

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE SEGUIMIENTO DEL SOL EN QUITO PARA UN PANEL VOLTÁICO Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN BATERÍAS PARA UTILIZAR EN LUMINARIA LED

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

ALBERTO CARLOS SANTANA BARRIONUEVO

acsantanab@gmail.com

SANTIAGO ERNESTO YAZÁN REINA

santiagoeyr@hotmail.com

DIRECTOR: ING. PABLO WIGBERTO LÓPEZ MERINO

pwlopezm@hotmail.com

Quito, Octubre 2013

DECLARACIÓN

Nosotros, Alberto Carlos Santana Barrionuevo y Santiago Ernesto Yazán Reina, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Alberto Carlos Santana Barrionuevo

Santiago Ernesto Yazán Reina

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los Alberto Carlos Santana Barrionuevo y Santiago Ernesto Yazán Reina, bajo mi supervisión.

Ing. Pablo López

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Yo Alberto Carlos Santana Barrionuevo quiero agradecer de manera especial a mi madre ya que con su apoyo y sus enseñanzas inculcadas hacia mi persona dieron como resultado la consecución de este proyecto.

A mi familia y amigos que con su incondicional apoyo fueron parte importante de la culminación de este proyecto.

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mi madre y mi padre, quienes inculcaron en mis valores y objetivos los mismos que dieron como resultado la finalización de este proyecto.

A mi querida Mélida quien siempre estuvo a mi lado con su incondicional apoyo.

A mis primos-hermanos que con sus consejos y apoyo continuo permitieron sea posible la realización de este proyecto.

AGRADECIMIENTO

Yo Santiago Yazán, quiero agradecer a mis padres Digna y Ernesto, quienes han sido base fundamental para la consecución de este proyecto y de mi carrera.

A mis hermanas Jenny y Johanna por darme su apoyo día a día.

A mis profesores, especialmente al Ingeniero Pablo López, quienes han impartido los conocimientos gracias a los cuales este proyecto ha concluido exitosamente.

A mis amigos, especialmente al Ing. Franklin Chalá por su concisa explicación acerca de transmisión mecánica gracias a la cual se pudo resolver un problema importante para este proyecto.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi familia, cuyo apoyo y cariño ha sido y es motivación esencial para superarme, ser mejor profesional y mejor persona cada día.

RESUMEN

El presente documento detalla la construcción de un sistema capaz de orientar un panel fotovoltaico de manera que se encuentre perpendicular a los rayos del Sol mientras transcurre el día. Este panel fotovoltaico se orienta a través de dos motores que son controlados por puentes H y estos a su vez controlados por un microcontrolador. Se emplea un acelerómetro y un reloj en tiempo real para medir la orientación del panel fotovoltaico en un instante determinado y dependiendo de esa medición el microcontrolador toma la decisión de mover a la posición correcta.

En el primer capítulo se explica los fundamentos teóricos usados en el proyecto. También se explica el funcionamiento de cada uno de los dispositivos que forman parte del proyecto, tanto del sistema fotovoltaico como el sistema de seguimiento del Sol. Por último se explica las características usadas del lenguaje de programación Bascom AVR, mediante el cual se ha desarrollado el programa.

En el segundo capítulo se describe la construcción del sistema partiendo de los datos que se emplean para determinar la orientación que tiene que tener el panel fotovoltaico en ciertas horas del día y luego realizar un análisis de estos datos para poder ser usados en el programa del microcontrolador. En este capítulo también se describe el diseño del circuito y el desarrollo del programa.

En el tercer capítulo se señalan las conclusiones y recomendaciones a las cuales se ha llegado al terminar el proyecto.

CONTENIDO

1	FUNDAMENTO TEÓRICO.....	1
1.1	Sistema fotovoltaico	1
1.1.1	Panel fotovoltaico	2
1.1.2	Regulador de carga	9
1.1.3	Batería de plomo-ácido.....	11
1.2	Seguimiento del Sol	15
1.2.1	Posición del Sol respecto a la Tierra	16
1.2.2	Posición del Sol respecto a un lugar en la superficie de la Tierra	17
1.2.3	Posición del Sol respecto a Quito	17
1.2.4	Conceptos importantes.....	18
1.2.5	Datos y cálculos de la posición del Sol respecto a un lugar en la superficie de la Tierra.....	19
1.3	Microcontrolador.....	20
1.3.1	Microcontrolador AVR.....	20
1.4	Reloj en tiempo real (RTC).....	30
1.4.1	RTC DS1307	30
1.5	Acelerómetro	40
1.5.1	Acelerómetro MMA7361L	41
1.5.2	Módulo MMA7361L Pololu.....	44
1.6	Driver L298.....	46
1.6.1	Características principales.....	46
1.6.2	Configuración y descripción de pines	46
1.6.3	Control de sentido de giro de motor DC	47

1.7	Motor de corriente continua.....	48
1.7.1	Parámetros principales.....	49
1.8	LCD de 16 caracteres y 2 filas.....	50
1.8.1	Características:.....	50
1.8.2	Funcionamiento.....	51
1.8.3	Descripción de pines.....	51
1.8.4	Conexión de 4 bits con el microcontrolador.....	52
1.9	Teclado de 4 filas 3 columnas.....	52
1.9.1	Descripción.....	53
1.10	Lenguaje Bascom AVR.....	53
1.10.1	Estructura de un programa en Basic.....	54
1.10.2	Tipos de datos.....	55
1.10.3	Variables.....	55
1.10.4	Expresiones y Operadores.....	57
1.10.5	Instrucciones.....	59
2	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA.....	74
2.1	Obtención de datos de la posición del Sol.....	74
2.1.1	Posición del Sol para el movimiento diario.....	74
2.1.2	Posición del Sol para el movimiento anual.....	83
2.2	Construcción de la estructura mecánica.....	85
2.2.1	Descripción del movimiento diario.....	85
2.2.2	Descripción del movimiento anual.....	86
2.2.3	Ensamblaje de la estructura mecánica.....	88
2.3	Descripción del sistema fotovoltaico.....	88

2.3.1	Panel fotovoltaico EXMORK 50P.....	89
2.3.2	Regulador de carga Morningstar SHS-10.....	91
2.3.3	Batería de plomo-ácido BOSCH S4 42 SP 770.....	93
2.3.4	Conexión eléctrica del sistema fotovoltaico y circuito de control	93
2.3.5	Luminaria LED.....	94
2.4	Circuito de control	96
2.4.1	Diagrama de bloques del circuito de control.....	96
2.4.2	Dimensionamiento del circuito de control	97
2.4.3	Diseño del circuito de control.....	99
2.4.4	Pruebas del circuito de control.....	103
2.4.5	Adaptación de datos de la posición del Sol y datos del acelerómetro .	103
2.4.6	Circuito impreso.....	108
2.4.7	Ensamblaje del circuito de control	111
2.5	Descripción del programa del microcontrolador	111
2.5.1	Inicialización del programa	111
2.5.2	Bucle principal	112
2.5.3	Subrutinas del programa	114
2.6	Instalación del sistema de seguimiento del Sol.....	125
2.6.1	Ensamblaje del sistema de seguimiento del Sol.....	125
2.6.2	Puesta en funcionamiento del sistema de seguimiento del Sol	126
3	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	129
3.1	Conclusiones.....	129
3.2	Recomendaciones.....	130
	BIBLIOGRAFÍA	131

Referencias:.....	131
ANEXOS	133
HOJA DE DATOS DEL MICROCONTROLADOR ATMEGA 164	134
HOJA DE DATOS DEL ACELERÓMETRO MMA7361L.....	139
HOJA DE DATOS DEL RTC DS1307.....	143
HOJA DE DATOS DEL DRIVER L298	150
HOJA DE DATOS DEL PANEL FOTOVOLTAICO EXMORK 50P	154
HOJA DE DATOS Y MANUAL DEL REGULADOR DE CARGA MORNINGSTAR SHS-10	155
PRESUPUESTO.....	157
CÓDIGO DEL PROGRAMA	159

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Hipervínculos de las hojas de cálculo para cálculos solares	20
Tabla 1.2 . Descripción de pines del RTC DS1307	32
Tabla 1.3. Registros del RTC DS1307	34
Tabla 1.4. Registro de control del RTC DS1307	34
Tabla 1.5. Registro de control 07h	35
Tabla 1.6 . Descripción de pines del acelerómetro MMA7361L	42
Tabla 1.7. Descripción de pines del L298	47
Tabla 1.8. Descripción de pines del LCD 16x2.....	51
Tabla 1.9. Operadores relacionales de Bascom.....	58
Tabla 1.10. Operadores lógicos de Bascom	59
Tabla 2.1. Ingreso de localización, zona horaria y fecha para las hojas de cálculo ..	75
Tabla 2.2. Ingreso de la hora para la hoja de cálculo “NOAA_Solar_Calculations_day.xls”	75
Tabla 2.3. Ejemplo de cálculos de coordenadas solares con columnas añadidas	81
Tabla 2.4. Resultados del ángulo H'	82
Tabla 2.5. Ingreso de datos para la hoja de cálculo “NOAA_Solar_Calculations_year.xls”	83
Tabla 2.6. Ingreso de fecha para la hoja de cálculo “NOAA_Solar_Calculations_year.xls”	83
Tabla 2.7. Resultados del ángulo de declinación solar	84
Tabla 2.8. Especificaciones técnicas del panel fotovoltaico	90
Tabla 2.9. Especificaciones técnicas del regulador de carga	92
Tabla 2.10. Especificaciones técnicas de la batería.....	93
Tabla 2.11. Adaptación de los valores del ángulo H' para el acelerómetro.....	104
Tabla 2.12. Datos entregados por el acelerómetro en los ángulos correspondientes al movimiento diario	107
Tabla 2.13. Datos entregados por el acelerómetro en los ángulos correspondientes al movimiento anual	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema básico de un sistema fotovoltaico	1
Figura 1.2. Celda fotovoltaica en circuito abierto.....	2
Figura 1.3. Celda fotovoltaica en cortocircuito.....	3
Figura 1.4. Celda fotovoltaica conectada a una carga	4
Figura 1.5. Curva característica I vs V de tres celdas fotovoltaicas en serie.....	4
Figura 1.6. Curva característica I vs V y P vs V para un módulo fotovoltaico de 50 W	5
Figura 1.7. Curva característica de I vs V para tres celdas fotovoltaicas en paralelo..	6
Figura 1.8. Rango de trabajo de regulador PWM vs punto de trabajo de regulador MPPT	10
Figura 1.9. Estructura de una batería de plomo-ácido	11
Figura 1.10 . Movimiento del Sol respecto a la Tierra	16
Figura 1.11. Movimiento del Sol respecto a un lugar en la superficie de la Tierra	17
Figura 1.12. Trayectoria solar en lugares con latitud 0°	18
Figura 1.13. Esfera Celestial	19
Figura 1.14. Diagrama de bloques de la arquitectura Harvard	21
Figura 1.15. Diagrama de bloques del megaAVR	25
Figura 1.16. Configuración de pines del ATmega 164A	27
Figura 1.17. Diagrama de bloques del ATmega 164A.....	28
Figura 1.18. Diagrama de bloques del RTC DS1307	31
Figura 1.19. Transferencia de datos por el bus serial I ² C.....	37
Figura 1.20. Escritura de datos - modo esclavo receptor	39
Figura 1.21. Lectura de datos - modo esclavo transmisor.....	40
Figura 1.22. Escritura y lectura de datos	40
Figura 1.23. Configuración de pines del acelerómetro MMA7361L.....	41
Figura 1.24. Diagrama de bloques del acelerómetro MMA7361L	42
Figura 1.25. Estructura de una celda 'g-cell'	43
Figura 1.26. Modelo físico simplificado de una celda "g-cell.....	44
Figura 1.27. Módulo Pololu MMA7361L	45
Figura 1.28. Configuración de pines del L298	46
Figura 1.29. Diagrama de circuito de control de motor DC	48
Figura 1.30. LCD de 16 caracteres y 2 filas	50

Figura 1.31. Conexión de 4 bits del LCD con el microcontrolador.....	52
Figura 1.32. Esquema del teclado 4x3	52
Figura 2.1. Coordenadas de la posición del Sol	76
Figura 2.2. Coordenadas solares para el primer cuadrante de plano horizontal	76
Figura 2.3. Coordenadas solares para el segundo cuadrante de plano horizontal ...	77
Figura 2.4. Coordenadas solares para el tercer cuadrante de plano horizontal	78
Figura 2.5. Coordenadas solares para el cuarto cuadrante de plano horizontal	79
Figura 2.6. Construcción del sistema mecánico para el movimiento diario	86
Figura 2.7. Diagrama de distancia máxima entre la gata y punto de pivote	87
Figura 2.8. Construcción del sistema mecánico para el movimiento anual	87
Figura 2.9. Estructura mecánica terminada.....	88
Figura 2.10. Dispositivos del sistema fotovoltaico	89
Figura 2.11. Caja de conexiones del panel fotovoltaico.	90
Figura 2.12. Placa electrónica del regulador de carga Morningstar SHS-10.....	91
Figura 2.13. Regulador de carga Morningstar SHS-10	92
Figura 2.14. Diagrama de conexiones del regulador de carga	93
Figura 2.15. Diagrama de conexión eléctrica del sistema fotovoltaico y circuito de control	94
Figura 2.16. Diagrama de la luminaria LED	95
Figura 2.17. Luminaria LED (con fines demostrativos).....	95
Figura 2.18. Diagrama de bloques del circuito de control	96
Figura 2.19. Diagrama de la fuente de poder	101
Figura 2.20. Diagrama del circuito de control	102
Figura 2.21. Circuito armado en protoboard.....	103
Figura 2.22. Programa para obtener el valor que entrega el acelerómetro en una superficie horizontal	105
Figura 2.23. Programa para obtener el valor que entrega el acelerómetro en cada ángulo	106
Figura 2.24. Diseño del lado superior del circuito impreso.....	109
Figura 2.25. Lado superior del circuito impreso.....	109
Figura 2.26. Diseño del lado inferior del circuito impreso.....	110
Figura 2.27. Lado inferior del circuito impreso.....	110
Figura 2.28. Circuito impreso ensamblado	111

Figura 2.29. Diagrama de flujo de la inicialización del programa	112
Figura 2.30. Diagrama de flujo del bucle principal del programa.....	113
Figura 2.31. Diagrama de flujo de la subrutina Menu_mostrar_reloj	115
Figura 2.32. Ejemplo del Menu_mostrar_reloj mostrado en el LCD	115
Figura 2.33. Diagrama de flujo de la subrutina Menu_igualar_reloj	116
Figura 2.34. Ejemplo del Menu_igualar_reloj mostrado en el LCD	116
Figura 2.35. Diagrama de flujo de la subrutina Menu_fecha	117
Figura 2.36. Ejemplo del Menu_fecha mostrado en el LCD	118
Figura 2.37. Ejemplo del Menu_hora mostrado en el LCD.....	118
Figura 2.38. Diagrama de flujo de la subrutina Menu_hora.....	119
Figura 2.39. Diagrama de flujo de la subrutina Mover_motor_year.....	121
Figura 2.40. Diagrama de flujo de la subrutina Mover_motor_dia	122
Figura 2.41. Diagrama de flujo de la subrutina Adc_lectura.....	123
Figura 2.42. Diagrama de flujo de las subrutinas para el teclado.....	124
Figura 2.43. Sistema de seguimiento del Sol ensamblado completamente	126
Figura 2.44. Direccionamiento del sistema de seguimiento del Sol	127

CAPÍTULO 1

1 FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 Sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de equipos mecánicos, eléctricos y electrónicos que convergen en una máquina capaz de obtener energía solar lumínica y convertirla en energía eléctrica.¹

El sistema fotovoltaico se compone básicamente de los siguientes elementos:

- Panel o módulo fotovoltaico.
- Regulador de carga.
- Acumulador de energía (batería).
- Conversor o inversor de corriente continua a corriente alterna.
- Dispositivos de consumo de energía.

La figura 1.1 muestra el esquema básico de un sistema fotovoltaico.

