natural, cuyo consumo por combustión, tiene como efecto inmediato la producción de elementos químicos, como el Dióxido de Azufre (SO₂), Dióxido de Carbono (CO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂) y compuestos orgánicos volátiles, causantes directos de problemas ambientales graves como el efecto invernadero y las lluvias ácidas. Por otro lado tenemos las energías renovables que son aquellas que se aprovechan directamente de recursos considerados inagotables, como el Sol, el Viento, los cuerpos de agua, el calor interior de la Tierra, que se regeneran con los ciclos naturales de nuestro planeta, haciendo posible que dispongamos de estos recursos permanentemente. Los consumos energéticos requeridos por el hombre son cada vez más exigentes, por lo que pensando a futuro éstas tienen que ser reemplazadas en su totalidad por energías limpias amigables con el medio ambiente e inagotables y poder así satisfacer toda la demanda energética requerida por el hombre.

1.1 Energía Renovable

Es un término que describe la energía generada a partir de fuentes de energía primaria respetuosas con el medio ambiente. Las energías verdes son energías renovables que no contaminan, es decir, cuyo modo de obtención o uso no emite subproductos que puedan incidir negativamente en el medio ambiente. Entre los más destacados encontramos:

- El Sol: energía solar.

- El viento: energía eólica.
- El calor de la Tierra: energía geotérmica.
- Los ríos y corrientes de agua: energía hidráulica.
- Los mares y océanos: energía mareomotriz.
- Energía de la Biomasa.

1.1.1 Energía Solar

La energía solar es la energía obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol. En la actualidad, el calor y la luz del Sol puede aprovecharse por medio de captadores como células fotovoltaicas, heliostatos o colectores térmicos, que pueden transformarla en energía eléctrica o térmica.

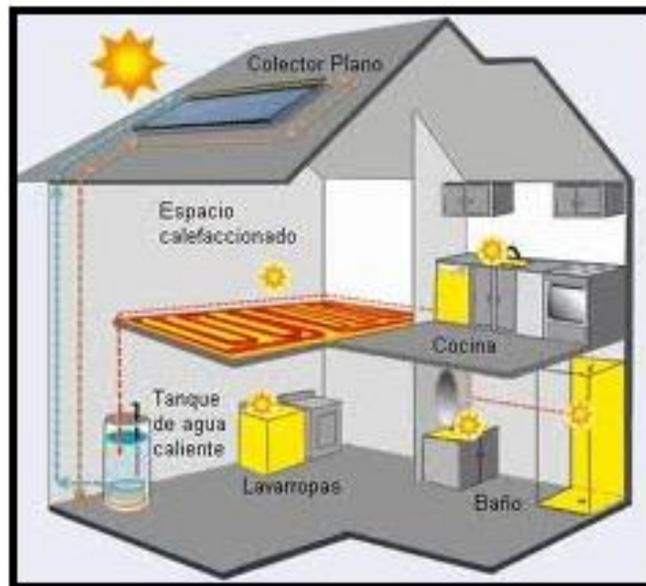


Figura 1.1 Distribución de Energía Solar
(<http://www.afinidadelectrica.com.ar>)

1.1.2 Energía Eólica

Energía eólica es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transmutada en otras formas útiles de

energía para las actividades humanas. En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores.



Figura 1.2 Energía Eólica
(<http://erenovable.com>)

1.1.3 Energía Geotérmica

La Energía geotérmica es aquella energía que puede obtenerse mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. Este calor interno calienta hasta las capas de agua más profundas: al ascender, el agua caliente o el vapor producen manifestaciones, como los géiseres o las fuentes termales. Hoy en día, los progresos en los métodos de perforación y bombeo permiten explotar la energía geotérmica en numerosos lugares del mundo.

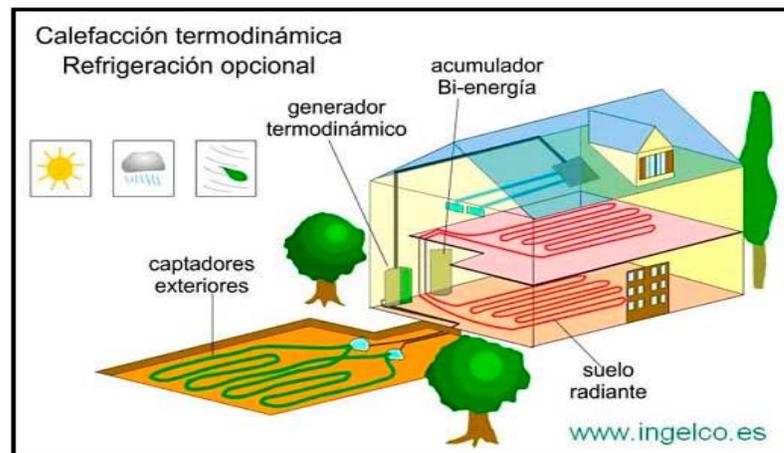


Figura 1.3 Energía Geotérmica
(<http://www.ingelco.es>)

1.1.4 Energía Hidráulica

Se denomina energía hidráulica, a aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente del agua, saltos de agua o mareas. Es un tipo de energía verde cuando su impacto ambiental es mínimo y usa la fuerza hídrica sin represarla, en caso contrario es considerada sólo una forma de energía renovable. La utilización más significativa la constituyen las centrales hidroeléctricas de presas, aunque estas últimas no son consideradas formas de energía verde por el alto impacto ambiental que producen.



Figura 1.4 Energía Hidráulica
(<http://www.belsperusac.com>)

1.1.5 Energía Mareomotriz

La energía mareomotriz es la que se obtiene aprovechando las mareas, mediante su empalme a un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, una forma energética más segura y aprovechable. Es un tipo de energía renovable, en tanto que la fuente de energía primaria no se agota por su explotación, y es limpia ya que en la transformación energética no se producen subproductos contaminantes gaseosos, líquidos o sólidos.

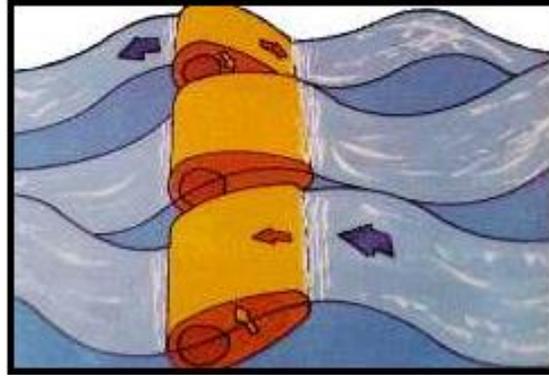


Figura 1.5 Energía Mareomotriz
(<http://www.fisicanet.com>)

1.1.6 Energía de la Biomasa

La Energía de la biomasa es la que se obtiene de los compuestos orgánicos mediante procesos naturales. Con el término biomasa se alude a la energía solar, convertida en materia orgánica por la vegetación, que se puede recuperar por combustión directa o transformando esa materia en otros combustibles, como alcohol, metanol o aceite. También se puede obtener biogás, de composición parecida al gas natural, a partir de desechos orgánicos.

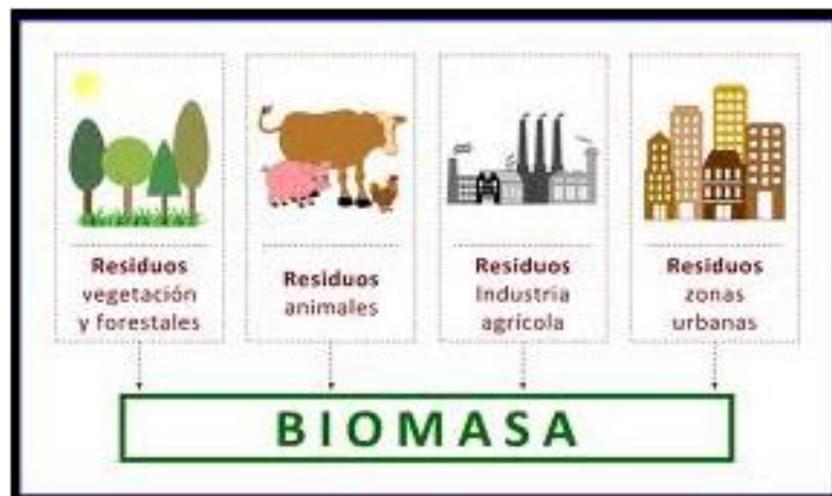


Figura 1.6 Biomasa
(<http://icasasecológicas.com>)

1.2 Energía Solar

La Tierra recibe 174 peta vatios de radiación solar entrante (insolación) desde la capa más alta de la atmósfera. Aproximadamente el 30% es reflejada de vuelta al espacio mientras que el resto es absorbida por las nubes, los océanos y las masas terrestres. El espectro electromagnético de la luz solar en la superficie terrestre está ocupado principalmente por luz visible y rangos de infrarrojos, con una pequeña parte de radiación ultravioleta.

La potencia de la radiación varía según el momento del día; las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de radiación el valor es de aproximadamente 1000 W/m^2 en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiancia.

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas las direcciones.

La irradiancia directa normal (o perpendicular a los rayos solares) fuera de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar y tiene un valor medio de 1366 W/m^2 (que corresponde a un valor máximo en el perihelio de 1395 W/m^2 y un valor mínimo en el afelio de 1308 W/m^2).

La radiación absorbida por los océanos, las nubes, el aire y las masas de tierra incrementan la temperatura de éstas. El aire calentado es el que contiene agua evaporada que asciende de los océanos, y también en parte de los continentes, causando circulación atmosférica o convección. Cuando el aire asciende a las capas altas, donde la

temperatura es baja, va disminuyendo su temperatura hasta que el vapor de agua se condensa formando nubes. El calor latente de la condensación del agua amplifica la convección, produciendo fenómenos como el viento, borrascas y anticiclones. La energía solar absorbida por los océanos y masas terrestres mantiene la superficie a 14 °C. Para la fotosíntesis de las plantas verdes la energía solar se convierte en energía química, que produce alimento, madera y biomasa, de la cual derivan también los combustibles fósiles.

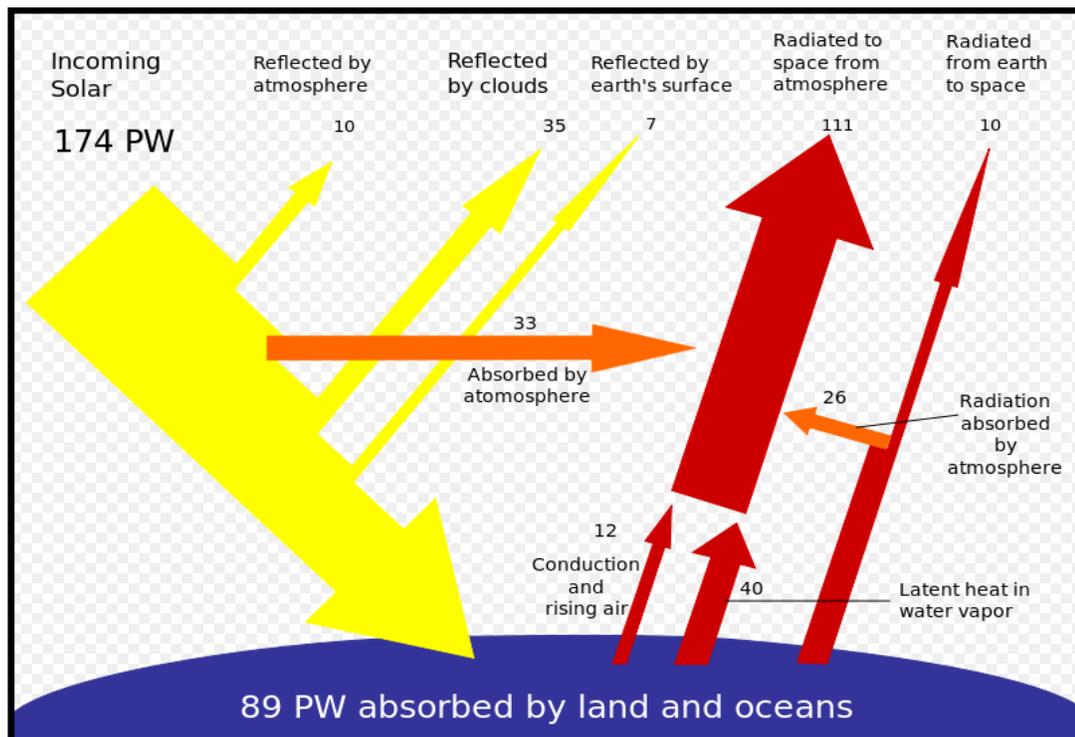


Figura 1.7 Incoming Solar Energy

(http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Breakdown_of_the_incoming_solar_energy.svg)

Se estima que la energía total que absorben la atmósfera, los océanos y los continentes puede ser de 3 850 000 exa julios por año. En 2002, esta energía en un segundo equivalía al consumo global mundial de energía durante un año. La fotosíntesis captura aproximadamente 3 000 EJ por año en biomasa, lo que representa solo el 0,08% de la energía recibida por la Tierra. La cantidad de energía solar recibida anual es tan vasta que equivale aproximadamente al doble de toda la energía producida jamás por otras

fuentes de energía no renovable como son el petróleo, el carbón, el uranio y el gas natural.

Flujo Solar Anual y Consumo de energía humano	
Solar	3.850.000 EJ ¹¹
Energía eólica	2.250 EJ ¹²
Biomasa	3.000 EJ ¹³
Uso energía primario (2005)	487 EJ ¹⁴
Electricidad (2005)	56,7 EJ ¹⁵

Tabla1.1 Flujo Solar Anual
(<http://www.wikipedia.com>)

1.2.1 Energía Solar Térmica

La energía solar térmica o energía termo-solar consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica. Adicionalmente puede emplearse para alimentar una máquina de refrigeración por absorción, que emplea calor en lugar de electricidad para producir frío con el que se puede acondicionar el aire de los locales.

Los colectores de energía solar térmica están clasificados como colectores de baja, media y alta temperatura. Los colectores de baja temperatura generalmente son placas planas usadas para calentar agua. Los colectores de temperatura media también usualmente son placas planas usadas para calentar agua o aire para usos residenciales o comerciales. Los colectores de alta temperatura concentran la luz solar usando espejos o lentes y generalmente son usados para la producción de energía eléctrica. La energía solar térmica es diferente y mucho más eficiente que la energía solar fotovoltaica, la que convierte la energía solar directamente en electricidad. Mientras que las instalaciones generadoras proporcionan solo 600 Mega Watts de energía solar térmica a nivel mundial a octubre de 2009, otras centrales están bajo

construcción por otros 400 Mega Watts y se están desarrollando otros proyectos de electricidad solar de concentración por un total de 14 000 Mega Watts.

1.2.1.1 Colector de Baja Temperatura

El colector solar plano es el aparato más representativo de la tecnología solar foto térmica. Su principal aplicación se da en el calentamiento de agua para baño y albercas, aunque también se utiliza para secar productos agropecuarios mediante el calentamiento de aire y para destilar agua en comunidades rurales principalmente. Está constituido básicamente por:

- Marco de aluminio anodizado.
- Cubierta de vidrio templado, bajo contenido en hierro.
- Placa absorbadora. Enrejado con aletas de cobre.
- Cabezales de alimentación y descarga de agua.
- Aislante, usualmente poli estireno, o unicel.
- Caja del colector, galvanizada.

Para la mayoría de los colectores solares se tienen dimensiones características. En términos generales la unidad básica consiste de un colector plano de 1,8 a 2,1 m² de superficie, conectado a un termo-tanque de almacenamiento de 150 a 200 litros de capacidad; a este sistema frecuentemente se le añaden algunos dispositivos termostáticos de control a fin de evitar congelamientos y pérdidas de calor durante la noche. Las unidades domésticas funcionan mediante el mecanismo de termosifón, es decir, mediante la circulación que se establece en el sistema debido a la diferencia de temperatura de las capas de líquido estratificadas en el tanque de almacenamiento. Para instalaciones industriales se emplean varios módulos conectados en arreglos serie-paralelo, según el caso, y se emplean bombas para establecer la circulación forzada.

1.2.1.2 Colector de Media Temperatura

Las instalaciones de temperatura media pueden usar varios diseños, los diseños más comunes son: glicol a presión, drenaje trasero, sistemas de lote y sistemas más nuevos de baja presión tolerantes al congelamiento que usan tuberías de polímero que contienen agua con bombeo fotovoltaico. Los estándares europeos e internacionales están siendo revisados para incluir las innovaciones en diseño y la operación de colectores de temperatura media. Las innovaciones operacionales incluyen la operación de colectores permanentemente húmedos. Esta técnica reduce o incluso elimina la ocurrencia de tensiones de no flujo de alta temperatura conocidas como estancamiento, las que reducen la vida esperada de estos colectores.

1.2.1.3 Colector de Alta Temperatura

Las temperaturas inferiores a 95 °C son suficientes para calefacción de espacios, en ese caso generalmente se usan colectores planos del tipo no concentradores. Debido a las relativamente altas pérdidas de calor a través del cristal, los colectores planos no logran alcanzar mucho más de 200 °C incluso cuando el fluido de transferencia está estancado. Tales temperaturas son demasiado bajas para ser usadas en la conversión eficiente en electricidad.

La eficiencia de los motores térmicos se incrementa con la temperatura de la fuente de calor. Para lograr esto en las plantas de energía termal, la radiación solar es concentrada por medio de espejos o lentes para lograr altas temperaturas mediante una técnica llamada electricidad solar de concentración. El efecto práctico de las mayores eficiencias es la reducción del tamaño de los colectores de la planta y del uso de terreno por unidad de energía generada, reduciendo el impacto ambiental de una central de potencia así como su costo.

A medida de que la temperatura aumenta, diferentes formas de conversión se vuelven prácticas. Hasta 600 °C, las turbinas de vapor, la tecnología estándar, tienen una

eficiencia de hasta 41%, Por sobre los 600 °C, las turbinas de gas pueden ser más eficientes. Las temperaturas más altas son problemáticas y se necesitan diferentes materiales y técnicas. Una propuesta para temperaturas muy altas es usar sales de fluoruro líquidas operando a temperaturas de entre 700 °C a 800 °C, que utilizan sistemas de turbinas de etapas múltiples para lograr eficiencias termales de 50% o más. Las temperaturas más altas de operación le permiten a la planta usar intercambiadores de calor secos de alta temperatura para su escape termal, reduciendo el uso de agua de la planta, siendo esto crítico para que las centrales ubicadas en desiertos sean prácticas. También las altas temperaturas hacen que el almacenamiento de calor sea más eficiente, ya que se almacenan más watts-horas por unidad de fluido.

1.2.2 Energía Solar Pasiva

La tecnología solar pasiva es el conjunto de técnicas dirigidas al aprovechamiento de la energía solar de forma directa, sin transformarla en otro tipo de energía, para su utilización inmediata o para su almacenamiento sin la necesidad de sistemas mecánicos ni aporte externo de energía, aunque puede ser complementada por ellos, por ejemplo para su regulación.

Las tecnologías que usan bombas o ventiladores consumen una significativa cantidad de energía para su funcionamiento y por ello se clasifican dentro de las tecnologías solares activas. Algunos sistemas solares pasivos pueden, no obstante, consumir una pequeña cantidad de energía necesaria para activar compuertas, relés, interruptores u otros dispositivos que mejorarían el rendimiento de estos sistemas en la recolección, almacenamiento y uso de la energía solar.

La tecnología solar pasiva incluye sistemas con ganancia directa e indirecta para el calentamiento de espacios, sistemas de calentamiento de agua basados en termosifón, el uso de masa térmica y de materiales con cambio de fase para suavizar las oscilaciones de la temperatura del aire, cocinas solares, chimeneas solares para mejorar la ventilación natural y el propio abrigo de la tierra. También incluye otras tecnologías como los

hornos solares o las fraguas solares, aunque estos requieren cierto consumo de energía para alinear espejos concentradores o receptores e históricamente no han demostrado ser muy prácticos o rentables para uso extensivo.

1.2.3 Energía Solar Fotovoltaico

La energía solar fotovoltaica es un tipo de electricidad renovable obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica. Este tipo de energía se usa para alimentar innumerables aparatos autónomos, para abastecer refugios o casas aisladas de la red eléctrica y para producir electricidad a gran escala a través de redes de distribución. Debido a la creciente demanda de energías renovables, la fabricación de células solares e instalaciones fotovoltaicas ha avanzado considerablemente en los últimos años.

1.2.3.1 Sistemas Aislados

El autoconsumo fotovoltaico hace referencia a la producción individual de electricidad para el propio consumo, a través de paneles solares fotovoltaicos. Esta práctica puede ser llevada a cabo por individuos, familias, empresas, centros públicos, etc., siempre y cuando la electricidad producida solo la utilicen los mismos.

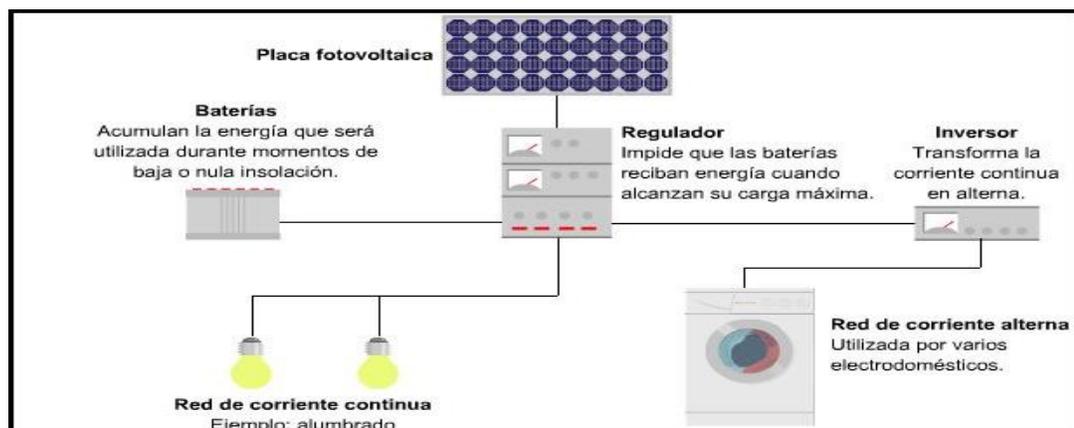


Figura 1.8 Sistemas Aislados

(<http://www.solcaisur.es>)

1.2.3.2 Sistemas de Conexión a Red

El sistema de conexión a red permite verter los excesos de electricidad, es decir, la que no se consume, a la red eléctrica. Este permite obtener un suministro de electricidad con el mecanismo de compensación diferida o “balance neto”, un sistema de compensación de saldos, gestionado por las compañías eléctricas, que descuenta de la electricidad obtenida de la red, los excesos de producción del sistema de autoconsumo.

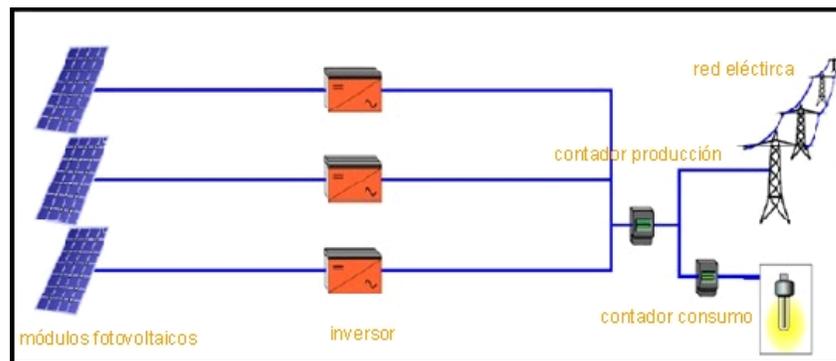


Figura 1.9 Sistemas conectados a red
(<http://www.cleanergysolar.com>)

1.2.4 Efecto Fotovoltaico

1.2.4.1 Materiales Cristalinos

Los cristales están compuestos de átomos enlazados entre sí a su vez compuestos por cargas eléctricas positivas y negativas, P y N, también enlazadas entre sí. Un cristal en reposo no tiene cargas eléctricas libres y no puede conducir corriente eléctrica. Para romper el enlace entre las cargas P y N de un átomo hay que aportar una energía igual, como mínimo, a un valor característico de cada material.

1.2.4.2 Explicación Eléctrica

La luz está formada por paquetes de energía (fotones) que pueden romper enlaces. Un cristal iluminado tiene cargas eléctricas libres, P y N, que pueden moverse por él, de no

hacer nada para remediarlo las cargas P y N se mueven aleatoriamente por el interior del cristal, hasta que vuelven a encontrarse y a restablecer su enlace. Entonces, la energía que fue necesario absorber para romperlo, se libera en forma de calor. De existir un campo eléctrico en el interior del cristal, las cargas P y N se mueven ordenadamente, se separan y tienden a acumularse en zonas diferentes del cristal, lo que da origen a la aparición de un voltaje entre sus extremos. De esta manera, la iluminación hace que el cristal se convierta en un generador eléctrico. Esta capacidad natural de los fotones para disfrazarse de voltios en el vestuario de algunos materiales, es el denominado efecto fotovoltaico, que observó, por vez primera, Becquerel en 1876.

1.2.5 Célula Fotovoltaica

Dispositivo electrónico que permite transformar fotones en energía eléctrica mediante el efecto fotoeléctrico, generando energía solar fotovoltaica. Compuesto de un material que presenta efecto fotoeléctrico: absorben fotones de luz y emiten electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.



Figura 1.10 Fotografía de Célula Fotovoltaica
(www.ecured.cu)

1.2.5.1 Células de silicio amorfo

El silicio durante su transformación, produce un gas que se proyecta sobre una lámina de vidrio, la celda es gris muy oscuro, es la célula de las calculadoras y relojes. Estás

células fueron las primeras en ser manufacturadas, ya que se podían emplear los mismos métodos de fabricación de diodos. Esta presenta ventajas como funcionamiento con una luz difusa baja, menos costosa que otras tecnologías, integración sobre soporte flexible o rígido. Como inconvenientes presenta un rendimiento a pleno sol bajo, del 5% al 7% y rendimiento decreciente con el tiempo ($\sim 7\%$).



Figura 1.11 Célula de silicio amorfo
(<http://3eplus.orgfree.com>)

1.2.5.2 Célula de silicio mono-cristalino

Al enfriarse, el silicio fundido se solidifica formando solo un único cristal de grandes dimensiones, luego se corta el cristal en delgadas capas que dan lugar a las células. Estas células generalmente son de un azul uniforme. Presenta ventajas como un buen rendimiento de 14% al 16%, buena relación W/m^2 , número de fabricantes elevado. Presenta inconvenientes como un coste más elevado.



Figura 1.12 Célula de silicio Mono-cristalino
(<http://www.sunflower-solar.com>)

1.2.5.3 Células de Silicio poli-cristalino

Durante el enfriamiento del silicio en un molde, se forman varios cristales, la fotocélula es de aspecto azulado, pero no es uniforme, se distinguen diferentes colores creados por los diferentes cristales. Presenta ventajas como que son células cuadradas que permiten un mejor funcionamiento en un módulo, una eficiencia de conversión óptima, alrededor de 100 W/m^2 , pero un poco menor que en el mono-cristalino, un lingote más barato de producir que el mono-cristalino. Presenta inconvenientes como un bajo rendimiento en condiciones de iluminación baja.

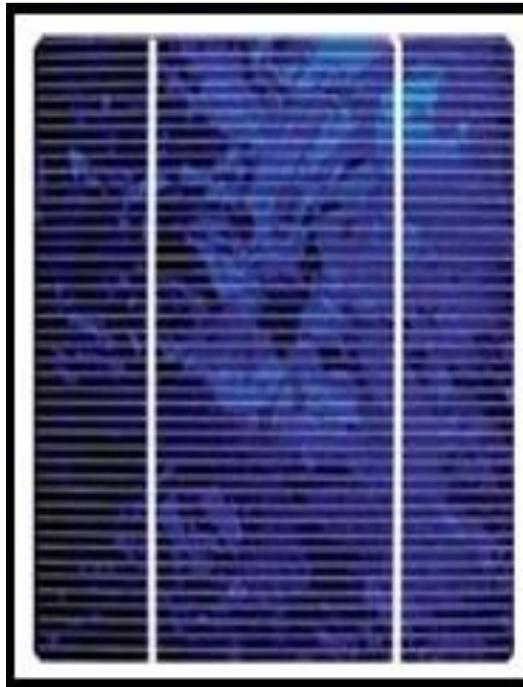


Figura 1.13 Célula de silicio Poli-cristalino
(<http://www.sunflower-solar.com>)

1.2.5.4 Célula Tándem

Apilamiento monolítico de dos células individuales, mediante la combinación de dos células que absorben en el espectro al mismo tiempo se solapan, mejorando el rendimiento en comparación con las células individuales separadas, sean amorfas, cristalinas o micro-cristalinas. Presenta ventajas como una alta sensibilidad en un amplio

rango de longitudes de onda, un excelente rendimiento y como desventaja el costo es alto debido a la superposición de dos células.



Figura 1.14 Célula Tándem
(<http://www.sfe-solar.com>)

1.2.5.5 Célula multi-unión

Estas células tienen una alta eficiencia y han sido desarrolladas para aplicaciones espaciales, las células multi-unión están compuestas de varias capas delgadas usando la epitaxia por haz molecular. Una célula de triple unión, por ejemplo, se compone de semiconductores donde cada tipo de semiconductores se caracteriza por un máximo de longitud de onda más allá del cual no es capaz de convertir los fotones en energía eléctrica.



Figura 1.15 Célula Multi-unión
(<http://blog.technosun.com>)

1.2.6 Paneles Solares

Los paneles solares están compuestos por varias células fotovoltaicas que, al recibir la radiación solar, se estimulan y generan saltos electrónicos, generando diferencias de potencial en sus extremos. El acoplamiento en serie de estas células permite obtener voltajes en corriente continua.



Figura 1.16 Fotografía de Panel Solar
(uverismo.tripod.com/paneles_solares.html)

1.2.6.1 Descripción de un Panel Solar

Están formados por numerosas celdas que convierten la luz en electricidad, Cuando es expuesto a luz solar directa, una celda de silicio de 6 cm de diámetro puede producir una corriente de alrededor 0,5 amperios a 0,5 voltios (equivalente a un promedio de 90 W/m², en un rango de usualmente 50-150 W/m², dependiendo del brillo solar y la eficacia de la celda).

Los lingotes cristalinos son cortados en discos finos como una oblea, pulidos para eliminar posibles daños causados por el corte. Se introducen dopantes (impurezas añadidas para modificar las propiedades conductoras) dentro de las obleas, y se depositan conductores metálicos en cada superficie: una fina rejilla en el lado donde da

la luz solar y usualmente una hoja plana en el otro. Los paneles solares son construidos con estas celdas cortadas en forma apropiada. Para protegerlos de daños en la superficie frontal causados por radiación o por el mismo manejo de éstos se los enlaza en una cubierta de vidrio y se cimentan sobre un sustrato (el cual puede ser un panel rígido o una manta blanda). Se realizan conexiones eléctricas en serie-paralelo para determinar el voltaje de salida total. La cimentación y el sustrato deben ser conductores térmicos, ya que las celdas se calientan al absorber la energía infrarroja que no es convertida en electricidad. Debido a que el calentamiento de las celdas reduce la eficacia de operación es deseable minimizarlo. Los ensamblajes resultantes son llamados paneles solares o grupos solares.

1.2.6.2 Curva Característica de un Panel Solar

Al contrario que los generadores eléctricos convencionales, que suelen tener una fuerza electromotriz fija, un panel solar constituido de células fotovoltaicas que tiene una fuerza electromotriz que depende de la intensidad de la radiación que reciba. Pero, al igual que en los generadores convencionales, la corriente eléctrica que proporciona la célula también depende de la carga a la que se conecte.

La curva característica es la relación entre la intensidad eléctrica que suministra la célula y la diferencia de potencial entre sus extremos, para una intensidad de la radiación dada, cuando se va variando la resistencia de carga. La curva característica depende adicionalmente de la temperatura a la que se encuentre la célula. En la Figura 1.15 se muestran dos curvas características de un panel comercial, para dos diferentes niveles de intensidad de radiación, $G = 450$ y $G = 650 \text{ W/m}^2$. Los puntos extremos de las curvas se corresponden con las condiciones:

- Cortocircuito: en cuyo caso la intensidad de corriente es máxima (27 mA para irradiancia de 450).
- Circuito abierto: no circula corriente y se produce el voltaje máximo de la célula (unos 17 V).