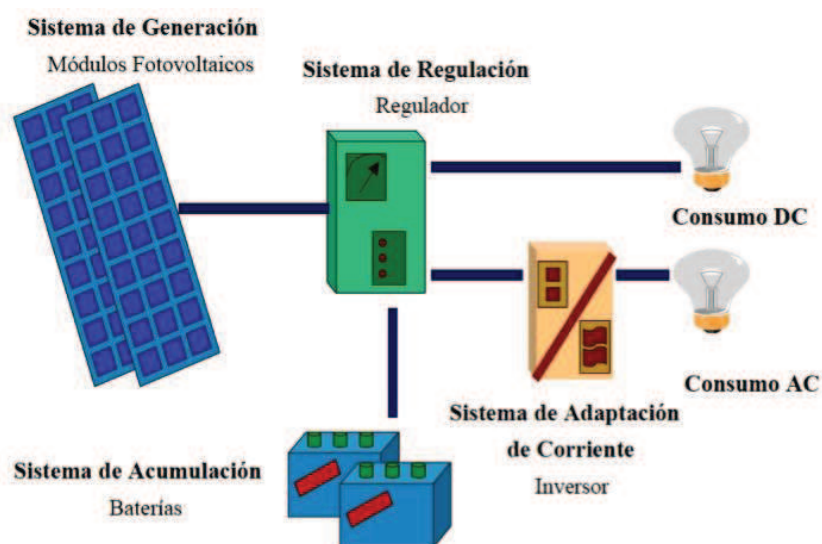


Figura 1.1. Esquema básico de un sistema fotovoltaico²

¹ GOOGLE BOOKS: ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, Javier Méndez, Rafael Cuervo, FC EDITORIAL, 2007, página: 37.

1.1.1 Panel fotovoltaico

Un panel fotovoltaico es un conjunto de celdas fotovoltaicas interconectadas eléctricamente y empaquetadas en un solo armazón. Por motivos de costos y practicidad este armazón contiene un determinado número de celdas fotovoltaicas interconectadas, algunas veces puede tener un recubrimiento de cristal y un marco de metal, plástico o fibra de vidrio.³

1.1.1.1 Celda fotovoltaica⁴

Una celda solar básica es una unión de semiconductores PN con un contacto en la región P y otro en la región N que permiten la conexión de un circuito eléctrico.

Si se ilumina la celda, a los electrones y huecos generados los separa la barrera de potencial de la unión PN, acumulando huecos en la región P y electrones en la región N como se muestra en la figura 1.2.

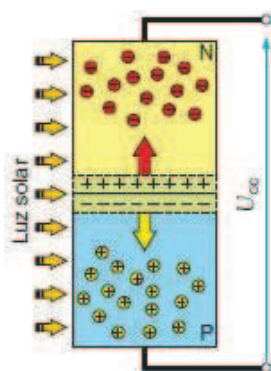


Figura 1.2. Celda fotovoltaica en circuito abierto⁵

La acumulación de cargas produce una diferencia de potencial, que aumenta cuando aumenta la iluminación. Esta diferencia de potencial se opone a la generada por la barrera de potencial de la unión PN, empujando a los electrones hacia la región P y a los huecos hacia la región N, recombinando los pares electrón-hueco generados. Por

² <http://www.sfe-solar.com/calculo-sistemas-fotovoltaicos-aislados-autonomos/>

³ GOOGLE BOOKS: FUNDAMENTALS OF PHOTOVOLTAIC MODULES AND THEIR APPLICATION, Gopal Nath Tiwari, Swapnil Dubey, RSC, 2010, página: 111.

⁴ <http://oretano.iele-ab.uclm.es/~carrion/Bibliografia/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos.pdf>

⁵ <http://oretano.iele-ab.uclm.es/~carrion/Bibliografia/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos.pdf>

lo tanto, la acumulación de electrones y huecos tendrá un límite, que dependerá de la dificultad de las cargas para encontrarse de nuevo en el interior del semiconductor. La diferencia de potencial que se alcanza se denomina voltaje de circuito abierto, U_{oc} .

Si se cortocircuita la celda uniendo las regiones P y N con un conductor exterior de resistencia nula, los electrones de la región N se desplazan a través del conductor y se recombinan con los huecos de la zona P como se muestra en la figura 1.3.

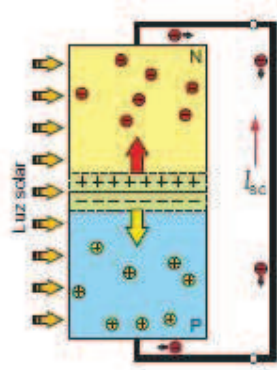


Figura 1.3. Celda fotovoltaica en cortocircuito⁶

La corriente que circulará por el conductor se mantendrá mientras que esté iluminado, siendo esta corriente proporcional a dicha iluminación. Esta corriente recibe el nombre de corriente de cortocircuito, I_{sc} .

Si se conecta una carga en el circuito exterior, como se muestra en la figura 1.4, la resistencia de la carga condicionará la diferencia de potencial generada por la celda. De las cargas generadas por la iluminación de la unión PN, una parte circulará por la carga produciendo un trabajo y otra se recombinará en el interior de la célula produciendo calor. La diferencia de potencial en el receptor será el producto de la intensidad producida por la célula, por la resistencia del receptor. Si la resistencia es muy grande, habrá una acumulación mayor de portadores en la unión PN, aumentando la diferencia de potencial sobre la resistencia e incrementando la recombinación de portadores en la célula. Si la resistencia es pequeña, la mayoría de

⁶ <http://oretano.iele-ab.uclm.es/~carrion/Bibliografia/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos.pdf>

los portadores circularán por el circuito exterior, reduciendo la acumulación de portadores en la unión PN y disminuyendo la diferencia de potencial sobre la resistencia.

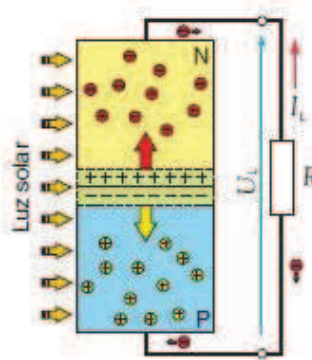


Figura 1.4. Celda fotovoltaica conectada a una carga⁷

1.1.1.2 Curvas características de las celdas fotovoltaicas⁸

Varias celdas son interconectadas con el propósito de conseguir la mayor energía. Para esto se tiene dos opciones: en serie y en paralelo.

Las celdas fotovoltaicas se conectan en serie para crear un mayor voltaje. La figura 1.5 muestra los cambios en los parámetros eléctricos y en la curva característica cuando tres celdas son conectadas en serie, se puede ver que el voltaje aumenta mientras la corriente permanece constante.

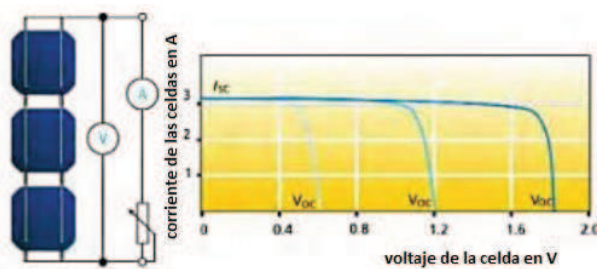


Figura 1.5. Curva característica I vs V de tres celdas fotovoltaicas en serie⁹

⁷ <http://oretano.iele-ab.uclm.es/~carrion/Bibliografia/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos.pdf>

⁸ GOOGLE BOOKS: PLANNING AND INSTALLING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS, Deutsche Gesellschaft für Sonnenergie, Earthscan, 2008, página: 85-86.

En los primeros días de la generación de electricidad fotovoltaica, la primera área de aplicación para sistemas fotovoltaicos fue sistemas independientes. Para sistemas independientes generalmente se utilizaban baterías estándar de 12 V, las cuales se cargaban a través de los módulos. Por esta razón el voltaje de 17 V fue inicialmente escogido para módulos fotovoltaicos. Este voltaje está sobre el voltaje de la batería para asegurar una carga óptima. Con celdas de Silicio, el voltaje de 17 V es producido por un conjunto de 36 a 40 celdas en serie.

La figura 1.6 muestra la curva característica corriente vs voltaje (I-V) y la curva potencia vs voltaje para un módulo de 50 W. La curva I-V es resultado de la conexión de 36 celdas fotovoltaicas en serie.

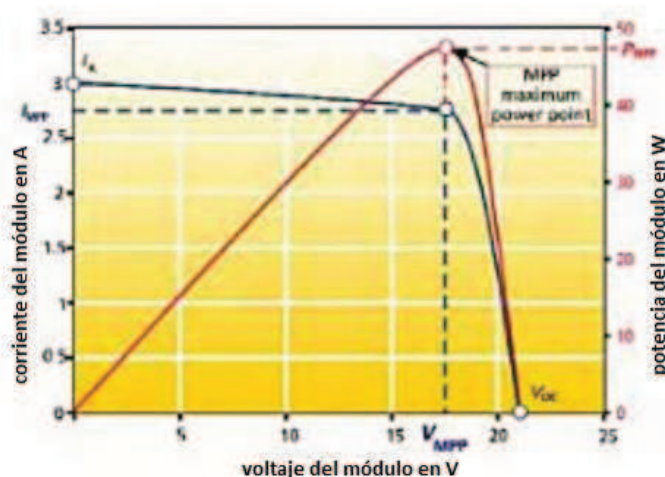


Figura 1.6. Curva característica I vs V y P vs V para un módulo fotovoltaico de 50 W¹⁰

Las celdas se conectan en paralelo para obtener una corriente más alta, como se puede ver en la figura 1.7 cuando se conecta tres celdas en paralelo el voltaje permanece constante y la corriente incrementa. Es inusual tener paneles con celdas en paralelo debido al bajo voltaje. Varias celdas fotovoltaicas primero se conectan en serie para formar una rama, y esta rama es luego conectada en paralelo con otra.

⁹ GOOGLE BOOKS: PLANNING AND INSTALLING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS, Deutsche Gesellschaft für Sonnenergie, Earthscan, 2008, página: 85.

¹⁰ GOOGLE BOOKS: PLANNING AND INSTALLING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS, Deutsche Gesellschaft für Sonnenergie, Earthscan, 2008, página: 85.

Con paneles más grandes, dos o más ramas de celdas en serie, cada una con 36 celdas, son conectadas en paralelo.

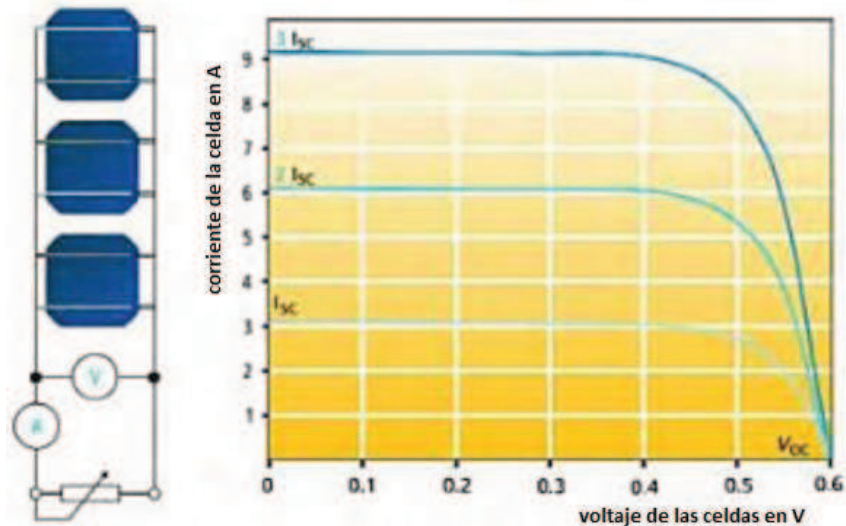


Figura 1.7. Curva característica de I vs V para tres celdas fotovoltaicas en paralelo¹¹

1.1.1.3 Parámetros de los paneles fotovoltaicos¹²

Un panel fotovoltaico está constituido por varias celdas solares conectadas eléctricamente entre sí. Si todas las células son iguales y trabajan en las mismas condiciones de irradiación y temperatura, la tensión, intensidad y potencia que puede proporcionar un panel fotovoltaico cumplen las siguientes relaciones:

$$U_M = N_S \cdot U_C$$

U_M : voltaje del panel (V)

U_C : voltaje de una celda fotovoltaica (V)

N_S : número de celdas asociadas en serie

$$I_M = N_P \cdot I_C$$

I_M : intensidad del panel (A)

I_C : intensidad de una celda fotovoltaica (A)

N_P : número de celdas/ramas en paralelo

¹¹ GOOGLE BOOKS: PLANNING AND INSTALLING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, Earthscan, 2008, página: 86.

¹² <http://oretano.iELE-ab.uclm.es/~carrion/Bibliografia/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos.pdf>

$$P_M = N_S \cdot N_P \cdot P_C$$

P_M : potencia del panel (W)

P_C : potencia de una celda fotovoltaica (W)

N_S : número de celdas asociadas en serie

N_P : número de celdas/ramas en paralelo

Como se puede observar los parámetros eléctricos de un panel fotovoltaico tienen una relación directa con los parámetros eléctricos de sus celdas y con la cantidad y la interconexión serie-paralelo de las mismas.

De acuerdo con la norma UNEEN50380:2003, los parámetros de funcionamiento eléctrico que deben aparecer en las hojas de datos son:

- **Potencia eléctrica máxima ($P_{m\acute{a}x}$):** potencia correspondiente al punto de la característica intensidad-tensión ($i-u$) donde el producto de la intensidad por la tensión es máximo. También se denomina potencia de pico.
- **Voltaje en circuito abierto (U_{oc}):** voltaje de salida de un panel fotovoltaico en circuito abierto (sin carga) a una irradiancia y temperatura determinadas.
- **Intensidad de cortocircuito (I_{sc}):** intensidad de salida de panel fotovoltaico en cortocircuito a una irradiancia y temperatura determinadas.
- **Voltaje en el punto de máxima potencia (U_{mpp}):** voltaje correspondiente a la potencia máxima.

Estos parámetros se tienen que especificar en dos condiciones de funcionamiento:

- Condiciones Estandar de Medida (CEM – Standard Test Conditions – STC) que corresponden a una irradiancia en el plano del panel de 1.000 W/m², temperatura del módulo de 25±2 oC y una distribución espectral de la irradiancia de acuerdo con el factor de masa de aire AM 1,5.
- Condiciones de Temperatura de Operación Nominal de la Celda (TONC – Nominal Operating Cell Temperature – NOCT) que corresponden a una irradiancia en el plano del panel de 800 W/m², con orientación normal a la

radiación incidente al mediodía solar, temperatura ambiente 20 °C, velocidad del viento de 1 m/s y funcionamiento en circuito abierto.

De acuerdo con la norma UNEEN50380:2003, los parámetros térmicos de funcionamiento que deben aparecer en las hojas de datos son:

- **Temperatura de operación nominal de la célula (TONC):** temperatura media de equilibrio de las celdas de un panel en condiciones ambientales de referencia de 800 W/m² de irradiancia, 20 °C de temperatura ambiente, 1 m/s de velocidad del viento, panel en circuito abierto y soporte abierto con orientación normal a la radiación incidente al mediodía solar.
- **Coeficientes de temperatura:**
 - **Coeficiente intensidad-temperatura (α):** variación de la intensidad de cortocircuito de un panel fotovoltaico por grado centígrado de variación de la temperatura de sus celdas. Se especifica en valor absoluto en mA/°C o en valor relativo como %/°C.
 - **Coeficiente tensión-temperatura (β):** variación del voltaje de circuito abierto de un panel fotovoltaico por grado centígrado de variación de la temperatura de sus celdas. Se especifica en valor absoluto en mV/°C o en valor relativo como %/°C.

Los coeficientes de temperatura ayudan a determinar el valor de los parámetros eléctricos de un módulo fotovoltaico en condiciones de temperatura distintas a las de los ensayos normalizados. Algunos fabricantes ofrecen en sus hojas de datos el **coeficiente potencia-temperatura (δ)** que indica la variación de la potencia máxima de un panel fotovoltaico por grado centígrado de variación de la temperatura de sus celdas. Si se especifica en valor absoluto se da en W/°C y si se especifica en valor relativo se da como %/°C. Este parámetro no lo incluye la norma UNE-EN50380:2003.