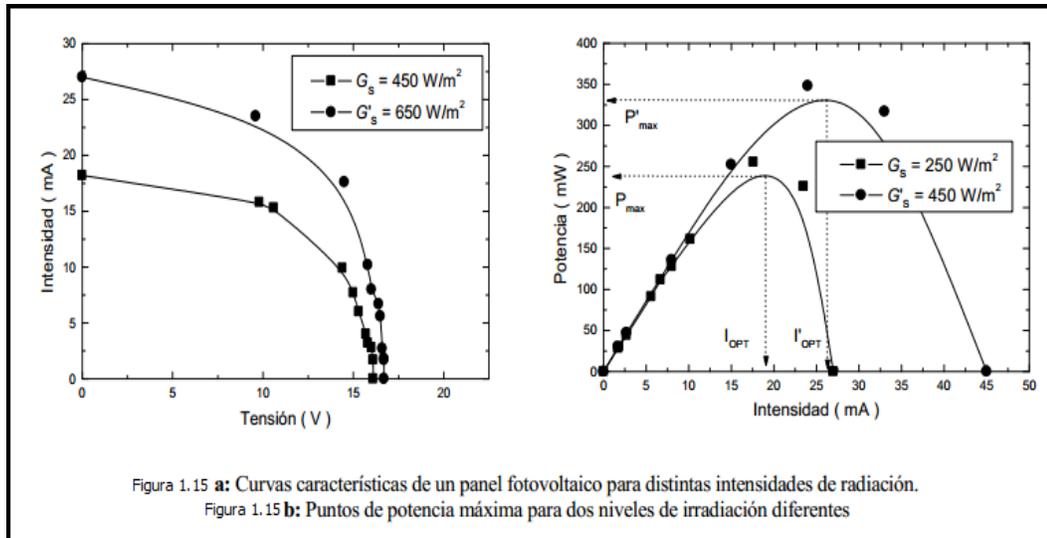


Figura 1.17 Curva Característica del Panel Solar

(<http://tep165.ual.es>)

1.2.6.3 Punto de Máxima Potencia

Una placa o célula solar puede operar en un amplio rango de voltajes e intensidades de corriente. Esto puede lograrse variando la resistencia de la carga, en el circuito eléctrico, por una parte, y por la otra variando la impedancia de la célula desde el valor cero (valor de cortocircuito) a valores muy altos (circuito abierto) y se puede determinar el punto de potencia máxima teórica, es decir, el punto que maximiza V y tiempo frente a I , o lo que es lo mismo, la carga para la cual la célula puede entregar la máxima potencia eléctrica para un determinado nivel de radiación.

El punto de potencia máxima de un dispositivo fotovoltaico varía con la iluminación incidente. Para sistemas bastante grandes se puede justificar un incremento en el precio con la inclusión de dispositivos que midan la potencia instantánea por medida continua del voltaje y la intensidad de corriente (y de ahí la potencia transferida), y usar esta información para ajustar, de manera dinámica, y en tiempo real, la carga para que se transfiera, siempre, la máxima potencia posible, a pesar de las variaciones de luz, que se produzcan durante el día.

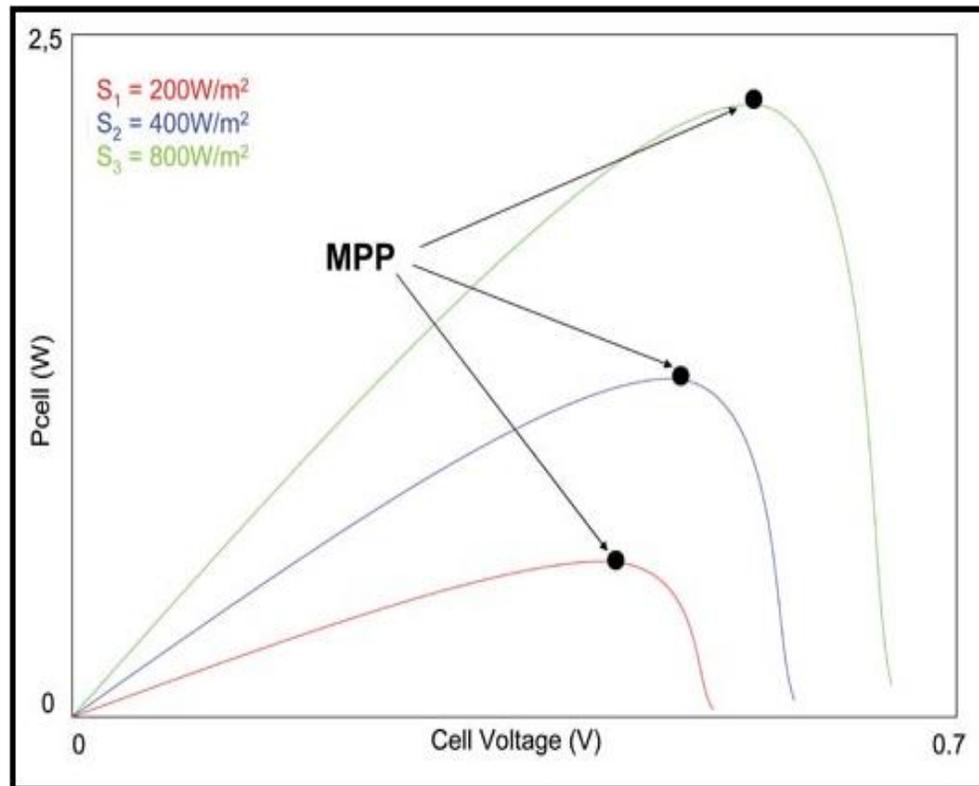


Figura 1.18 Máximo Punto de Potencia
(<http://www.diarioelectronicohoy.com>)

1.3 Energía Eólica

Energía eólica es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transmutada en otras formas útiles de energía para las actividades humanas. En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores.

A finales de 2011, la capacidad mundial de los generadores eólicos fue de 238 gigavatios. En 2011 la eólica generó alrededor del 3% del consumo de electricidad mundial. En España la energía eólica produjo un 16% del consumo eléctrico en 2011. La energía eólica es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía verde. Su principal inconveniente es la intermitencia del viento.

1.3.1 Sistemas de Bombeo

Es un mecanismo de bombeo que funciona mediante un molino de viento. Estas aplicaciones son en general a pequeña escala, y puede ser utilizada en pequeños sistemas de riego, o para abastecer de agua potable a comunidades rurales. La vida útil de una bomba de tipo eólico se estima entre 10 y 15 años.

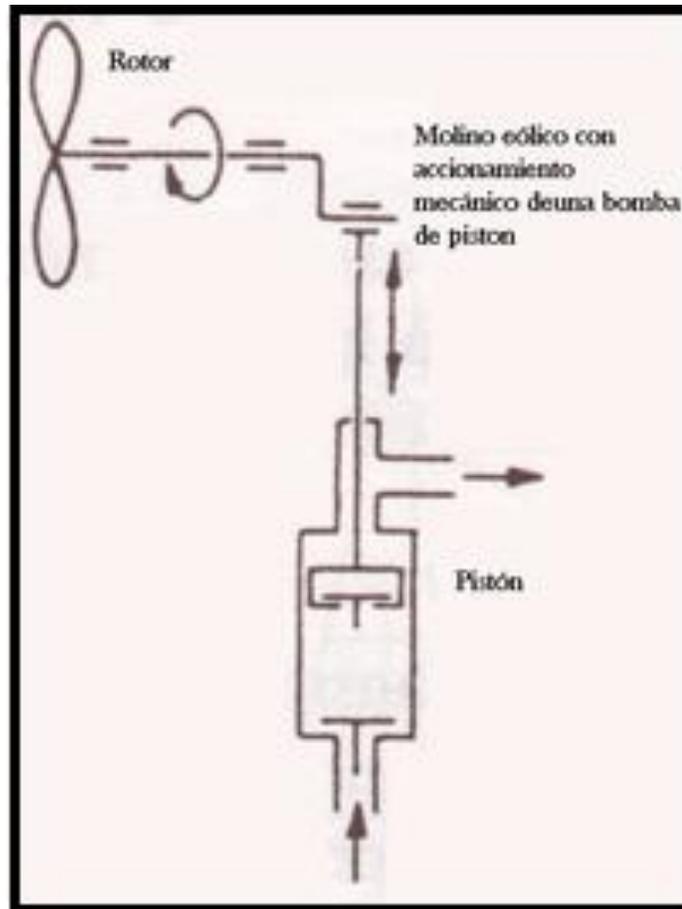


Figura 1.19 Sistema de Bombeo Eólico

(http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bomba_e%C3%B3lica_con_pist%C3%B3n.PNG)

1.3.2 Sistemas Eléctricos

Utilizan aerogeneradores que contienen un generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento. En este caso, la energía eólica, en realidad la energía cinética del aire en movimiento, proporciona energía mecánica a un rotor hélice que, a

través de un sistema de transmisión mecánico, hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador trifásico, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica.

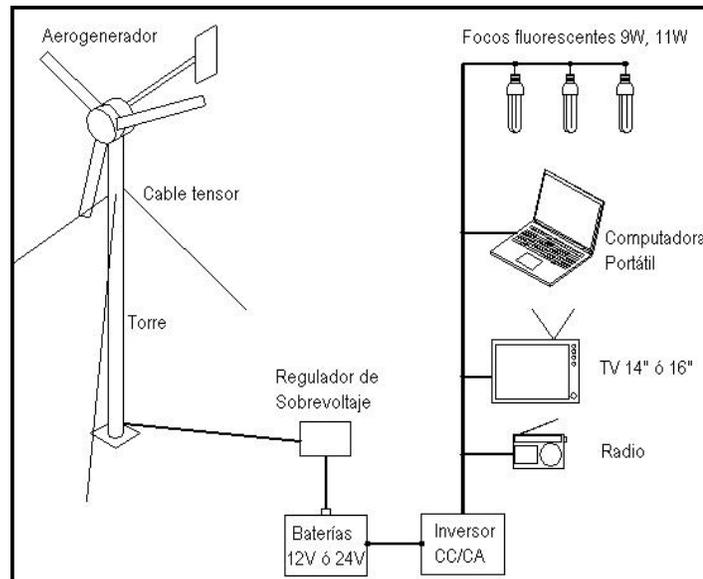


Figura 1.20 Sistema Eléctrico
(<http://www.denertec.com>)

Para aportar energía a la red eléctrica, los aerogeneradores deben estar dotados de un sistema de sincronización para que la frecuencia de la corriente generada se mantenga perfectamente sincronizada con la frecuencia de la red.

1.3.3 Teoría de la Generación del Viento

Los vientos son producidos por diferencias en la temperatura del aire, y por tanto de la densidad, entre dos regiones de la Tierra. La gran capa atmosférica es atravesada por las radiaciones solares que calientan el suelo, el cual, a su vez, calienta el aire que lo rodea. Así resulta que éste no es calentado directamente por los rayos solares que lo atraviesan sino, en forma indirecta, por el calentamiento del suelo y de las superficies acuáticas. Cuando el aire se calienta, también se dilata, como cualquier gas, es decir, aumenta de volumen, por lo cual asciende hasta que su temperatura se iguala con la del aire circundante. A grandes rasgos, las masas de aire van de los trópicos al ecuador,

donde logran ascender tanto por su calentamiento al disminuir la latitud (en la zona intertropical) como por la fuerza centrífuga del propio movimiento de rotación terrestre, que da origen a su vez a que el espesor de la atmósfera en la zona ecuatorial sea el mayor en toda la superficie terrestre. Al ascender, se enfrían, y por las altas capas vuelven hacia los trópicos, donde descienden por su mayor peso (aire frío y seco) lo cual explica la presencia de los desiertos subtropicales y la amplitud térmica diaria tan elevada de los desiertos.

1.3.4 Velocidad y Dirección del Viento

El instrumento más antiguo para conocer la dirección de los vientos es la veleta que, con la ayuda de la rosa de los vientos, define la procedencia de los vientos, es decir, la dirección desde donde soplan. La manga de viento utilizada en los aeropuertos suele ser bastante grande y visible para poder ser observada desde los aviones tanto en el despegue como, en especial, en el aterrizaje.

La velocidad, esto es la rapidez y dirección de los vientos se mide con el anemómetro, que suele registrar dicha dirección y rapidez a lo largo del tiempo. La intensidad del viento se ordena según su rapidez utilizando la escala de Beaufort. Esta escala se divide en varios tramos según sus efectos y/o daños causados, desde el aire en calma hasta los huracanes de categoría 5 y los tornados.

1.3.5 Gradiente de Presión

El gradiente barométrico o de presiones es producido por las diferencias de presión en el seno de un fluido, en meteorología el gradiente barométrico hace referencia a la variación de la presión atmosférica, este gradiente suele expresarse en función de las fuerzas báticas, derivadas de la variación en la presión, y que son perpendiculares a las isobaras, líneas de presión constante.

1.3.6 Fuerza de Coriolis

El efecto Coriolis, descrito en 1836 por el científico francés Gaspard-Gustave Coriolis, es el efecto que se observa en un sistema de referencia en rotación cuando un cuerpo se encuentra en movimiento respecto de dicho sistema de referencia. Este efecto consiste en la existencia de una aceleración relativa del cuerpo en dicho sistema en rotación. Esta aceleración es siempre perpendicular al eje de rotación del sistema y a la velocidad del cuerpo.

El efecto Coriolis hace que un objeto que se mueve sobre el radio de un disco en rotación tienda a acelerarse con respecto a ese disco según si el movimiento es hacia el eje de giro o alejándose de éste. Por el mismo principio, en el caso de una esfera en rotación, el movimiento de un objeto sobre los meridianos también presenta este efecto, ya que dicho movimiento reduce o incrementa la distancia respecto al eje de giro de la esfera.

Debido a que el objeto sufre una aceleración desde el punto de vista del observador en rotación, es como si para éste existiera una fuerza sobre el objeto que lo acelera. A esta fuerza se la llama fuerza de Coriolis, y no es una fuerza real en el sentido de que no hay nada que la produzca. Se trata pues de una fuerza inercial o ficticia, que se introduce para explicar, desde el punto de vista del sistema en rotación, la aceleración del cuerpo, cuyo origen está en realidad, en el hecho de que el sistema de observación está rotando.

1.3.7 Aerogeneradores

Un aerogenerador es un generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento (turbina eólica). Sus precedentes directos son los molinos de viento que se empleaban para la molienda y obtención de harina. En este caso, la energía eólica, en realidad la energía cinética del aire en movimiento, proporciona energía mecánica a un rotor hélice que, a través de un sistema de transmisión mecánico, hace girar el rotor de

un generador, normalmente un alternador trifásico, que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica.

1.3.7.1 Aerogeneradores Lentos

Es un generador con un elevado número de palas. Generalmente su sistema de orientación es mediante un timón-veleta que hace que el plano de la hélice se sitúe siempre perpendicular a la dirección del viento. Sus características fundamentales son:

- Número de palas elevado, entre 12 y 24.
- Diámetro entre 3 y 10 m, limitado por el elevado peso del rotor. Se adaptan muy bien a vientos de pequeña velocidad. Su arranque se produce a partir de una velocidad del viento entre 2 y 3 m/s.
- Potencias pequeñas debido básicamente a dos razones: usan vientos de baja velocidad (entre 3 y 7 m/s) y tienen un diámetro limitado por el peso del rotor debido al elevado número de palas.
- Su campo de aplicación fundamentalmente se centra en las instalaciones de extracción y bombeo de agua.
- Presentan un valor elevado del coeficiente de par elevado para pequeños valores de velocidad específica.

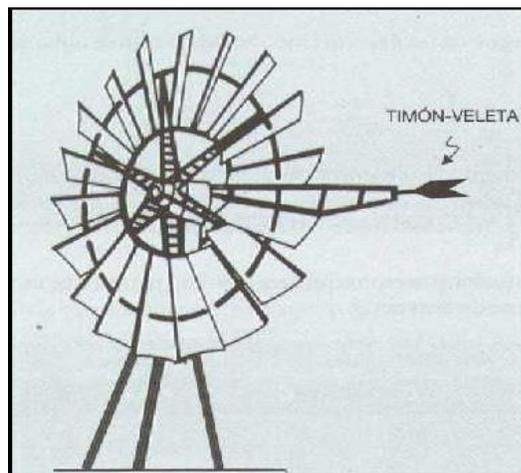


Figura 1.21 Aerogenerador Lento
(<http://tipos-de-energia.blogspot.com>)

1.3.7.2 Aerogeneradores Rápidos

En este tipo de aerogeneradores el número de palas es pequeño. Su ventaja respecto a las eólicas lentas es que su potencia por unidad de peso es mucho mayor, por lo que al ser más ligeros pueden construirse generadores de un radio mucho mayor, así como situar el buje o punto de giro central del rotor a alturas mucho mayores y por consiguiente aprovechar el efecto de aumento en la velocidad del viento con la altura. En la actualidad se construyen eólicas con diámetros de rotor que alcanzan los 90 m y con una potencia nominal de 3 MW, lo que da una idea del área de barrido del rotor. Las características principales son:

- Reducido número de palas, entre 1 y 4, aunque los más usados son de 3 palas.
- Máquinas más ligeras que las eólicas lentas, y por lo tanto pueden construirse de mayor tamaño.
- Requieren una velocidad del viento para su arranque mayor que las eólicas lentas (entre 4 y 5 m/s). Poseen un par de arranque menor.
- Alcanzan su potencia nominal para velocidades del viento entre 12 y 15 m/s. A partir de velocidades del orden de 25 a 30 m/s se produce la parada del rotor para evitar daños sobre la máquina.
- En los aerogeneradores rápidos, el valor máximo del coeficiente de potencia se sitúa en el entorno de $C_p=0,4$.



Figura 1.22 Aerogenerador Rápido
(<http://panelessolarescaseros.net>)

Se utilizan para la generación de energía eléctrica, pudiendo ser en sistemas aislados o conectados a la red. Los generadores utilizados en sistemas aislados generalmente son más pequeños (de 3 a 50 kW) que los que se conectan a la red eléctrica (de 250 a 3000 kW).

1.3.7.3 Generadores eólicos de eje vertical

Se han realizado numerosos prototipos y experiencias con diferentes eólicas de eje vertical, pero por razones técnicas y económicas su implantación en la práctica es muy limitada, por lo que la mayoría de generadores eólicos son de eje horizontal. El rotor de las eólicas de eje vertical básicamente suele ser de los siguientes tipos:

- Rotor de arrastre diferencial, sin o con pantalla (Savonius).
- Rotor de variación cíclica de incidencia (Darrieus).



Figura 1.23 Aerogenerador de eje Vertical
(<http://www.renovables-energia.com>)

1.4 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red

El uso de sistemas fotovoltaicos para generación de electricidad es una práctica cada vez más común en el ámbito internacional. Durante los últimos 30 años el desarrollo tecnológico en este campo ha permitido una reducción de 95 % en el costo de los módulos fotovoltaicos comerciales, a la par de un incremento cercano al 200% en su eficiencia. Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red consisten en generar electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos y a través de un proceso inyectarla a la red de distribución eléctrica.

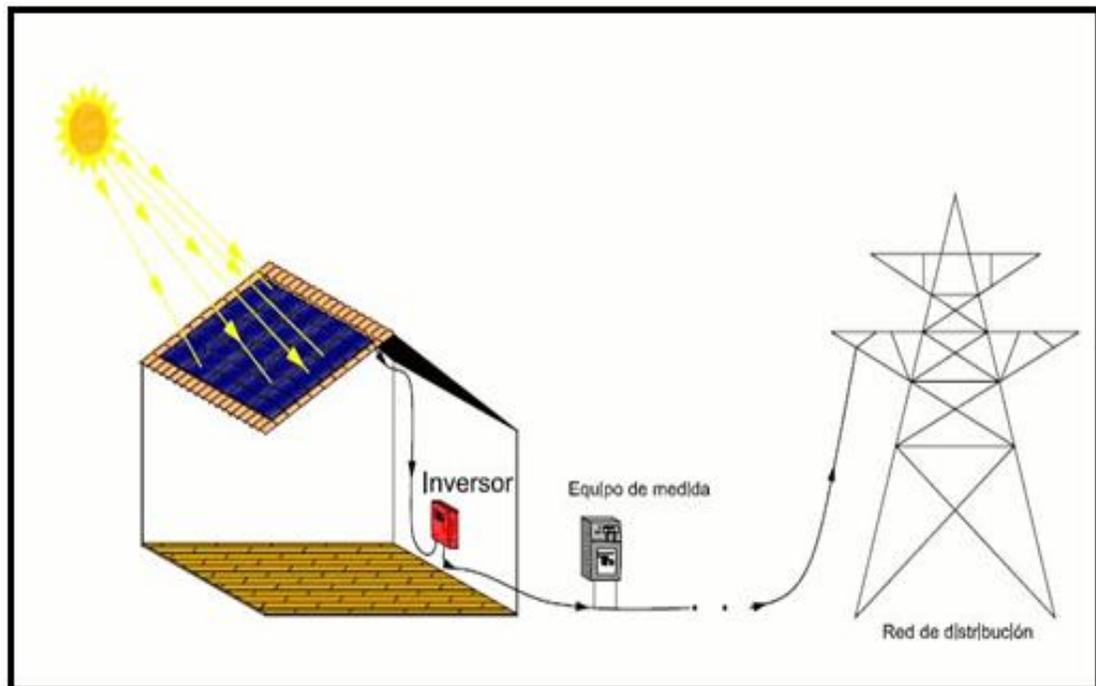


Figura 1.24 Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red de Distribución

(http://www.dercomsolar.com/sistemas_de_red.html)

1.4.7 Características del sistema fotovoltaico con conexión a red

Las principales componentes de un sistema fotovoltaico conectado a la red son uno o varios paneles solares, el Sistema MPPT (Máximo Power Point Tracking – Rastreo del Punto Máximo de Potencia), el Inversor DC/AC y el Sistema de medición de energía.

Un arreglo fotovoltaico está constituido por un determinado número de paneles fotovoltaicos, el número de paneles depende de la potencia requerida por un sistema.

1.4.7.1 Sistema MPPT

El seguidor del punto de máxima potencia como su nombre lo indica, es un dispositivo electrónico diseñado con el objetivo de aumentar el rendimiento de un arreglo de paneles solares en cuanto a la potencia que dichos arreglos entregan a su salida, con la finalidad de entregar la mayor cantidad de energía a la red.

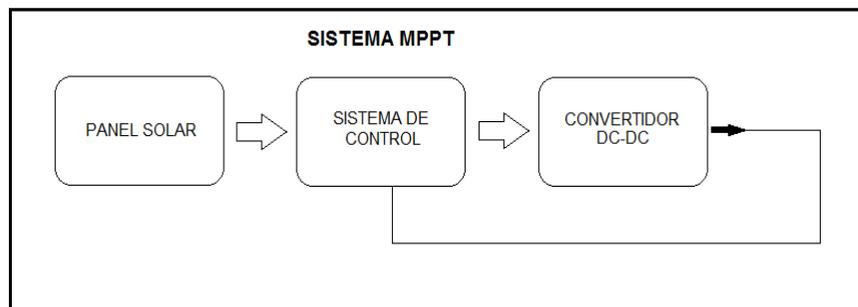


Figura 1.25 Diagrama de bloques del Sistema MPPT

1.4.7.2 Inversor DC/AC

Dispositivo electrónico que transforma el voltaje, la frecuencia y la fase de la señal generada con respecto a la señal de la red de distribución. Además es el dispositivo encargado de monitorear la red para detectar condiciones de no trabajo y así proteger el sistema de cortos circuitos y otras irregularidades.

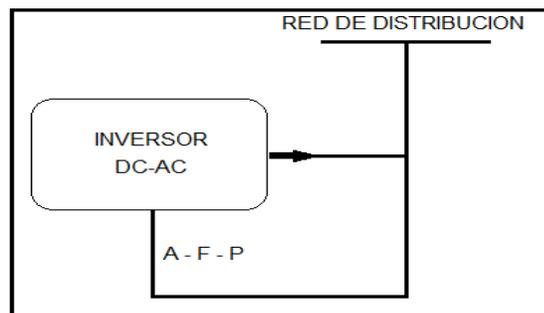


Figura 1.26 Diagrama del Inversor DC/AC

1.4.7.3 Sistema de Medición de Energía

Dispositivo encargado de medir la cantidad de energía inyectada a la red eléctrica, tomando en cuenta la potencia consumida por el mismo sistema, y determinar la ganancia económica, según sea energía solar o eólica, por dicha cantidad inyectada.

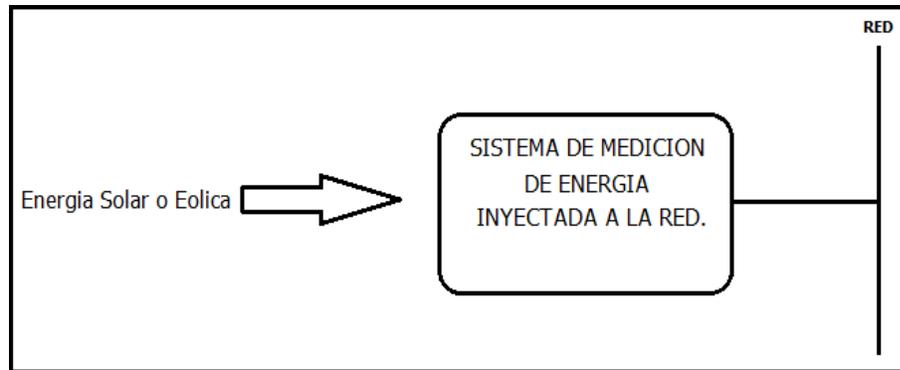


Figura 1.27 Diagrama del Sistema de Medición de Energía

1.5 Sistemas Eólicos para el hogar y conectados a la Red

El principio de funcionamiento básicamente está dado por la generación eólica de electricidad mediante un aerogenerador de potencia nominal acorde al consumo previsto. Este sistema es encargado de generar voltaje en corriente continua o alterna y a través de un sistema de balance y arbitraje inyectar energía a un hogar o a la red de distribución.

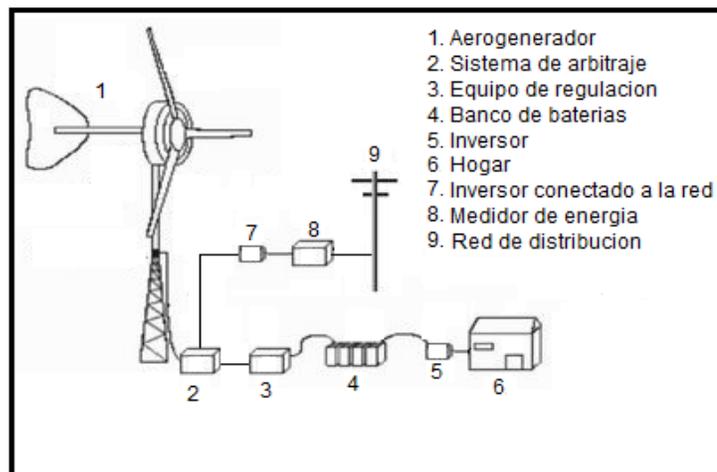


Figura 1.28 Sistema eólico conectado a un Hogar y la Red

1.5.1 Características de un sistema eólico conectado al hogar y a la red

Los principales componentes son:

- Aerogenerador
- Equipo de regulación
- Banco de baterías
- Inversor
- Inversor conectado a la red
- Medidor de energía

1.5.1.1 Equipo de regulación

Conjunto de resistencias de frenado y un regulador de carga, que desvía hacia el conjunto de resistencias los excedentes de energía que las baterías de la instalación no pueden asumir, evitándose de este modo que el aerogenerador tenga que estar funcionando en vacío y por lo tanto girando a velocidades peligrosamente elevadas, en los periodos de tiempo en que las baterías presentan elevados niveles de carga.



Figura 1.29 Regulador
(<http://spanish.alibaba.com>)

1.5.1.2 Banco de Baterías

Conjunto de dispositivos que almacenan energía eléctrica, usando procedimientos electroquímicos y que posteriormente la devuelve casi en su totalidad; este ciclo puede repetirse por un determinado número de veces. Con el objeto de disponer de energía en los períodos de viento flojo o de calma, este sistema es inútil en sistemas de generación eléctrica conectados a la red.



Figura 1.30 Banco de Baterías
(<http://www.eltrotec.com.pe>)

1.5.1.3 Inversor

La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador. El inversor para el hogar convierte el voltaje de la batería a un voltaje similar al de la red, facilitando su uso en los diferentes equipos eléctricos.

1.6 Sistema Híbrido Eólico-Solar

Un sistema de energía renovable híbrido es aquel que está formado por dos o más tipos de energías renovables. Un sistema híbrido Eólico-Solar aprovecha tanto la energía generada por el viento y el sol para inyectarla a la red eléctrica local o para alimentación de equipos en un hogar.

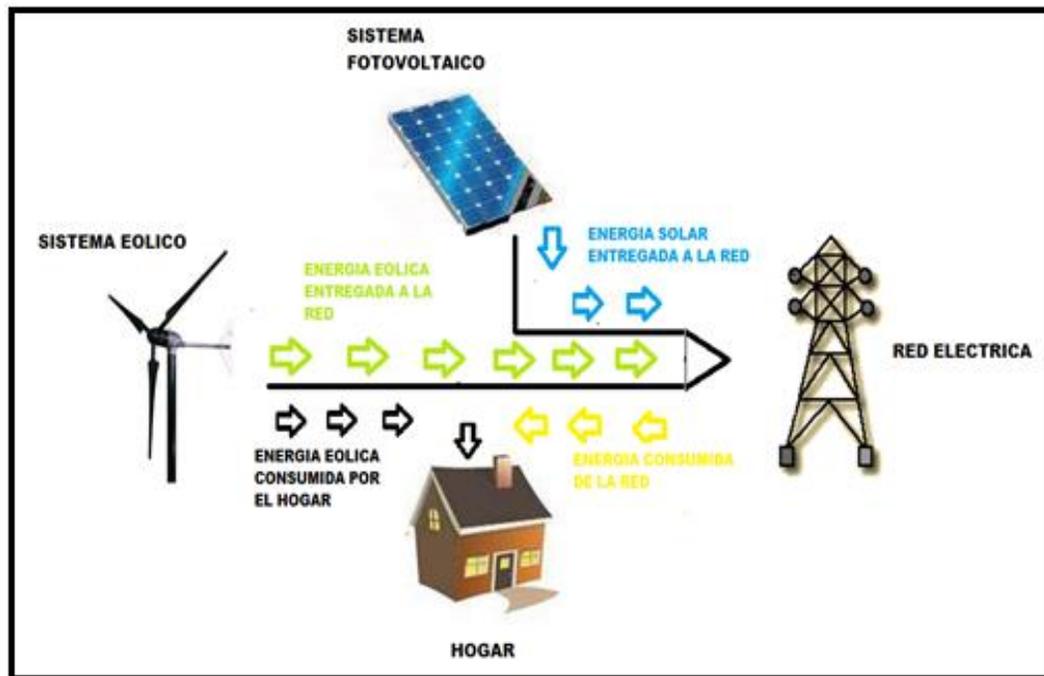


Figura 1.31 Sistema Híbrido Eólico-solar

1.6.1 El Potencial Energético de un Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico

Para dimensionar un sistema híbrido basado en generadores fotovoltaicos y eólicos cuya energía será inyectada a la red, es necesario identificar todas las combinaciones posibles que ofrecen un determinado nivel de fiabilidad, la óptima opción se obtiene al valorar el coste económico de cada una de las posibilidades para un mismo nivel de fiabilidad.

El objetivo ideal sería obtener un conjunto de ecuaciones que ligen los datos meteorológicos (velocidad de viento y radiación solar) de un emplazamiento con el tamaño de cada uno de los elementos del sistema (Generador eólico, fotovoltaico).

1.6.2 Método Series Sintéticas

Las medias mensuales de irradiación diaria son los únicos datos necesarios para la generación de una serie horaria de índices de claridad, estas series tienen la característica principal de conservar propiedades estadísticas con validez universal, a partir de una auto regresión se describe la persistencia de la radiación de primer orden y la función de distribución del índice de claridad de la atmósfera tiene una forma exclusivamente asociada a su valor medio durante el periodo a considerar la velocidad media mensual y la velocidad cúbica media mensual que ajustará la función de distribución, se utilizará la densidad espectral de potencia para el modelado de la variación estocástica de la velocidad del viento. Estos dos procedimientos de generación de series se implementan individualmente.

1.6.3 Dimensionamiento

Se debe afrontar la cuantificación del generador y del acumulador, la capacidad del generador (C_A), se define como una relación entre los valores medios de la energía producida por el generador y la energía consumida por la carga. La capacidad del acumulador (C_S), se define como la máxima energía que puede extraerse de él dividida por el valor medio de la energía consumida por la carga, es decir:

$$C_A = \frac{\eta_G G_d(\alpha, \beta) A_G}{L}$$

Ecuación 1.1 Capacidad del Generador

$$C_S = \frac{C_U}{L}$$

Ecuación 1.2 Capacidad del Acumulador

$$C_U = \frac{C_B}{PD_{\max}}$$

Ecuación 1.3 Capacidad Utilizable del Acumulador

A_G : Es el área del generador.