1.1.2 Regulador de carga¹³

El regulador de carga es el dispositivo que se encarga de regular voltajes e intensidades de carga de la batería. Controla la cantidad de energía que fluye entre el o los paneles fotovoltaicos y la o las baterías.

En principio existen dos tipos de reguladores de carga:

1.1.2.1 Reguladores PWM (Pulse-width Modulation - Modulación por Ancho de Pulso)

Un regulador PWM es un regulador sencillo que actúa como un interruptor entre el o los paneles fotovoltaicos y la o las baterías. Conectados a un regulador PWM, los paneles fotovoltaicos están forzados a trabajar al voltaje de la batería (por ejemplo cuando cargamos una batería a 13,5 V, los paneles también dan 13,5 V), lo que resulta en pérdidas de rendimiento respecto al punto de máxima potencia (MPP) de los paneles. En cuanto llegamos a la fase de absorción de la batería, el regulador empieza a cortar parte de la posible producción de los paneles, modificando la anchura de los pulsos (es decir cortando muchas veces por segundo el contacto entre paneles y batería), para que no se sobrecargue la batería.

1.1.2.2 Reguladores MPPT (Maximum power point tracking - Seguimiento del punto de máxima potencia)

Un regulador MPPT lleva incorporado un seguidor del punto de máxima potencia (Maximum Power Point Tracking = MPPT) y un convertidor CC-CC (transformador de corriente continua de más alto voltaje a corriente continua de más bajo voltaje para la carga de la batería). El MPPT se encarga de trabajar en la entrada de los paneles fotovoltaicos al voltaje que más conviene (para sacar la máxima potencia o para limitar la potencia en fases de "absorción" y "flotación").

¹³ http://www.eraeco.es/index.php?option=com_content&view=article&id=58&Itemid=63

La figura 1.8 muestra el rango de trabajo de un regulador PWM y el punto de trabajo de un regulador MPPT.

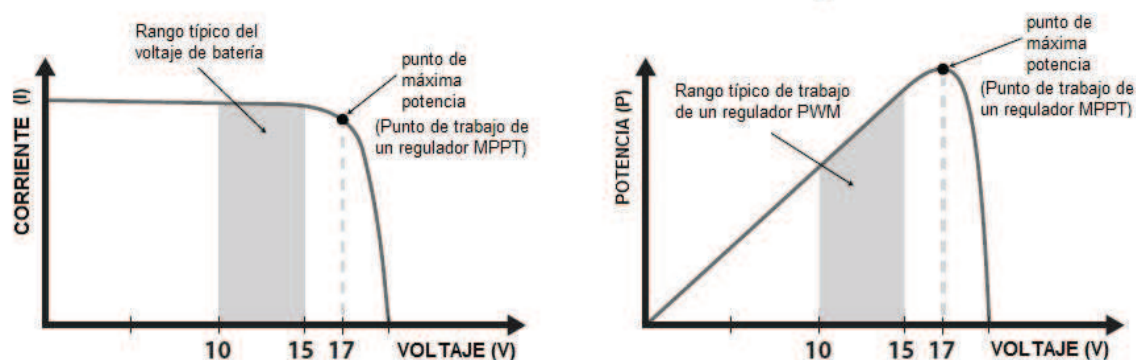


Figura 1.8. Rango de trabajo de regulador PWM vs punto de trabajo de regulador MPPT¹⁴

Las ventajas de un regulador PWM son la sencillez, reducido peso y el precio. La desventaja principal de un regulador PWM es la pérdida de rendimiento con respecto a reguladores MPPT, es decir un regulador PWM va a extraer menos energía de un campo fotovoltaico que un regulador MPPT, por lo cual se necesitan más paneles fotovoltaicos para sacar la misma producción.

1.1.2.3 Parámetros principales del regulador de carga¹⁵

- **Intensidad Máxima de Carga o de generación:** Máxima intensidad de corriente procedente del campo de paneles que el regulador es capaz de admitir.
- **Intensidad máxima de consumo:** Máxima corriente que puede pasar del sistema de regulación y control al consumo.
- **Voltaje final de carga:** Voltaje de la batería por encima del cual se interrumpe la conexión entre el generador fotovoltaico y la batería, o reduce gradualmente la corriente media entregada por el generador fotovoltaico (flotación). Vale aproximadamente 14.1 para una batería de plomo ácido de tensión nominal 12V.

¹⁴ http://www.eraeco.es/index.php?option=com_content&view=article&id=58&Itemid=63

¹⁵ <http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com/2006/01/el-regulador-de-carga.html>

1.1.3 Batería de plomo-ácido¹⁶

Los acumuladores (también llamados “baterías”) son los elementos que se encargan de guardar energía eléctrica para su posterior uso. Consisten en células galvánicas que se componen de dos electrodos de metales (formando ánodo y cátodo) y un electrolito. La figura 1.9 muestra la estructura de una batería de plomo-ácido.

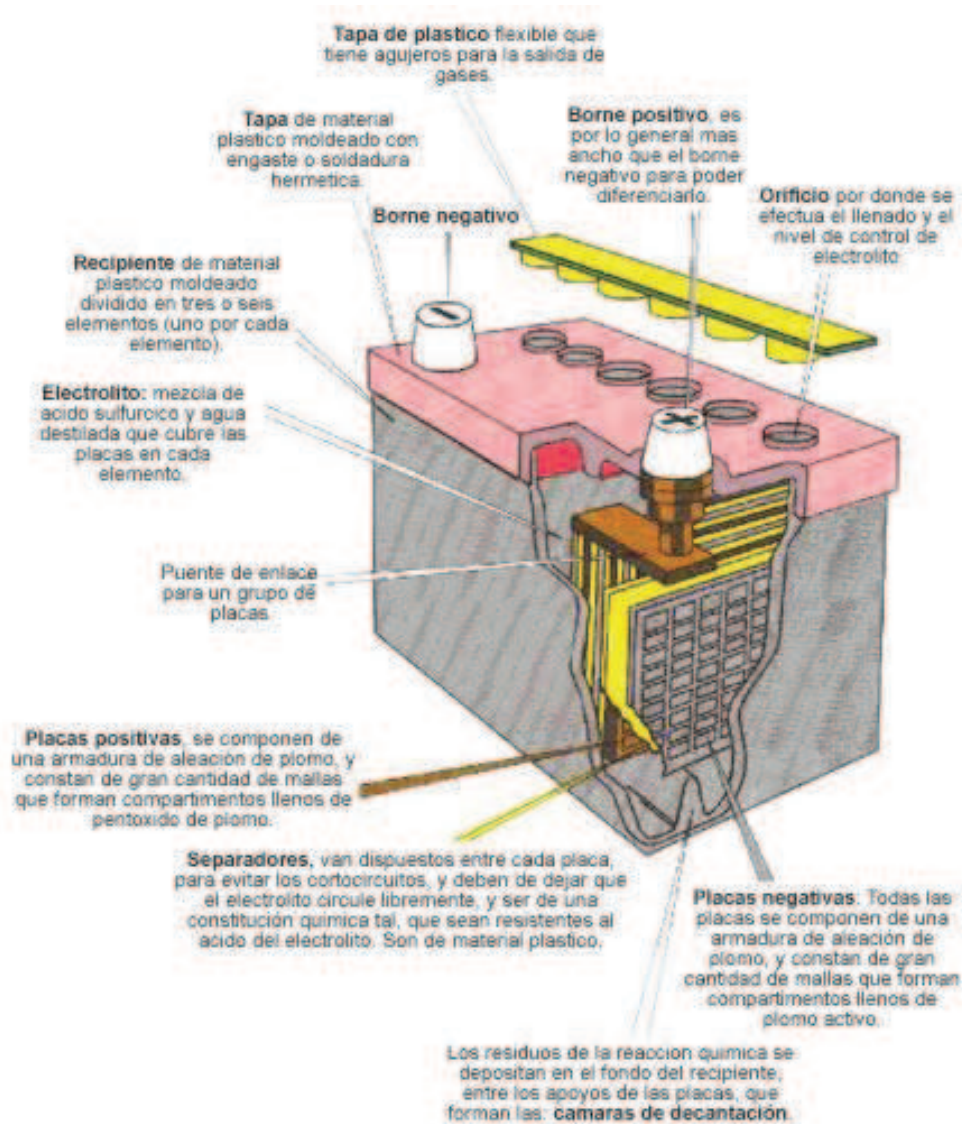


Figura 1.9. Estructura de una batería de plomo-ácido

¹⁶ http://www.eraeco.es/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=69

1.1.3.1 Procesos de carga y descarga

Las reacciones químicas que tiene lugar en los procesos de carga y descarga de baterías de plomo-ácido son:

Descarga: $\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{corriente eléctrica}$

Carga: $2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{corriente eléctrica} \rightarrow \text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$

1.1.3.2 Etapas de carga

- **Bulk:** la fase bulk es la etapa de carga más eficiente. Esta etapa contiene todo el proceso de carga desde las baterías completamente descargadas hasta llegar a unos 2,4 V por célula de batería (por ejemplo, 14,4 V para una batería de 12 V). En la fase bulk no hay limitaciones de la corriente de carga; se aprovecha toda la potencia que puede entregar el regulador de carga respectivamente el cargador.
- **Absorción:** Cuando llegamos a la tensión de gaseamiento (2,4V por célula) empieza el proceso de absorción. En esta fase la corriente de carga se limita para que la tensión no suba más y se mantiene en 2,4 V por célula. La corriente disminuye poco a poco hasta que la batería está completamente cargada. Cuando la batería está completamente cargada, la corriente se mantiene constante. Los reguladores de carga mayoritariamente no cuentan con una posibilidad de detectar cuando la batería está cargada completamente y funcionan con un tiempo fijo programado para esta etapa de carga.
- **Flotación:** Tras la etapa de absorción el regulador pasa a flotación. En esta etapa de carga, el regulador se encarga de mantener la batería cargada, compensando la autodescarga de la batería. El regulador limita la intensidad de carga para mantener la tensión de la célula constante. La tensión de flotación suele estar en un rango de 2,2 V - 2,3 V por célula y depende del tipo de batería, fabricante y modelo.
- **Ecualización:** Esta etapa de carga sirve para varias tareas de mantenimiento de la batería. La ecualización (también llamada igualación o carga de

mantenimiento) es una sobrecarga de la batería, elevando la tensión de carga por encima de la tensión de gaseamiento, que provoca un gaseamiento fuerte de la batería. Esto sirve para:

- Romper estratificaciones de ácido dentro de las células. Tras mucho tiempo en reposo y sin recargar completamente una batería, esta puede sufrir una estratificación del ácido, quedando el ácido más denso abajo y dejando el ácido menos denso arriba en el vaso. La ecualización sirve para mezclar el electrolito y así romper la estratificación que se ha formado con anterioridad.
- Igualar el estado de carga de los elementos. Los distintos elementos o células de batería tienen diferencias en la resistencia interna por lo cual, el estado de carga de las distintas células puede variar con el tiempo, sobrecargando unos elementos mientras otros no se cargan completamente. Con la carga de ecualización se asegura que todos los elementos se recargan completamente.
- Limpieza de placas positivas. Las placas positivas, con descargas fuertes, descargas profundas y/o recargas incompletas durante semanas, pueden sufrir una sulfatación, disminuyendo su capacidad y rendimiento. Para limpiar las placas de los cristales de sulfato que se han formado se hace una carga de ecualización que disuelve los cristales o al menos provoca el despegue de estos de las placas.

1.1.3.3 Influencia de la intensidad de descarga

Una célula de batería indica su capacidad nominal en la unidad "Ah". Los "Ah" son el producto de la intensidad (amperios A) por el tiempo (horas h). Este valor suele estar acompañado por el régimen de descarga correspondiente que se indica con la letra "C" y un número que nos indica el tiempo de la descarga. Las indicaciones más habituales de la capacidad se hacen en los regímenes C5 (descarga con intensidad constante durante 5 horas), C10 (10 horas), C20 (20 horas) o C100 (100 horas).

Por ejemplo, si tenemos una batería que nos indica en su ficha 600 Ah C10, esto nos quiere decir que dispone de 600 Ah en un régimen de descarga con intensidad constante durante 10 horas. La intensidad de descarga correspondiente es: $600 \text{ Ah} / 10 \text{ h} = 60 \text{ A}$. Si descargamos la batería con 60 A de intensidad nos va a durar 10 horas y por lo cual nos dará 600 Ah de capacidad. La misma batería da mayor capacidad cuanto más lentamente se descarga.

1.1.3.4 Influencia de la temperatura

La temperatura influye en los siguientes aspectos:

- **Capacidad útil:** Cuanto más alta la temperatura, más capacidad nos da la batería. Una batería que nos da 1000 Ah a 25°C, nos dará solamente unos 850 Ah a 0°C.
- **Voltaje:** El voltaje que da la batería (y la que necesita para su recarga) depende mucho de la temperatura de la misma. Cuanto más baja la temperatura, más alto el voltaje. Se suele aplicar un factor de 0,005 V/K (por célula de 2 V) para compensar los efectos de la temperatura. De esta manera, una bajada de temperatura de 30°C a 20°C conlleva un incremento de $0,005 \text{ V/K} * 10 \text{ K} * 6 \text{ células} = 0,3 \text{ V}$ en una batería de 12 V.
- **Durabilidad:** Cuanto más alta la temperatura, menos ciclos nos va a dar la batería por lo que su durabilidad será menor.

1.1.3.5 Parámetros principales de la batería de plomo-ácido¹⁷

- **Voltaje de Célula.-** El voltaje de célula es la diferencia entre los potenciales que son generados entre las placas positivas y negativas en el electrolito. Esos potenciales dependen de los materiales de las placas, del electrolito y de su concentración. El voltaje de célula no es un valor constante, sino que depende del estado de la carga (densidad del electrolito) y de la temperatura del electrolito.

¹⁷ http://www.catalogobosch.com/BibliotecaPDF_es/Bater%C3%ADas/Bater%C3%ADas_Manual.pdf

- **Voltaje Nominal.**- el voltaje (teórico) nominal de una única célula es definido en 2 voltios. El voltaje nominal de la batería como un todo resulta de la multiplicación de los voltajes de las células individuales por el número de células conectadas en serie.
- **Capacidad Disponible.**- La capacidad es la cantidad de potencia eléctrica que la batería consigue suministrar en determinadas condiciones. Ella es el producto de la corriente y del tiempo (ampere-hora, Ah). Sin embargo, la capacidad no es un parámetro fijo. Ella depende de los siguientes factores, entre otros:
 - Nivel de la corriente de descarga.
 - Densidad y temperatura del electrolito.
 - Proceso de descarga en función del tiempo (la capacidad es mayor cuando es hecha una pausa durante la descarga que cuando el proceso de des carga esté continuo).
 - Edad de la batería (debido a la pérdida del material activo de las placas, la capacidad Ah disminuye cuando la batería se aproxima del final de su vida útil).
 - Si se mueve la batería durante el uso, o si ella permanece estacionaria (estratificación del electrolito).
 - La corriente de descarga desempeña un papel especialmente importante. Cuanto mayor es la corriente de descarga, menor es la capacidad disponible.

1.2 Seguimiento del Sol

Si se orienta el panel fotovoltaico hacia el Sol todo el día en lugar que sólo a medio día, el número de kilovatios hora producido por un panel determinado normalmente se incrementa entre 25 y 40 %.¹⁸

¹⁸ GOOGLE BOOKS: SOLAR CELLS AND THEIR APPLICATIONS, Lewis M. Fraas, Larry D. Partain, Wiley, 2010, página: 207.

1.2.1 Posición del Sol respecto a la Tierra¹⁹

El plano en el que se produce el movimiento de traslación de la Tierra se denomina *plano de la eclíptica*. Si se toma dicho plano como referencia, se puede observar que el eje del giro rotacional de la Tierra se encuentra inclinado respecto a él unos $23,45^\circ$.

El ángulo que forma el eje de la Tierra con el plano de la eclíptica se denomina *declinación*. Este ángulo varía a medida que la Tierra efectúa su movimiento de traslación alrededor del Sol, alcanzando valores extremos en los solsticios ($23,45^\circ$ y $-23,45^\circ$ en el de verano y en el de invierno, respectivamente) y nulos en los equinoccios.