η_G : Es la eficiencia de conversión del generador.

$G_d(\alpha, \beta)$: Es el valor medio de la irradiación diaria sobre el plano del generador.

L : Es el valor medio de la energía diaria consumida por la carga.

C_U : Es la capacidad utilizable del acumulador.

C_B : Es la capacidad nominal de la batería.

PD_{\max} : Es la profundidad de descarga máxima de la batería.

Se debe cuantificar la energía eólica disponible y los parámetros estadísticos que caracterizan a esta fuente de energía, es decir:

$$E = \frac{mv^2}{2}$$

Ecuación 1.4 Energía Cinética

E : Energía Cinética.

m : masa de aire.

v : velocidad del viento.

$$e = \frac{\rho v^2}{2}$$

Ecuación 1.5 Energía por unidad de Volumen

e : energía por unidad de volumen de la corriente de aire.

$$P_d = \frac{\rho v^3 A}{2}$$

Ecuación 1.6 Potencia en las masas de Aire

P_d : Potencia mecánica disponible en las masas de aire.

A : Área expuesta a la corriente de aire.

P_d : La energía que fluye por unidad de tiempo, o potencia disponible.

ρ : Es la densidad del aire, 1,225 kg/m³.

Imaginemos un sistema que tiene todo el consumo durante la noche, el acumulador no tiene pérdidas y que la capacidad útil es la nominal. El estado de carga final del acumulador, en el momento al acabar la noche del día vendrá determinado por el estado de carga del día anterior y la energía generada y consumida en el día.

1.7 Microcontrolador

Un micro-controlador es un circuito integrado que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: (CPU) Unidad Central de Procesamiento, Memoria y periféricos de entrada y salida, como se indica en la figura 1.9. El micro-controlador a utilizar es el PIC 18F4550 de Microchip ®, el cual consta con las características técnicas ideales para la realización de proyectos que requieren robustez, flexibilidad y capacidad de procesamiento, el integrado tiene diferentes módulos integrados como se muestran a continuación.

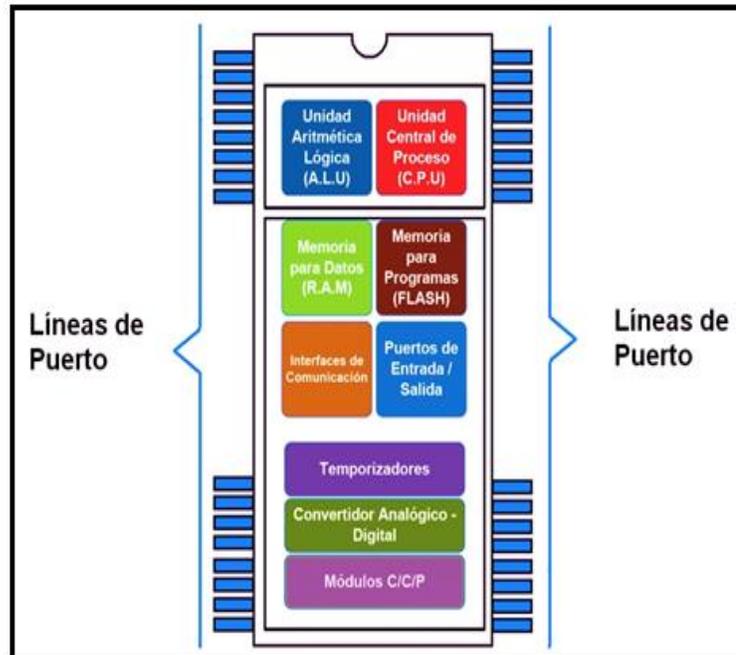


Figura 1.32 Representación esquemática de la estructura de un micro-controlador

1.7.1 Características del PIC 18F4550.

Micro-controlador con módulo USB especificación 2.0. Soporta Low speed 1.5Mb/s y full speed 12Mb/s. 32 endpoints (16 bidireccionales). 1kB de memoria de doble acceso para el USB.

- Hasta 35 pines I/O disponibles.
- Memoria de programa flash de 32 kB.
- RAM de 2048 Bytes.
- EEPROM de datos de 256 Bytes.
- Velocidad de la CPU 12 MIPS.
- Oscilador externo hasta 48 MHz.
- Oscilador interno seleccionable entre 8 frecuencias desde 31kHz hasta 8MHz.
- Opciones de oscilador dual permiten que la velocidad de la CPU y del módulo USB sean diferentes.
- ADC de 10 bits y 13 canales.

- Tecnología nano Watt que brinda características y funciones de bajo consumo y ahorro de energía.
- Voltaje de operación 4.2V a 5.5V.
- 2 módulos de captura/comparación/PWM.
- 1 timer de 8 bits y 3 de 16 bits.
- EUSART, SPP, SPI, I²C.
- 20 fuentes de interrupciones (3 externas).
- Resistencias de pull-ups en el puerto B programables.
- Función del pin MCLR opcional.
- Brown-out Reset de valor programmable.
- Power-on Reset.
- Power-up Timer y Oscillator Start-up Timer.
- Soporta 100,000 ciclos de borrado/escritura en memoria flash.
- Soporta 1, 000,000 ciclos de borrado/escritura en memoria EEPROM.
- Retención de datos mayor a 40 años.
- Protección de código y datos programable.
- Encapsulado DIP de 40 pines.

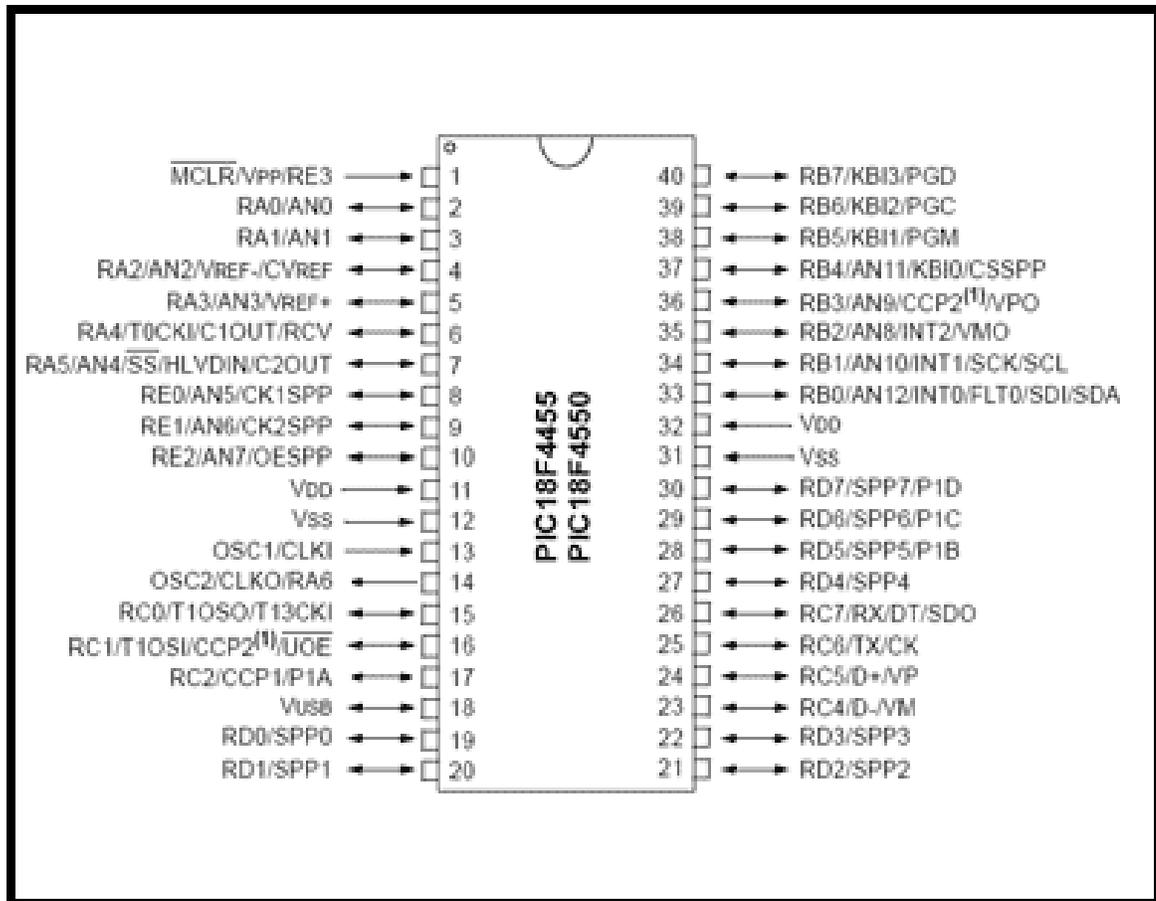


Figura 1. 33 PIC 18F4550

(<http://ml-ehouse.blogspot.com>)

1.8 Herramientas de software

- **Editor y Compilador.** El editor permite escribir el programa. Los programas deben escribirse en un orden lógico y siguiendo una sintaxis específica. Los compiladores permiten verificar si los comandos de un programa han sido escritos de manera correcta.
- **Herramientas I.D.E.** Se refieren como “Ambientes Integrados de Desarrollo”. Son paquetes de aplicación que integran todas o la mayoría de las funciones de una Herramienta de Desarrollo de software. Un paquete de este tipo es MPLAB IDE v8.46, este posee editor, compiladores, simulador y manejadores para diferentes herramientas

de desarrollo de hardware. La figura 1.4 muestra el entorno de trabajo de MPLAB IDE v8.46.

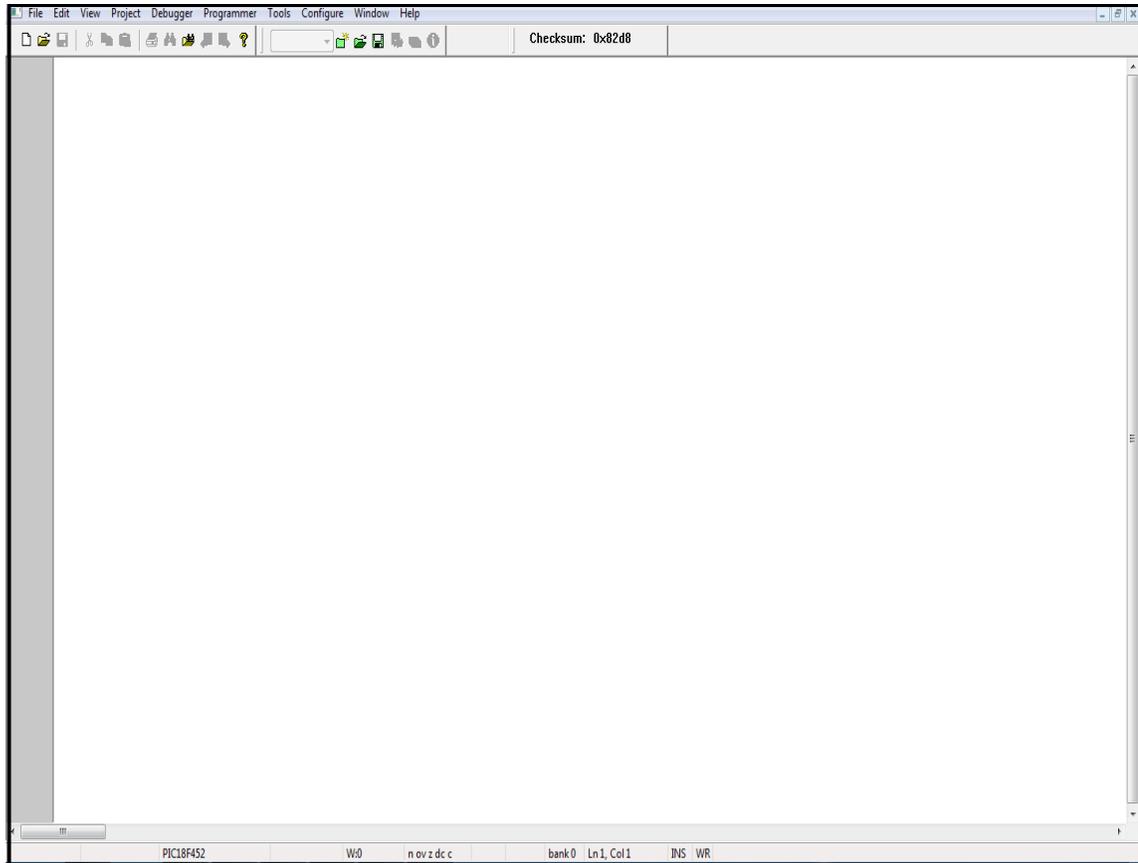


Figura 1. 34 Pantalla de trabajo en MPLAB IDE v8.46.

1.8.1 Herramientas de Hardware

- **Computadora Personal.** Herramienta necesaria para utilizar los utilitarios de software.
- **Programador.** El PICkit™ 2 fabricado por Microchip™ es un programador de bajo costo y también es un debugger que se conecta al puerto USB de la PC.



Figura 1. 35 Imagen del programador PICkit 2 de Microchip ®.

(http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en023805)

1.8.2 Interrupciones

Permiten interrumpir la ejecución del programa principal en cualquier momento. Es decir que cuando se produce una interrupción el programa salta a la rutina de atención, cuando se termina de ejecutar la interrupción se retorna al programa principal justo en la posición en que se encontraba antes de ejecutarse la interrupción. Así una interrupción permite manejar rutinas que no necesitan ejecutarse continuamente sino de forma esporádica.

1.8.2.1 Interrupción por temporización

Esta interrupción consiste en la detención del programa en curso cuando el Timer programable del micro-controlador (Timer0, Timer1 o Timer2) se desborda o cuando alcanza un cierto valor umbral. Cuando termina dicha interrupción se retorna al programa principal, restableciendo el Timer y esperando a la siguiente interrupción.

1.8.2.2 Interrupción por periféricos

Esta interrupción se realiza cuando un componente del hardware del ordenador requiere la interrupción del hardware. Un PIC posee muchos periféricos. Generalmente, necesitan utilizar recursos del sistema, aunque sólo sea para comunicarse con éste, esta

interrupción también se da debido a los cambios de voltaje o corriente generados en los puertos del micro-controlador.

1.8.3 Puertos I/O

Un puerto comprende una entidad formada por el hardware y el software necesario para garantizar el intercambio de información desde o hacia el dispositivo programable. Un micro controlador se comunica con el exterior solamente a través de líneas de entrada/salida.

1.8.4 Conversor Analógico/Digital

Un conversor, de señal analógica a digital, es un dispositivo electrónico capaz de convertir una señal analógica de voltaje en una señal digital con un valor binario. Se utiliza en equipos electrónicos como computadora, grabadores de sonido y de vídeo, y equipos de telecomunicaciones. Realiza dos procesos, uno de muestro y el otro de cuantificación, necesarios para digitalizar una señal.

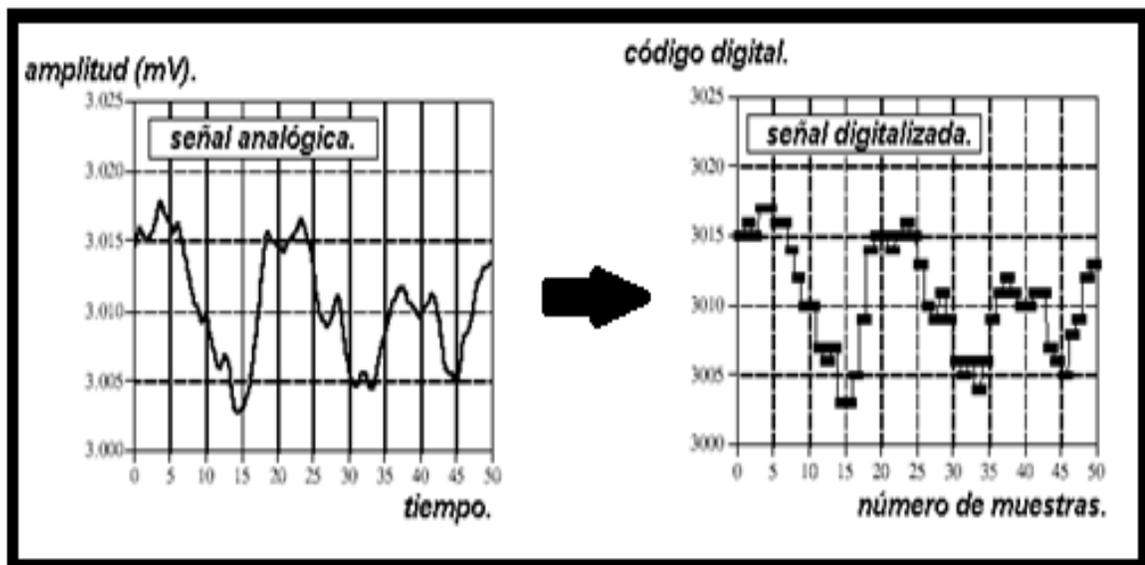


Figura 1. 36 Esquema de conversión A/D del micro-controlador de la serie 18F4550.

1.8.5 Pulse Width Modulation (PWM)

La modulación por ancho de pulsos de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (una senoidal o una cuadrada, por ejemplo), ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

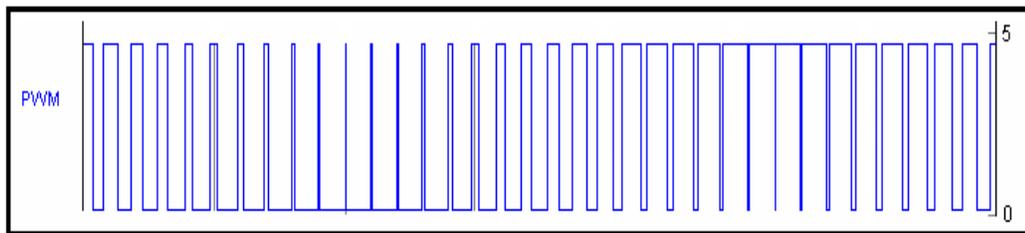


Figura 1.37 Imagen de Onda PMW.

1.8.6 Método de cruce por cero

Consiste en analizar detalladamente el punto en el cual una onda o señal cambia de polaridad o signo. En este caso el método es utilizado para poner en sincronía, tanto en fase como en frecuencia, la señal generada a través del inversor con la señal de la red de distribución.

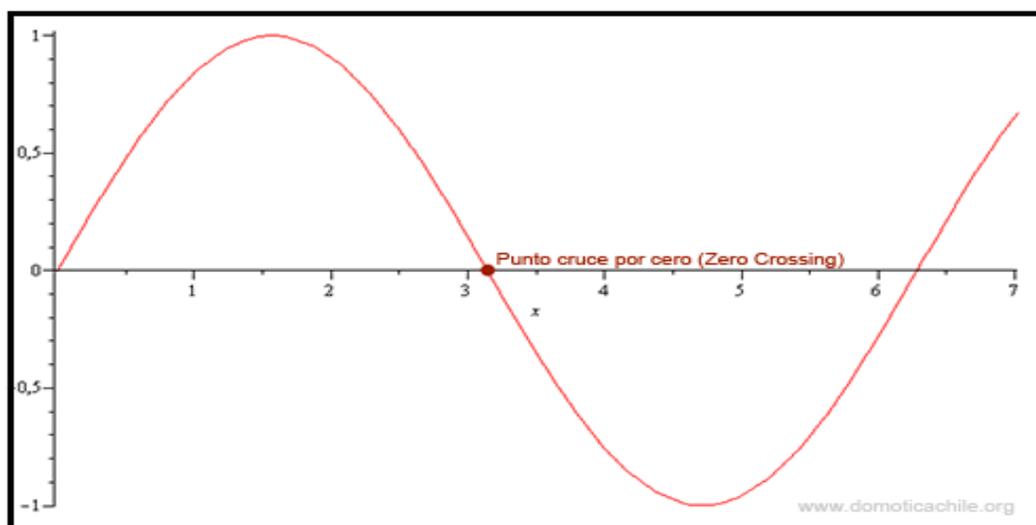


Figura 1.38. Punto cruce por cero.

(www.domoticachile.org, Proyecto domótica X10 Chile).

1.9 Amplificador

Un amplificador es todo dispositivo que, mediante la utilización de energía, magnifica la amplitud de un fenómeno. Aunque el término se aplica principalmente al ámbito de los amplificadores electrónicos, también existen otros tipos de amplificadores, como los mecánicos, neumáticos, e hidráulicos, como los gatos mecánicos.

1.9.1 Transistor

El transistor es un dispositivo electrónico semiconductor, utilizado para producir una señal de salida en respuesta a otra señal de entrada, que cumple funciones de amplificador, oscilador, conmutador o rectificador. Actualmente se encuentran en todos los aparatos electrónicos de uso diario.

1.9.1.1 Transistor de Unión Bipolar

El transistor de unión bipolar, o BJT por sus siglas en inglés, se fabrica básicamente sobre un mono cristal de Germanio, Silicio o Arseniuro de galio, que tienen cualidades de semiconductores, el estado intermedio entre conductores como los metales y los aislantes como el diamante. Sobre el sustrato de cristal, se contaminan en forma muy controlada tres zonas, dos de las cuales son del mismo tipo, NPN o PNP, quedando formadas dos uniones NP.

La zona N con elementos donantes de electrones (cargas negativas) y la zona P de aceptadores o huecos (cargas positivas). Normalmente se utilizan como elementos aceptadores P al Indio (In), Aluminio(Al) o Galio (Ga) y donantes N al Arsénico (As) o Fósforo (P).



Figura 1.39. Transistor de unión bipolar.
(<http://julian11sintrafec.blogspot.com>).

La configuración de uniones PN, dan como resultado transistores PNP o NPN, donde la letra intermedia siempre corresponde a la característica de la base, y las otras dos al emisor y al colector que, si bien son del mismo tipo y de signo contrario a la base, tienen diferente contaminación entre ellas.

1.9.1.2 Transistor de Efecto de Campo

El transistor de efecto de campo de unión (JFET), fue el primer transistor de efecto de campo en la práctica. Lo forma una barra de material semiconductor de silicio de tipo N o P. En los terminales de la barra se establece un contacto óhmico, tenemos así un transistor de efecto de campo tipo N de la forma más básica. Si se difunden dos regiones P en una barra de material N y se conectan externamente entre sí, se producirá una puerta. A uno de estos contactos le llamaremos surtidor y al otro drenador. Aplicando tensión positiva entre el drenador y el surtidor y conectando la puerta al surtidor, estableceremos una corriente, a la que llamaremos corriente de drenador con polarización cero. Con un potencial negativo de puerta al que llamamos tensión de estrangulamiento, cesa la conducción en el canal.

El transistor de efecto de campo, o FET por sus siglas en inglés, que controla la corriente en función de una tensión; tienen alta impedancia de entrada.

- Transistor de efecto de campo de unión, JFET, construido mediante una unión PN.
- Transistor de efecto de campo de compuerta aislada, IGFET, en el que la compuerta se aísla del canal mediante un dieléctrico.
- Transistor de efecto de campo MOS, MOSFET, donde MOS significa Metal-Óxido-Semiconductor, en este caso la compuerta es metálica y está separada del canal semiconductor.

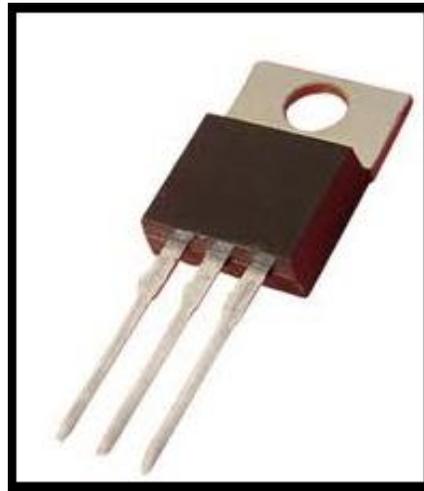


Figura 1.40. Transistor de Efecto de Campo.
(<http://julian11sintrafec.blogspot.com>)

1.9.2 Transistores y Electrónica de Potencia

Con el desarrollo tecnológico y evolución de la electrónica, la capacidad de los dispositivos semiconductores para soportar cada vez mayores niveles de tensión y corriente ha permitido su uso en aplicaciones de potencia. Es así como actualmente los transistores son empleados en convertidores estáticos de potencia, controles para motores y llaves de alta potencia (principalmente inversores), aunque su principal uso está basado en la amplificación de corriente dentro de un circuito cerrado.

1.9.3 Amplificador de potencia clase b

Un amplificador de potencia funciona en clase B cuando la polarización de dc deja al transistor casi apagado de manera que el transistor se enciende cuando a este se le

aplica una señal en ac. Es decir que el transistor conducirá corriente solamente para una mitad de ciclo de la señal.

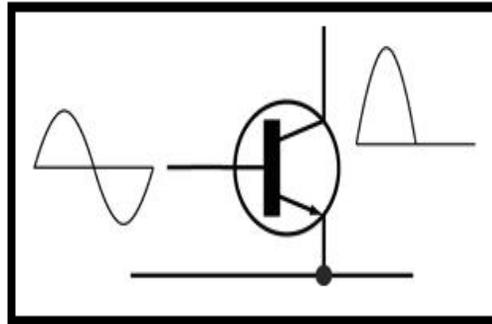


Figura 1.41. Amplificador de potencia clase b.

1.9.4 Amplificador Push-Pull

Para obtener una señal de ciclo completo será necesario utilizar dos transistores clase b y lograr que cada uno de ellos conduzca durante medios ciclos opuestos, y al tener esta operación combinada se obtiene un ciclo completo de señal de salida. Dado que una parte del circuito empuja a la señal de arriba durante una mitad del ciclo y la otra parte jala la señal hacia abajo durante la otra mitad del ciclo, el circuito por ende se denomina de contrafase circuito Push-Pull.

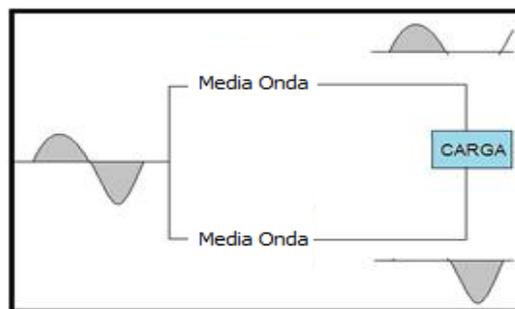


Figura 1.17 Esquema de configuración Push-Pull.

(www.monografias.com/trabajos89/amplificador-potencia-clase-b/amplificador-potencia-clase-b.shtml)

CAPITULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE Y SOFTWARE DE CONTROL BASADO EN UN PIC 18F452

2.1 Software

Se conoce como software al equipamiento lógico de un sistema informático o electrónico, que comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas. El llamado software de sistema, tal como el sistema operativo, que básicamente permite al resto de los programas funcionar adecuadamente, facilitando también la interacción entre los componentes físicos (hardware) y el resto de las aplicaciones, y proporcionando una interfaz con el usuario.

Considerando esta definición, el concepto de software va más allá de los programas de computación en sus distintos estados: código fuente, binario o ejecutable; también su documentación, los datos a procesar e incluso la información de usuario forman parte del software: es decir, abarca todo lo intangible, todo lo no físico relacionado.

El software, como programa, consiste en un código en un lenguaje máquina específico para un procesador individual. El código es una secuencia de instrucciones ordenadas que cambian el estado del hardware de una computadora. Se suele escribir en un lenguaje de programación de alto nivel, que es más sencillo de escribir (pues es más cercano al lenguaje natural humano), pero debe convertirse a lenguaje máquina para ser ejecutado. Puede distinguirse en tres categorías: software de sistema, software de programación y aplicación de software.

- Software de sistema: ayuda a funcionar al hardware y a la computadora. Incluye el sistema operativo, controladores de dispositivos, herramientas de diagnóstico, servidores, sistema de ventanas, utilidades y más. Su propósito es evitar lo más posible los detalles complejos de la computación, especialmente la memoria y el hardware.
- Software de programación: provee herramientas de asistencia al programador. Incluye editores de texto, compiladores, intérprete de instrucciones, enlazadores, debuggers, etc.
- Software de aplicación: permite a los usuarios finales hacer determinadas tareas, algunos software de aplicación son los navegadores, editores de texto, editores gráficos, antivirus, mensajeros, etc.

2.1.1 Diagrama de flujo del software del inversor

El software implementado en el micro-controlador conforma la parte central de todo el sistema de inversión, ya que en él se ejecutan las tareas principales como son: interpretación de las señales de entrada entregadas por el sistema de sincronización, el manejo de las señales de salida que permiten la generación de la onda senoidal, es decir, el micro-controlador y todo el hardware que se encuentra asociado a él conforman todo el sistema de inversión. En la Figura 2.1 se muestra el diagrama de flujo básico del programa principal que se ejecuta de manera continua en el micro-controlador.

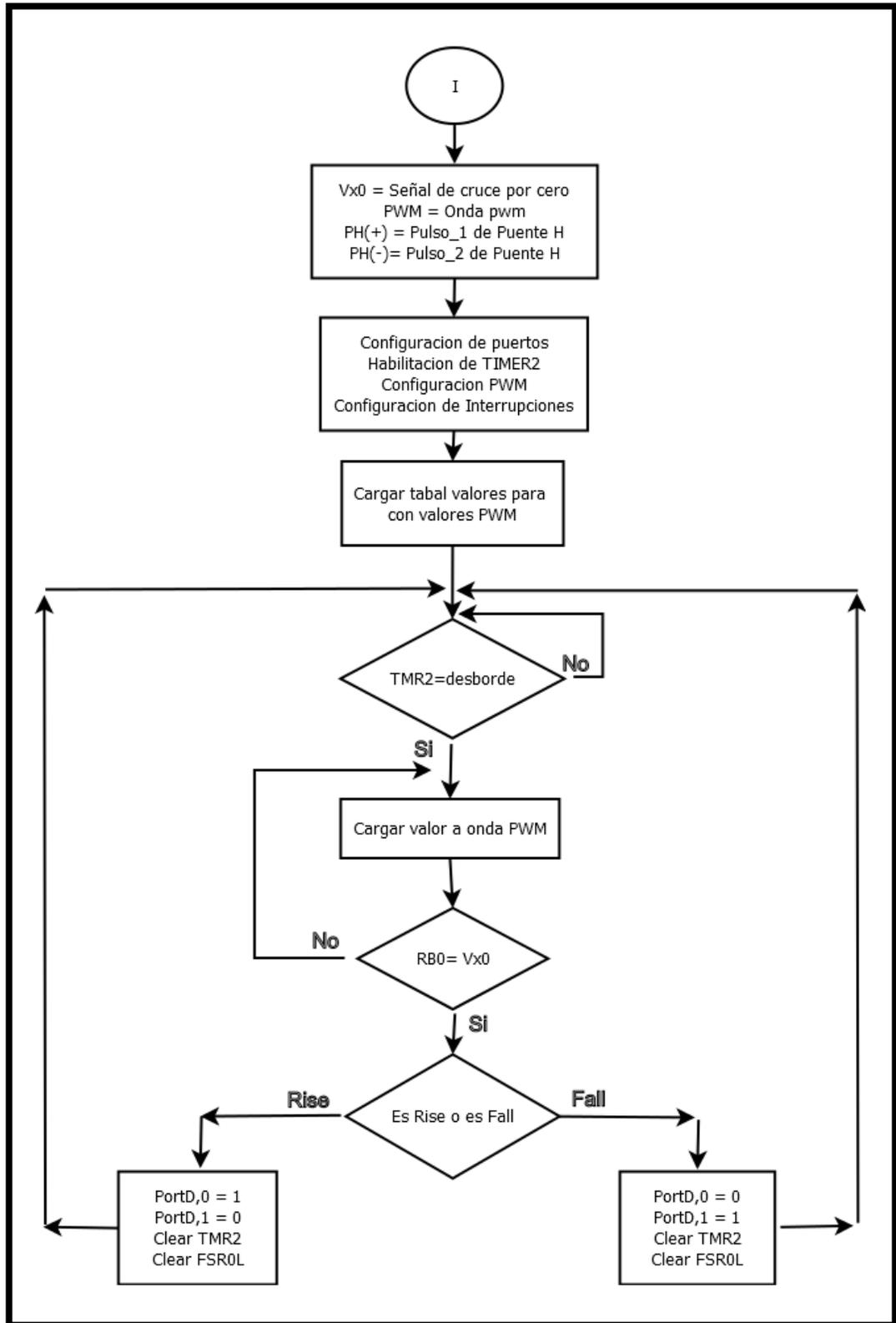


Figura 2.1 Diagrama de flujo del sistema de inversión

2.1.2 Algoritmo del sistema de inversión

Inicio del programa

Configuración de puertos
 Habilitación de Timer2
 Configuración de PWM
 Configuración de Interrupciones

Programa Principal

Cargar tabla de valores PWM
 Pregunta TMR2 = desbordamiento

Si

Cargar valores a onda PWM

Pregunta: ¿Hay cruce por cero?