La figura 1.10 muestra el movimiento del Sol respecto a la Tierra.

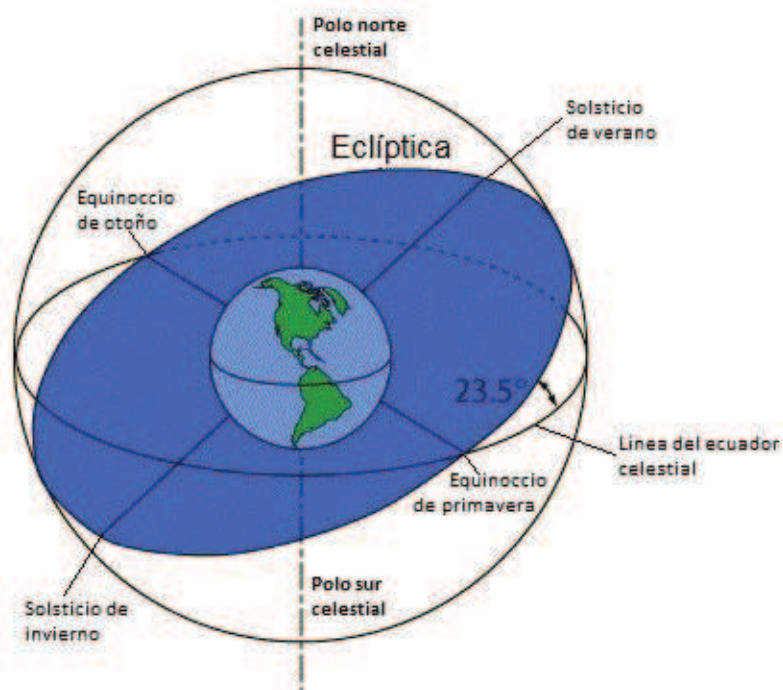


Figura 1.10 . Movimiento del Sol respecto a la Tierra²⁰

¹⁹ GOOGLE BOOKS: INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS, Miguel Moro Vallina, Ediciones Paraninfo, 2010, página 13-14.

²⁰ <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/solar/imgsol/eclip.gif>

1.2.2 Posición del Sol respecto a un lugar en la superficie de la Tierra²¹

Al situar nuestro sistema de referencia en la superficie de la Tierra, la posición del Sol en un instante determinado se puede definir por dos ángulos: elevación y acimut.

Ángulo de acimut solar.- Es el ángulo que se mide en sentido horario desde el Norte real hasta el punto en el horizonte directamente por debajo del Sol.

Ángulo de elevación solar.- Es el ángulo que se mide verticalmente desde el punto en el horizonte directamente por debajo del Sol hasta el Sol.

La figura 1.11 muestra el movimiento del Sol respecto a un lugar en la superficie de la Tierra en función de los ángulos elevación, cenit y acimut solares.

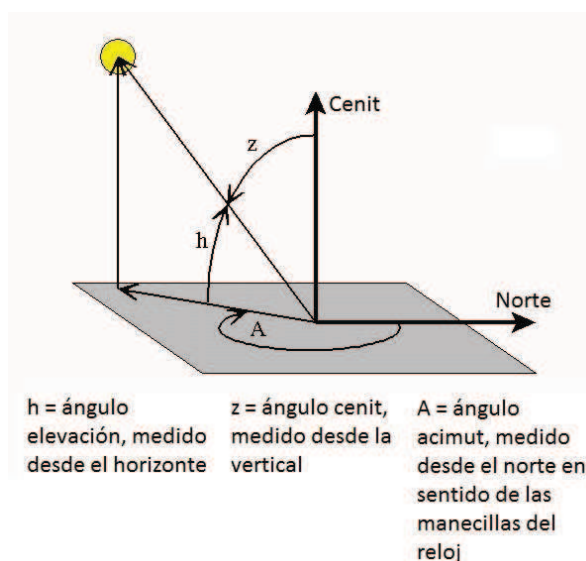


Figura 1.11. Movimiento del Sol respecto a un lugar en la superficie de la Tierra²²

1.2.3 Posición del Sol respecto a Quito

Debido a la posición geográfica de Quito que se encuentra muy cerca del ecuador terrestre, es decir está prácticamente en una latitud de 0° , se tiene una situación en la que la trayectoria del Sol es paralela al plano ecuatorial, con declinación máxima

²¹ <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/glossary.html>

²² <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/azelzen.gif>

de $23,44^\circ$ hacia el Norte (solsticio de verano), mínima de $-23,44^\circ$ hacia el Sur (solsticio de invierno), y 0° en los equinoccios, tal como se muestra en la figura 1.12.

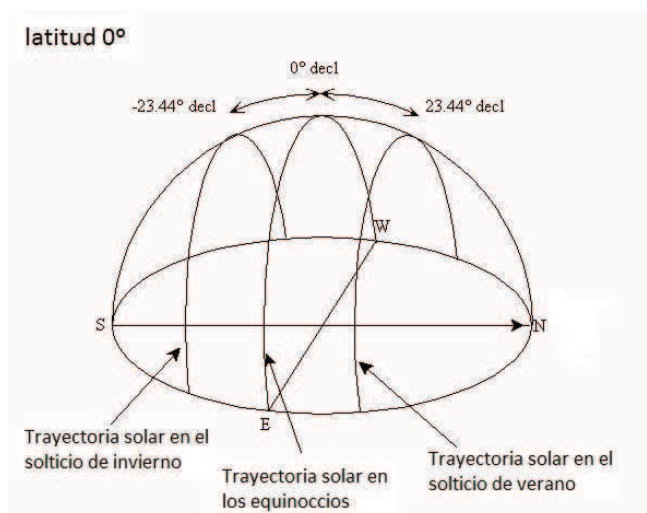


Figura 1.12. Trayectoria solar en lugares con latitud 0° ²³

1.2.4 Conceptos importantes²⁴

Ángulo de Cenit solar.- Es el ángulo que se mide desde el punto que se encuentra por encima de la cabeza del observador hasta la posición del sol.

Ángulo de declinación solar.- Este ángulo mide un desplazamiento angular al norte (positivo) o al sur (negativo) desde la proyección del ecuador de la Tierra en la esfera celeste hasta la ubicación del Sol. El ángulo de declinación solar varía de $-23,44^\circ$ en el solsticio de invierno, a 0° en el equinoccio vernal, a $23,44^\circ$ en el solsticio de verano.

Equinoccio.- Es el tiempo del año cuando la trayectoria del Sol cruza con el plano ecuatorial de la Tierra, o cuando el ángulo de declinación solar es 0° .

Solsticio.- Es el tiempo del año cuando el ángulo de declinación solar alcanza su valor máximo y mínimo.

²³ http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/fig5_0n.gif

²⁴ <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/glossary.html>

Esfera Celestial.- Es una “pantalla de cine” esférica imaginaria sobre la cual todas las estrellas, planetas y cuerpos en el espacio pueden ser proyectados.

Ecuador Celestial.- Es la proyección del ecuador terrestre hacia el espacio.

La figura 1.13 muestra la Esfera Celestial.

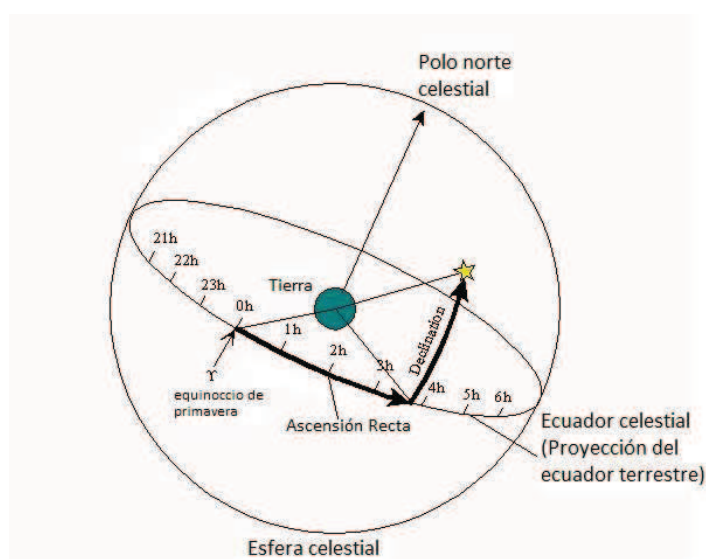


Figura 1.13. Esfera Celestial²⁵

1.2.5 Datos y cálculos de la posición del Sol respecto a un lugar en la superficie de la Tierra²⁶

Los cálculos de la posición del Sol en el sitio web del NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration, Administración Nacional Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio del Gobierno de Estados Unidos de América), los mismos que están basados en las ecuaciones de: ***Astronomical Algorithms***, by *Jean Meeus*, se encuentran en dos hojas de cálculo de Microsoft Excel y han sido escogidas para desarrollar este proyecto.

Los siguientes hipervínculos corresponden a las hojas de cálculo que se pueden utilizar para calcular los datos solares para un día o un año determinados en

²⁵ <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/celsphere.gif>

²⁶ <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/calcdetails.html>

cualquier lugar de la Tierra. Hay que tener en cuenta que los cálculos en las hojas de cálculo son válidos sólo para las fechas entre 1901 y 2099.

La tabla 1.1 muestra los hipervínculos de las hojas de cálculo para cálculos solares.

	Microsoft Excel	Open Office
Día	NOAA_Solar_Calculations_day.xls	NOAA_Solar_Calculations_day.ods
Año	NOAA_Solar_Calculations_year.xls	NOAA_Solar_Calculations_year.ods

Tabla 1.1. Hipervínculos de las hojas de cálculo para cálculos solares

1.3 Microcontrolador

Es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.²⁷

1.3.1 Microcontrolador AVR

Los AVR son una familia de microcontroladores RISC del fabricante estadounidense Atmel. La arquitectura de los AVR fue concebida por dos estudiantes en el Norwegian Institute of Technology, y posteriormente refinada y desarrollada en Atmel Norway, la empresa subsidiaria de Atmel, fundada por los dos arquitectos del chip. Cuenta con bastantes aficionados debido a su diseño simple y la facilidad de programación.

El AVR es una CPU de arquitectura Harvard. Tiene 32 registros de 8 bits. Algunas instrucciones sólo operan en un subconjunto de estos registros. La concatenación de los 32 registros, los registros de entrada/salida y la memoria de datos conforman un

²⁷ <http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>

espacio de direcciones unificado, al cual se accede a través de operaciones de carga/almacenamiento.²⁸

1.3.1.1 Arquitectura Harvard

Con esta estructura los microcontroladores AVR disponen de dos memorias, una que contiene el programa y otra para almacenar los datos. De este modo el CPU puede tener acceso simultáneo a ambas memorias utilizando buses diferentes. Más específicamente, el CPU puede leer la siguiente instrucción de programa mientras está procesando los datos de la instrucción actual.²⁹

La figura 1.14 muestra el diagrama de bloques de la arquitectura Harvard.

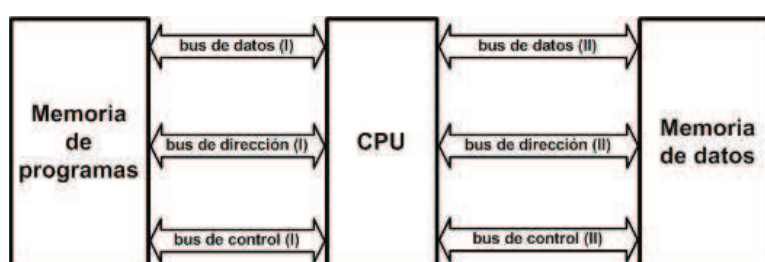


Figura 1.14. Diagrama de bloques de la arquitectura Harvard³⁰

1.3.1.2 RISC³¹

RISC es sigla de Reduced Instruction Set Computer. También es una característica de los microcontroladores AVR. Estos microcontroladores cuentan con instrucciones sencillas y en un número mínimo. En muchos casos ello permite que la programación en ensamblador sea una labor cómoda y esté al alcance de todos. Sin embargo, cuando se desarrollan proyectos mucho más complejos, el uso del lenguaje ensamblador se torna cada vez más engorroso. Entonces se prefiere optar por los compiladores de alto nivel, para los cuales un set CISC no es obstáculo.

²⁸ <http://es.wikipedia.org/wiki/AVR>

²⁹ <http://www.cursomicros.com/avr/microcontroladores/caracteristicas.html>

³⁰ http://www.ucontrol.com.ar/wiki/images/b/b7/EluC_02a.png

³¹ <http://www.cursomicros.com/avr/microcontroladores/caracteristicas.html>

CISC.- Significa Complex Instruction Set Computer y era un distintivo de los primeros microcontroladores que aparecieron en el mundo, los cuales estaban inspirados en los procesadores de los grandes computadores de la época. Es complejo porque consta de muchas instrucciones, complicadas y difíciles de recordar a la hora de programar en lenguaje ensamblador. Además, al crecer el número de instrucciones también crecerán los códigos de las instrucciones, lo cual deriva en una mella en la eficiencia del microcontrolador.

1.3.1.3 Características principales de los AVR³²

Algunas características y recursos generales comunes en los AVR son:

- Memorias de programa (FLASH o ROM), memoria de datos estática (SRAM) y memoria EEPROM internas.
- Puertos de E/S bidireccionales configurables independientemente pin por pin.
- Suministro de alta corriente en los puertos de E/S.
- Timer's. Temporizadores de alta precisión o contadores de pulsos externos. También funcionan como generadores de ondas PWM (Pulse Width Modulation).
- WatchDog.- Monitoriza que el AVR funcione adecuadamente a lo que se esperaba y no se cuelgue.
- ISP (In System Programming). Permite realizar la programación del AVR utilizando una interface serial con muy pocos pines.
- Fuses y Lock bits, permiten establecer un determinado modo de funcionamiento del AVR, como el tipo de oscilador que utilizará o si el código grabado podrá o no ser leído después de la programación.
- Conversores Analógico-Digital, ADC.
- Módulos TWI. Para la comunicación con dispositivos que utilizan el bus I2C.

³² <http://www.cursomicros.com/avr/microcontroladores/caracteristicas.html>

1.3.1.4 Clasificación de los AVR³³

- **tinyAVR:**
- **megaAVR:**
- **XMEGA:**
- **AVRs para aplicaciones específicas:**
- **FPSLIC (AVR con FPGA):**
- **AVRs de 32 bits:**

1.3.1.5 Microcontrolador megaAVR

Más conocidos como ATmegas son los microcontroladores más populares de Atmel. Las series ATmegaXX8 y ATmegaXX4 son los microcontroladores de 8 bits de Atmel disponibles en encapsulados DIP de 28 y 40 pines respectivamente. Las XX indican la cantidad de Kbyte de memoria FLASH que tiene el megaAVR. Entre los miembros de estas familias podemos citar al ATmega48A, ATmega88P, ATmega168PA, ATmega328P, ATmega164A, etc. Al final de cada nombre puede aparecer un sufijo como A, P, V o PA, que identifica una característica adicional del megaAVR como ser de una sub-serie que opera a bajo voltaje (V) o que están fabricados con tecnología picoPower (P) que consumen menos energía.³⁴

1.3.1.5.1 Características principales del megaAVR³⁵

- Repertorio de 131 instrucciones.
- 32 Registros de Trabajo de 8 bits cada uno. Se denominan desde R0 a R31.
- Velocidad de ejecución de hasta 20 MIPS (20 Millones de Instrucciones Por Segundo), que se alcanzará cuando el reloj del sistema (XTAL) sea de 20 MHz. Aunque como en cualquier otro microcontrolador, en la práctica no será una velocidad sostenida, porque en el programa habrá instrucciones que se demoran 2 o más ciclos de instrucción.

³³ http://en.wikipedia.org/wiki/Atmel_AVR

³⁴ <http://www.cursomicros.com/avr/arquitectura/caracteristicas-de-los-avr.html>

³⁵ <http://www.cursomicros.com/avr/arquitectura/caracteristicas-de-los-avr.html>

- Timer0 de 8 bits que puede trabajar como Contador o Temporizador o Generador de hasta dos canales de ondas PWM de 8 bits de resolución. Timer1 de 16 bits que opera en modo Contador, Temporizador o como Generador de hasta dos canales de ondas PWM con resolución configurable de hasta 16 bits. Timer2 de 8 bits, parecido al Timer0 pero equipado adicionalmente para operar con un XTAL externo de 32 kHz de modo asíncrono. Timer3 idéntico al Timer1.
- Módulo TWI (Two Wire Interface) para comunicaciones con el protocolo I²C en modos Maestro y Esclavo.
- Módulo SPI programable. Soporta los modos Maestro y Esclavo. Sirve además como la interface de programación serial del megaAVR.
- Conversor ADC de 10 bits, con hasta 8 canales de entrada.
- Funcionan con voltajes de alimentación entre 1.8V y 5.5V. Mientras más alta sea la frecuencia de operación del AVR más alto será el nivel de alimentación requerido, por ejemplo, para trabajar a la máxima frecuencia de 20 MHz, V_{cc} debe tener un valor muy estable entre 4.5V y 5V.
- Oscilador RC interno configurable como oscilador principal del sistema.
- Temporizador Watchdog, para vigilar que el programa no quede colgado.
- Los megaAVR de la serie ATmegaXX8 tienen 3 puertos de E/S (con 23 pines en total) y los megaAVR de la serie ATmegaXX4 tienen 4 puertos de E/S (con 32 pines en total).

1.3.1.5.2 Diagrama de bloques del megaAVR³⁶

La figura 1.15 muestra el diagrama de bloques del microcontrolador megaAVR.

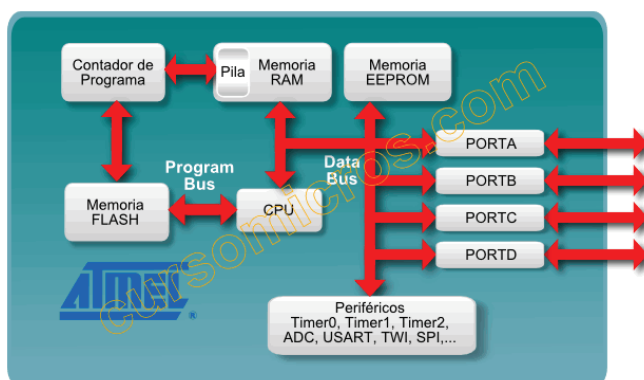


Figura 1.15. Diagrama de bloques del megaAVR³⁷

- El CPU es el circuito encargado de leer, decodificar y ejecutar las instrucciones del programa. Dispone de 32 registros de trabajo y un ALU (Unidad Aritmético Lógica) con el que realiza las operaciones de suma, resta, AND lógica, OR lógica, etc.
- La Memoria FLASH, de Programa almacena las instrucciones del programa del AVR. Es una memoria permanente pero que se puede reprogramar para cambiar de tarea.
- La Memoria RAM, de datos aloja las variables que procesa el CPU.
- El Contador de Programa es un registro que evoluciona para indicar cuál será la siguiente instrucción que debe ejecutar el CPU.
- La Pila o Stack es un segmento de la memoria RAM para guardar el valor del Contador de Programa y también variables temporales del programa cuando sea necesario.
- Los periféricos del AVR son elementos que se pueden usar para una determinada tarea; por ejemplo, el Timer0 sirve para temporizaciones. El USART para comunicaciones seriales RS232, etc. Casi todos ellos serán estudiados en un capítulo aparte.

³⁶ <http://www.cursomicros.com/avr/arquitectura/empaques-de-los-avr.html#diagrama-bloques-atmega>

³⁷ <http://www.cursomicros.com/avr/arquitectura/empaques-de-los-avr.html#diagrama-bloques-atmega>

- Los puertos de E/S, PORTA,..., PORTD, son las líneas hacia/desde el exterior donde se pueden conectar los dispositivos a controlar, como diodos LED, transistores, LCDs, etc. Los megaAVR de 40 pines tienen los 4 puertos completos, mientras que a los megaAVR de 28 pines les falta PORTA y algunos pines en los otros puertos.

1.3.1.5.3 Microcontrolador ATMEGA 164A³⁸

1.3.1.5.3.1 Principales características

- Arquitectura RISC avanzada:
 - 131 instrucciones.
 - 32 x 8 registros de trabajo de propósito general.
 - Hasta 20 MIPS (Millions of instructions per second – Millones de instrucciones por segundo) a 20 MHz.
- Segmentos de memoria no volátil de alta resistencia:
 - Memoria de programa FLASH de 16 kB.
 - EEPROM de 512 kB.
 - SRAM interna de 1 kB.
 - Ciclos de lectura/escritura: 10.000 FLASH/100.000 EEPROM.
 - Retención de datos: 20 años a 85° C./ 100 años a 25° C.
- Características de periféricos
 - 2 temporizadores/contadores de 8 bits.
 - 1 temporizador/contador de 16 bits.
 - 1 RTC con oscilador separado.
 - 6 canales PWM.
 - 8 canales ADC de 10 bits.
 - Interface serial de dos cables orientada a Bytes (I²C).
 - 2 interfaces USART programables.
 - Interface serial SPI Maestro/Esclavo.
- Características especiales:
 - Encendido, reinicio y detección de Brown-out programable.
 - Oscilador RC interno.
 - Interrupciones externas e internas.
- Voltajes de operación:

³⁸ Hoja de datos del microcontrolador ATmega 164A.

- 1,8 – 5,5V.
- Rangos de velocidad:
 - 0 – 4 MHz @ 1,8 – 5,5V.
 - 0 – 10 MHz @ 2,7 – 5,5V.
 - 0 – 20 MHz @ 4,5 – 5,5V.
- Consumo de potencia a 1 MHz, 1,8V, 25° C.
 - Activo: 0,4 mA.
 - Modo Power-down: 0,1 μ A.
 - Modo bajo consumo: 0,6 μ A (incluyendo RTC de 32 KHz).

1.3.1.5.3.2 Configuración de pines

La figura 1.16 muestra la configuración de pines del microcontrolador ATmega 164A.

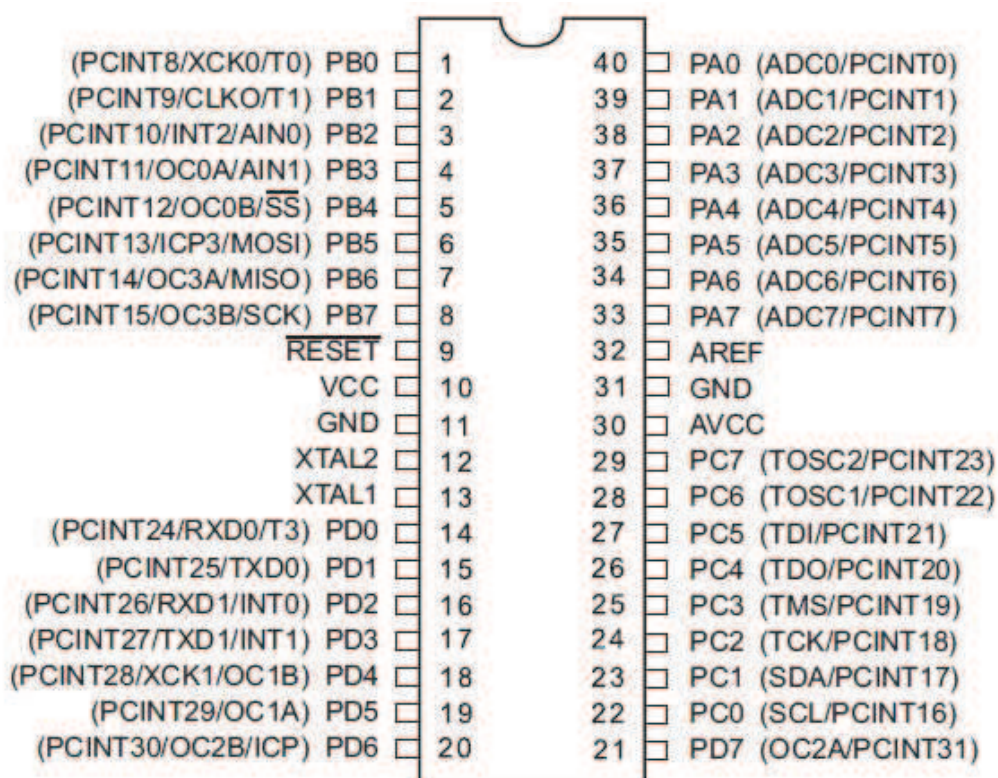


Figura 1.16. Configuración de pines del ATmega 164A³⁹

³⁹ Hoja de datos del microcontrolador ATmega 164A.

1.3.1.5.3.3 Diagrama de bloques

La figura 1.17 muestra el diagrama de bloques del microcontrolador ATmega 164A.

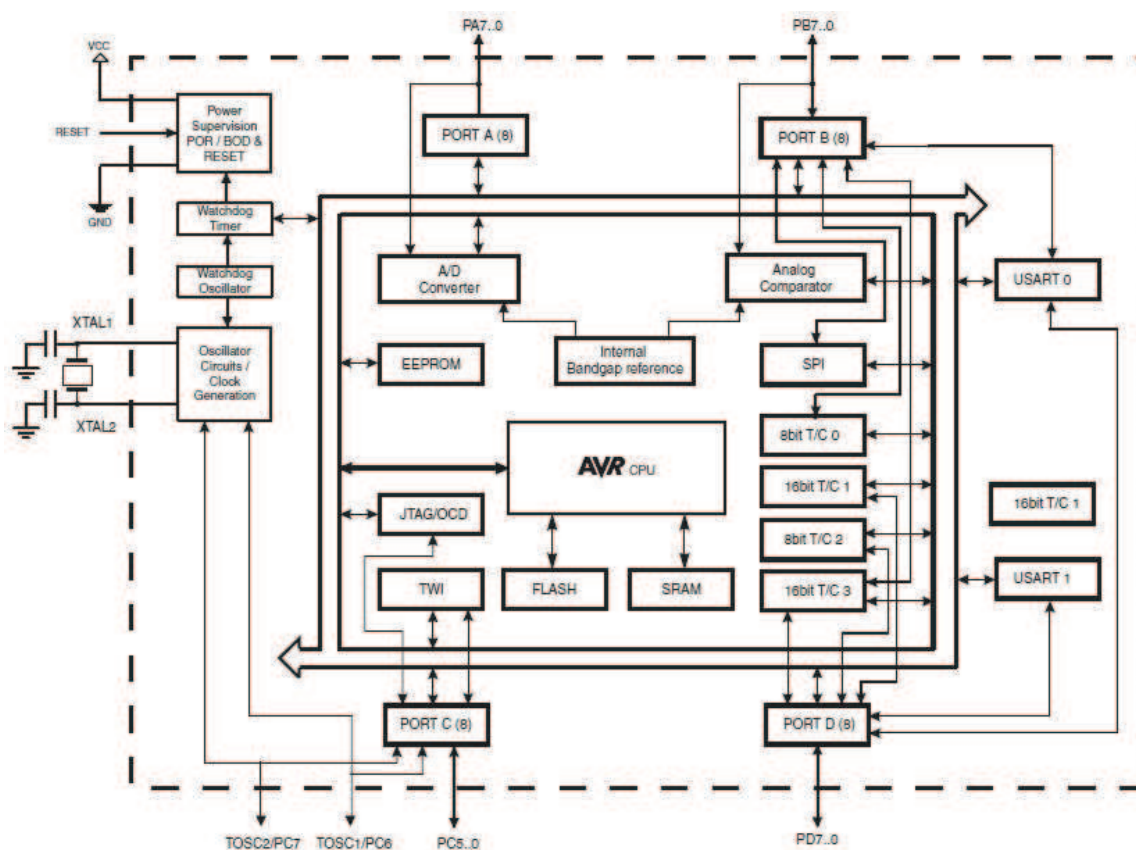


Figura 1.17. Diagrama de bloques del ATmega 164A⁴⁰

1.3.1.5.3.4 Descripción de pines

- **VCC:**
 - Voltaje de alimentación.
- **GND:**
 - Tierra.
- **Port A (PA0,...PA7):**
 - El puerto A sirve como entradas para la conversión análogo-digital.
 - El puerto A también sirve como puerto de E/S de 8 bits con resistores internos pull-up.

⁴⁰ Hoja de datos del microcontrolador ATmega 164A.

- **Port B (PB0,...PB7):**
 - El puerto B es un puerto de E/S de 8 bits con resistores internos pull-up.
 - Principales funciones alternas del puerto B:
 - PB7.- SCK: Salida de reloj maestro y entrada de reloj esclavo para el canal SPI. Es el pulso que marca la sincronización.
 - PB6 - MISO: Salida de datos maestro y entrada de datos esclavo para el canal SPI.
 - PB5 - MOSI: Salida de datos maestro y entrada de datos esclavo para el canal SPI.
- **Port C (PC0,...PC7):**
 - El puerto C es un puerto de E/S de 8 bits con resistores internos pull-up.
 - Principales funciones alternas del puerto B:
 - PC0 – SCL: Línea de reloj del bus I²C.
 - PC1 – SDA: Línea de entrada/salida de datos del bus I²C.
- **Port D (PD0,...PD7):**
 - El puerto D es un puerto de E/S de 8 bits con resistores internos pull-up.
- **RESET:**
 - Entrada de reinicio. Un bajo nivel en este pin por más de un mínimo ancho de pulso generará un reinicio, incluso si el reloj no está corriendo.
- **XTAL1:**
 - Entrada al amplificador oscilador inversor y entrada al circuito de funcionamiento del reloj interno.
- **XTAL 2:**
 - Entrada al amplificador oscilador inversor.
- **AVCC:**
 - Es el pin de voltaje de alimentación para el puerto A y el conversor análogo a digital. Debe estar conectado a VCC incluso si el ADC no está en uso.
- **AREF:**
 - Es el pin de referencia análoga para el conversor análogo a digital.

1.4 Reloj en tiempo real (RTC)

La indicación de la hora se realiza a veces mediante el oscilador integrado en el microcontrolador del sistema. Sin embargo, en ciertos casos, un RTC externo independiente es necesario. El uso de un RTC autónomo tiene las ventajas de menor consumo de energía, mayor precisión de cronometraje, y una mayor fiabilidad contra cuelgues del sistema.⁴¹

1.4.1 RTC DS1307⁴²

1.4.1.1 Descripción general

El DS1307 es un reloj / calendario de bajo consumo con 56 bytes de SRAM con respaldo de batería. El reloj / calendario provee segundos, minutos, horas, día, fecha, mes y año de información. La fecha al final del mes se ajusta automáticamente durante meses con menos de 31 días, incluyendo correcciones para el año bisiesto. El DS1307 funciona como un dispositivo esclavo en el bus I2C. El acceso se obtiene mediante la aplicación de una condición de INICIO y a través de proporcionar un código de identificación del dispositivo seguido de una dirección de registro. Registros subsiguientes se puede acceder de forma secuencial hasta una condición de FIN se ejecuta. Cuando VCC cae por debajo de $1,25 \times V_{BAT}$, el dispositivo finaliza una conexión en curso y restablece el contador de dirección del dispositivo. Las entradas al dispositivo no serán reconocidas en este momento para evitar que los datos erróneos que se escriban en el dispositivo de un sistema fuera de la tolerancia. Cuando VCC cae por debajo de VBAT, el dispositivo cambia a una baja corriente de la batería en modo de reserva. Tras el encendido, el dispositivo cambia desde la batería a VCC cuando es mayor que $0,2 \times V_{BAT}$ y reconoce las entradas cuando VCC es mayor que $1,25 \times V_{BAT}$. El diagrama de bloques en la figura 1.18 muestra los elementos principales de la serie RTC.

⁴¹ <http://www.digikey.com/us/en/techzone/microcontroller/resources/articles/enabling-timekeeping-function.html>

⁴² Hoja de datos del RTC DS1307.