Si

Pregunta: ¿Es Rise o Fall?

Si es rise

PortD,0 = 1

PortD,1 = 0

Clear TMR2

Clear FSR0L

Return

Si es fall

PortD,0 = 0

PortD,1 = 1

Clear TMR2

Clear FSR0L

Return

No

Cargar valores PWM

No

Pregunta por TMR2

2.2 Hardware

El término hardware se refiere a todas las partes tangibles de un sistema electrónico; sus componentes son: eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos; estos

componentes son los que se encargan de realizar diversas tareas y funciones como transmisión de datos, recepción y adecuación de señales, etc. En este caso el hardware es la parte física que complementa al software. El hardware de control se divide básicamente en dos partes fundamentales: Sincronización con la red eléctrica y sistema de generación de onda senoidal.

La sincronización con la red eléctrica es la parte más importante en la inyección de energía a la red, ya que tenemos que tener en cuenta que la onda generada por el sistema de generación de onda senoidal debe tener iguales características que la onda de la red, es decir, las ondas tanto de la red como la generada deben tener la misma fase, frecuencia y voltaje.

2.2.1 Herramientas para diseño de hardware

2.2.1.1 Herramientas CAD

Computer Assisted Design, (CAD), emplea técnicas gráficas para soportar el proceso de diseño. La introducción de dichas técnicas en el proceso de diseño de circuitos electrónicos es fundamental, ya que más allá de proveer interfaces gráficas para asistir el proceso, brinda la posibilidad de simular y verificar la descripción antes de llevar a cabo su implementación, minimizando el costo de elaborar circuitos potencialmente defectuosos y acelerando el diseño global.

En el ciclo de diseño de hardware las herramientas CAD están presentes en todos los pasos. En primer lugar en la fase de descripción de la idea, luego la fase de simulación y verificación en donde las diversas herramientas permiten realizar simulación por eventos, funcional, digital o eléctrica considerando el nivel de simulación requerido. La última etapa es comprendida por herramientas especializadas en la fabricación del circuito propiamente dicho y se orientan a la fabricación de circuitos impresos o circuitos integrados.

2.2.1.2 Altium Designer

Altium Designer es un conjunto de programas para el diseño electrónico en todas sus fases y para todas las disciplinas, ya sean esquemas, simulación, diseño de circuitos impresos, o desarrollo de código para microprocesadores. Es un sistema completo de edición de circuitos impresos basado en reglas con potentes visores y mensajes.

Estos son necesarios para la última tecnología de placas multicapa con vías enterradas y ciegas. El ruteado interactivo es totalmente personalizable con ruteado de arcos, pares diferenciales, ajuste de anchos y vías, permite pujar pistas y eliminar lazos.

2.2.2 Hardware de sincronización con la red

2.2.2.1 Diodo 1N7004

Un diodo es un componente electrónico de dos terminales que permite la circulación de la corriente eléctrica a través de él en un solo sentido. Este término generalmente se usa para referirse al diodo semiconductor, el más común en la actualidad; consta de una pieza de cristal semiconductor conectada a dos terminales eléctricos.

De forma simplificada, la curva característica de un diodo (I-V) consta de dos regiones: por debajo de cierta diferencia de potencial, se comporta como un circuito abierto (no conduce), y por encima de ella como un circuito cerrado con una resistencia eléctrica muy pequeña. Debido a este comportamiento, se les suele denominar *rectificadores*, ya que son dispositivos capaces de suprimir la parte negativa de cualquier señal, como paso inicial para convertir una corriente alterna en corriente continua.



Figura 2.2 Diodo
(circ-electronic.blogspot.com)

2.2.2.2 Amplificador Operacional LM358

El LM358 es un circuito que consiste en dos amplificadores operacionales independientes de alta ganancia. Estos operacionales están diseñados para operar con una sola fuente de voltaje. El circuito integrado LM358 tiene una amplia utilidad en diversos campos de la electrónica y es un circuito de fácil implementación.

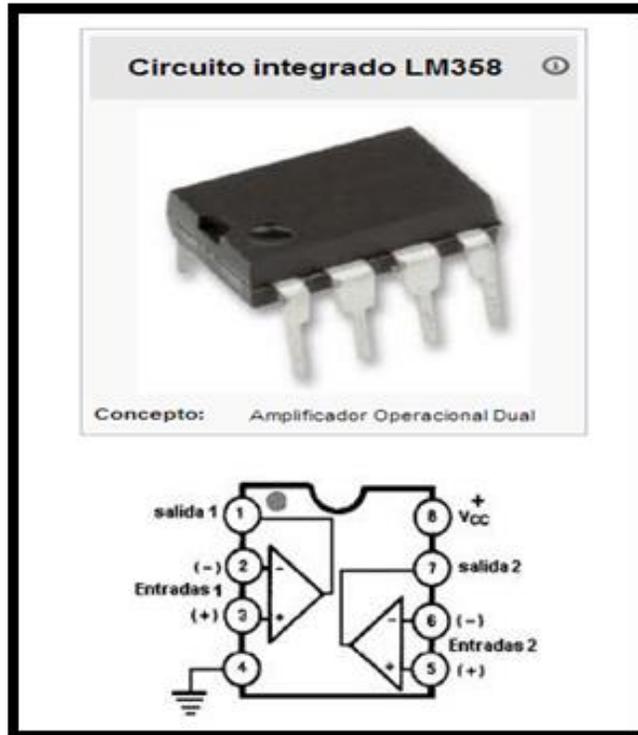


Figura 2.3 LM358

(<http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet/fairchild/LM358.pdf>)

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	LM258/LM258A	LM358/LM358A	LM2904	Unit
Supply Voltage	V _{CC}	±16 or 32	±16 or 32	±13 or 26	V
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	32	32	26	V
Input Voltage	V _I	-0.3 to +32	-0.3 to +32	-0.3 to +26	V
Output Short Circuit to GND V _{CC} ≤ 15V, T _A = 25°C (One Amp)	-	Continuous	Continuous	Continuous	-
Operating Temperature Range	T _{OPR}	-25 ~ +85	0 ~ +70	-40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	T _{STG}	-65 ~ +150	-65 ~ +150	-65 ~ +150	°C

Tabla 2.1 Valores Máximos del LM358

(<http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet/fairchild/LM358.pdf>)

2.2.3 Hardware para el microcontrolador

2.2.3.1 Microcontrolador 18F4550

El modelo 18F4550 posee varias características que hacen a este micro-controlador un dispositivo muy versátil, eficiente y práctico para ser empleado en gran cantidad de aplicaciones. Destacando como una de sus características más útiles la utilización de timers programables permitiendo ejecutar ordenes de diferentes jerarquías y a diferentes tiempos.

2.2.3.2 Fuente de alimentacion

El microcontrolador 18F4550 se alimenta con 5V DC, los cuales se aplican entre los pines de alimentacion VDD (+) y VSS (-). Siendo estos los pines 11 y 12 o los pines 32 y 31 respectivamente. Por seguridad se alimenta los pines 11 y 32 con 5 V DC y los pines 12 y 31 con tierra .

2.2.3.2.1 Regulador de voltaje L7805CV

El 7805 es un regulador de tensión de circuito integrado. Es un miembro de la serie 78xx de regulador de voltaje circuitos integrados lineales fijos. Una fuente de voltaje en un circuito puede tener fluctuaciones y no daría a la salida una tensión fija, el regulador de voltaje mantiene la tensión de salida en un valor constante. El xx en 78xx indica la tensión de salida fija que está diseñado para proporcionar. El 7805 proporciona +5 V fuente de alimentación regulada.

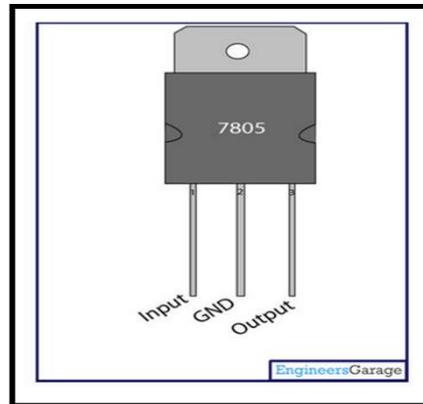


Figura 2.4 Pines del regulador de voltaje 7805
 (http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheets/228/390068_DS.pdf)

Pin Description:

Pin No	Función	Nombre
1	Voltaje de entrada (5V-18V)	Entrada
2	Tierra (0V)	Suelo
3	Salida regulada; 5V (4.8V-5.2V)	Salida

Tabla 2.2 Descripción de pines del L7805
 (http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheets/228/390068_DS.pdf)

2.2.3.3 Oscilador

Los micro-controladores siempre necesitan de un circuito que les indique la velocidad de trabajo, a estos circuitos se les demonima osciladores o relojes. Los osciladores generan ondas cuadradas a grandes frecuencias, existen diferentes tipos de osciladores como: XT (cristal de cuarzo), CR(oscilador con resistor y capacitor), HS (cristal de alta velocidad), LP (cristal de baja frecuencia y bajo consumo de potencia), y EXTERNO (se aplica una señal de reloj externa).

En el proyecto se utiliza un oscilador HS de alta velocidad con una frecuencia de 16MHz.

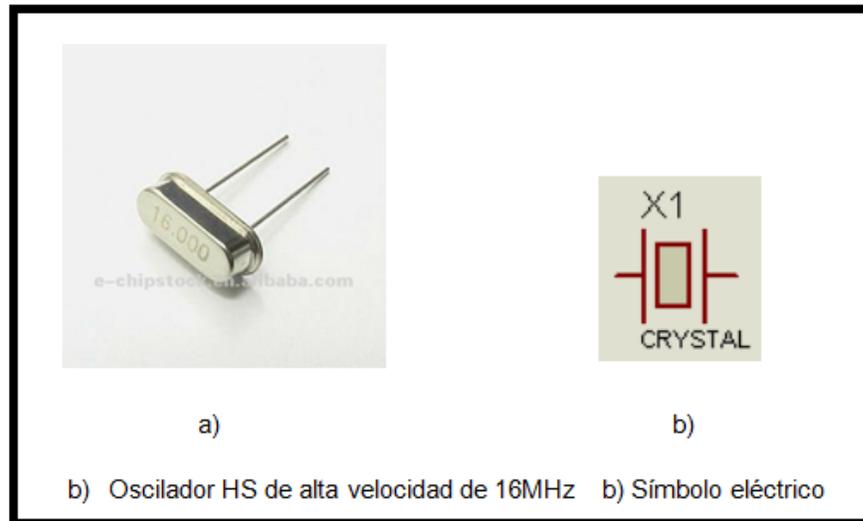


Figura 2.5 Oscilador

(<http://www.solostocks.com/venta-productos/componentes-activos/osciladores>)

2.2.3.4 Capacitor

Un condensador o capacitor, es un dispositivo pasivo, capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico. Está formado por un par de superficies conductoras, generalmente en forma de láminas o *placas*, en situación de influencia total (esto es, que todas las líneas de campo eléctrico que parten de una van a parar a la otra) separadas por un material dieléctrico o por el vacío. Las placas, sometidas a una diferencia de potencial, adquieren una determinada carga eléctrica, positiva en una de ellas y negativa en la otra, siendo nula la variación de carga total.



Figura 2.6 Capacitor
 (<http://en.wikipedia.org/wiki/Capacitor>)

2.2.4 Hardware para la onda seno

2.2.4.1 Mosfet IRF540

Este tipo de mosfet es utilizado como un interruptor por su alta eficiencia y velocidad de conmutacion.

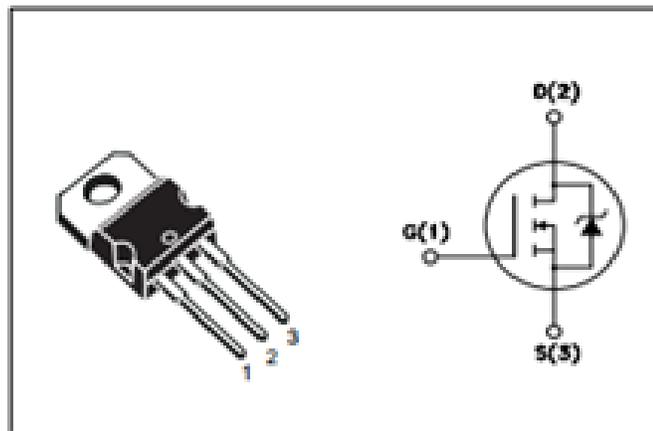


Figura 2.7 Mosfet IRF540
 (<http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet/stmicroelectronics/9387.pdf>)

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{DS}	Drain-source Voltage (V _{GS} = 0)	100	V
V _{DGR}	Drain-gate Voltage (R _{GS} = 20 kΩ)	100	V
V _{GS}	Gate-source Voltage	± 20	V
I _D	Drain Current (continuous) at T _C = 25°C	22	A
I _D	Drain Current (continuous) at T _C = 100°C	15	A
I _{DM(*)}	Drain Current (pulsed)	88	A
P _{tot}	Total Dissipation at T _C = 25°C	85	W
	Derating Factor	0.57	W/°C
dV/dt (1)	Peak Diode Recovery voltage slope	9	V/ns
E _{AS} (2)	Single Pulse Avalanche Energy	220	mJ
T _{stg}	Storage Temperature		
T _J	Max. Operating Junction Temperature	-55 to 175	°C

Tabla 2.3 Valores maximos del Mosfet IRF540

(<http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet/stmicroelectronics/9387.pdf>)

2.2.4.2 Transistor 2N3904

El Transistor 2N3904 es uno de los más comunes Transistores NPN generalmente usado para amplificación. Está diseñado para funcionar a bajas intensidades, bajas potencias, tensiones medias, y puede operar a velocidades razonablemente altas.

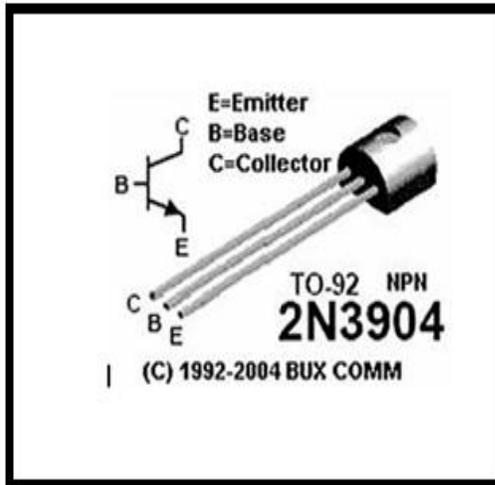


Figura 2.8 Transistor 2N3904

(<http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet2/a/0s181a5f3csj4dzug8wfyow5zqfy.pdf>)

Absolute Maximum Ratings*		TA = 25°C unless otherwise noted	
Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CE0}	Collector-Emitter Voltage	40	V
V_{CB0}	Collector-Base Voltage	60	V
V_{EB0}	Emitter-Base Voltage	6.0	V
I_C	Collector Current - Continuous	200	mA
T_J, T_{stg}	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	°C

Tabla 2.4 Valores maximos del Transistor 2N3904

(<http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet2/a/0s181a5f3csj4dzug8wfyow5zqfy.pdf>)

2.2.4.3 Condensador electrolítico

Un condensador electrolítico es un tipo de condensador que usa un líquido iónico conductor como una de sus placas. Típicamente con más capacidad por unidad de volumen que otros tipos de condensadores, son valiosos en circuitos eléctricos con relativa alta corriente y baja frecuencia. Este es especialmente el caso en los filtros de alimentadores de corriente, donde se usan para almacenar la carga, y moderar el voltaje de salida y las fluctuaciones de corriente en la salida rectificada.



Figura 2.9 Condensador

(<http://shopicardia.net/shopi-online/es/componentes-electronicos/103-condensador-capacitor-63v-1800uf.html>)

2.2.5 Diseño del hardware de sincronización con la red

El objetivo del hardware de sincronización, como la palabra lo indica, es sincronizar la onda de la red con la onda que vamos a generar con el micro-controlador, para ello necesitamos tomar como referencia el cruce por cero que tiene la onda de la red, en el momento que tenemos un cruce por cero, mediante este circuito, vamos a tener una señal que llega al micro-controlador que dará la orden de comenzar a generar la onda

senoidal, de esta manera las dos ondas estarán sincronizadas en fase, para explicar el diseño del circuito de sincronización con la red, vamos a dividirlo en 2 etapas de control:

2.2.5.1 Etapa A

Como se puede observar, tenemos una entrada AC a donde llega la onda de la red, mediante el diodo D1 hacemos una rectificación de media onda de la señal, con las resistencias R1 y R2 se crea un partidor de tensión para reducir el voltaje de 120V a 5V y por ultimo utilizamos el amplificador operacional LM385 como buffer para estabilizar la señal.

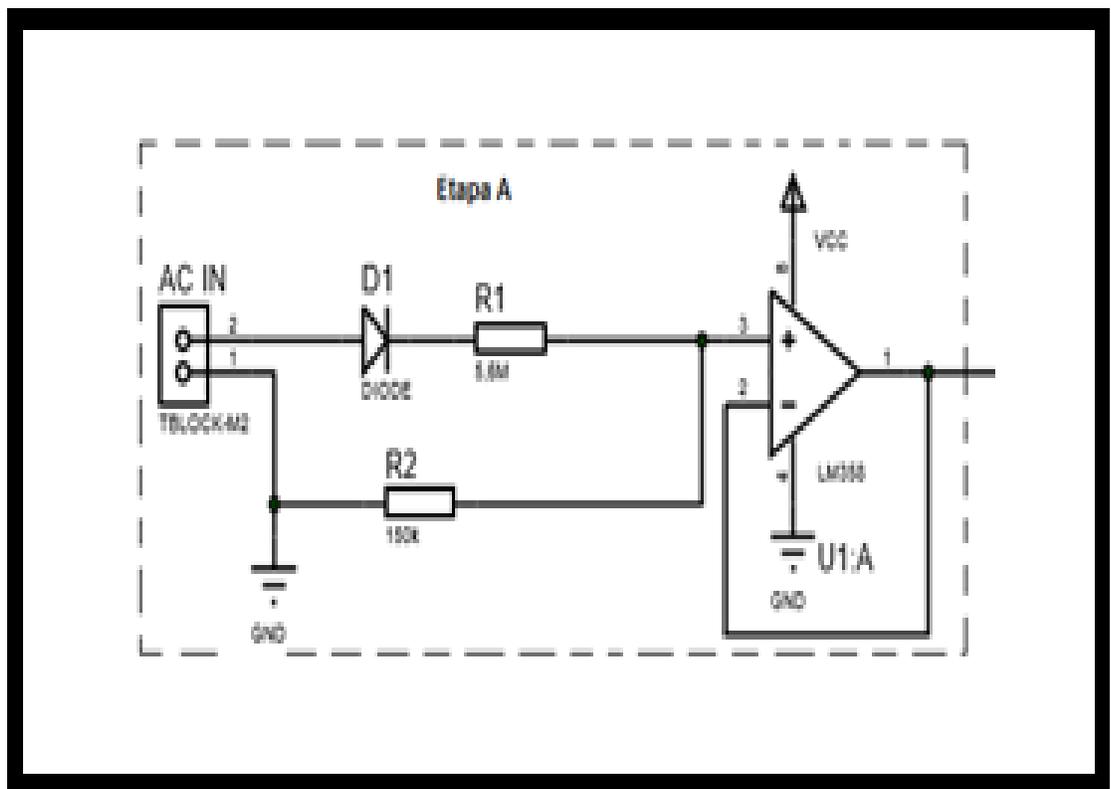


Figura 2.10 Diagrama de la etapa A del circuito de sincronización con la red

2.2.5.2 Etapa B

En este bloque tenemos un partidor de tensión realizado con las resistencias R4 y R5, lo que nos da un voltaje bien pequeño en la entrada del comparador, la función de éste es comparar la onda que viene desde buffer con el voltaje que tenemos en el partidor, entonces, al momento que la onda nos dé un valor de 5V, a la salida tendremos 12V y cuando tengamos 0V tendremos 0V a la salida, al final de esta etapa tenemos la resistencia R6 y un diodo D3 los cuales actúan como limitadores de voltaje a 5V para que la señal de salida varíe de 0V a 5V.

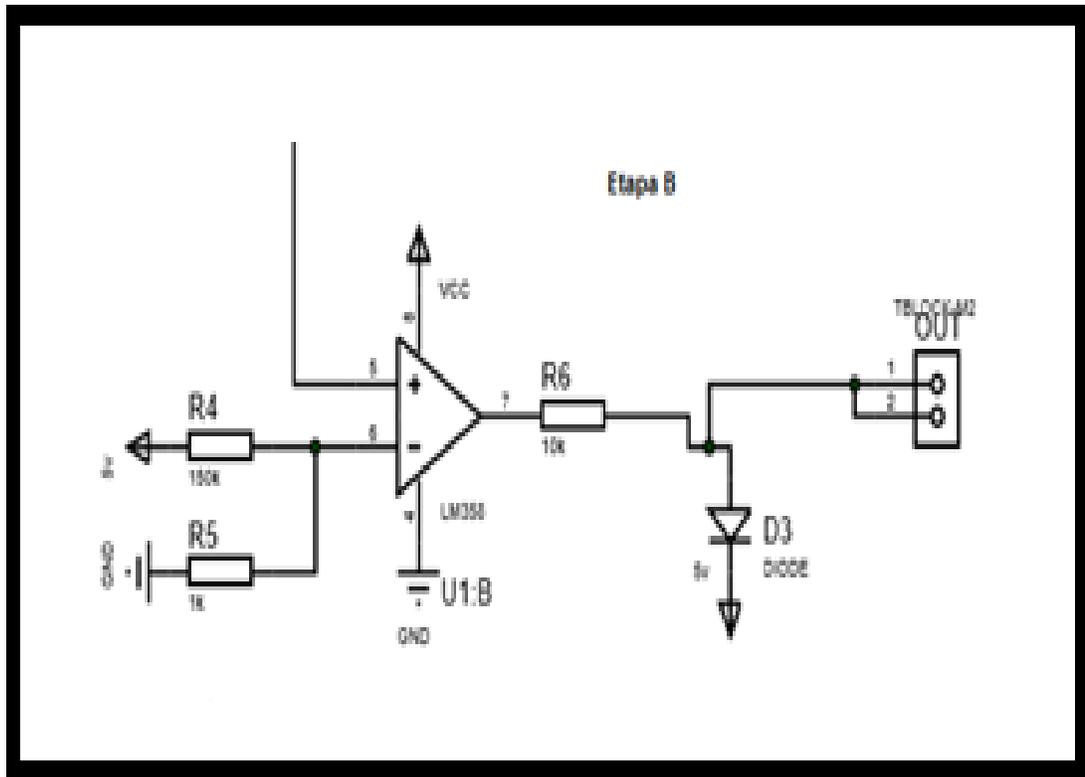


Figura 2.11 Diagrama de la etapa B del circuito de sincronización con la red

En la siguiente figura se muestra el diagrama completo del circuito de sincronización con la red.

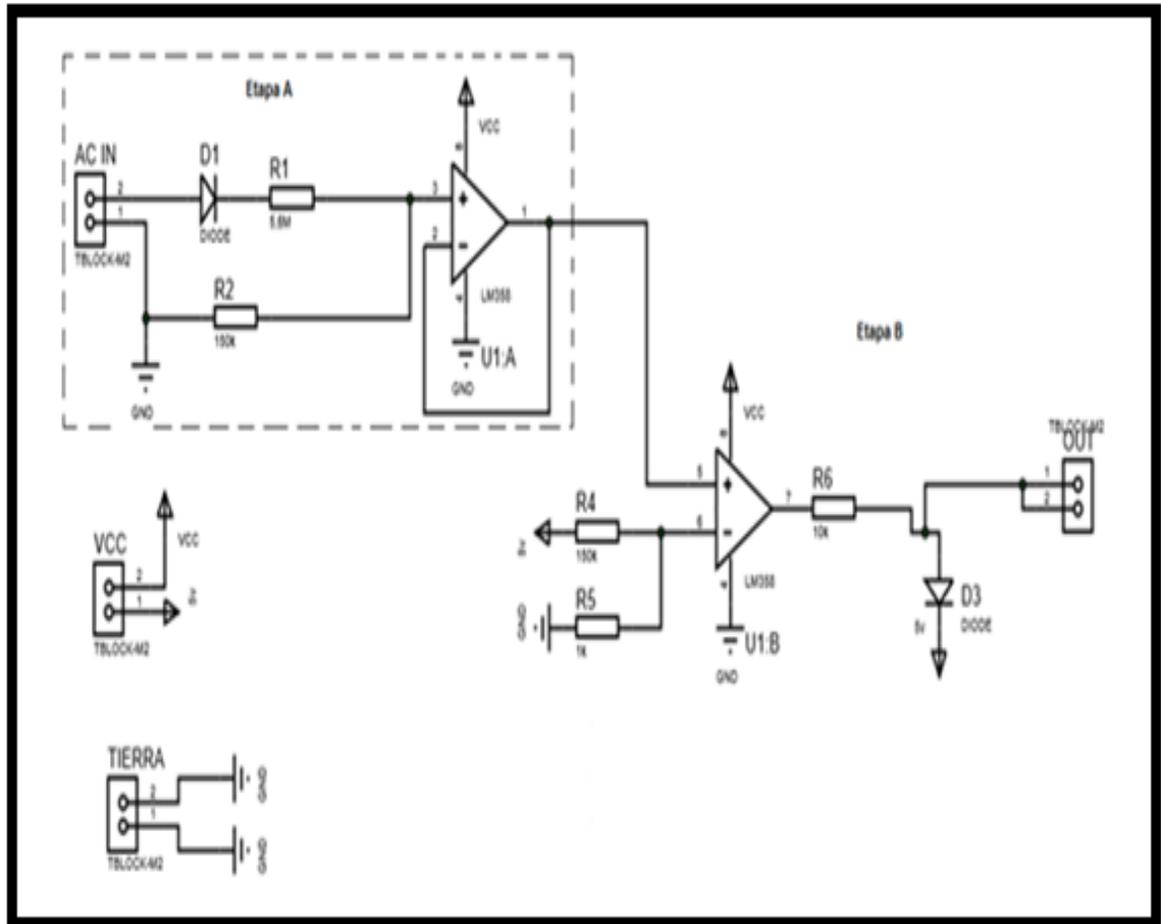


Figura 2.12 Diagrama del circuito de la sincronización con la red

2.2.5.3 Esquema electrico del hardware de sincronizacion con la red

En la siguiente figura se muestra el diseño final del hardware de sincronizacion.

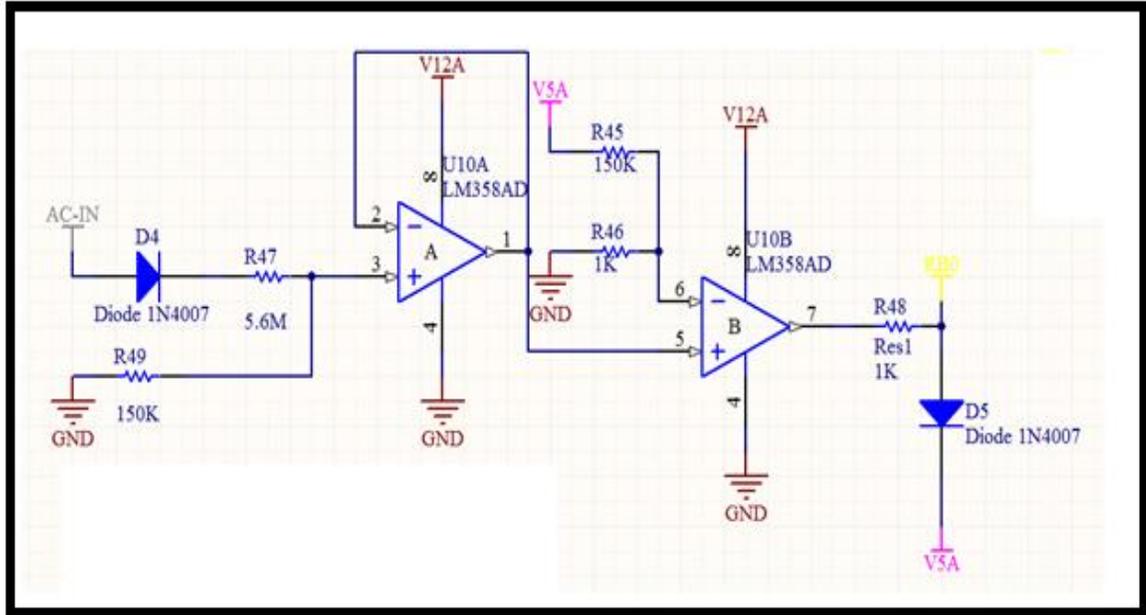


Figura 2.13 Esquema del circuito de sincronización con la red

2.2.6 Diseño del hardware para el micro-controlador

Para el diseño del hardware del micro-controlador se utilizó una fuente de alimentación de 5V DC y el cristal de cuarzo para el ciclo de trabajo. En la siguiente figura se muestra el diseño final del hardware para el micro-controlador.

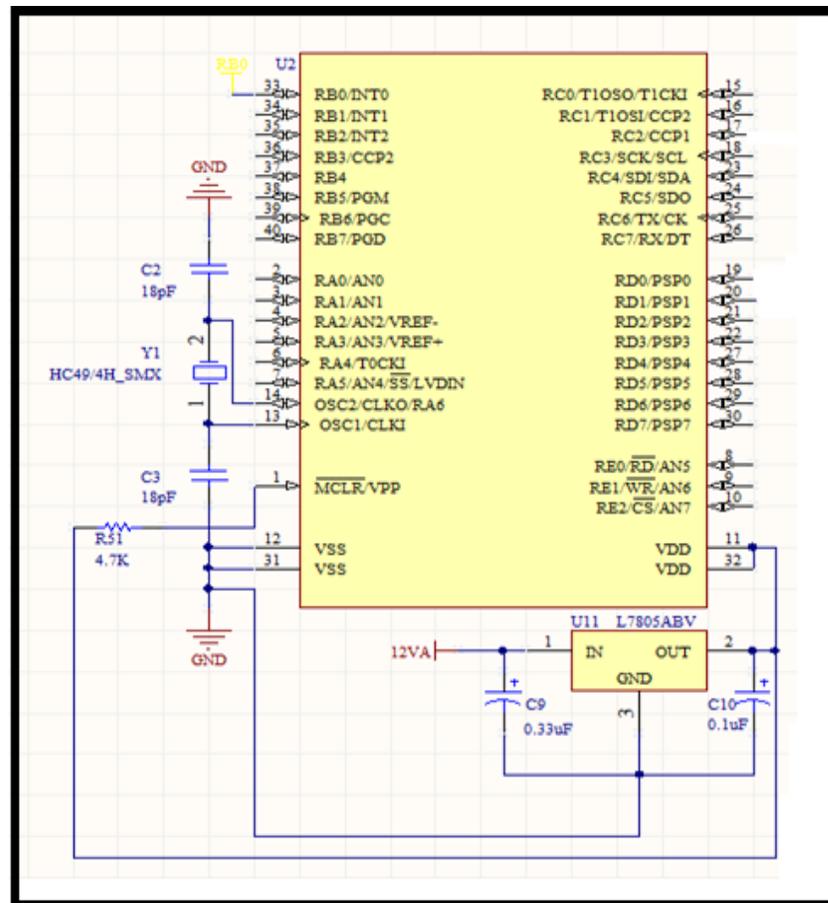


Figura 2.14 Esquema del circuito del micro-controlador

2.2.7 Diseño del hardware para la generacion de la onda seno

Para el diseño del hardware de la onda seno, nos basamos en un sistema de control para un circuito en configuración puente H controlado por 3 señales: onda PWM y dos pulsos cuadrados defasados 180°.

2.2.7.1 Puente H

Un Puente H es un circuito electrónico que permite a un motor eléctrico DC girar en ambos sentidos, avance y retroceso. Son ampliamente usados en robótica y como convertidores de potencia. Los puentes H están disponibles como circuitos integrados, pero también pueden construirse a partir de componentes discretos.

Básicamente utilizamos esta configuración para darle una polaridad a la onda PWM que estamos generando con el micro-controlador, esta onda PWM es la encargada de llevar la información por lo que al final del puente H necesitamos filtrarla con un filtro pasa bajo y así a la salida obtener una onda senoidal pura de 60 Hz.