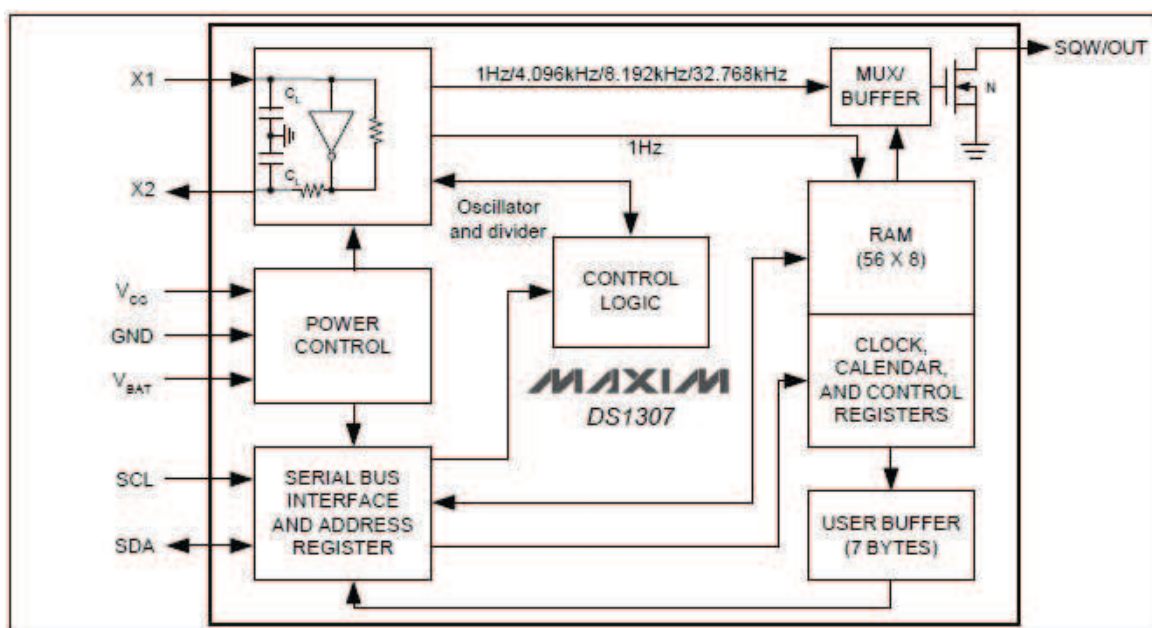


Figura 1.18. Diagrama de bloques del RTC DS1307 ⁴³

1.4.1.2 Características principales

- Reloj en tiempo real (RTC) cuenta segundos, minutos, horas, Fecha del mes, mes, día de la semana, y año con compensación de año bisiesto válido hasta el año 2100.
- Memoria RAM de propósito general de 56-Byte, respaldado por batería, con escrituras ilimitadas.
- Interface serial I2C.
- Señal de salida de onda cuadrada programable.
- Circuitería de detección automática de falla de energía y cambio automático.
- Consumo de menos de 500 [nA] en modo de respaldo por batería con oscilador en ejecución.
- Rango de temperatura industrial opcional: -40°C a +85°C.

La tabla 1.2 muestra la descripción de pines del RTC DS1307.

⁴³ Hoja de datos del RTC DS1307.

1.4.1.3 Descripción de pines

PIN	NOMBRE	FUNCIÓN
1	X1	Conexiones para cristal de cuarzo de 32.768 kHz. La circuitería del oscilador interno está diseñada para funcionamiento con un cristal que tiene una capacitancia de carga (CL) de 12,5 pF. X1 es la entrada del oscilador y puede estar conectado opcionalmente a un oscilador externo de 32.768 kHz. La salida del oscilador interno, X2, es desconectada si un oscilador externo es conectado a X1.
2	X2	
3	VBAT	Entrada de energía de respaldo para cualquier batería de Litio de 3 V u otra fuente de energía. El voltaje de la batería debe ser mantenido entre los mínimos y máximos límites para el funcionamiento adecuado. Diodos en serie entre la batería y el pin VBAT pueden evitar funcionamiento adecuado. Si la energía de respaldo no es necesaria el pin VBAT debe ser conectado a tierra. Una batería de Litio de con 48mAh o más respaldará el DS1307 por más de 10 años en ausencia de energía a 25° C.
4	GND	Tierra.
5	SDA	Entrada/Salida de datos serial. SDA es la entrada/salida para la interface I2C. El pin SDA es drenaje abierto y necesita un resistor pullup externo. El voltaje pullup puede ser hasta 5,5 V sin tener en cuenta del voltaje en VCC.
6	SCL	Entrada serial de reloj. SCL es la entrada de reloj para la interface I2C y es usada para sincronizar movimiento de datos en la interface serial. El voltaje pullup puede ser hasta 5,5 V sin tener en cuenta del voltaje en VCC.
7	SQW/OUT	Salida de Onda cuadrada. Cuando está habilitada, el bit SQWE se ubica en 1, el pin SQW/OUT imprime uno de cuatro frecuencias de onda cuadrada (1Hz, 4kHz, 8kHz, 32kHz). El pin SQW/OUT es de drenaje abierto y necesita un resistor pullup. SQW/OUT funciona con VCC o VBAT. El voltaje pullup puede ser hasta 5,5 V sin tener en cuenta del voltaje en VCC. Si no se usa este pin puede quedar flotando.
8	VCC	Suministro de energía principal. Cuando el voltaje es aplicado dentro de los límites normales, el dispositivo es completamente accesible y los datos pueden ser leídos y escritos. Cuando la energía de respaldo está conectada al dispositivo y VCC está debajo VTP, lecturas y escritura son inhabilitadas. Sin embargo, la función de reloj continúa sin afectación por el bajo voltaje de entrada.

Tabla 1.2 . Descripción de pines del RTC DS1307⁴⁴

⁴⁴ Hoja de datos del RTC DS1307.

1.4.1.4 Registros del reloj y calendario

La información de tiempo y calendario se obtiene mediante la lectura de los bytes de registro adecuado. La Tabla 2 muestra los registros de RTC. El tiempo y el calendario se establecen o inician escribiendo los bytes registro correspondiente. Los contenidos de los registros de tiempo y calendario están en el formato BCD. El registro del día de la semana incrementa a medianoche. Los valores que corresponden a la días de semana están definidos por el usuario, sino que debe ser secuencial (es decir, si 1 es igual a Domingo, entonces 2 es igual a Lunes, etc.) Entradas de tiempo fecha ilógicas dan como resultado funcionamiento indefinido. El bit 7 del registro 0 es la interrupción del reloj (CH) bits. Cuando este bit se pone a 1, el oscilador está desactivado. Cuando se desactiva a 0, el oscilador está habilitado. En la primera aplicación de energía al dispositivo los registros de fecha y hora se suelen restablecer 01/01/00 01 00:00:00 (MM / DD / AA DOW HH: MM: SS). El bit de CH en el segundo registro se establece en un 1. El reloj puede ser detenido cuando las funciones de cronometraje no son necesarias, lo que minimiza actual (I_{BATDR}).

El DS1307 se puede ejecutar en modo de 12 horas o de 24 horas. El bit 6 del registro de hora se define como el de modo de 12-horas o 24 horas. Cuando está en alto nivel, se selecciona el modo de 12-horas. En el modo de 12 horas, el bit 5 es el bit de AM / PM siendo en alto nivel PM. En el modo de 24 horas, bit 5 es el segundo de 10 horas poco (20 a 23 horas). El valor de las horas se debe volver a introducir cada vez que el bit de modo 12/24-hour se cambia.

Al leer o escribir los registros de hora y fecha, buffers secundarios (usuario) se utilizan para evitar errores cuando registros internos se actualizan. Al leer la hora y registros actualizados, los búferes de usuario están sincronizados con los registros internos en cualquier INICIO I2C. La información de la hora se lee de estos registros secundarios mientras el reloj sigue corriendo. Esto elimina la necesidad de volver a leer los registros en caso de que los registros internos se actualicen durante una lectura. La cadena divisora se reinicia siempre que el segundo registro se escribe. Escribir transferencias se producen en el acuse de recibo I2C desde el DS1307. Una

vez que la cadena divisora se restablece, para evitar problemas de vuelco, el tiempo restante y registros de fecha deben ser escritos dentro de un segundo. La tabla 1.3 muestra los registros del RTC DS1307.

Dirección	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Función	Rango
00h	CH	10 Segundo			Segundos			Segundos	00-59	
01h	0	10 Minuto			Minutos			Minutos	00-59	
02h	0	12	10 Hora	10 Hora	Horas			Horas	1-12 +am/pm 00-23	
		24	PM/AM							
03h	0	0	0	0	0	Día de la semana		Día	01-07	
04h	0	0	10 Fecha		Fecha			Fecha	01-31	
05h	0	0	0	10 Mes	Mes			Mes	01-12	
06h	10 Años				Año			Año	0-99	
07h	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	Control	--
08h-3Fh								RAM 56x8	00h- FFh	

Tabla 1.3. Registros del RTC DS1307 ⁴⁵

1.4.1.5 Registro de control

El registro de control del DS1307 se utiliza para controlar el funcionamiento del pin SQW / OUT. La tabla 1.4 muestra el registro de control del RTC DS1307.

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0

Tabla 1.4. Registro de control del RTC DS1307⁴⁶

Bit 7: Salida de control (OUT). Este bit controla el nivel de salida del pin SQW / OUT cuando la salida de onda cuadrada está desactivada. Si SQWE = 0, el nivel lógico en

⁴⁵ Hoja de datos del RTC DS1307.

⁴⁶ Hoja de datos del RTC DS1307.

el pin SQW / OUT es 1 si OUT = 1 y es 0 si OUT = 0. En la aplicación inicial de energía al dispositivo, este bit se fija típicamente a un 0.

Bit 4: Square-Wave Enable (SQWE). Este bit, cuando se ajusta a 1 lógico, permite la salida del oscilador. La frecuencia de la salida de onda cuadrada depende del valor de los bits RS0 y RS1. Con la salida de onda cuadrada ajustado a 1 Hz, los registros del reloj se actualizan en el borde descendente de la onda cuadrada. En la aplicación inicial de energía al dispositivo, este bit se fija típicamente a 0.

Los bits 1 y 0: Rate Select (RS [1:0]): Estos bits de control de la frecuencia de la salida de onda cuadrada cuando la salida de onda cuadrada se ha habilitado. En la tabla siguiente se muestran las frecuencias de onda cuadrada que se pueden seleccionar con los bits RS. En la aplicación inicial de energía al dispositivo, estos bits se establecen normalmente a 1.

La tabla 1.5 muestra el registro de control 07h del RTC DS1307.

RS1	RS0	SQW/OUT OUTPUT	SQWE	OUT
0	0	1Hz	1	X
0	1	4.096kHz	1	X
1	0	8.192kHz	1	X
1	1	32.768kHz	1	X
X	X	0	0	0
X	X	1	0	1

Tabla 1.5. Registro de control 07h⁴⁷

1.4.1.6 Protocolo I²C

Un dispositivo que envía datos en el bus se define como un transmisor y un dispositivo receptor de datos como receptor. El dispositivo que controla el mensaje se llama un maestro. Los dispositivos que son controlados por el maestro se conocen como esclavos. El bus debe ser controlado por un dispositivo maestro que genera el reloj serial (SCL), controla el acceso al bus, y genera el INICIO y condiciones de FIN.

⁴⁷ Hoja de datos del RTC DS1307.

La transferencia de datos se puede iniciar solamente cuando el bus no está ocupado.

Durante la transferencia de datos, la línea de datos debe permanecer estable cuando la línea de reloj está en ALTO. Los cambios en la línea de datos, mientras que la línea de reloj es alta se interpreta como señales de control.

Las siguientes condiciones de bus han sido definidas:

Bus no ocupado: Ambas líneas de datos y de reloj permanecen en ALTO.

INICIO de transferencia de datos: Un cambio en el estado de la línea de datos, de ALTO a BAJO, mientras que el reloj está en ALTO, define una condición de INICIO.

FIN de transferencia de datos: Un cambio en el estado de la línea de datos, de BAJO a ALTO, mientras que la línea de reloj está en ALTO, define la condición de FIN.

Datos válidos: El estado de la línea de datos representa los datos válidos cuando, después de una condición de INICIO, la línea de datos es estable durante la duración del período alto de la señal de reloj. Los datos sobre la línea deben ser cambiados durante el período bajo de la señal de reloj. Hay un pulso de reloj por bit de datos.

Cada transferencia de datos se inicia con una condición de INICIO y termina con una condición de FIN. El número de bytes de datos transferidos entre INICIO y FIN no está limitada, y está determinado por el dispositivo maestro. La información se transfiere byte por byte y cada receptor confirma con un noveno bit. Dentro de las especificaciones del bus I2C un modo estándar (100kHz de frecuencia de reloj) y un modo rápido (400kHz de frecuencia de reloj) se definen.

Acuse de recibo: Cada dispositivo de recepción, cuando es direccionado, está obligado a generar una confirmación después de la recepción de cada byte. El dispositivo maestro debe generar un pulso de reloj adicional que se asocia con este bit de confirmación.

Un dispositivo que confirma debe bajar la línea SDA durante el pulso de reloj de confirmación de tal manera que la línea SDA permanece en nivel BAJO durante el período ALTO de la confirmación correspondiente al pulso de reloj. Por supuesto, los tiempos de establecimiento y retención deben ser tenido en cuenta. Un maestro debe señalar el fin de los datos al esclavo al no generar un bit de confirmación en el último byte que ha sido registrado por el esclavo. En este caso, el esclavo debe dejar que la línea de datos ALTA habilite el maestro para que genere la condición de FIN.

La figura 1.19 muestra los diagramas de tiempos para la Transferencia de datos por el bus serial I²C.

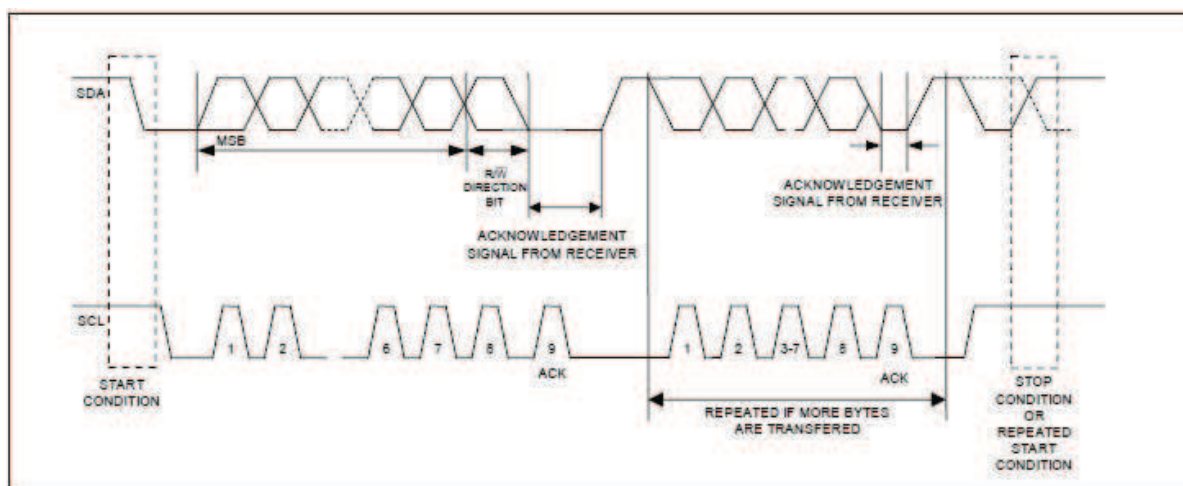


Figura 1.19. Transferencia de datos por el bus serial I²C⁴⁸

Dependiendo del estado del bit R / W, dos tipos de transferencia de datos son posibles:

Transferencia de datos desde un transmisor maestro a un receptor esclavo. El primer byte transmitido por el maestro es la dirección de esclavo. A continuación sigue un número de bytes de datos. El esclavo devuelve un bit de confirmación después de cada byte recibido. Los datos se transfieren con el bit más significativo (MSB) en primer lugar.

⁴⁸ Hoja de datos del RTC DS1307.

Transferencia de datos desde un transmisor esclavo a un receptor maestro. El primer byte (la dirección del esclavo) es transmitido por el maestro. El esclavo devuelve un bit de confirmación. Esto es seguido por el esclavo que transmite un número de bytes de datos. El maestro devuelve un bit de confirmación después de que todos los bytes recibidos que no sean el último byte. Al final del último byte recibido, un "no confirma" se devuelve.

El dispositivo maestro genera todos los impulsos de reloj de serie y las condiciones de INICIO y FIN. Una transferencia se termina con una condición de FIN o con una condición de INICIO repetida. Puesto que una condición de INICIO repetida es también el comienzo de la siguiente transferencia serial, el bus no será liberado. Los datos se transfieren con el bit más significativo (MSB) en primer lugar.

1.4.1.7 Funcionamiento I²C del RTC DS1307

El DS1307 puede funcionar en los dos modos siguientes:

1) Modo esclavo receptor (Write Mode)

Datos en serie y el reloj se reciben a través de SDA y SCL. Después de que se recibe cada byte, se transmite un bit de confirmación. Condiciones de INICIO y FIN se reconocen como el inicio y el final de una transferencia serial. Hardware realiza el reconocimiento de dirección después de la recepción de la dirección del esclavo y el bit de dirección. El byte de dirección del esclavo es el primer byte recibido después de que el maestro genera la condición de INICIO. El byte de dirección de esclavo contiene la dirección de 7 bits del DS1307, que es 1101000, seguido por el bit de dirección (R / W), que para una escritura es 0. Después de recibir y decodificar el byte de dirección del esclavo, el DS1307 envía un acuse de recibo por SDA. Después de que el DS1307 confirma la dirección del esclavo + el bit write, el maestro transmite una palabra de dirección para el DS1307. Esto pone el puntero de registro en el DS1307, con el DS1307 confirmando la transferencia. Entonces el maestro puede transmitir cero o más bytes de datos con las confirmaciones del DS1307 de cada byte recibido. El puntero de registro se incrementa automáticamente después

de cada byte de datos se escribe. El maestro va a generar un estado de FIN para finalizar la grabación de datos.

La figura 1.20 muestra la escritura de datos - modo esclavo receptor del RTC DS1307.

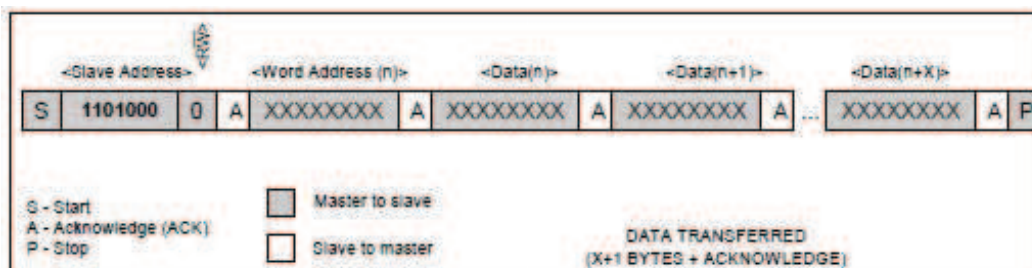


Figura 1.20. Escritura de datos - modo esclavo receptor⁴⁹

2) Modo esclavo transmisor (Read Mode)

El primer byte es recibido y tratado como en el modo receptor esclavo. Sin embargo, en este modo, el bit de dirección indicará que la dirección de transferencia se invierte. El DS1307 transmite los datos seriales por SDA mientras el reloj serial se encuentra en la entrada SCL. Condiciones de INICIO y FIN se reconocen como el inicio y el final de una transferencia serial. El byte de dirección del esclavo es el primer byte recibido después de que la condición de INICIO es generada por el maestro. El byte de dirección de esclavo contiene la dirección de 7 bits del DS1307, que es 1101000, seguido por el bit de dirección (R / W), que es 1 para una lectura. Después de recibir y decodificar la dirección del esclavo, el DS1307 envía un acuse de recibo por SDA. Entonces el DS1307 comienza a transmitir datos que comienzan con la dirección del registro al que apunta el puntero de registro. Si el puntero de registro no se escribe antes de la iniciación de un modo de lectura de la primera dirección que se lee es la última almacenada en el puntero de registro. El puntero de registro se incrementa automáticamente después de que cada byte se lee. El DS1307 tiene que recibir un no confirma al final de la lectura.

⁴⁹ Hoja de datos del RTC DS1307.

La figura 1.21 muestra la lectura de datos - modo esclavo transmisor del RTC DS1307.

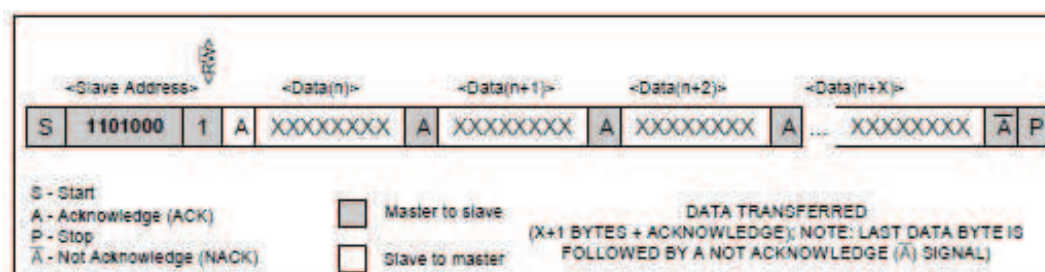


Figura 1.21. Lectura de datos - modo esclavo transmisor⁵⁰

La figura 1.22 muestra la escritura y lectura de datos del RTC DS1307.

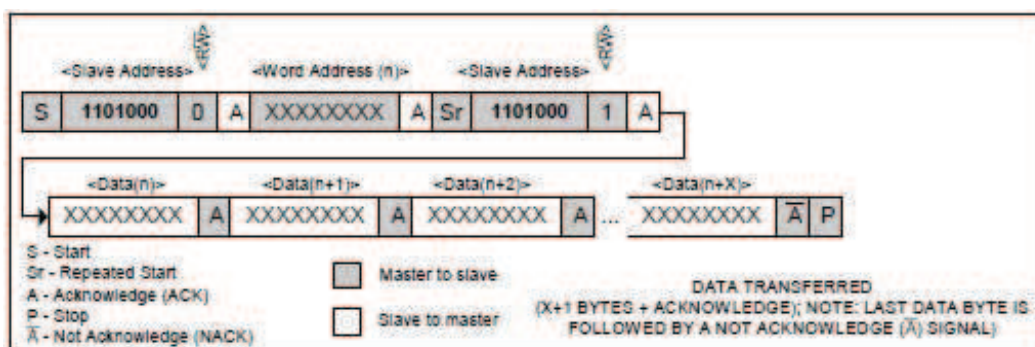


Figura 1.22. Escritura y lectura de datos⁵¹

1.5 Acelerómetro

Se denomina acelerómetro a cualquier instrumento destinado a medir aceleraciones. Esto no es necesariamente la misma que la aceleración de coordenadas (cambio de la velocidad del dispositivo en el espacio), sino que es el tipo de aceleración asociadas con el fenómeno de peso experimentada por una masa de prueba que se encuentra en el marco de referencia del dispositivo.⁵²

⁵⁰ Hoja de datos del RTC DS1307.

⁵¹ Hoja de datos del RTC DS1307.

⁵² <http://es.wikipedia.org/wiki/Aceler%C3%B3metro>

1.5.1 Acelerómetro MMA7361L

Es un acelerómetro de tres ejes analógico, con 3 salidas (una por cada eje) de voltaje analógicas, sensibilidad ajustable y una salida de 0-g (gravedad cero) de detección digital que indica cuando el dispositivo está en caída libre.

1.5.1.1 Principales características

- Consumo de baja corriente: 400 μ A
- Modo de espera: 3 μ A
- Funcionamiento en bajo voltaje. 2,2 – 3,6 V.
- Alta sensibilidad (800mV/g @ 1,5g).
- Encendido rápido (tiempo de respuesta de habilitación de 0,5 ms).
- Autocomprobación para diagnósticos de detección de caída libre.
- Detección de 0g para protección de caída libre.

1.5.1.2 Configuración y descripción de pines

La figura 1.23 muestra la configuración de pines del acelerómetro MMA7361L.

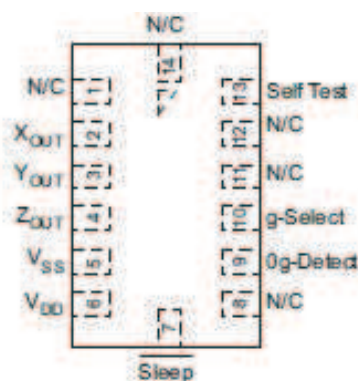


Figura 1.23. Configuración de pines del acelerómetro MMA7361L⁵³

La tabla 1.6 muestra la descripción de pines del acelerómetro MMA7361L.

⁵³ Hoja de datos del acelerómetro MMA7361L.

Pin No.	Nombre de pin	Descripción
1	N/C	Sin conexión
2	XOUT	Salida de voltaje en dirección X
3	YOUT	Salida de voltaje en dirección Y
4	ZOUT	Salida de voltaje en dirección Z
5	VSS	Conexión de energía a Tierra
6	VDD	Conexión de energía de entrada
7	Sleep	Entrada lógica para habilitar el modo de reposo
8	NC	Sin conexión
9	0g-Detect	Señal de salida lógica digital de caída libre lineal

Tabla 1.6 . Descripción de pines del acelerómetro MMA7361L⁵⁴

1.5.1.3 Diagrama de bloques

La figura 1.24 muestra el diagrama de bloques del acelerómetro MMA7361L.

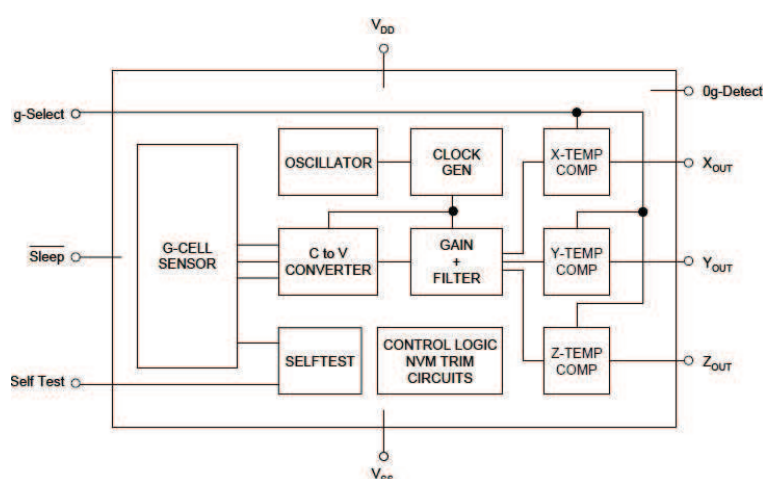


Figura 1.24. Diagrama de bloques del acelerómetro MMA7361L⁵⁵

⁵⁴ Hoja de datos del acelerómetro MMA7361L.

⁵⁵ Hoja de datos del acelerómetro MMA7361L.

1.5.1.4 Principio de funcionamiento

El acelerómetro consiste de celdas capacitivas micromecanizadas denominadas 'g-cell', la 'g-cell' es una estructura mecánica formada por semiconductores (polisilicio) usando procesos de semiconductor (enmascaramiento y grabado). Estas celdas pueden ser modeladas como un conjunto de barras unidas a una masa central que se mueve entre barras fijas. Las barras móviles pueden desviarse de su posición de descanso al someter el sistema a una aceleración, la figura 1.25 muestra la estructura de una 'g-cell'.

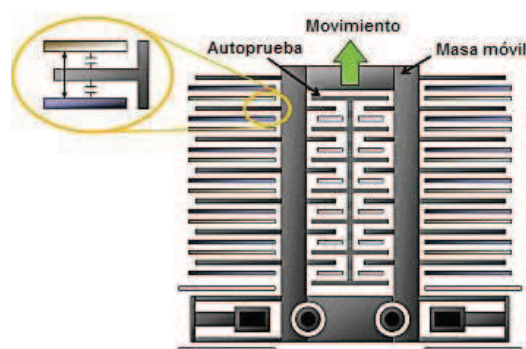


Figura 1.25. Estructura de una celda 'g-cell'⁵⁶

Mientras las barras unidas a la masa central se mueven, la distancia entre ellas y las barras fijas en un lado incrementará mientras en el otro lado disminuirá en la misma distancia, el cambio de esta distancia es la medida de la aceleración.

Las barras de la 'g-cell' forman dos capacitores uno al lado del otro tal como muestra la figura 1.26. Mientras la barra central se mueve con la aceleración, la distancia entre barras cambia y por consiguiente el valor de cada capacitor cambia de acuerdo a la siguiente ecuación: $C = A\epsilon/D$. Donde A es el área de la barra, ϵ es la constante dieléctrica y D es la distancia entre las barras (fija y móvil).

⁵⁶ <http://www.sensormag.com/files/sensor/nodes/2007/1363/Figure1.gif>

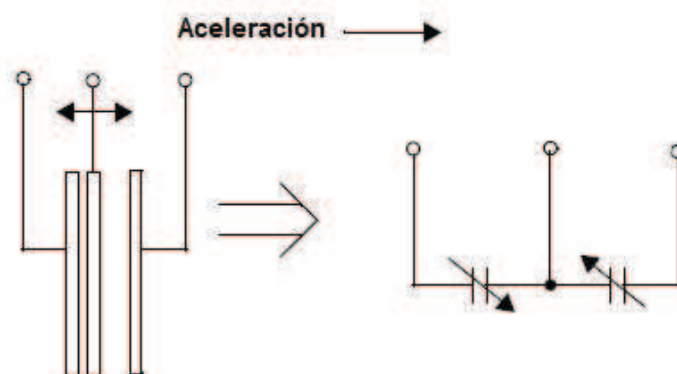


Figura 1.26. Modelo físico simplificado de una celda "g-cell"⁵⁷

El acelerómetro también tiene la circuitería necesaria para extraer los datos de la aceleración a partir de la diferencia entre los dos capacitores, la señal extraída es una salida de voltaje proporcional a la aceleración.

El acelerómetro cuenta con celdas 'g-cell' dispuestas de tal manera que pueda medir aceleración tridimensionalmente en los ejes XYZ, cada uno de los cuales cuenta con una salida.

Este acelerómetro puede ser usado como sensor de orientación al medir la aceleración de la gravedad, para lo cual se tiene a las salidas (de los ejes XYZ) valores proporcionales a las proyecciones del vector aceleración de la gravedad en los ejes rectangulares del marco de referencia del dispositivo.

1.5.2 Módulo MMA7361L Pololu⁵⁸

Este módulo es un panel de soporte para el circuito integrado Freescale MMA7361L, de tres ejes XYZ. La placa tiene un regulador de 3.3V lineal que permite un voltaje de entrada de hasta 16 V.

1.5.2.1 Especificaciones

- Dimensiones: 1.2×2.3×0.23 cm (sin pines)
- Voltaje de funcionamiento: 2,2 – 16 V conectado a V_{in} .

⁵⁷ Hoja de datos del acelerómetro MMA7361L.

⁵⁸ <http://www.pololu.com/catalog/product/1251>

- Corriente de suministro: 0,5 mA
- Formato de salida: 3 voltajes análogos (una señal por cada eje) centrado a la mitad del voltaje de pin 3V3.
- Rango de sensibilidad: $\pm 1,5g$ o $\pm 6g$.
- Peso sin pines: 0,7g.

1.5.2.2 Configuración de pines del sensor

La figura 1.27 muestra el módulo Pololu MMA7361L.

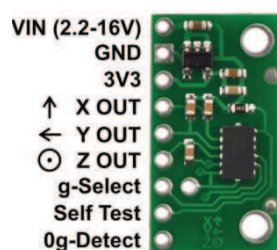


Figura 1.27. Módulo Pololu MMA7361L⁵⁹

1.5.2.3 Uso del sensor

Para energizar el acelerómetro, se debe conectar una fuente de hasta 16 V con una batería o una fuente de alimentación al pin VIN. Componentes externos (como divisores de voltaje) son necesarios cuando existe interconexión entre los pines de Auto comprobación y G-Select con sistemas de 5V. Las conexiones a los pines G-Select y Auto comprobación son opcionales, la tarjeta trabajará con estos pines desconectados.