Las ondas cuadradas son generadas por el micro-controlador a través del método del cruce por cero, es decir vamos a tener pulsos cuadrados desfasados 180° para cada terminal, los mismos que serán los encargados de la activación de cada par de mosfets utilizados en el puente H. En el siguiente esquema se indica el funcionamiento del puente H

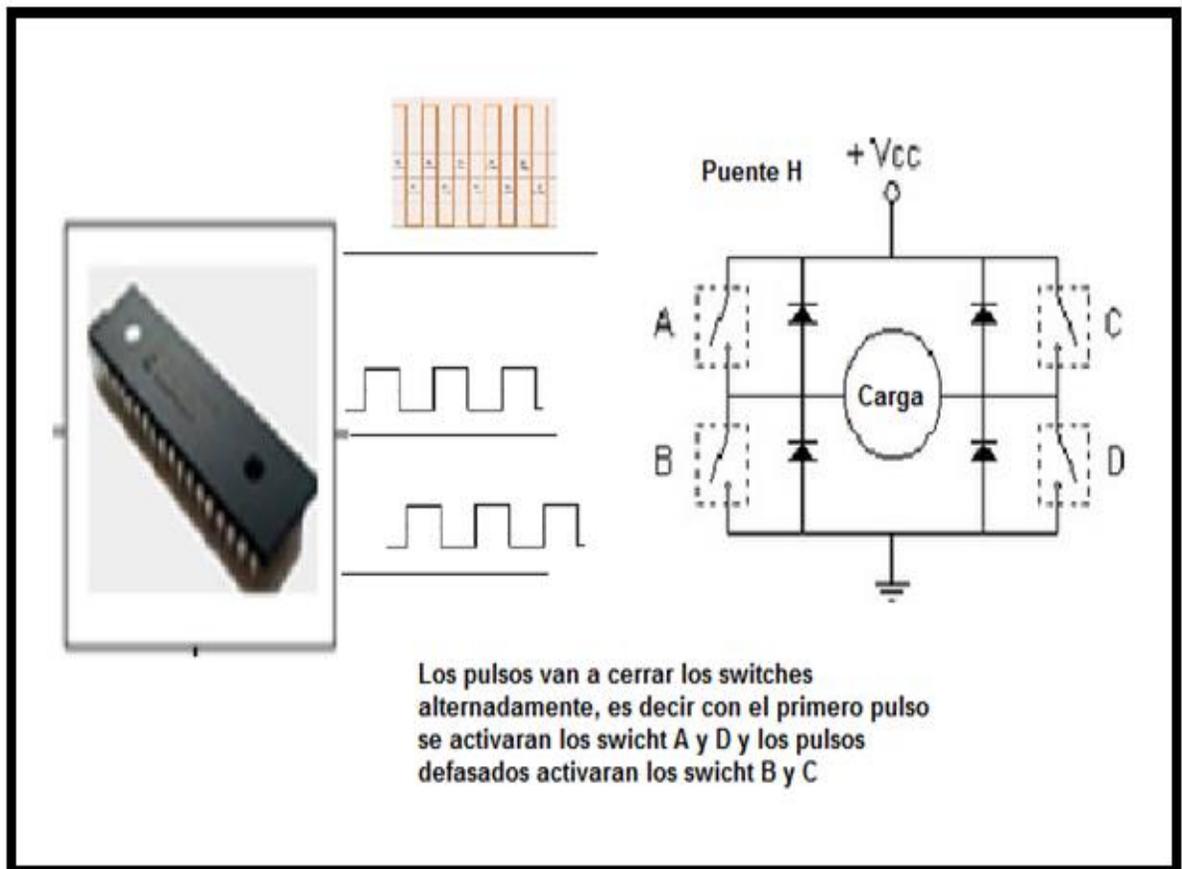


Figura 2.15 Esquema del funcionamiento del puente H

2.2.7.2 Diseño del filtro

Se diseñó un filtro pasa bajo a la salida del puente H para filtrar la onda PWM y obtener la onda de información que en este caso es la onda seno. Para el cálculo del condensador se utilizaron las formulas típicas de un filtro pasa bajo:

$$F_c = 1/2\pi RC$$

Ecuación 2.1 Frecuencia de corte para el filtro pasa bajo

La frecuencia de corte es la de la red eléctrica y al imponernos una resistencia se puede calcular el valor del condensador a utilizar.

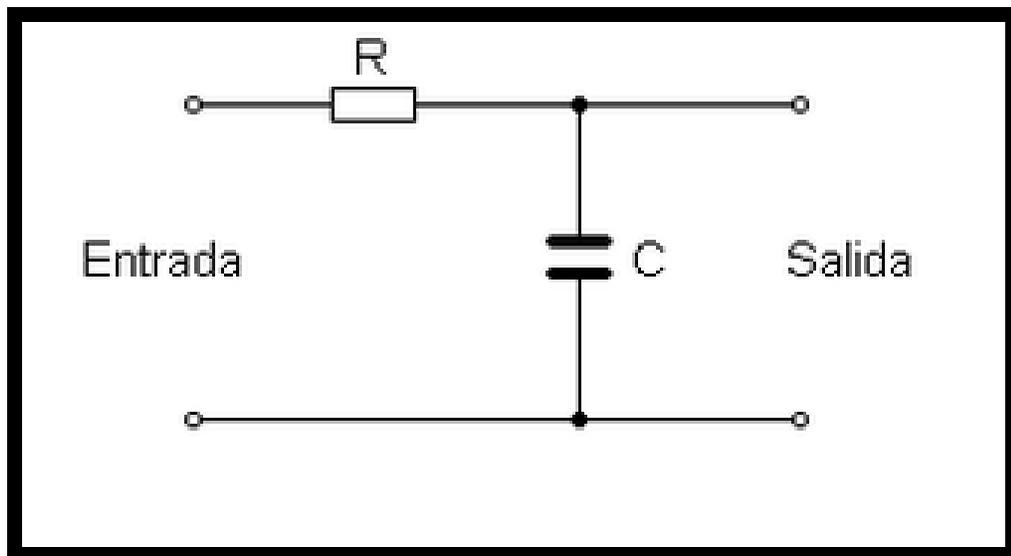


Figura 2.16 Esquema del circuito del filtro pasa bajo

2.2.7.3 Esquema final

En la figura se indica el esquema electrico final de la generacion de la onda senoidal.

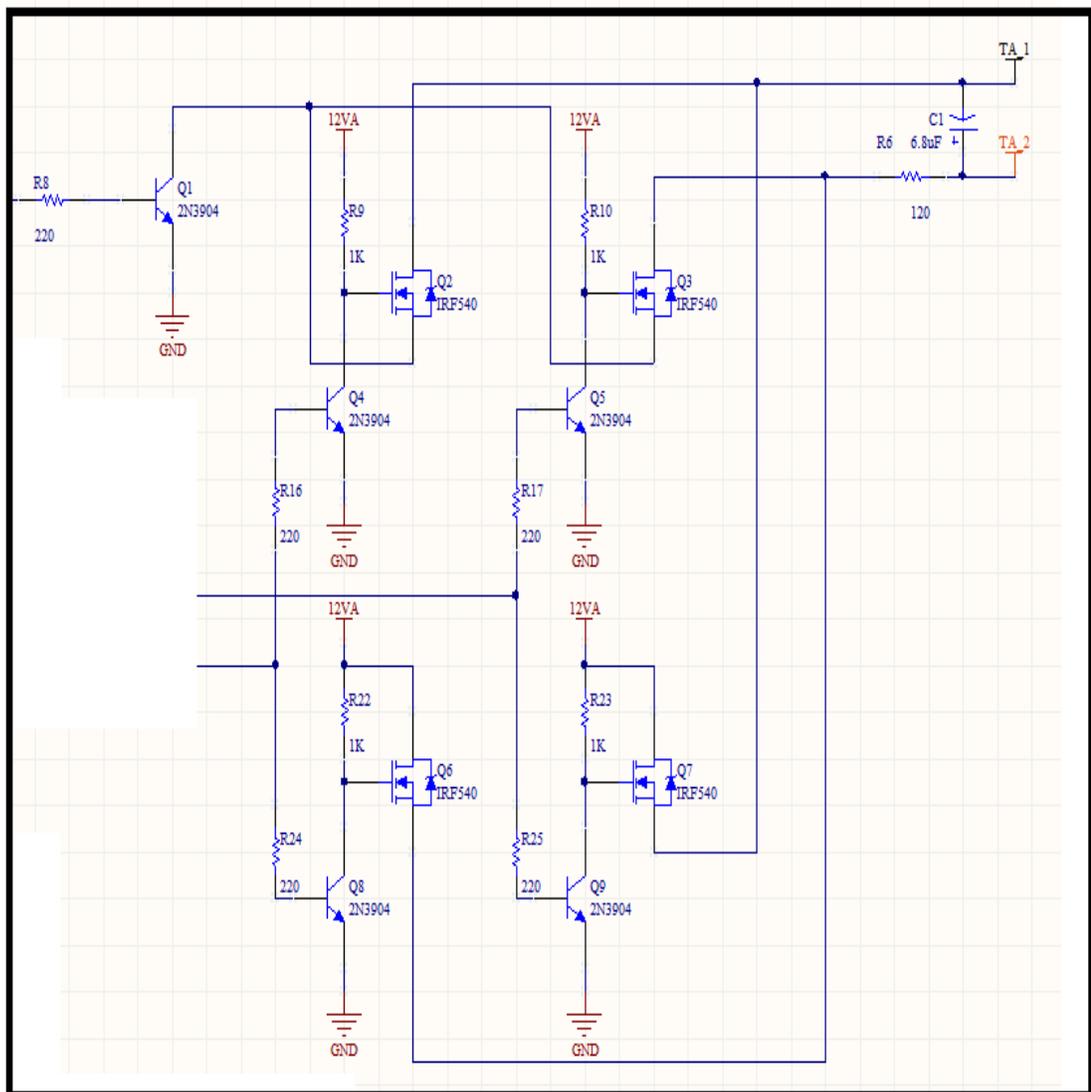


Figura 2.17 Esquema del circuito puente H y filtro

CAPITULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE DE POTENCIA DEL SISTEMA

La Electrónica de Potencia (EP) es una de las ramas de la Electrónica que más se ha desarrollado en los últimos tiempos. Esto se puede atribuir, entre otras cosas, a la invención del tiristor en el inicio de la década de los años 60. Las limitaciones de tamaño, fragilidad mecánica y, sobretodo tiempos de deionización muy grandes, no permitieron a las válvulas a gas que se empleaban anteriormente ser competitivas en muchas aplicaciones frente, por ejemplo, a grupos motor-generator. Con el creciente número y variedades de circuitos y equipos electrónicos en diversas áreas de aplicación, hoy en día la EP es muy importante puesto que es el campo de la ingeniería responsable por la conversión de la forma de energía eléctrica disponible en otra adecuada a la carga a ser alimentada. En otras palabras, la EP es la disciplina que estudia los sistemas de potencia, encargados de realizar la transformación de la energía eléctrica en sus distintas formas. La mayor flexibilidad y controlabilidad de los dispositivos electrónicos, hace que se apliquen para resolver procesos cada vez más complejos. Un equipo electrónico de potencia consta fundamentalmente de dos partes:

- **Un circuito de Potencia**, compuesto de semiconductores de potencia y elementos pasivos, que liga la fuente primaria de alimentación con la carga. En éste circuito no se utilizan resistencias debido a su elevada disipación de potencia en forma de calor.
- **Un circuito de mando**, que elabora la información proporcionada por el circuito de potencia y genera unas señales de excitación que determinan la

conducción de los semiconductores controlados con una fase y secuencia conveniente.

3.1 Identificación de los Sistemas de potencia

En la Figura 3.1 podemos identificar los siguientes sistemas de potencia.

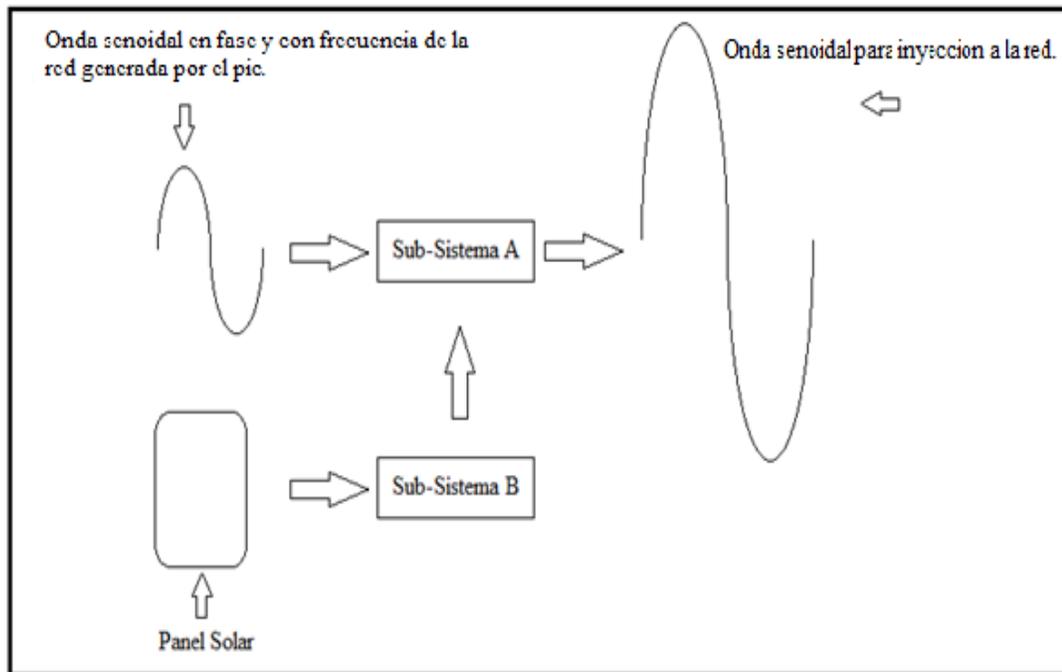


Figura 3.1 Identificación de Sistemas de potencia.

3.2 Sistema de potencia A

Etapa del sistema compuesta por dos MOSFET-N, polarizados de manera adecuada, en configuración Push-Pull, conectado a un transformador con toma central. La elección de los MOSFETS-N, disipadores y transformador dependen directamente del voltaje y corriente que genera el panel a irradiación solar máxima.

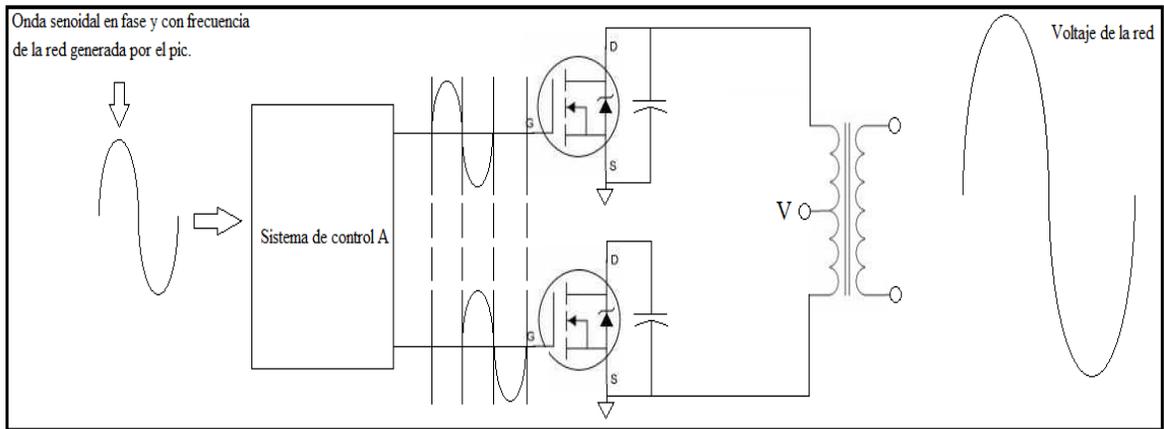


Figura 3.2 Diagrama de Sistema de potencia A.

3.2.1 Sistema de control A

Sistema encargado de hacer trabajar a los MOSFETS-N de manera complementaria, mediante la utilización de amplificadores operacionales encargados de amplificar e invertir la señal seno obtenida a la salida del filtro, de tal forma que el gate A y el gate B funcionen cada medio ciclo.

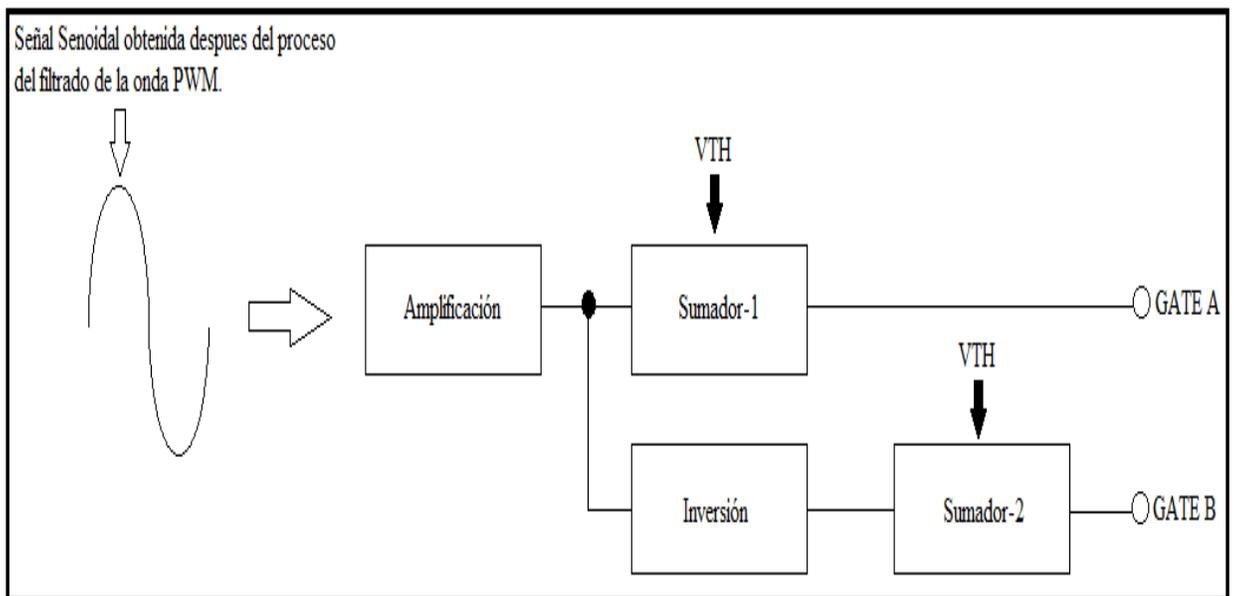


Figura 3.3 Diagrama del Sistema de control A.

3.3 Sistema de potencia B

También conocido como Sistema MPPT, sistema encargado de hacer trabajar al panel solar en su máximo punto de potencia, mediante un convertidor boost y un sistema de control B.

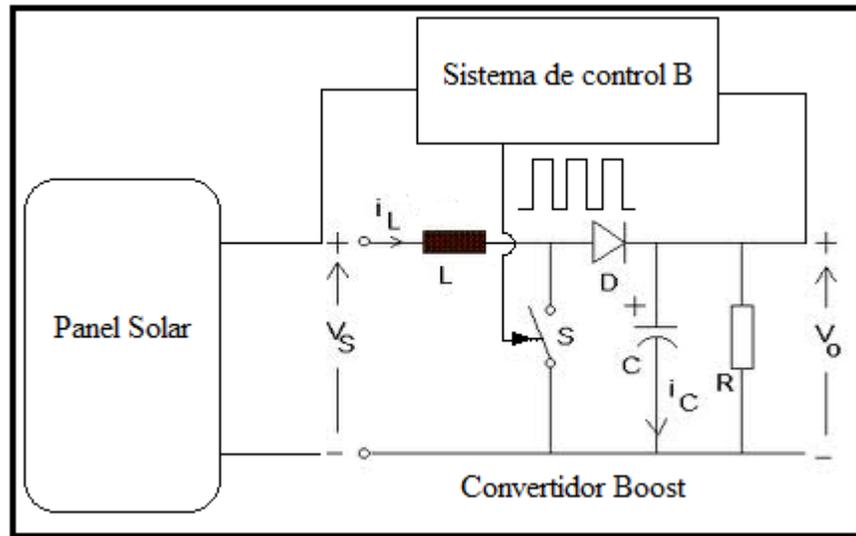


Figura 3.4 Diagrama de Sistema de potencia B.

3.3.1 Convertidor Boost

El convertidor Boost es un convertidor DC a DC que obtiene a su salida una tensión continua mayor que a su entrada. Es un tipo de fuente de alimentación conmutada que contiene al menos dos interruptores semiconductores y al menos un elemento para almacenar energía, frecuentemente se añaden filtros contruidos con inductores y condensadores para mejorar el rendimiento. En un convertidor boost se cumple lo siguiente:

$$P_o = P_{in}$$

Ecuación 3.1 Relación de Potencia.

P_o = Potencia de Salida

P_{in} = Potencia de Ingreso

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_o}$$

Ecuacion 3.2 Duty Cycle.

D = Duty Cycle (Ciclo de Trabajo) de la señal PWM de control a la base del interruptor

V_o = Voltaje de salida

V_s = Voltaje de ingreso

Reemplazando la Ecuacion 3.2 en la Ecuacion 3.1 se obtienen las siguientes igualdades:

$$I_o = I_{in}(1 - D)$$

Ecuacion 3.3 Corriente de salida.

I_o = Corriente de salida del convertidor boost.

I_{in} = Corriente de entrada del convertidor boost.

D = Duty Cycle de la señal PWM de control a la base del interruptor S.

$$V_o = \frac{V_{in}}{(1 - D)}$$

Ecuacion 3.4 Voltaje de salida.

V_o = Voltaje de salida del convertidor boost.

V_{in} = Voltaje de ingreso del convertidor boost.

D = Duty Cycle de la señal PWM de control a la base del interruptor S.

Por ende un convertidor boost se cumple que a mayor Duty Cycle de la señal de control mayor será el voltaje de salida y menor la corriente de salida, de manera inversa a menor Duty Cycle mayor será la corriente de salida y menor el voltaje de salida.

$$P_o = P_{IN} \Rightarrow \frac{I_o}{I_{IN}} = (1-D) \Rightarrow \frac{V_o}{V_{IN}} = \frac{1}{1-D}$$

$$\uparrow D \Rightarrow \begin{matrix} I_o \downarrow \\ V_o \uparrow \end{matrix} \qquad \downarrow D \Rightarrow \begin{matrix} I_o \uparrow \\ V_o \downarrow \end{matrix}$$

Figura 3.5 Relación Duty Cycle – Potencia.

3.3.2 Cálculo de Inductancia y Condensador

Para el cálculo de la inductancia y condensador se utilizan las siguientes ecuaciones.

$$L \geq \frac{V_o \cdot T_s}{2 \cdot I_{omin}} \cdot D(1-D)^2$$

Ecuación 3.5 Inductancia del Convertidor Boost.

$$C \geq \frac{V_o \cdot D \cdot T_s}{R \cdot \Delta V_{omax}}$$

Ecuación 3.6 Condensador del Convertidor Boost.

V_o = Voltaje de salida del convertidor.

T_s = Frecuencia de conmutación del interruptor S.

I_{omin} = Corriente de salida mínima.

D_u = Duty Cycle del interruptor S.

R = Resistencia de carga.

3.3.3 Sistema de control B

Sistema compuesto por un conjunto de comparadores y operacionales encargados de regular el Duty Cycle de la onda PWM de control que conmuta al interruptor S, de tal manera que el panel siempre trabaje en su máximo punto de potencia en cuanto a inyección de energía se refiere.

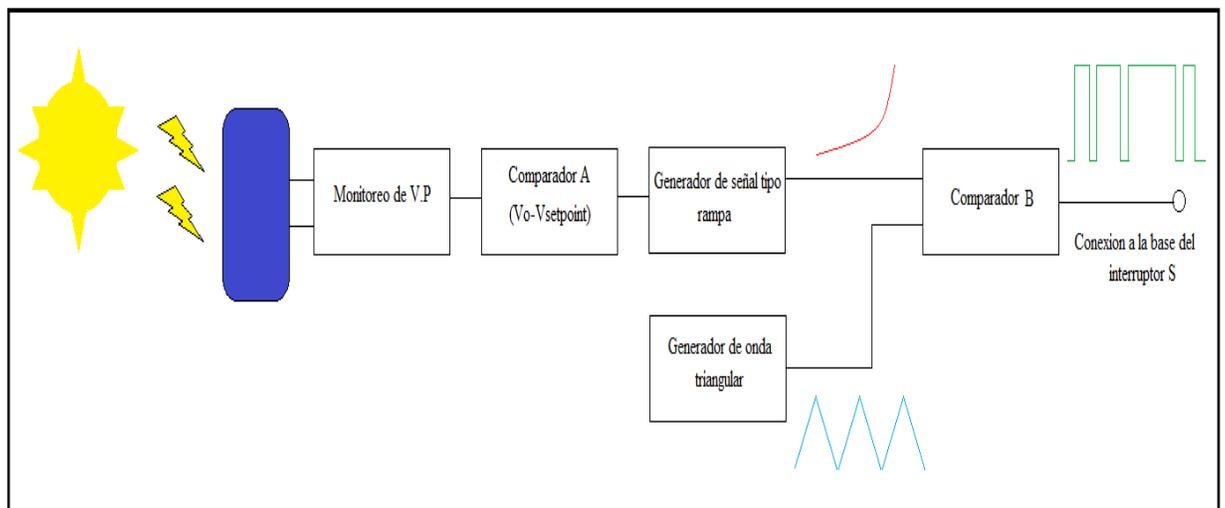


Figura 3.6 Diagrama del sistema de control B.

3.4 Elementos de Hardware del Sistema de Potencia A

El Sistema de potencia A está compuesto por MOSFETS (IRF620), Transformador, Cables AWG 16 y Disipadores. El Sistema de control A está compuesto por Amplificadores operacionales (301, 741, 082) en sus distintas configuraciones, tales como seguidor, comparador, inversor, sumador, amplificador etc.

3.4.1 Transistor de potencia MOSFET

Es utilizado para amplificar o conmutar señales electrónicas. Es el transistor más utilizado en la industria microelectrónica, ya sea en circuitos analógicos o digitales. Tiene 3 terminales Gate (Compuerta), Drain (Drenador) y Source (Surtidor).

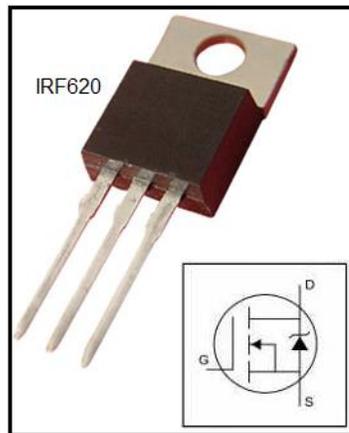


Figura 3.7 MOSFET-IRF620

(<http://us.100y.com.tw/chanpin.asp?mno=6074>).

3.4.1.1 Funcionamiento del MOSFET tipo N

Los MOSFET de enriquecimiento se basan en la creación de un canal entre el drenador y el surtidor, al aplicar una tensión en la compuerta. La tensión de la compuerta atrae portadores minoritarios hacia el canal, de manera que se forma una región de inversión, es decir, una región con dopado opuesto al que tenía el sustrato originalmente.

El término enriquecimiento hace referencia al incremento de la conductividad eléctrica debido a un aumento de la cantidad de portadores de carga en la región correspondiente al canal. El canal puede formarse con un incremento en la concentración de electrones (NMOS), o huecos (PMOS).

3.4.1.2 Modos de operación

La operación de un transistor MOSFET se puede dividir en tres diferentes regiones de operación, dependiendo de las tensiones en sus terminales, para un transistor NMOS de enriquecimiento se tienen las siguientes regiones:

Corte: Cuando V_{GS} (Voltaje compuerta-surtidor) $< V_{th}$ en donde V_{th} es la tensión de umbral del transistor. De acuerdo con el modelo básico del transistor, en esta región el dispositivo se encuentra apagado. No hay conducción entre el surtidor y el drenador, de modo que el MOSFET se comporta como un interruptor abierto.

Región lineal: Cuando $V_{GS} > V_{th}$ y $V_{DS} < (V_{GS} - V_{th})$. El transistor se comporta como una resistencia controlada por la tensión de compuerta.

Saturación: Cuando $V_{GS} > V_{th}$ y $V_{DS} > (V_{GS} - V_{th})$. Cuando la tensión entre drenador y fuente supera cierto límite, el canal de conducción bajo la puerta sufre un estrangulamiento en las cercanías del drenador y desaparece. La corriente entre fuente y drenador no se interrumpe, ya que es debido al campo eléctrico entre ambos, pero se hace independiente de la diferencia de potencial entre ambos terminales.

3.4.1.3 Características Eléctricas Del IRF620

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{case} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)						
OFF						
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{(BR)DSS}$	Drain-source Breakdown Voltage	$I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$ $V_{GS} = 0$	200			V
I_{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current ($V_{GS} = 0$)	$V_{DS} = \text{Max Rating}$ $V_{DS} = \text{Max Rating} \times 0.8$ $T_c = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$			10 100	μA μA
I_{GSS}	Gate-body Leakage Current ($V_{DS} = 0$)	$V_{GS} = \pm 20\text{ V}$			± 100	nA
ON (*)						
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	$V_{DS} = V_{GS}$ $I_D = 250\text{ }\mu\text{A}$	2	3	4	V
$R_{DS(on)}$	Static Drain-source On Resistance	$V_{GS} = 10\text{ V}$ $I_D = 3\text{ A}$		0.55	0.8	Ω
$I_{D(on)}$	On State Drain Current	$V_{DS} > I_{D(on)} \times R_{DS(on)max}$ $V_{GS} = 10\text{ V}$	6			A
DYNAMIC						
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$g_{fs} (*)$	Forward Transconductance	$V_{DS} > I_{D(on)} \times R_{DS(on)max}$ $I_D = 3\text{ A}$	1.5	3.5		S
C_{iss} C_{oss} C_{rss}	Input Capacitance Output Capacitance Reverse Transfer Capacitance	$V_{DS} = 25\text{ V}$ $f = 1\text{ MHz}$ $V_{GS} = 0$		460 90 20	600 120 30	pF pF pF
SWITCHING RESISTIVE LOAD						
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$t_{d(on)}$ t_r $t_{d(off)}$ t_f	Turn-on Time Rise Time Turn-off Delay Time Fall Time	$V_{DD} = 100\text{ V}$ $I_D = 3\text{ A}$ $R_G = 50\text{ }\Omega$ $V_{GS} = 10\text{ V}$ (see test circuit)		30 70 135 45	45 100 190 65	ns ns ns ns
Q_g Q_{gs} Q_{gd}	Total Gate Charge Gate-Source Charge Gate-Drain Charge	$I_D = 6\text{ A}$ $V_{GS} = 10\text{ V}$ $V_{DD} = \text{Max Rating} \times 0.8$ (see test circuit)		20 6 8	30	nC nC nC

Tabla 3.1 Características eléctricas del MOSFET-IRF620.

(http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/I/R/F/6/IRF620.shtml)

3.4.2 Transformador

El transformador es un dispositivo que convierte la energía eléctrica alterna de un cierto nivel de tensión, en energía alterna de otro nivel de tensión, basándose en el fenómeno de la inducción electromagnética. Está constituido por dos o más bobinas de material

conductor, devanadas sobre un núcleo cerrado de material ferromagnético, pero aisladas entre sí eléctricamente.



Figura 3.8 Transformador.

(<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Transformer.filament.agr.jpg>).

3.4.2.1 Funcionamiento

Este elemento eléctrico se basa en el fenómeno de la inducción electromagnética, ya que si aplicamos una fuerza electromotriz alterna en el devanado primario, debido a la variación de la intensidad y sentido de la corriente alterna, se produce la inducción de un flujo magnético variable en el núcleo de hierro.

Este flujo originará por inducción electromagnética, la aparición de una fuerza electromotriz en el devanado secundario. La tensión en el devanado secundario dependerá directamente del número de espiras que tengan los devanados y de la tensión del devanado primario.

3.4.2.2 Relación de Transformación

La relación de transformación indica el aumento o decremento que sufre el valor de la tensión de salida con respecto a la tensión de entrada, esto quiere decir, la relación entre la tensión de salida y la de entrada.

La relación entre la fuerza electromotriz inductora (E_p), la aplicada al devanado primario y la fuerza electromotriz inducida (E_s), la obtenida en el secundario, es directamente proporcional al número de espiras de los devanados primario (N_p) y secundario (N_s), según la ecuación:

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_p}{I_s} = m$$

Ecuación 3.7 Relación de Transformación.

La relación de transformación (m) de la tensión entre el bobinado primario y el bobinado secundario depende de los números de vueltas que tenga cada uno. Si el número de vueltas del secundario es el triple del primario, en el secundario habrá el triple de tensión, donde: (V_p) es la tensión en el devanado primario o tensión de entrada, (V_s) es la tensión en el devanado secundario o tensión de salida, (I_p) es la corriente en el devanado primario o corriente de entrada, e (I_s) es la corriente en el devanado secundario o corriente de salida.

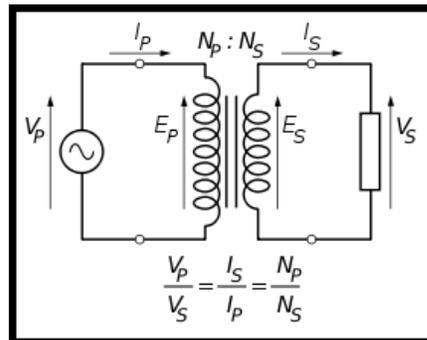


Figura 3.9 Esquema Eléctrico de un Transformador.

(http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Transformer_under_load.svg).

Ahora bien, como la potencia eléctrica aplicada en el primario, en caso de un transformador ideal, debe ser igual a la obtenida en el secundario, el producto de la fuerza electromotriz por la intensidad (potencia) debe ser constante, con lo que en el caso de $N=10$, si la intensidad circulante por el primario es de 1 amperios, la del secundario será de solo 0,1 amperios (una décima parte).

3.4.3 Cable AWG

El calibre de alambre estadounidense (CAE, en inglés AWG - American Wire Gauge) es una referencia de clasificación de diámetros. En muchos sitios de Internet y también en libros y manuales, especialmente de origen norteamericano, es común encontrar la medida de conductores eléctricos (cables o alambres) indicados con la referencia AWG. Cuanto más alto es este número, más delgado es el alambre. El alambre de mayor grosor (AWG más bajo) es menos susceptible a la interferencia, posee menos resistencia interna y, por lo tanto, soporta mayores corrientes a distancias más grandes.

Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm ²)	Resistencia (Ω/Km.)	Capacidad (A)
2	6,544	33,63	1,50	96
4	5,189	21,15	0,80	60
6	4,115	13,30	1,27	38
8	3,264	8,36	2,03	24
10	2,588	5,26	3,23	15
12	2,053	3,31	5,13	9,5
14	1,628	2,08	8,17	6,0
16	1,291	1,31	12,9	3,7
18	1,024	0,82	20,83	2,5
20	0,8118	0,52	32,69	1,6

Tabla 3.2 Cables AWG.

(<http://blog.espol.edu.ec>)



Figura 3.10 Cable 16 AWG.

(<http://spanish.alibaba.com/product-gs/10-12-14-16-awg-strands-home-electrical-power-cable-510060218.html>).

3.4.4 Amplificadores Operacionales

Un amplificador operacional (comúnmente abreviado A.O., op-amp u OPAM), es un circuito electrónico (normalmente se presenta como circuito integrado) que tiene dos entradas y una salida. La salida es la diferencia de las dos entradas multiplicada por un factor (G) (ganancia): $V_{out} = G \times (V_+ - V_-)$ el más conocido y comúnmente aplicado es el UA741 o LM741.

El primer amplificador operacional monolítico, que data de los años 1960, fue el Fairchild μ A702 (1964), diseñado por Bob Widlar. Le siguió el Fairchild μ A709 (1965), también de Widlar, y que constituyó un gran éxito comercial. Más tarde sería sustituido por el popular Fairchild μ A741 (1968), de David Fullagar, y fabricado por numerosas empresas, basado en tecnología bipolar.

Originalmente los A.O. se empleaban para operaciones matemáticas en calculadoras analógicas. De ahí su nombre. El A.O. ideal tiene una ganancia infinita, una impedancia de entrada infinita, un ancho de banda también infinito, una impedancia de salida nula, un tiempo de respuesta nulo y ningún ruido. Como la impedancia de entrada es infinita también se dice que las corrientes de entrada son cero.

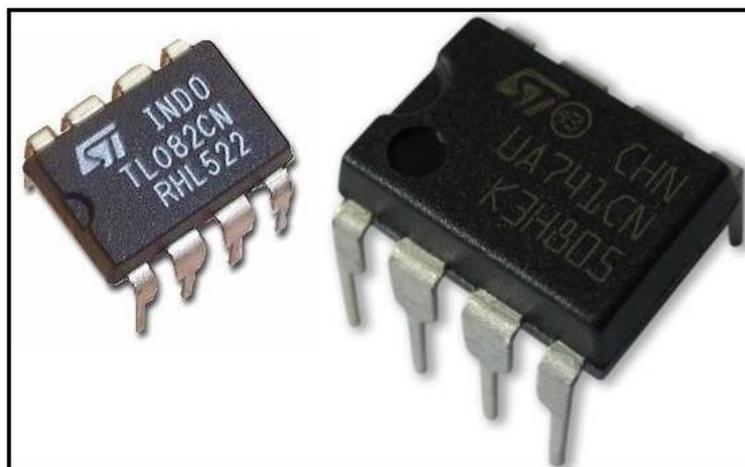


Figura 3.11 Amplificadores operacionales.

(<http://javier124.blogspot.com/>)

3.4.4.1 Comportamiento en Corriente Continua

En lazo abierto si no existe realimentación la salida del A. O. será la resta de sus dos entradas multiplicada por un factor. Este factor suele ser del orden de 100 000 (que se considerará infinito en cálculos con el componente ideal). Por lo tanto si la diferencia entre las dos tensiones es de 1V la salida debería ser 100 000 V. Debido a la limitación que supone no poder entregar más tensión de la que hay en la alimentación, el A. O. estará saturado si se da este caso. Esto será aprovechado para su uso en comparadores, como se verá más adelante. Si la tensión más alta es la aplicada a la patilla + la salida será V_{S+} , mientras que si la tensión más alta es la del pin - la salida será la alimentación V_{S-} .

Se conoce como lazo cerrado a la realimentación en un circuito, aquí aparece una realimentación negativa. Para conocer el funcionamiento de esta configuración se parte de las tensiones en las dos entradas exactamente iguales, se supone que la tensión en la pata + sube y, por tanto, la tensión en la salida también se eleva. Como existe la realimentación entre la salida y la pata -, la tensión en esta pata también se eleva, por tanto la diferencia entre las dos entradas se reduce, disminuyéndose también la salida. Este proceso pronto se estabiliza, y se tiene que la salida es la necesaria para mantener las dos entradas, idealmente, con el mismo valor. Siempre que hay realimentación negativa se aplican estas dos aproximaciones para analizar el circuito:

$V_+ = V_-$ (lo que se conoce como principio del cortocircuito virtual).

$I_+ = I_- = 0$

Cuando se realimenta negativamente un amplificador operacional, al igual que con cualquier circuito amplificador, se mejoran algunas características del mismo como una mayor impedancia en la entrada y una menor impedancia en la salida. La mayor impedancia de entrada da lugar a que la corriente de entrada sea muy pequeña y se reducen así los efectos de las perturbaciones en la señal de entrada. La menor impedancia de salida permite que el amplificador se comporte como una fuente

eléctrica de mejores características. Además, la señal de salida no depende de las variaciones en la ganancia del amplificador, que suele ser muy variable, sino que depende de la ganancia de la red de realimentación, que puede ser mucho más estable con un menor coste. Asimismo, la frecuencia de corte superior es mayor al realimentar, aumentando el ancho de banda. Asimismo, cuando se realiza realimentación positiva se buscan efectos muy distintos. El más aplicado es obtener un oscilador para el generar señales oscilantes.

3.4.4.2 Comparador

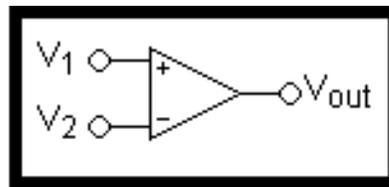


Figura 3.12 Esquema eléctrico de un Comparador.

(<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Opampcomparator.png>)

Esta es una aplicación sin la retroalimentación. Compara entre las dos entradas y saca una salida en función de qué entrada sea mayor. Se puede usar para adaptar niveles lógicos.

3.4.4.3 Amplificador No Inversor

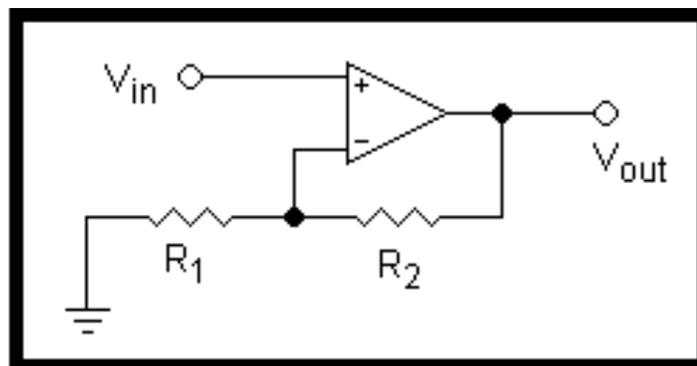


Figura 3.13 Esquema eléctrico de un Amplificador. No inversor.

(<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Opampnoninverting.png>)

Como observamos, la tensión de entrada, se aplica al pin positivo, pero como conocemos que la ganancia del amplificador operacional es muy grande, el voltaje en el pin positivo es igual al voltaje en el pin negativo y positivo, conociendo el voltaje en el pin negativo podemos calcular la relación que existe entre el voltaje de salida con el voltaje de entrada haciendo uso de un pequeño divisor de tensión.

$$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Ecuación 3.8 Voltaje de salida Amplificador no inversor.

3.4.4.4 Sumador Inversor

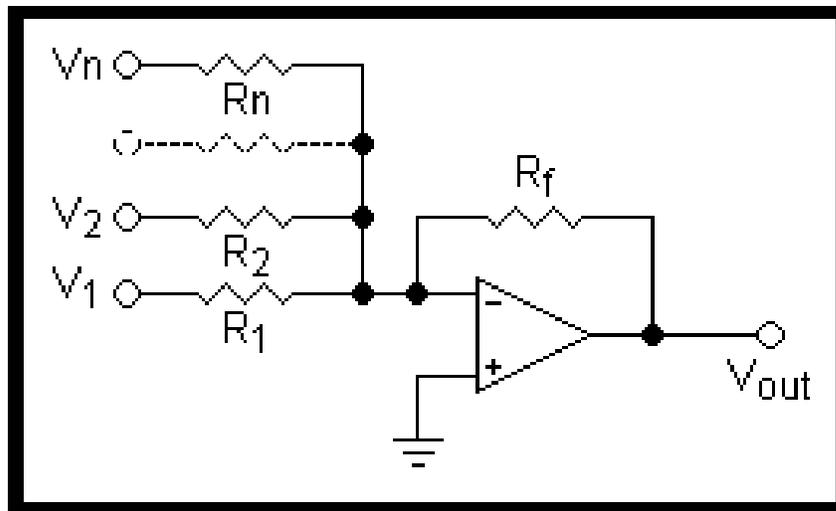


Figura 3.14 Esquema eléctrico de un Sumador Inversor.

(<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Opampsumming.png>)

$$V_{out} = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right)$$

Ecuación 3.9 Voltaje de salida de Sumador Inversor.

3.4.4.5 Integrador Ideal

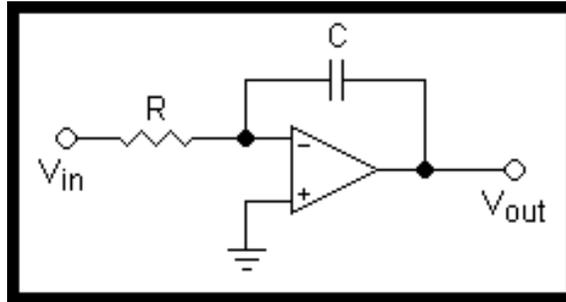


Figura 3.15 Esquema eléctrico de un Integrador Ideal.
(<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Opampintegrating.png>)

$$V_{out} = \int_0^t -\frac{V_{in}}{RC} dt + V_{in}$$

Ecuación 3.10 Voltaje de salida de un Integrador ideal.

3.4.5 Disipadores

Un disipador es un instrumento que se utiliza para bajar la temperatura de algunos componentes electrónicos. Su funcionamiento se basa en la segunda ley de la termodinámica, transfiriendo el calor de la parte caliente que se desea disipar al aire. Este proceso se propicia aumentando la superficie de contacto con el aire permitiendo una eliminación más rápida del calor excedente.

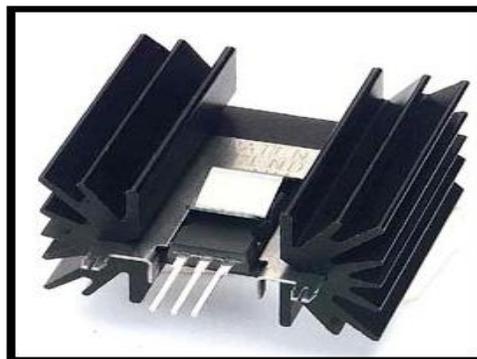


Figura 3.16 Disipadores
(<http://www.lcardaba.com/articles/heatsinks/heatsinks.htm>).

3.4.5.1 Propagación de Calor

El calor se transmite mediante tres formas conocidas: radiación, convección y conducción. Por radiación recibimos los rayos del Sol. La radiación no necesita un medio material para propagarse, puede hacerlo a través del vacío. Todo cuerpo con una temperatura superior a los cero grados absolutos (kelvin) produce una emisión térmica por radiación, pero en el caso que nos ocupa es de una magnitud despreciable, y por tanto no se tiene en cuenta la emisión por radiación. La convección es un fenómeno que atañe a fluidos, tales como el aire o el agua. Favorece la propagación del calor en estos cuerpos, que son de por sí muy buenos aislantes térmicos. Un cuerpo caliente sumergido en aire, hace que las capas próximas al mismo se calienten, lo que a su vez ocasiona una disminución de su densidad, y por esto se desplazará esta masa de aire caliente hacia estratos más elevados dentro del recinto. Inmediatamente, el hueco que ha dejado este aire es ocupado por aire más frío, y así se repite el ciclo, generando corrientes convectivas que facilitan el flujo térmico. Este mismo fenómeno se da en el agua, o cualquier líquido o gas. La transmisión por conducción se manifiesta más obviamente en cuerpos sólidos.

Curiosamente los cuerpos que son buenos conductores eléctricos, también lo son térmicos, y se explica a nivel subatómico. El cobre, la plata, níquel, aluminio, oro, etc., son excelentes conductores. Si aplicamos una llama a una barra de cobre, enseguida notaremos el calor por el extremo que lo agarramos. Este calor se ha propagado por conducción. En la disipación de calor de los semiconductores, solamente consideramos los dos últimos tipos de propagación: convección y conducción.

3.4.5.2 Cálculo de un disipador

La mayoría de fabricantes de semiconductores proporcionan los datos suficientes para poder calcular el disipador que necesitamos. Necesitamos como punto de partida, la temperatura máxima que puede alcanzar la unión del transistor. Esta temperatura no se

deberá alcanzar en ningún caso, para no destruir el componente. Normalmente el fabricante proporciona el rango de temperatura por ejemplo, -65 a 200 °C indica que la temperatura máxima es de 200°C. Nosotros podemos tomar unos coeficientes de seguridad k como sigue:

k = 0.5 para un diseño normal con temperatura moderada.

k = 0.6 para economizar en tamaño de disipador.

k = 0.7 cuando el disipador permanezca en posición vertical y en el exterior (mejora de convección).

Con el coeficiente k, y tomando la temperatura máxima de funcionamiento como T_j, tenemos la expresión:

$$T = kT_j - T_a = w(R_{jc} + R_{cd} + R_{da})$$

Ecuación 3.11 Temperatura máxima de la unión del Transistor.

Donde w representa la potencia en vatios (calor) que disipará el componente. Si no disponemos de estos datos, podemos tomar como T_j = 135 °C para transistores de silicio, y T_j = 90°C para transistores de germanio. El flujo de calor, desde la unión PN hasta el ambiente tiene que atravesar varios medios, cada uno con diferente resistencia térmica. Resistencia unión-cápsula (R_{jc}). Viene dado en manuales y tablas, y depende de la construcción de la cápsula. El tipo TO-3 disipa gran cantidad de calor.

Resistencia cápsula-disipador (R_{cd}). Depende del encapsulado y del aislamiento, si lo hay, entre el componente y el disipador. El aislante puede ser mica, pasta de silicona y otros medios. Cada uno presenta diferente resistencia térmica. Resistencia disipador-ambiente (R_{da}). Este es el que tratamos de calcular.

3.5 Elementos de Hardware del Sistema de Potencia B

El Sistema de potencia B está compuesto por una Bobina, TIP de potencia (2SD401), Diodo de potencia (1N5408), Condensador, cuyo valor es calculado y Disipador cuyo tamaño es calculado. El Sistema de control B está compuesto por Amplificadores operacionales, Relés y Potenciómetros.

3.5.1 Bobinas

Un inductor o bobina es un componente pasivo de un circuito eléctrico que, debido al fenómeno de la autoinducción, almacena energía en forma de campo magnético. Una característica interesante de los inductores es que se oponen a los cambios bruscos de la corriente que circula por ellas. Esto significa que a la hora de modificar la corriente que circula por ellos, esta intentará mantener su condición anterior.



Figura 3.17 Bobina.

(<http://asterion.almadark.com/2009/12/02/como-calculiar-el-valor-de-una-bobina-o-inductor/>).

3.5.1.1 Construcción de una Bobina

Un inductor está constituido normalmente por una bobina de conductor, típicamente alambre o hilo de cobre esmaltado. Existen inductores con núcleo de aire o con núcleo hecho de material ferroso (por ejemplo, acero magnético), para incrementar su capacidad de magnetismo.

Los inductores pueden también estar construidos en circuitos integrados, usando el mismo proceso utilizado para realizar microprocesadores. En estos casos se usa,

comúnmente, el aluminio como material conductor. Sin embargo, es raro que se construyan inductores dentro de los circuitos integrados; es mucho más práctico usar un circuito llamado girador que, mediante un amplificador operacional, hace que un condensador se comporte como si fuese un inductor.

El inductor consta de las siguientes partes:

- Devanado inductor: Es el conjunto de espiras destinado a producir el flujo magnético, al ser recorrido por la corriente eléctrica.
- Culata: Es una pieza de sustancia ferromagnética, no rodeada por devanados, y destinada a unir los polos de la máquina.
- Pieza polar: Es la parte del circuito magnético situada entre la culata y el entrehierro, incluyendo el núcleo y la expansión polar.
- Núcleo: Es la parte del circuito magnético rodeada por el devanado inductor.
- Expansión polar: Es la parte de la pieza polar próxima al inducido y que bordea al entrehierro.
- Polo auxiliar o de conmutación: Es un polo magnético suplementario, provisto o no, de devanados y destinado a mejorar la conmutación. Suelen emplearse en las máquinas de mediana y gran potencia.

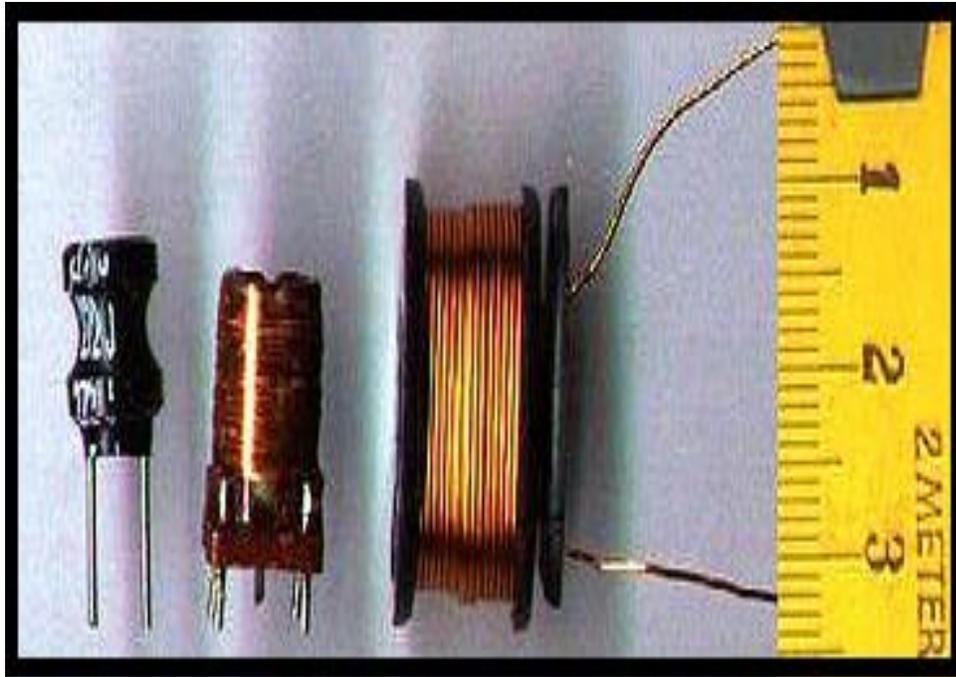


Figura 3.18 Bobinas.

(<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Inductors-photo.JPG>)

3.5.1.2 Funcionamiento de una Bobina

Sea una bobina o solenoide (medida en henrios) de longitud l , sección S y de un número de espiras N , por el que circula una corriente eléctrica $i(t)$. Aplicando la Ley de Biot-Savart que relaciona la inducción magnética, $B(t)$, con la causa que la produce, es decir, la corriente $i(t)$ que circula por el solenoide, se obtiene que el flujo magnético $\Phi(t)$ que abarca es igual a:

$$\Phi(t) = B(t) \cdot S = \mu_0 \cdot \frac{N}{l} \cdot i(t) \cdot S = \mu_0 \frac{NS}{l} \cdot i(t)$$

Ecuación 3.12 Flujo Magnético en una bobina.

Si el flujo magnético es variable en el tiempo, se genera en cada espira, según la Ley de Faraday, una fuerza electromotriz (f.e.m.) de autoinducción que, según la Ley de Lenz,

tiende a oponerse a la causa que la produce, es decir, a la variación de la corriente eléctrica que genera dicho flujo magnético. Por esta razón suele llamarse fuerza contraelectromotriz. Ésta tiene el valor:

$$e(t) = -N \frac{d\phi(t)}{dt} = -\mu_0 \frac{N^2 S}{l} \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

Ecuación 3.13 Fuerza Contraelectromotriz.

3.5.1.3 Energía Almacenada en una Bobina

La bobina almacena energía eléctrica en forma de campo magnético cuando aumenta la intensidad de corriente, devolviéndola cuando ésta disminuye. Matemáticamente se puede demostrar que la energía U , almacenada por una bobina con inductancia L , que es recorrida por una corriente de intensidad I , viene dada por:

$$U = \frac{1}{2} LI^2$$

Ecuación 3.14 Energía almacenada en una bobina.

3.5.2 Transistor de Potencia (TIP)

El funcionamiento y utilización de los transistores de potencia es idéntico al de los transistores normales, teniendo como características especiales las altas tensiones e intensidades que tienen que soportar y, por tanto, las altas potencias a disipar. El TIP 2SD401 es comúnmente usado en aplicaciones de conmutación.

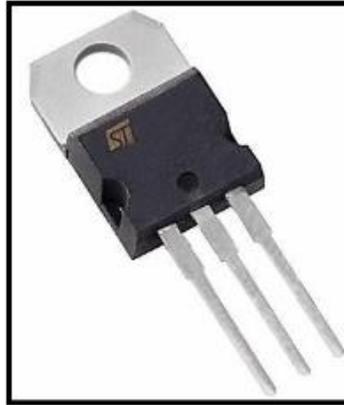


Figura 3.19 TIP de Potencia.

(<http://conocimientosactivedevices.blogspot.com/2010/07/circuito-integrado.html>)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS					
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	MAX	UNIT
I_{CBO}	Collector-base cut-off current	$V_{CB}=200V$	-	0.2	mA
I_{EBO}	Emitter-base cut-off current	$V_{EB}=5V$	-	0.2	mA
$V_{IBRICEO}$	Collector-emitter breakdown voltage	$I_C=1mA$	150		V
V_{CESat}	Collector-emitter saturation voltages	$I_C = 1.5A; I_B = 0.15A$	-	1.5	V
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 500mA; V_{CE} = 5V$	50	250	
f_T	Transition frequency at $f = 5MHz$	$I_C = 0.5A; V_{CE} = 12V$	5	-	MHz
C_c	Collector capacitance at $f = 1MHz$	$V_{CB} = 10V$		75	pF
t_{on}	On times				us
t_s	Turn-off storage time				us
t_f	Fall time				us

Tabla 3.3 Características eléctricas del 2SD401.

(<http://www.alldatasheet.es/datasheet-pdf/pdf/33655/WINGS/2SD401.html>)

3.5.3 Diodo de Potencia (1N5408)

Uno de los dispositivos más importantes de los circuitos de potencia son los diodos, aunque tienen, entre otras, las siguientes limitaciones: son dispositivos unidireccionales, no pudiendo circular la corriente en sentido contrario al de conducción. El único procedimiento de control es invertir el voltaje entre ánodo y cátodo.



Figura 3.20 Diodo de Potencia

(<http://www.shoptronica.com/1617-diodos-rectificadores-de-potencia.html>).

	SYMBOL	1N5400	1N5401	1N5402	1N5404	1N5406	1N5407	1N5408	UNITS
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Maximum RMS Voltage	V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	Volts
Maximum DC Blocking Voltage	V_{dc}	50	100	200	400	600	800	1000	Volts
Maximum Average Forward Rectified Current .375"(9.5mm) lead length at $T_L = 105^\circ\text{C}$	I_o	3.0							Amps
Peak Forward Surge Current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	I_{FSM}	200							Amps
Maximum Instantaneous Forward Voltage at 3.0A DC	V_F	1.1							Volts
Maximum DC Reverse Current at Rated DC Blocking Voltage	I_R	@ $T_A = 25^\circ\text{C}$ 5.0							uAmps
		@ $T_A = 100^\circ\text{C}$ 500							
Maximum Full Load Reverse Current Average, Full Cycle .375"(9.5mm) lead length at $T_L = 75^\circ\text{C}$		30							uAmps
Typical Junction Capacitance (Note)	C_J	40							pF
Typical Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	30							$^\circ\text{C}/\text{W}$
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{STG}	-65 to +175							$^\circ\text{C}$

Tabla 3.4 Características eléctricas del diodo 1N5408.

(http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/1/N/5/4/1N5408.shtml)

3.5.4 Relé

El relé o relevador es un dispositivo electromecánico. Funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.



Figura 3.21 Relé.

(http://capacitacion-electronic84.blogspot.com/2010_08_01_archive.html)

3.5.4.1 Estructura y Funcionamiento

El electroimán hace bascular la armadura al ser excitada, cerrando los contactos dependiendo de si es N.A ó N.C (normalmente abierto o normalmente cerrado). Si se le aplica un voltaje a la bobina se genera un campo magnético, que provoca que los contactos hagan una conexión. Estos contactos pueden ser considerados como el interruptor, que permite que la corriente fluya entre los dos puntos que cerraron el circuito.

3.5.4.2 Tipos de Relé

Existen una variedad de tipos distintos de relés, dependiendo del número de contactos, de su intensidad admisible, del tipo de corriente de accionamiento, del tiempo de activación y desactivación, etc. Cuando controlan grandes potencias se les llama contactores en lugar de relés.

- Relés de tipo armadura: pese a ser los más antiguos siguen siendo los más utilizados en multitud de aplicaciones. Un electroimán provoca la basculación de

una armadura al ser excitado, cerrando o abriendo los contactos dependiendo de si es NA (normalmente abierto) o NC (normalmente cerrado).

- Relés de núcleo móvil: a diferencia del anterior modelo estos están formados por un émbolo en lugar de una armadura. Debido a su mayor fuerza de atracción, se utiliza un solenoide para cerrar sus contactos. Es muy utilizado cuando hay que controlar altas corrientes
- Relé tipo reed o de lengüeta: están constituidos por una ampolla de vidrio, con contactos en su interior, montados sobre delgadas láminas de metal. Estos contactos conmutan por la excitación de una bobina, que se encuentra alrededor de la mencionada ampolla.
- Relés polarizados o biestables: se componen de una pequeña armadura, solidaria a un imán permanente. El extremo inferior gira dentro de los polos de un electroimán, mientras que el otro lleva una cabeza de contacto. Al excitar el electroimán, se mueve la armadura y provoca el cierre de los contactos. Si se polariza al revés, el giro será en sentido contrario, abriendo los contactos ó cerrando otro circuito.
- Se llama relé de estado sólido a un circuito híbrido, normalmente compuesto por un optoacoplador que aísla la entrada, un circuito de disparo, que detecta el paso por cero de la corriente de línea y un triac o dispositivo similar que actúa de interruptor de potencia. Su nombre se debe a la similitud que presenta con un relé electromecánico; este dispositivo es usado generalmente para aplicaciones donde se presenta un uso continuo de los contactos del relé que en comparación con un relé convencional generaría un serio desgaste mecánico, además de poder conmutar altos amperajes que en el caso del relé electromecánico destruirían en poco tiempo los contactos. Estos relés permiten una velocidad de conmutación muy superior a la de los relés electromecánicos.

Cuando se excita la bobina de un relé con corriente alterna, el flujo magnético en el circuito magnético, también es alterno, produciendo una fuerza pulsante, con frecuencia doble, sobre los contactos. Es decir, los contactos de un relé conectado a la red, en algunos lugares, como varios países de Europa y Latinoamérica oscilarán a 50Hz y en otros, como en Estados Unidos lo harán a 60Hz. Este hecho se aprovecha en algunos timbres y zumbadores, como un activador a distancia. En un relé de corriente alterna se modifica la resonancia de los contactos para que no oscilen.

3.5.5 Potenciómetros

Un potenciómetro es un resistor cuyo valor de resistencia es varía según se mueva la perilla. De esta manera, indirectamente, se puede controlar la intensidad de corriente que fluye por un circuito si se conecta en paralelo, o la diferencia de potencial al conectarlo en serie.



Figura 3.22 Potenciómetro.

(<http://es.wikipedia.org/wiki/Potenci%C3%B3metro>).

3.5.5.1 Construcción

Existen dos tipos de potenciómetros:

- Potenciómetros impresos, realizados con una pista de carbón o de cermet sobre un soporte duro como papel baquelizado, fibra, alúmina, etc. La pista tiene sendos contactos en sus extremos y un cursor conectado a un patín que se desliza por la pista resistiva.
- Potenciómetros bobinados, consistentes en un arrollamiento toroidal de un hilo resistivo con un cursor que mueve un patín sobre el mismo.

3.6 Esquemas Eléctricos de Potencia Diseñados en Altium Designer 2008

En las siguientes figuras se muestra el diseño final de los Esquemas Eléctricos realizados en ALTIUM DESIGNER 2008®.

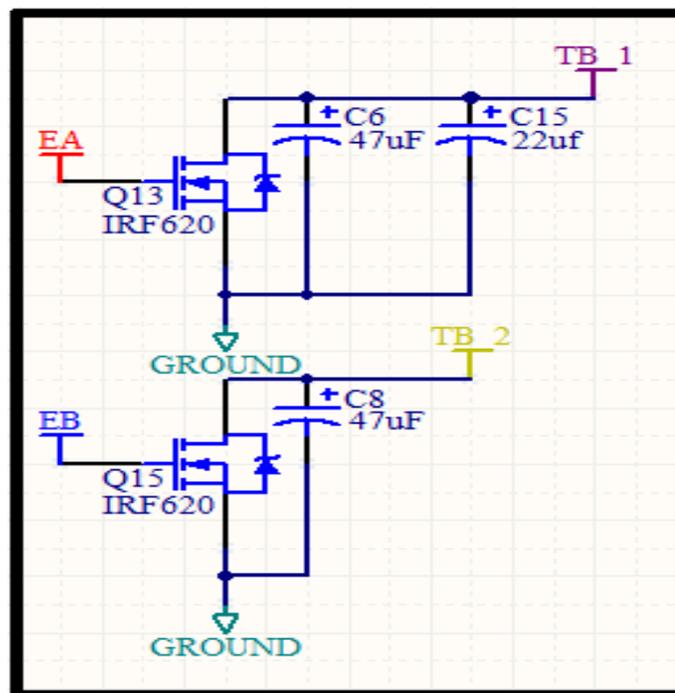


Figura 3.23 Esquema Eléctrico del Sistema de Potencia A (Push-Pull) diseñado en Altium Designer 2008.

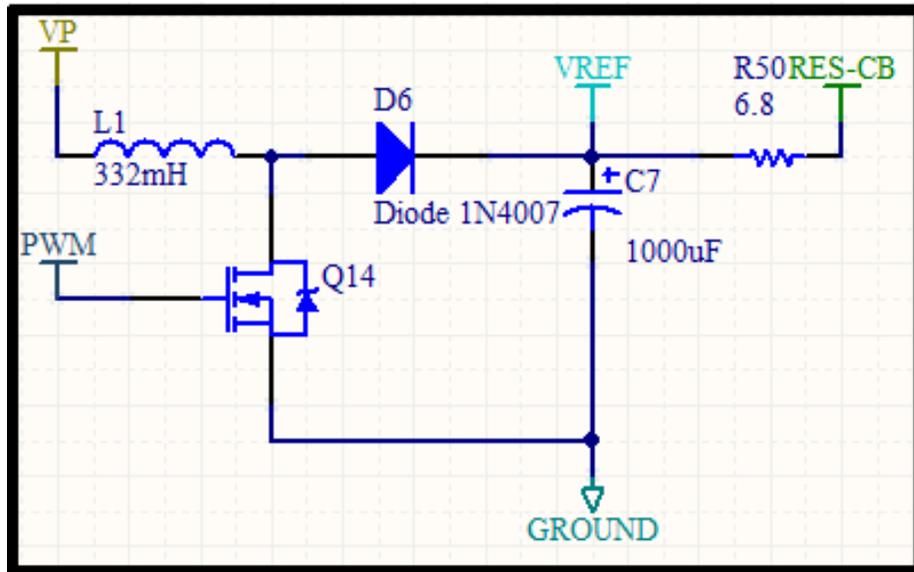


Figura 3.24 Esquema Eléctrico del Sistema de Potencia B (Sistema MPPT) diseñado en Altium Designer 2008

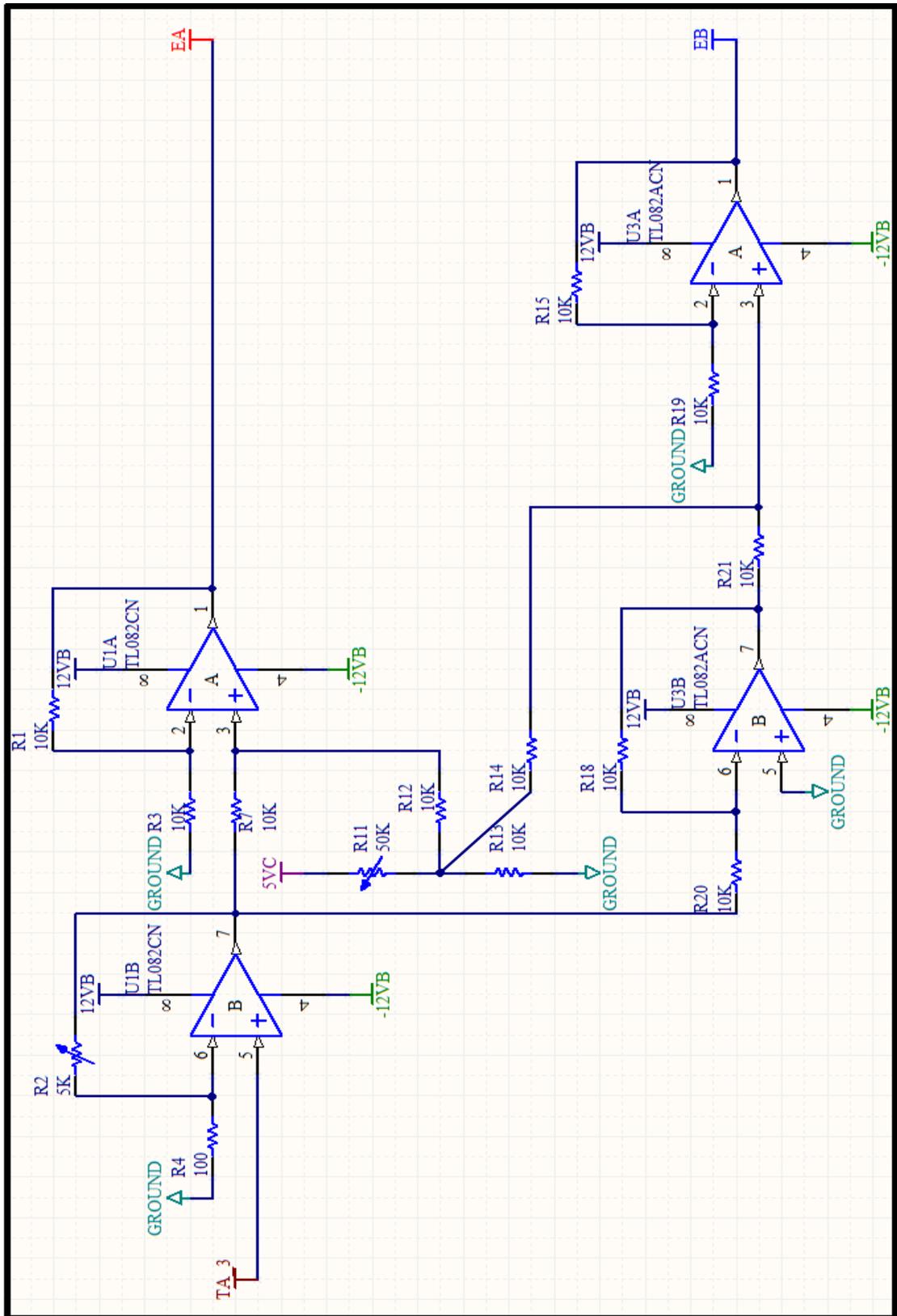


Figura 3.25 Esquema Eléctrico del Sistema de Control A, diseñado en Altium Designer 2008

CAPITULO 4

PROGRAMAR EL FIMWARE DEL SISTEMA

4.1 Fimware del inversor y arbitraje

```

;                               SinePwm
;-----
;NOTAS
;The next firmware pretends to generate a Sine Pwm wave, wich can be easiley
demodulate trough an filter at the correspondant outpin (RC1) .
;Resources: Timer2 | CCP Module (PWM) |
;Indications:
; - The PWM Period is 0,231ms , 1/72 of the period for the sine electrical wave (1/60 hz)
in Ecuador. with 0,3%error.
; - Duty Cicle takes values previusly uploaded in the Setup loop .
; - Filter at the RC1 pin should be a 120hz (or higher) Lowpass Filter .
;This Firmware hasn't benn proven in Proteus.
;=====
=====
list p=18f452
#include <p18f4550.inc>
;=====
;Configuración
CONFIG OSC = HS ;INTIO2      ;      Internal Oscillator
CONFIG BOR = OFF      ;      Brown-out Reset
CONFIG WDT = OFF      ;      Watchdog Timer
CONFIG STVR = OFF     ;ON    Stack Full Overflow Reset

```

```

        CONFIG LVP = OFF      ;      Low Voltage In Circuit Serial Programming
; RAM
        cblock 0x10
        Duty
        end

;=====
;Vectors
        org 0X00
        goto setup
        org 0x18
        goto interrupt

;=====
setup
        movlb 0                ;      BSR = 00
; Pins
        bsf TRISC,2            ;pwm Out
        bcf TRISD,0           ;H-bridge Out (+)
        bcf TRISD,1           ;H-bridge Out (+)
;Timer2
        movlw b'00000101'     ;T = (PR2us)
        movwf T2CON
        movlw d'230'          ;T= 9324us
        movwf PR2
        bsf PIE1,1            ;Timer2 Interrupt Enable
;PWM
        movlw 0x80
        movwf CCP1L
        bcf CCP1CON,5
        bcf CCP1CON,4          ;      2.- Duty Cicle = 50 %
        bcf TRISC,2            ;      3.-   TRISC,2 = output
        bsf CCP1CON,2

```

```

bsf CCP1CON,3           ; 4.- modulo CCP1 como PWM
    movlw d'1'
    movwf CCPR1L
; Interrupts
    movlw b'11000000'   ; Global + peripherals
    movwf INTCON        ;RB0 Interrupt
    bsf INTCON,4        ;Enable INT0 interrupt
    bsf INTCON2,INTEDG0 ;Interrupt on rising
; Initial Actions
    call ValueUpload    ; Upload the values for the wave.
;..... Main Loop
.....
Main
    goto Main
;.....End
Main.....
;=====
;interrupciones
interrupt
    btfsc INTCON,INT0IF
    call Zcross
    bcf INTCON,INT0IF
    btfsc PIR1,1        ;Interruption For Timer 1
    call ValueCharge
    bcf PIR1,1
    retfie
;=====
Zcross
    btfss INTCON2,INTEDG0
    goto Fall
    goto Rise

```

Rise

```

bsf PORTD,0
bcf PORTD,1
clrf TMR2
clrf FSR0L
movf INDF0,w
movwf CCPR1L
bcf INTCON2,INTEDG0
return

```

Fall

```

bcf PORTD,0
bsf PORTD,1
clrf TMR2
clrf FSR0L
movf INDF0,w
movwf CCPR1L
bsf INTCON2,INTEDG0
return

```

ValueCharge

```

movf INDF0,w
movwf CCPR1L
incf FSR0L
return

```

ValueUpload

```

movlw 0x02
movwf FSR0H
movlw 0x00
movwf FSR0L

```

; Charge Values, From 0x0200 to 0x28

;0x2000 AQUI SE EMPIESA A CARGAR

```
movlw d'132'  
movwf INDF0  
incf FSR0L ;0x2008  
movlw d'148'  
movwf INDF0  
incf FSR0L ;0x2009  
movlw d'163'  
movwf INDF0  
incf FSR0L ;0x200A  
movlw d'177'  
movwf INDF0  
incf FSR0L ;0x200b  
movlw d'189'  
movwf INDF0  
incf FSR0L ;0x200c  
movlw d'200'  
movwf INDF0  
incf FSR0L ;0x200d  
movlw d'209'  
movwf INDF0  
incf FSR0L ;0x200e  
movlw d'217'  
movwf INDF0  
incf FSR0L ;0x200f  
movlw d'223'  
movwf INDF0  
incf FSR0L ;0x2010  
movlw d'227'  
movwf INDF0  
incf FSR0L ;0x2011  
movlw d'229'
```

```
movwf INDF0
incf FSR0L           ;0x2012
movlw d'230'
movwf INDF0
incf FSR0L           ;0x2014
movlw d'229'
movwf INDF0
incf FSR0L           ;0x2013
movlw d'227'
movwf INDF0
incf FSR0L           ;0x2015
movlw d'223'
movwf INDF0
incf FSR0L           ;0x2016
movlw d'217'
movwf INDF0
incf FSR0L           ;0x2017
movlw d'209'
movwf INDF0
incf FSR0L           ;0x2018
movlw d'200'
movwf INDF0
incf FSR0L           ;0x2019
movlw d'189'
movwf INDF0
incf FSR0L           ;0x201A
movlw d'177'
movwf INDF0
incf FSR0L           ;0x201B
movlw d'163'
movwf INDF0
```

```
incf FSR0L ;0x201C
movlw d'148'
movwf INDF0
incf FSR0L ;0x201D
movlw d'132'
movwf INDF0
incf FSR0L ;0x201E
movlw d'115'
movwf INDF0
incf FSR0L ;0x201F
movlw d'98'
movwf INDF0
incf FSR0L ;0x2020
movlw d'79'
movwf INDF0
incf FSR0L ;0x2021
movlw d'60'
movwf INDF0
incf FSR0L ;0x2022
movlw d'40'
movwf INDF0
incf FSR0L ;0x2023
movlw d'21'
movwf INDF0
incf FSR0L ;0x2004
movlw d'1'
movwf INDF0
incf FSR0L ;0x2003
movlw d'21'
movwf INDF0
incf FSR0L ;0x2003
```

```
movlw d'40'  
movwf INDF0  
incf FSR0L  
movlw d'60'  
movwf INDF0  
incf FSR0L ;0x2001  
movlw d'79'  
movwf INDF0  
incf FSR0L ;0x2005  
movlw d'98'  
movwf INDF0  
incf FSR0L ;0x2006  
movlw d'115'  
movwf INDF0  
incf FSR0L ;0x2007
```

```
movlw d'0'  
movwf INDF0  
incf FSR0L  
movlw d'0'  
movwf INDF0  
incf FSR0L
```



```
movwf INDF0
```

```
incf FSR0L
```

```
clrf FSR0L
```

```
return
```

```
;------
```

```
end
```

CAPITULO 5

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA TANTO EN GENERACIÓN INYECTADA A LA RED COMO EN CONSUMO DE LA RED

Medición de energía eléctrica es la técnica para determinar el consumo de energía eléctrica en un circuito en este caso se determinara la cantidad de energía inyectada a la red proveniente de energías renovables. La tecnología utilizada en el proceso de medición eléctrica debe permitir determinar el costo de la energía que el usuario inyecta de acuerdo a las políticas de precio de la empresa distribuidora de energía, considerando que la energía eléctrica generada a través de diferentes medios tiene costos diferentes.

5.1 Regulación del CONELEC – 004/11

Establece el modelo de contrato para la prestación del suministro de servicio público de energía eléctrica a ser suscrito entre las empresas distribuidoras y los consumidores regulados; así como también determinar los aspectos que debe contener el contrato de conexión a ser suscrito entre las empresas distribuidoras y los no regulados que se conecten a su red eléctrica. La regulación No. CONELEC – 004/11, resuelve:

Expedir la presente Regulación denominada “Tratamiento para la energía producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales”.

CENTRALES	Territorio Continental	Territorio Insular de Galápagos
EÓLICAS	9.13 ctvs.	10.04 ctvs.
FOTOVOLTAICAS	40.03 ctvs.	44.03 ctvs.
BIOMASA Y BIOGÁS < 5 MW	11.05 ctvs.	12.16 ctvs.
BIOMASA y BIOGÁS > 5 MW	9.60 ctvs.	10.56 ctvs.
GEOTÉRMICAS	13.21 ctvs.	14.53 ctvs.

Tabla 5.1. Precios Preferentes Energía Renovables en (cUSD/kWh).

Los precios a reconocerse por la energía medida en el punto de entrega, expresados en centavos de dólar de los Estados Unidos por kWh, son aquellos indicados en la Tabla 5.1. No se reconocerá pago por disponibilidad a la producción de las centrales no convencionales.

5.2 Diseño de Software del Sistema de Medición de Energía

Se conoce como software al soporte lógico de un sistema electrónico/informático, el cual está compuesto por todos los componentes lógicos que permiten la realización de tareas específicas y que, a diferencia del hardware componen la parte intangible de dicho sistema.

5.2.1 Diagrama de flujo del sistema de acoplamiento ACS714-PIC18F4550.

En esta etapa del Contador de energía se realiza el acople entre el sensor de corriente ACS714 y el PIC debido a que el voltaje de salida del sensor presenta un offset de 2.5V y una sensibilidad de 185mV/A valores no aptos para el análisis del contador de energía.

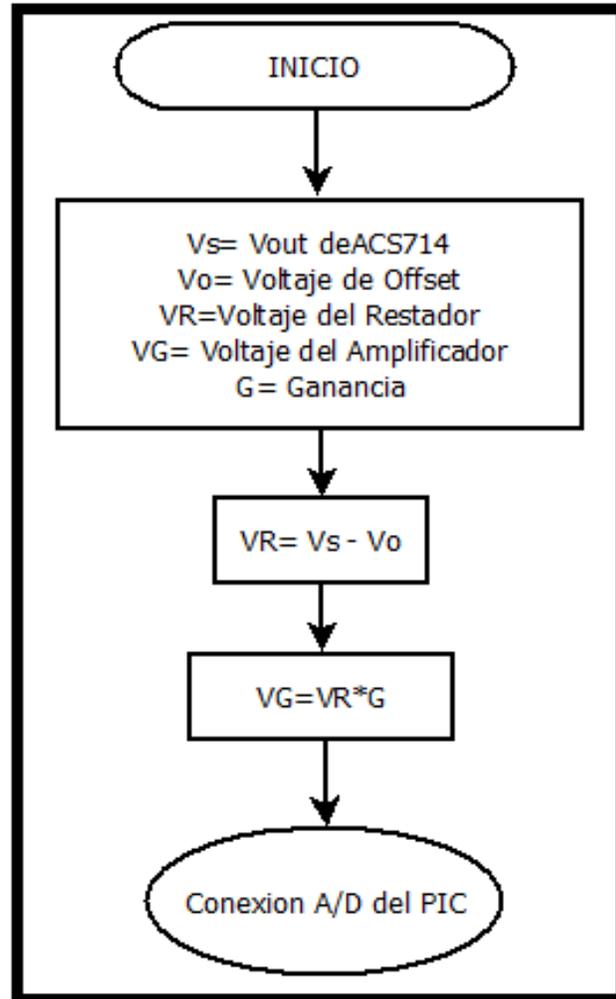


Figura 5.1 Diagrama de flujo de acoplamiento entre ACS714-PIC18F4550.

5.2.2 Software implementado en Micro-controlador

Conforma el núcleo de todo el sistema, ya que en él se ejecutan las tareas principales del Sistema de medición de energía, en la Figura 5.2 se muestra el diagrama de flujo básico y en la Figura 5.3 se muestra el firmware del programa principal que se ejecuta de manera continua en el micro-controlador.

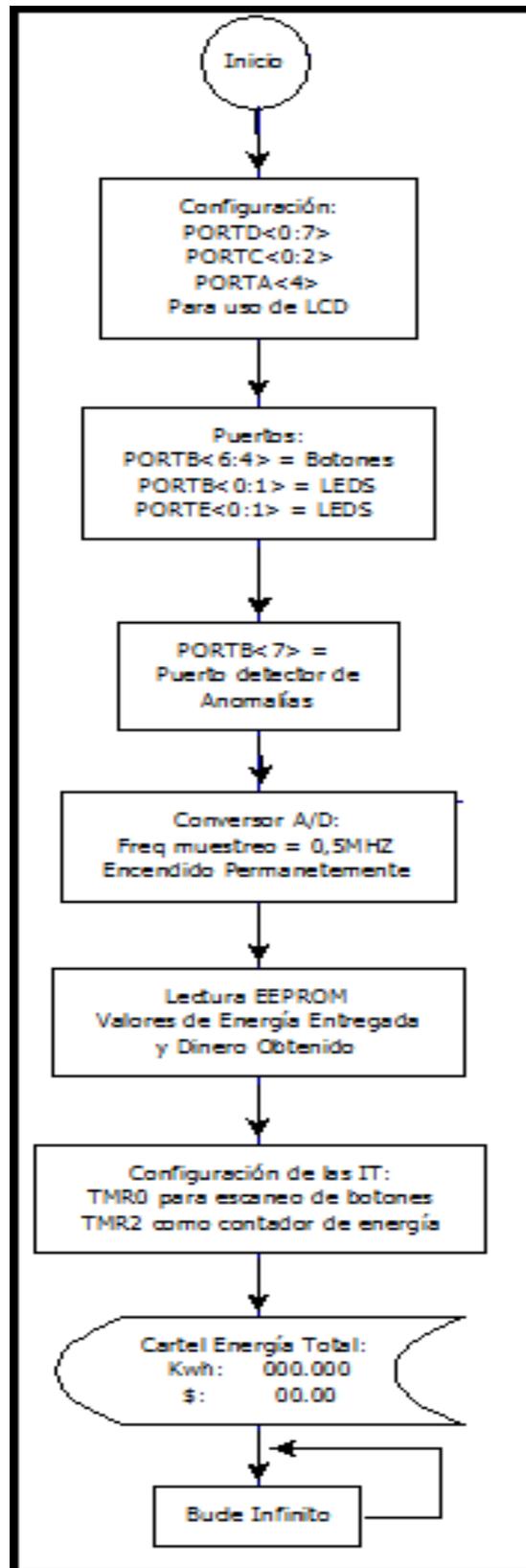


Figura 5.2 Diagrama de Flujo del Sistema de medición de Energía implementado en Microcontrolador.

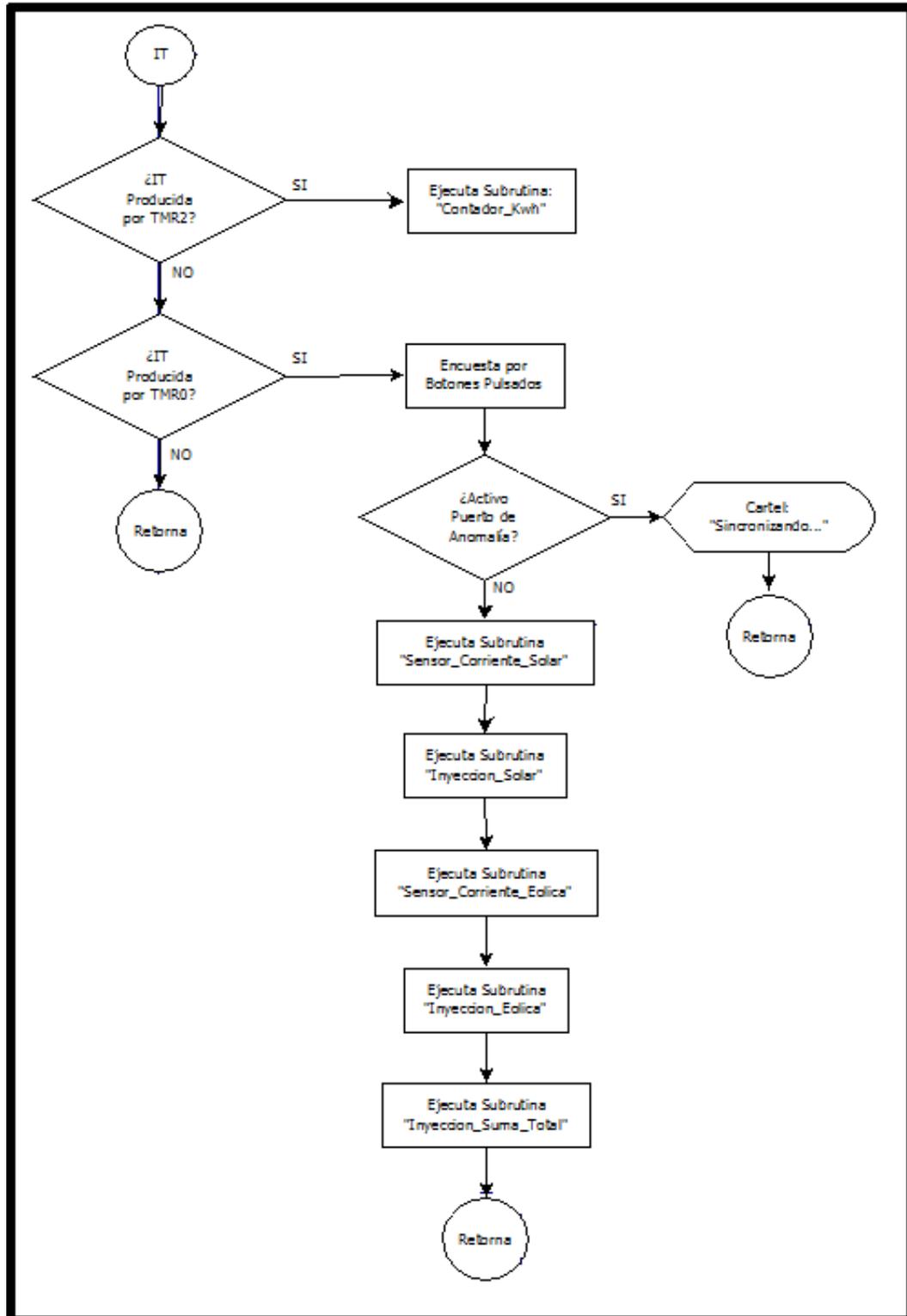


Figura 5.3 Diagrama de Flujo del Sistema de medición de Energía implementado en Microcontrolador.

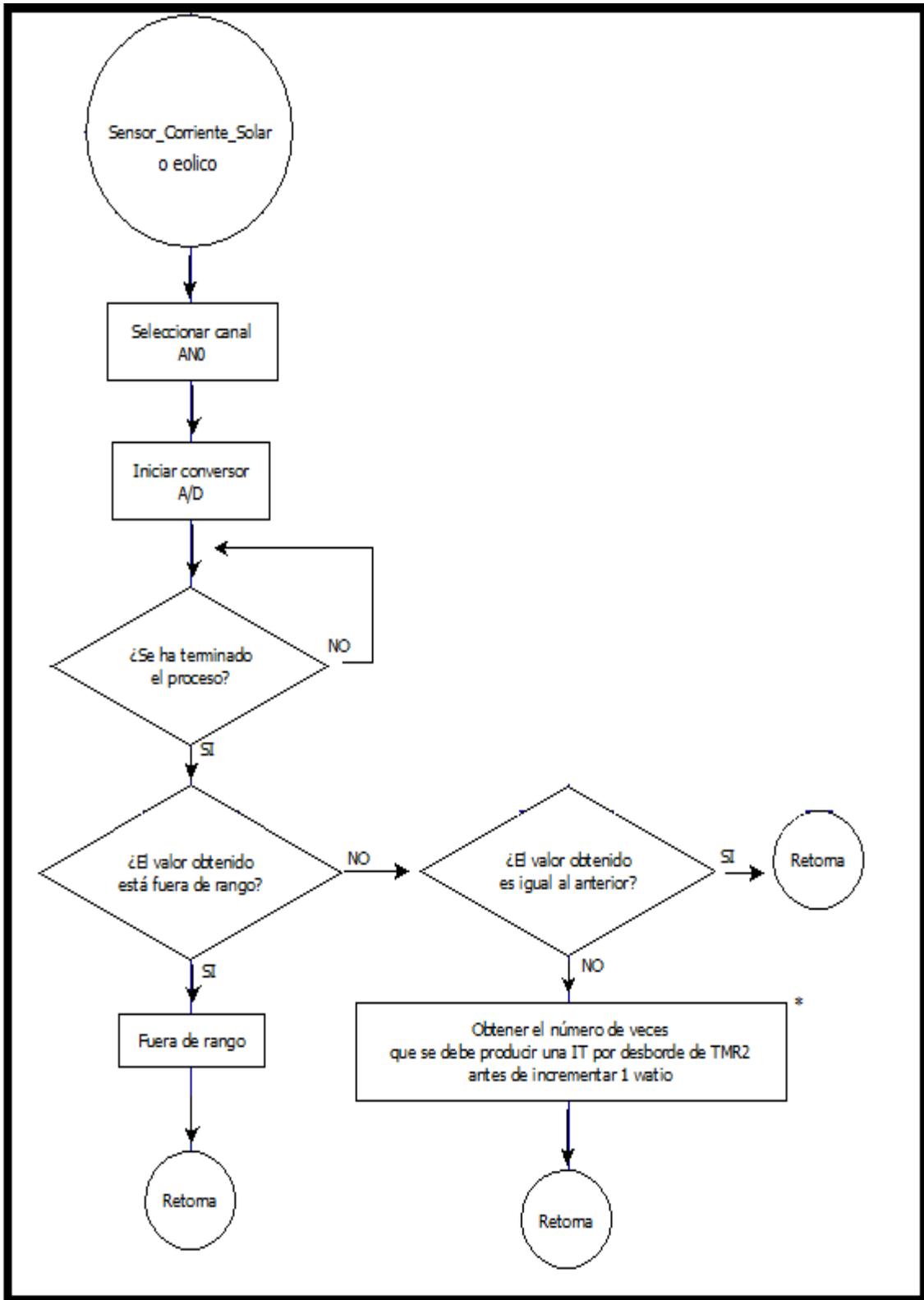


Figura 5.4 Diagrama de Flujo del Sistema de medición de Energía implementado en Microcontrolador.

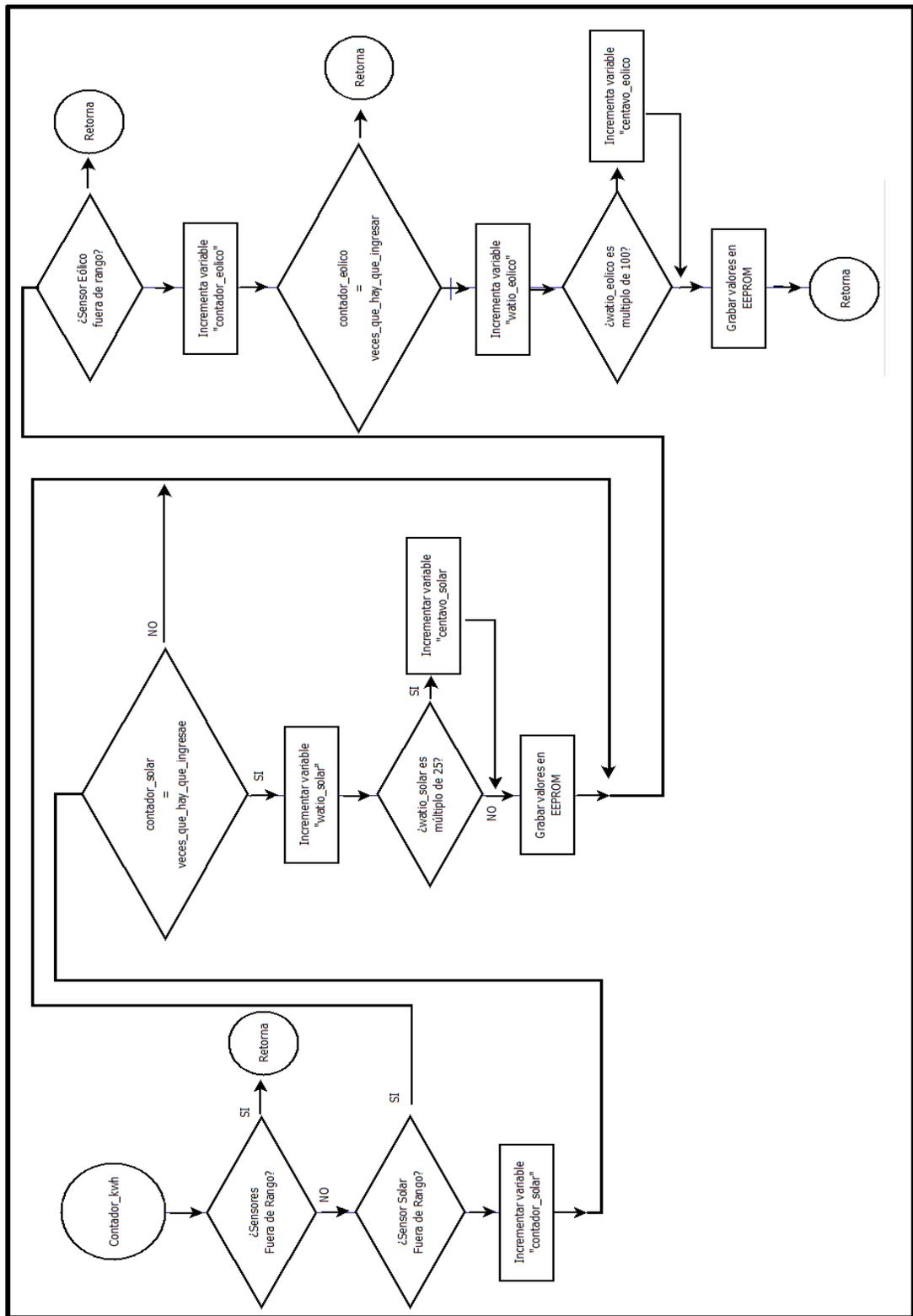


Figura 5.5 Diagrama de Flujo del Sistema de medición de Energía implementado en Microcontrolador.

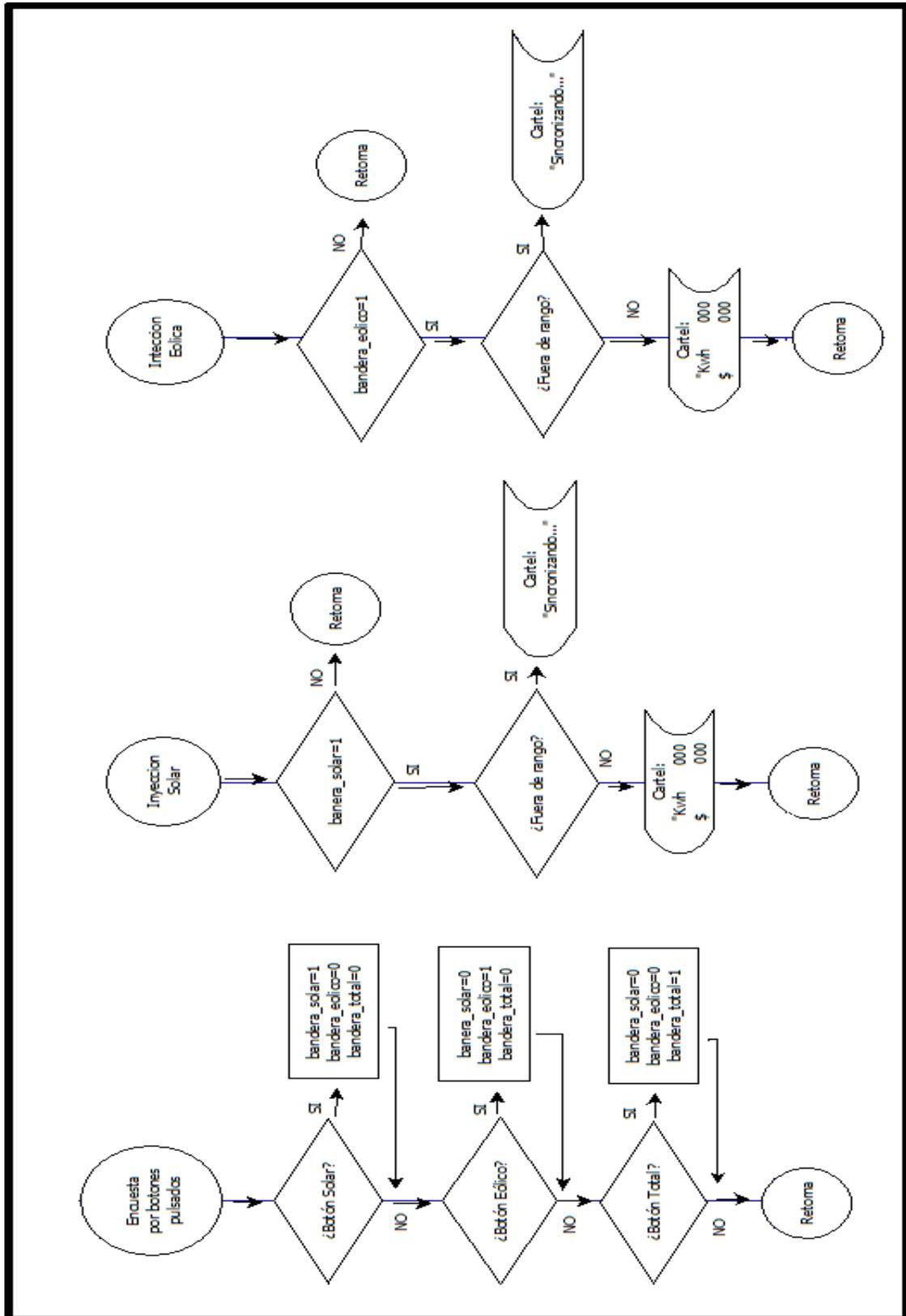


Figura 5.6 Diagrama de Flujo del Sistema de medición de Energía implementado en Microcontrolador.

5.3 Diseño de Hardware del Sistema de medición de Energía.

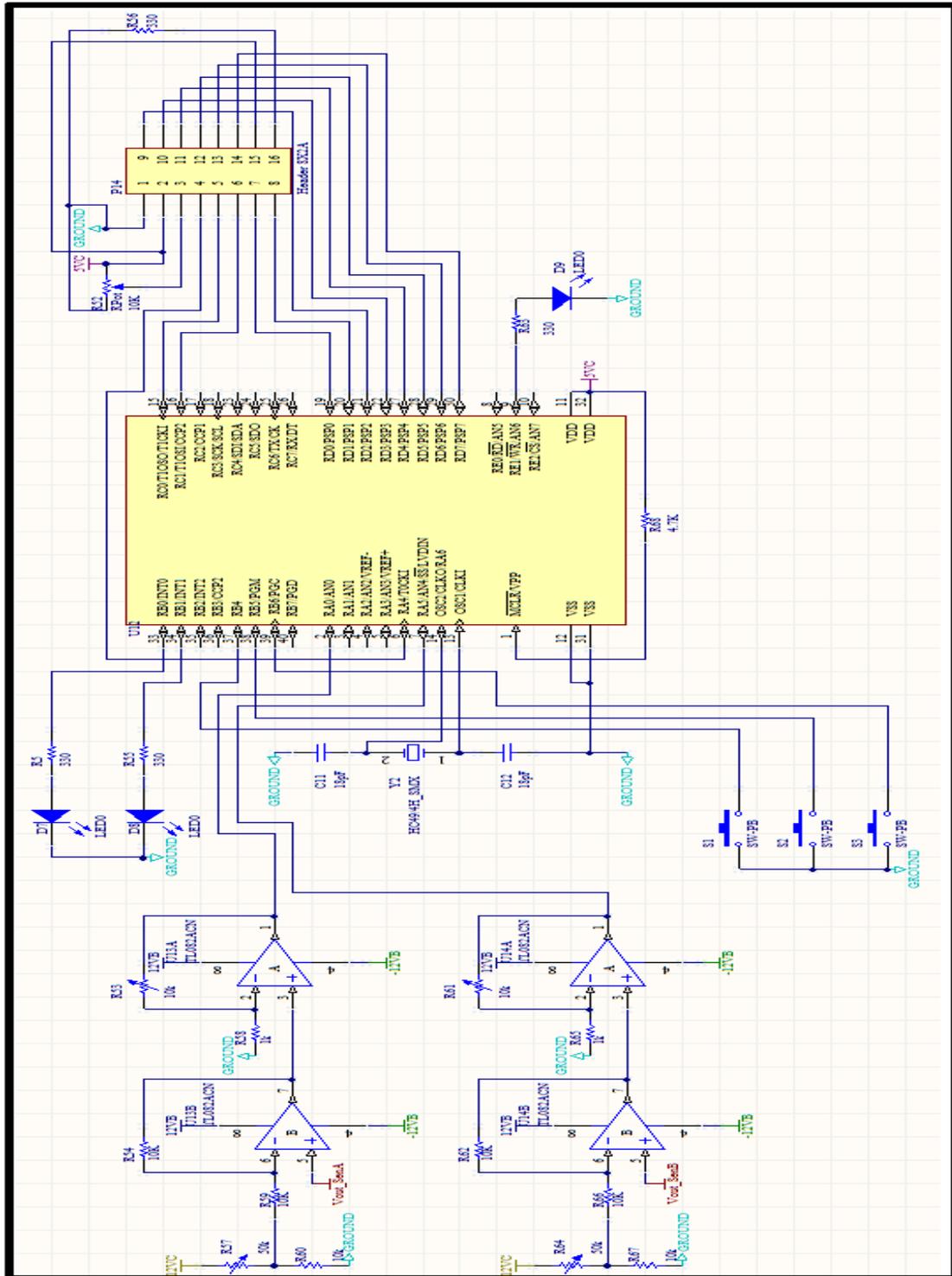


Figura 5.7 Esquema Eléctrico del Sistema de Medición Diseñado en Altium Designer 2008.

5.3.1 PCB del Sistema de Medición de Energía Diseñado en Altium Designer 2008.

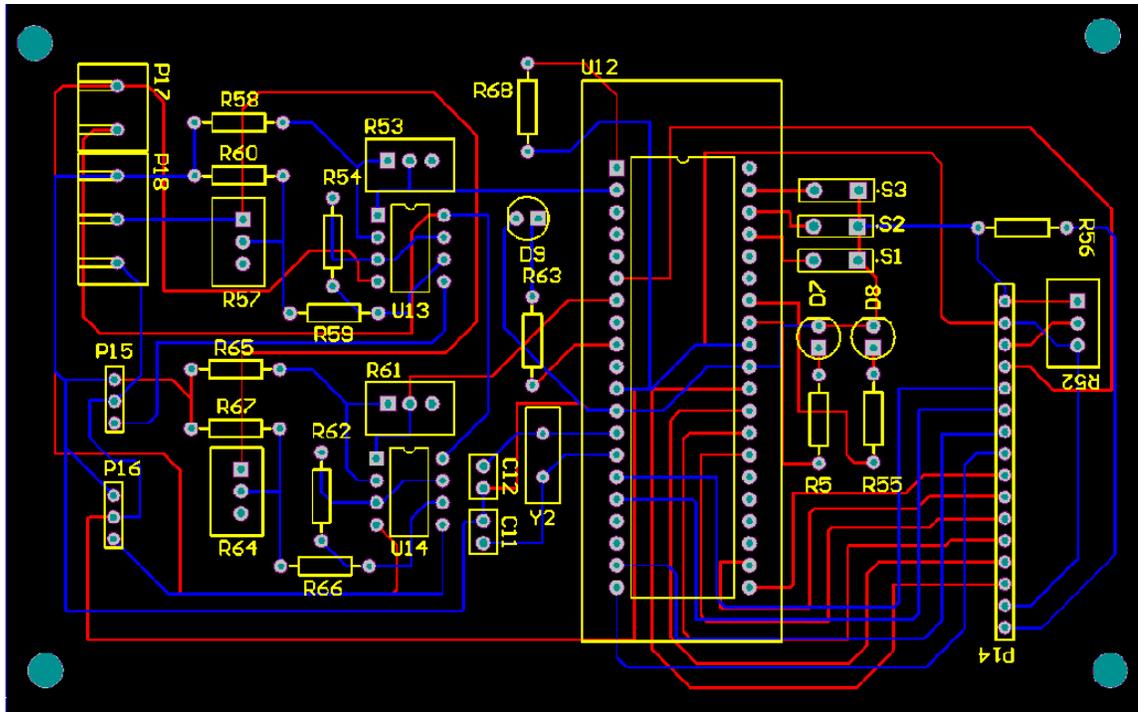


Figura 5.8 PCB Diseñado en Altium Designer 2008.

5.3.2 Elementos que conforman el Hardware del Sistema de Medición

- Sensor ACS714.
- PIC 18F4550.
- Visualizador LCD 16x2.
- Potenciómetros.
- Amplificadores Operacionales.

5.3.2.1 Sensor ACS714

Este sensor es basado en el efecto hall. El sensor opera a 5V y a su salida presenta una sensibilidad de 185mV/A, diseñada para una entrada de corriente bidireccional desde -5 a 5 A, presenta una resistencia interna de 1.2mΩ, posee un ancho de banda de 80 KHz que puede ser disminuida a través de un capacitor y presenta un error de 1.5% en su

salida. Su Funcionamiento consiste en modificar un campo magnético por presencia de objetos metálicos. El efecto Hall relaciona la tensión entre dos puntos de un material conductor o semiconductor con un campo magnético a través de un material. En ausencia de material el sensor de efecto Hall detecta un campo magnético intenso. Cuando el material se aproxima al sensor el campo magnético se debilita en el sensor debido a la curvatura de las líneas de campo a través del material. El efecto Hall se basa en el principio de la fuerza de Lorentz que actúa sobre una partícula cargada que se desplaza a través de un campo magnético.

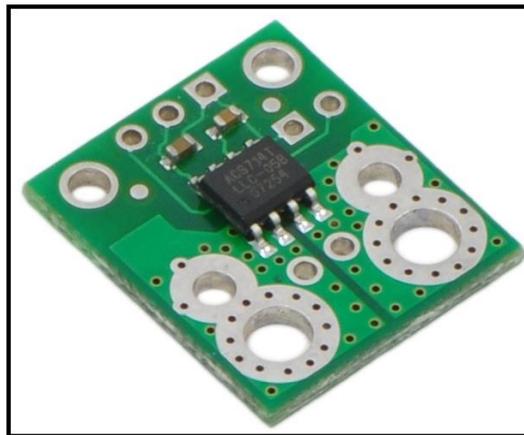


Figura 5.9 Sensor de corriente ACS714 -5 a +5A.
(<http://www.pololu.com>).

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0\text{ V}$, output open	-	10	13	mA
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	V _{IOUT} to GND	-	-	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	V _{IOUT} to GND	4.7	-	-	k Ω
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	-	1.2	-	m Ω
Rise Time	t_r	$I_p = I_p(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	-	3.5	-	μs
Frequency Bandwidth	f	-3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$; I_p is 10 A peak-to-peak	-	80	-	kHz
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_p	-	1.5	-	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_p	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(0)}$	Bidirectional; $I_p = 0\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	$V_{CC} \times 0.5$	-	V
Power-On Time	t_{PO}	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$, 20 A present on leadframe	-	35	-	μs
Magnetic Coupling ²			-	12	-	G/A
Internal Filter Resistance ³	$R_{F(INT)}$			1.7		k Ω

Tabla 5.2 Características Eléctricas del Sensor de corriente ACS714 -5 a +5A.
(<http://www.pololu.com>).

5.3.2.2 Visualizador LCD 16x2

Una pantalla de cristal líquido o LCD es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora. A menudo se utiliza en dispositivos electrónicos de pilas, ya que utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica.



Figura 5.10 LCD.
(www.directindustry.es).

5.3.2.2.1 Características del Visualizador

- Pantalla de caracteres ASCII, además de los caracteres Kanji y Griegos.
- Desplazamiento de los caracteres hacia la izquierda o la derecha.
- Proporciona la dirección de la posición absoluta o relativa del carácter.
- Memoria de 40 caracteres por línea de pantalla.
- Movimiento del cursor y cambio de su aspecto.
- Permite que el usuario pueda programar 8 caracteres.
- Conexión a un procesador usando un interfaz de 4 u 8 bits.

PIN Nº	SIMBOLO	DESCRIPCION
1	Vss	Tierra de alimentación GND
2	Vdd	Alimentación de +5V CC
3	Vo	Contraste del cristal liquido. (0 a +5V)
4	RS	Selección del registro de control/registro de datos: RS=0 Selección registro de control RS=1 Selección registro de datos
5	R/W	Señal de lectura/escritura: R/W=0 Escritura (Write) R/W=1 Lectura (Read)
6	E	Habilitación del modulo: E=0 Módulo desconectado E=1 Módulo conectado
7-14	D0-D7	Bus de datos bidireccional.

Tabla 5.3 Distribución de pines de un LCD.

(<https://www.google.com.ec/search?q=pines+lcd+16x2&tbm>)

5.3.2.2.2 Funcionamiento

Para comunicarse con la pantalla LCD podemos hacerlo por medio de sus pines de entrada de dos maneras posibles, con bus de 4 bits o con bus de 8 bits. El control de contraste se realiza al dividir la alimentación de 5V con una resistencia variable de 10k. Las líneas de datos son tri-estado, esto indica que cuando el LCD no está habilitado sus entradas y salidas pasan a alta impedancia.

CAPITULO 6

RESULTADOS

6.1 Onda PWM generada por el micro-controlador y filtrada

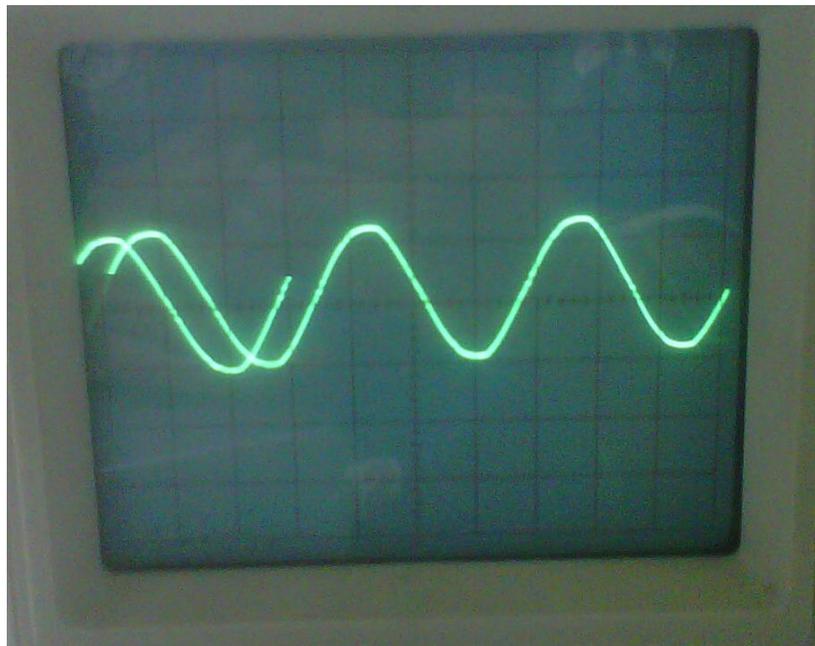


Figura 6.1 Onda PWM generada por el micro-controlador y filtrada

Esta es la onda PWM generada por el micro-controlador, esta es una onda que se generó mediante puntos que fueron cargados en el programa de generación de onda senoidal, toda esta información fue transportada por una onda PWM y al final de este proceso fue filtrada obteniendo así una onda sinusoidal perfecta de 60 Hz.

Valores de voltaje obtenidos:

$$V_{rms} = 7V$$

$$V_p = 9.80V$$

$$V_{pp} = 19.79V$$

6.2 Onda amplificada obtenida en el secundario del transformador

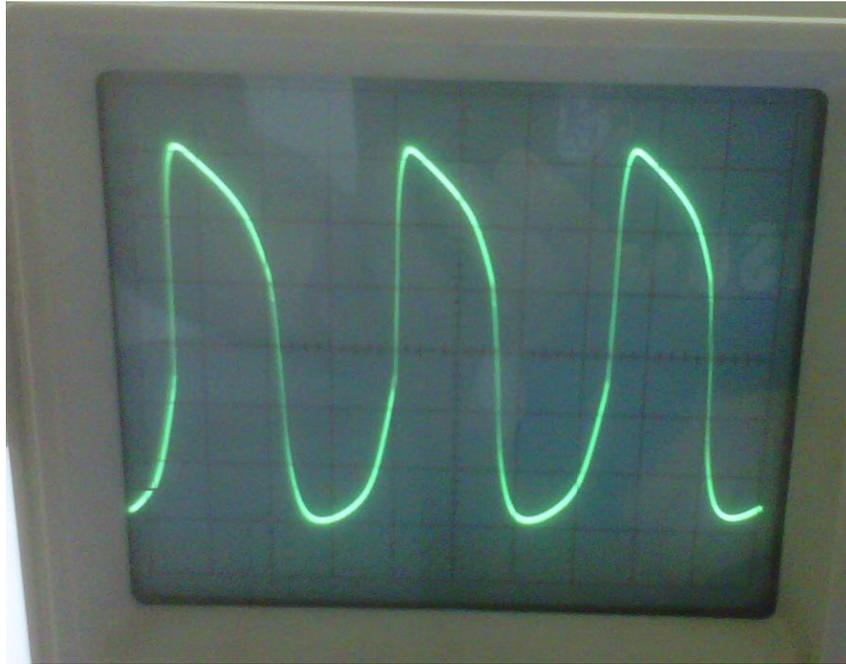


Figura 6.2 Onda amplificada obtenida en el secundario del transformador

Esta es la onda que se obtiene en el secundario del transformador, como se puede observar en la figura es una onda lo más parecida a una onda senoidal con una frecuencia de 60Hz y un voltaje de 135V, así esta onda cumple con todos los requisitos para ser inyectada en la Red.

Valores de voltaje obtenidos:

$$V_{rms} = 130V$$

$$V_p = 183.84V$$

$$V_{pp} = 367.69V$$

6.3 Onda de la Red Eléctrica

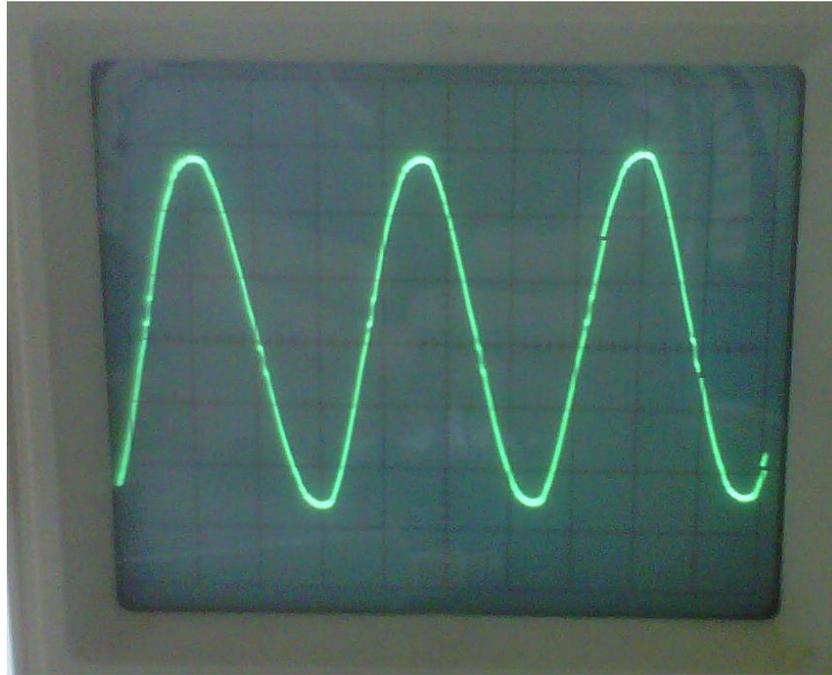


Figura 6.3 Onda de la Red Eléctrica

Onda obtenida de la red eléctrica, sinusoidal pura con una frecuencia de 60 Hz y un voltaje que oscila entre los 120V y 127V, el objetivo de este proyecto es crear una onda con las mismas o similares características con la finalidad de concordar la onda generada con la onda de la red en fase, frecuencia y voltaje.

Valores de voltaje obtenidos:

$$V_{rms} = 120V$$

$$V_p = 170V$$

$$V_{pp} = 339.4V$$

6.4 Ondas Sincronizadas

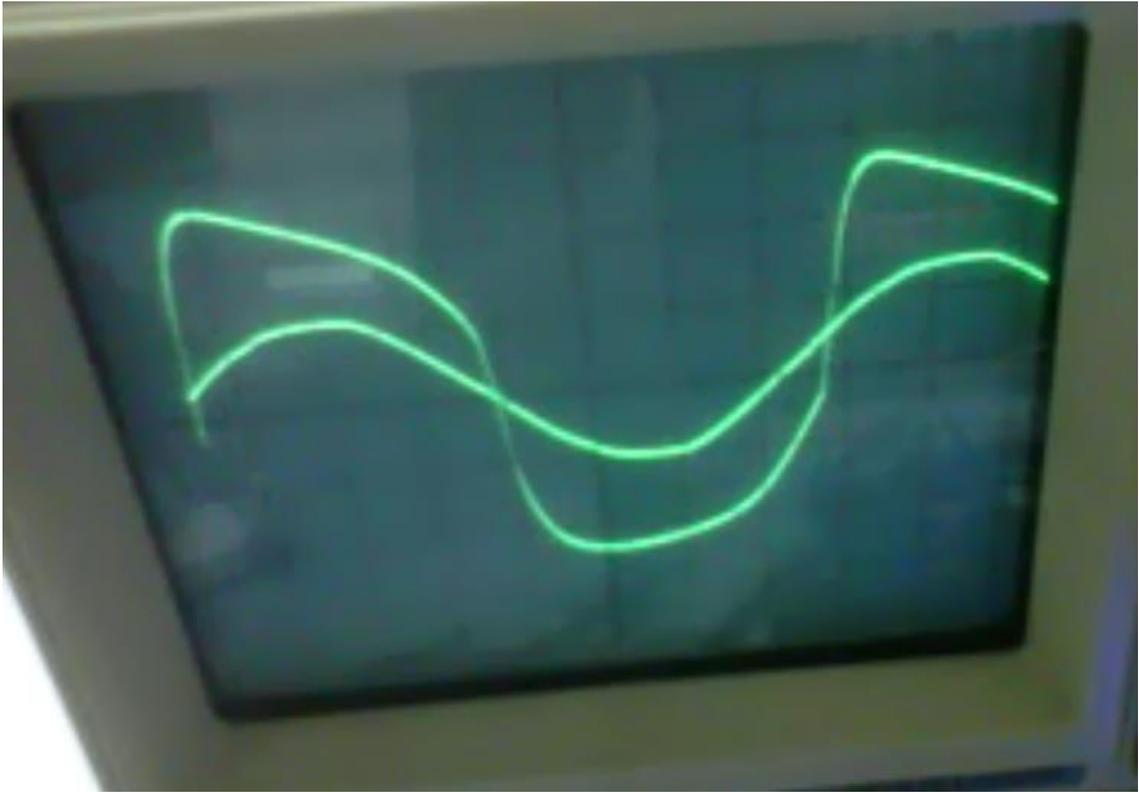


Figura 6.4 Ondas Sincronizadas

Como se puede observar en la figura, se tienen las dos ondas sincronizadas en fase con un error mínimo de desfase de $0.3\mu s$, lo cual no genera ningún tipo de problema al momento de inyectar. La onda superior es la generada por nuestro inversor y la onda inferior es la onda de la red eléctrica, en estas condiciones, la inyección a la red es una realidad.

6.5 Características del Inversor

El inversor inteligente es un equipo diseñado para inyectar a la red eléctrica energía producida por un generador fotovoltaico o un generador eólico.

Estos inversores trabajan con una tensión de entrada de entre 10-12 voltios de continua y generan una tensión en alterna de la misma amplitud y frecuencia que la tensión de la red eléctrica monofásica a la que se conectan.



Figura 6.5 Voltaje de entrada que Genera el Panel Solar

6.5.1 Características Eléctricas

Potencia Nominal (VA)	50VA
Potencia pico de paneles y Generador eólico:	48 VA
Potencia mínima de conexión:	8 W
Consumo en vacío:	3 W a 130 V AC
Rango de tensión de entrada	Máx. 12 Vdc, Mín. 10 Vdc
Tensión de red admisible:	127 Vac
Tensión de Salida	130 Vac
Frecuencia de trabajo:	59 / 60.5 Hz
Rendimiento:	92%
Forma de onda :	Seno sincronizada

Tabla 6.1 Características Eléctricas del Inversor

6.6 Placa de Control

Esta placa corresponde a los circuitos de:

- Generador de Onda PWM
- Puente H
- Sistema de control A
- Sistema de control B

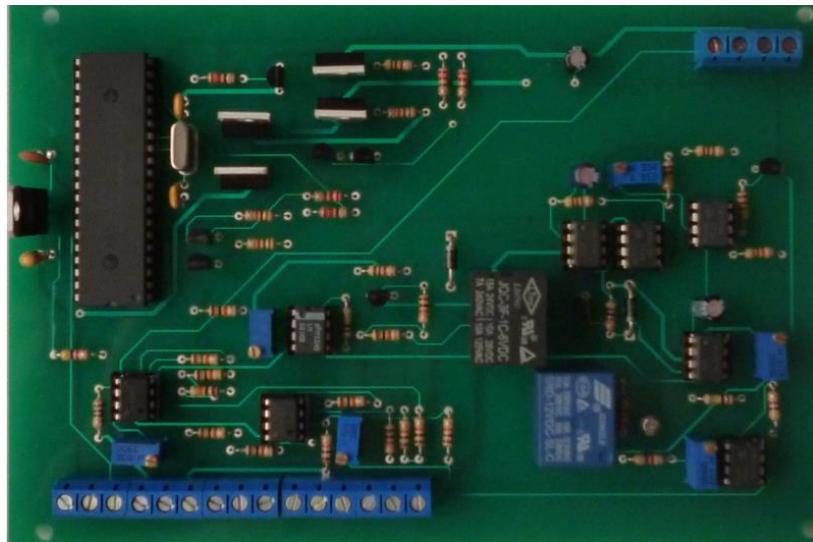


Figura 6.6 Placa de Control

6.7 Placa de Potencia

En esta placa tenemos:

- Circuito de sincronización con la red
- Circuito Convertidor boost del sistema MPPT
- Circuito Push Pull



Figura 6.7 Placa de Potencia

6.8 Placa del Contador de Energía

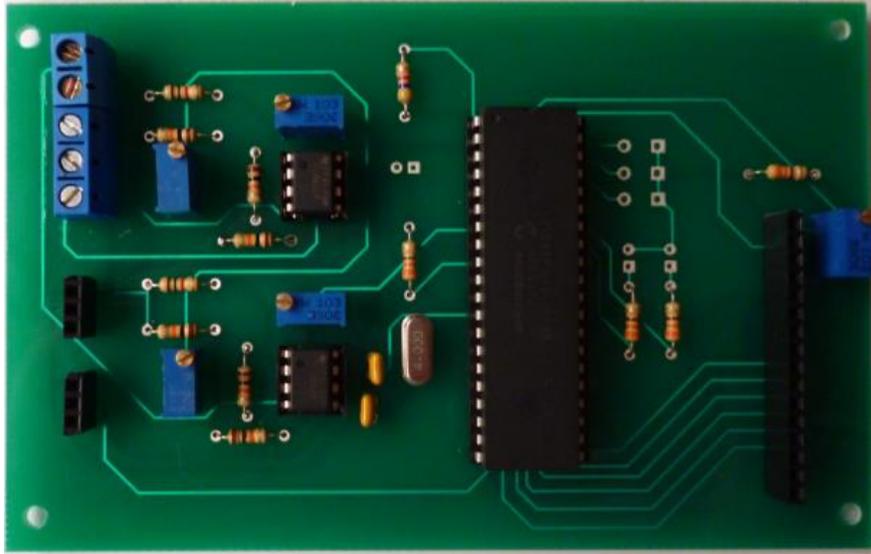


Figura 6.8 Placa del Contador de Energía

CONCLUSIONES

El objetivo de este proyecto buscó realizar un sistema capaz de tomar la energía limpia generada por un panel solar y un generador eólico, transformarla e inyectarla a la red eléctrica, de esta manera lograr una reducción considerable de emisión de gases tóxicos a la atmosfera de nuestro planeta y producir energía limpia la cual podrá ser aprovechada por la humanidad.

Este objetivo fue cumplido a cabalidad, una vez inyectada toda la energía producida por sistemas renovables, nos damos cuenta del gran alcance que tiene la misma en cuanto a producción de energía se refiere, los beneficios económicos que ofrece, pero sobre todo, el bien que hace al planeta generar energía limpia ya que no existe CO₂ emitido a la atmosfera.

Tal vez hoy en día este tipo de proyectos son vistos en un segundo plano debido a que son aplicaciones prácticamente nuevas, que aún no se les ha dado la importancia que merecen, pero día tras día van ganando fuerza y éstas serán el futuro de nuestros días, para el bien de nuestro planeta y de toda la humanidad, ya que con su implementación tendremos un planeta más limpio y saludable.

El hecho de que el petróleo y sus derivados no sean renovables y su consumo cause grandes daños al medio ambiente, hace que, un sistema de generación e inyección de energía a la red proveniente de energías renovables sea la mejor solución y alternativa para sustituir al petróleo cuando el mismo se haya agotado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- COUGHLIN, Robert. DRISCOLL, Frederick. Amplificadores Operacionales y circuitos integrados lineales. México. Prentice Hall. 1999. 518 paginas. quinta edición.
- BOYLESTAD, Robert. NASHELSKY, Louis. Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos. México. Pearson Education. 2003. 1020 paginas. octava edición.
- MUHAMMAD, Rashid. Electrónica de Potencia. Circuitos, dispositivos y aplicaciones. México. Prentice Hall. 1993. 721 páginas. segunda edición.
- HELFRICK, Albert. COOPER, William. Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición. México. Prentice Hall. 1991. 461 paginas. primera edición.
- SINCLAIR, Ian. Sensors and Transducers. England. Butterworth-Heinnaman. 2001. 322 paginas. tercera edición.
- JUNG, Walt. Op Amp Applications Handbook. Estados Unidos. Elsevier. 2005. 895 paginas. primera edición.
- OTT, Henry. Noise reduction techniques in electronic systems. Estados Unidos. Wiley-Interscience. 1988. 224 paginas. segunda edición.

REFERENCIAS ELECTRONICAS

- UACJ. Diseño, construcción y pruebas básicas de un transformador de pequeña capacidad. México. <<http://www2.uacj.mx/IIT/CULCYT>>. [Consulta sobre características básicas de un transformador, 1 de febrero del 2012].
- Nichese. Electricidad y automatismos. Argentina. <<http://www.nichese.Com/imped-trans1.html>> [Consulta sobre configuración de Amplificadores Operacionales, 10 de Marzo del 2012].
- Departamento de Tecnología Electrónica Universidad de Sevilla. Filtros. España. <http://www.dte.us.es/ing_inf/ins_elec/temario/Tema%204.%20Filtros.pdf>. [Consulta sobre configuración de filtros RC, 10 de Marzo del 2012].
- Universidad de Valencia. Inversores. España. <http://www.uv.es/~emaset/iep00/temas/IEP11_0607.pdf> [Consulta sobre la construcción y características básicas de un inversor, 5 de Abril de 2012].
- Laboratorio de Computación de la FIE. Filtros Pasivos y Activos. México. <<http://lc.fie.umich.mx/~jfelix/InstruII/PB/PB.htm>> [Consulta sobre construcción de filtros activos y pasivos, 5 de Marzo del 2013].
- Scribd. Teoría y Calculo de Fuentes de alimentación conmutadas. España. <<http://es.scribd.com/doc/80107993/Teoria-y-Calculo-Buck-Boost-1>> [Consulta sobre configuración de fuentes de alimentación conmutadas 8 de Abril del 2013].
- Universidad Politécnica de Valencia. Inversor Tauro. España. <http://www.upv.es/gep/Central_Solar/inversor.htm. 2000.> [Consulta sobre características de un inversor Tauro 17 de junio del 2013].
- Microchip. PIC18F4550. Estados Unidos. <<http://www.microchip.com/TechDoc.aspx?type=datasheet&product=18f4550>> [Consulta sobre configuración de servicios web en LabVIEW 12 de agosto del 2012].