Las salidas X, Y, y Z del acelerómetro son salidas de tres voltajes separados analógicos centrados en la mitad del voltaje del pin 3V3. Aceleraciones positivas a lo largo de un eje aumentan el voltaje de salida de ese eje por encima del voltaje central y aceleraciones negativas disminuyen el voltaje de salida por debajo del voltaje central. Las salidas siempre estarán dentro del intervalo de 0 al voltaje del pin 3V3.

⁵⁹ <http://www.pololu.com/catalog/product/1251>

1.6 Driver L298⁶⁰

Es un circuito integrado en un encapsulado PowerSO20 de 15 pines. Es un puente doble diseñado para aceptar niveles TTL y manejar cargas inductivas como relés, solenoides, motores DC y motores de paso.

1.6.1 Características principales

- Voltaje de alimentación de hasta 46 V.
- Corriente total DC hasta 4 A.
- Protección de temperatura elevada.
- Voltaje de entrada cero lógico "0L" hasta 1,5 V.
- Voltaje de entrada uno lógico "1L" hasta 7 V.
- Corriente de salida para cada canal de hasta 3 A (no repetitivo $t = 100\mu\text{s}$)

1.6.2 Configuración y descripción de pines

La figura 1.28 muestra la configuración de pines del L298.

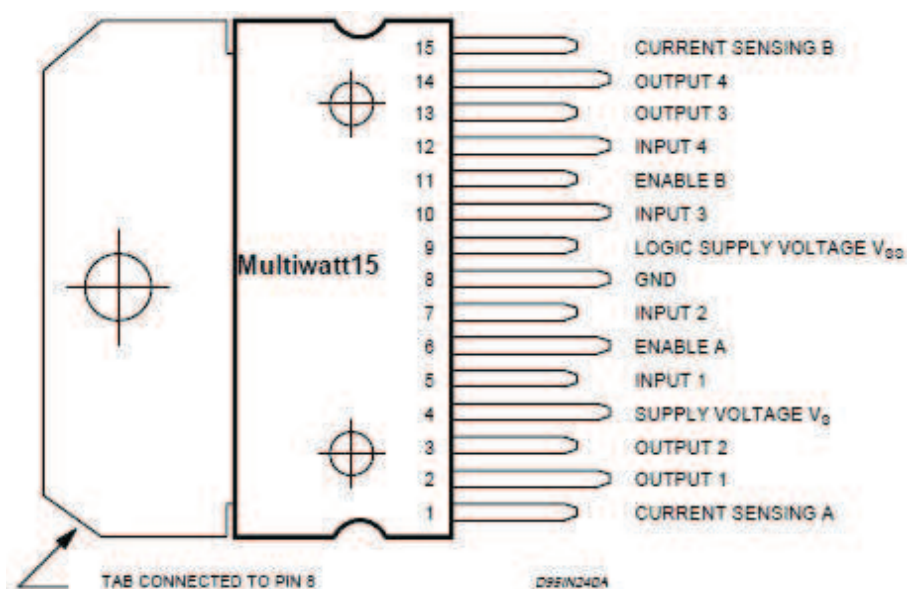


Figura 1.28. Configuración de pines del L298⁶¹

⁶⁰ Hoja de datos del driver L298.

La tabla 1.7 muestra la descripción de pines del L298.

Pines	Nombre	Función
1; 15	Sense A, Sense B	Entre este conector y tierra está conectado un resistor para controlar la corriente de la carga.
2; 3	Out 1, Out 2	Salidas del puente A, la corriente que fluye a través de la carga conectada entre estos dos pines es monitoreada en el pin 1.
4	Vs	Voltaje de alimentación para las etapas de salida de energía.
5; 7	Input 1, Input 2	Entradas TTL para el puente A.
6; 11	Enable A, Enable B	Entradas de habilitación TTL. Bajo nivel deshabilita el correspondiente puente.
8	GND	Tierra
9	VSS	Voltaje de alimentación para los bloques lógicos.
10; 12	Input 3, Input 4	Entradas TTL para el puente B.
13; 14	Out 3, Out 4	Salidas del puente B, la corriente que fluye a través de la carga conectada entre estos dos pines es monitoreada en el pin 1.

Tabla 1.7. Descripción de pines del L298⁶²

1.6.3 Control de sentido de giro de motor DC

La figura 1.29 muestra el diagrama esquemático del circuito de control de sentido de giro para un motor DC, para lo cual se necesita un puente H por motor (el circuito integrado L298 tiene dos puentes H).

⁶¹ Hoja de datos del driver L298.

⁶² Hoja de datos del driver L298.

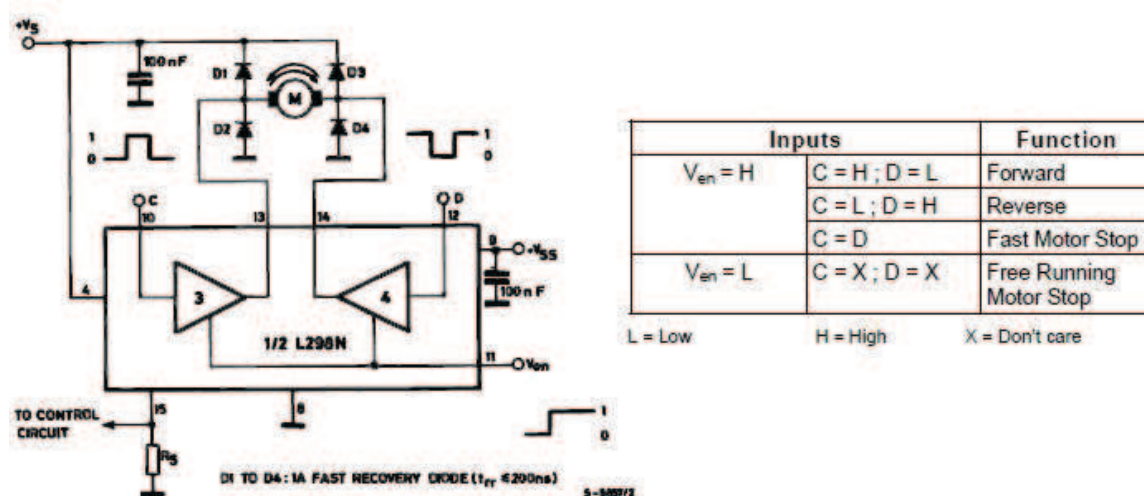


Figura 1.29. Diagrama de circuito de control de motor DC⁶³

1.7 Motor de corriente continua⁶⁴

El motor de corriente continua es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, provocando un movimiento rotatorio.

La principal característica del motor de corriente continua es la posibilidad de regular la velocidad desde vacío a plena carga.

Una máquina de corriente continua (generador o motor) se compone principalmente de dos partes, un estator que da soporte mecánico al aparato y tiene un hueco en el centro generalmente de forma cilíndrica. En el estator además se encuentran los polos, que pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre núcleo de hierro. El rotor es generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, al que llega la corriente mediante dos escobillas.

Motores de corriente continua se construyen comúnmente con rotores bobinados y tanto con estatores bobinados o de imán permanente.

⁶³ Hoja de datos del driver L298.

⁶⁴ http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_continua

1.7.1 Parámetros principales⁶⁵

A continuación se detallan algunas de las definiciones típicas comunes a cualquier manual de este tipo de motores.

- **Potencia de salida máxima P_{max} (mW):** es la máxima potencia mecánica desarrollada en el eje del motor, recomendada por el fabricante sin que se produzcan problemas de conmutación que desemboquen en un fallo prematuro del motor.
- **Voltaje nominal (V):** es el voltaje de referencia a la que se proporcionan otros datos nominales del motor. Téngase en cuenta que los valores nominales presentes en las hojas de características de cualquier fabricante sólo se cumplen a esta tensión de trabajo. Este voltaje ha sido escogido para que el motor no sobrepase la máxima velocidad recomendada girando sin carga.
- **Velocidad en vacío w_0 (rpm):** es la velocidad angular del eje del motor, a la tensión nominal y sin carga externa aplicada. Se suele dar a temperatura del bobinado de 25°C.
- **Corriente sin carga I_0 (mA):** es la corriente que el motor absorbe sin carga. Depende de la fricción en las escobillas y en los cojinetes. Varía ligeramente con diferentes velocidades.
- **Corriente de arranque I_A (mA):** es la corriente que absorbe, instantáneamente, el motor cuando partiendo del reposo ($\omega=0$) se le aplica una tensión determinada (en principio la nominal). Por tanto se puede calcular como el cociente entre la tensión aplicada y la resistencia del devanado.
- **Par de parada (mNm):** también conocido como par de arranque o par en cortocircuito, en definitiva es el par necesario para detener el eje del motor cuando éste se encuentra excitado al voltaje nominal.
- **Relación velocidad/par (rpm/Nm):** esta relación dice mucho acerca de la capacidad de entrega de potencia del motor. Cuanta más plana es la relación, menor es la variación de velocidad sufrida durante las variaciones de carga.

⁶⁵ <http://www.scribd.com/doc/78480580/4/CARACTERISTICAS-TECNICAS-DE-MOTORES-DC>

1.8 LCD de 16 caracteres y 2 filas⁶⁶

Un LCD (Liquid Crystal Display) es un dispositivo de visualización gráfica para presentación de caracteres, símbolos o incluso dibujos. El LCD de 16x2 dispone de 2 filas de 16 caracteres cada una, cada caracter se muestra en un a Matriz de 5x7 puntos (pixeles). Está gobernado por un microcontrolador Hitachi 44780 que facilita la comunicación con otros dispositivos.

La figura 1.30 muestra un LCD de 16 caracteres y 2 filas.

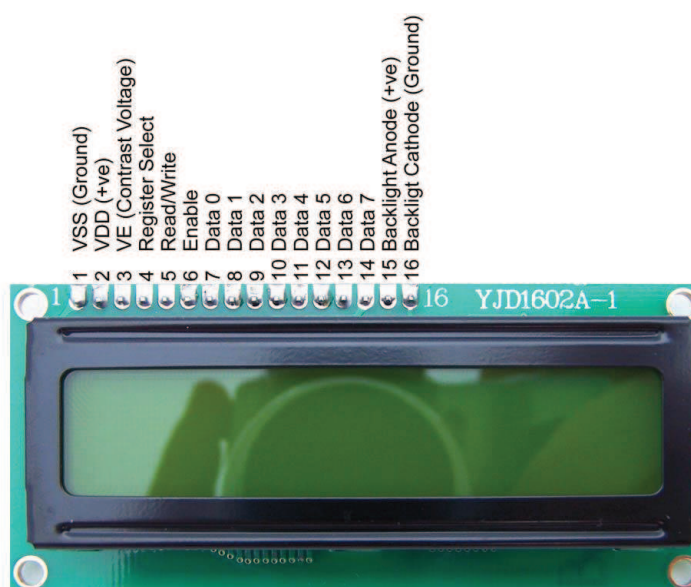


Figura 1.30. LCD de 16 caracteres y 2 filas⁶⁷

1.8.1 Características:

- Pantalla de caracteres ASCII, caracteres Kanji y Griegos.
- Desplazamiento de caracteres hacia la izquierda o hacia la derecha.
- Memoria de 40 caracteres por línea.
- Movimiento del cursor.
- Programación de 8 caracteres por el usuario.
- Conexión mediante interfaz de 4 u 8 bit.

⁶⁶ <http://lonely113.blogspot.com/2011/03/lcd-2x16.html>

⁶⁷ http://electronics-diy.com/schematics/1162/HD44780_breadboard_02_lrg.jpg

1.8.2 Funcionamiento

El LCD 16x2 (LCD 2x16) tiene en total 16 pines, en los manuales se muestra 14 pines, los dos pines adicionales son el ánodo (15) y el cátodo (16) del LED de fondo. Debe notarse que el controlador Hitachi HD44780 se encuentra incorporado al circuito impreso del módulo LCD y que sirve de interfaz entre la propia pantalla LCD (donde se muestran los caracteres) y el microcontrolador. Por lo tanto, de todos los pines del HD44780 únicamente se tiene acceso a aquellos necesarios para la conexión al controlador y para el control de contraste.

1.8.3 Descripción de pines

La tabla 1.8 muestra la descripción de pines del LCD 16x2.

Nº PIN	NOMBRE	DESCRIPCION
1	VSS	GND
2	VDD	VDD (5 V)
3	V0	Contraste (0 a +5V)
4	RS	Registro de control/Registro de datos:
		RS=0 Selección registro de control
		RS=1 Selección registro de datos
5	R/W	Lectura/Escritura:
		R/W=0 Escritura (Write)
		R/W=1 Lectura (Read)
6	E	Habilitación:
		E=0 Deshabilitado
		E=1 Habilitado
7-14	D0-D7	Bus de datos bidireccional.
15-16	BACKLIGHT	Ánodo y Cátodo del LED de fondo

Tabla 1.8. Descripción de pines del LCD 16x2⁶⁸

⁶⁸ <http://lonely113.blogspot.com/2011/03/lcd-2x16.html>

1.8.4 Conexión de 4 bits con el microcontrolador

La figura 1.31 muestra la conexión de 4 bits con el microcontrolador:

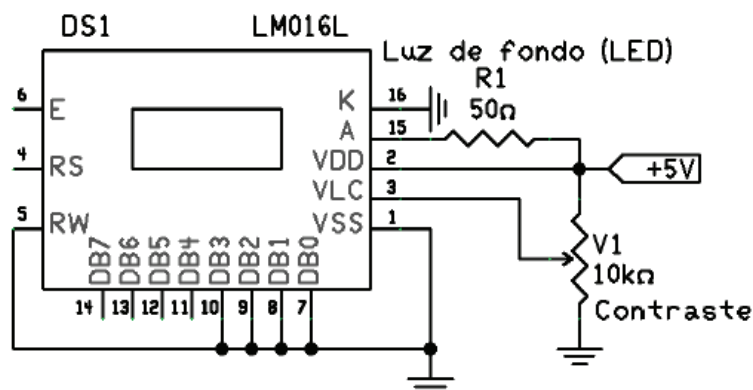


Figura 1.31. Conexión de 4 bits del LCD con el microcontrolador⁶⁹

1.9 Teclado de 4 filas 3 columnas⁷⁰

El teclado matricial proporciona una interfaz sencilla de entrada de datos. Sus usos pueden ser tan variados como aplicaciones que precisen de la introducción manual de datos puedan ocurrírsele al diseñador. Desde una calculadora, pasando por una cerradura codificada, un termostato programable, etc. La figura 1.32 muestra el esquema de un teclado 4x3.

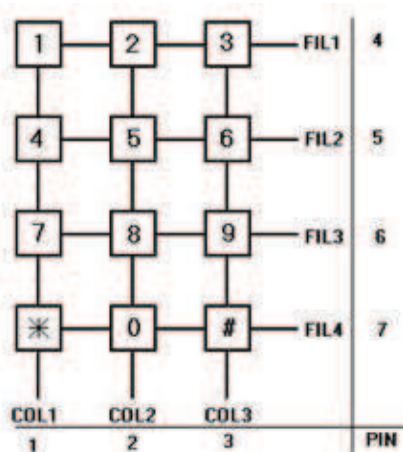


Figura 1.32. Esquema del teclado 4x3⁷¹

⁶⁹ <http://www.programarpicenc.com/libro/cap03-display-lcd-16x2-2x16-hd44780-mikroc-pro.html>

⁷⁰ <http://lorien.die.upm.es/juancho/pfcs/jmrs/Teclado/Teclado%20Matricial.doc>

1.9.1 Descripción

Están constituidos por filas y columnas conductoras en cuyo cruce se encuentra un pulsador mecánico o de membrana que, al ser pulsado, establece el contacto eléctrico entre la fila y la columna correspondiente.

Para su conexión al microcontrolador se deben colocar unas resistencias de *pull-up* en las filas (o las columnas). De esta forma si se pone a masa (cero lógico) una columna (fila) se obtendrá un cero en la fila (columna) correspondiente cuando se pulse una tecla.

Al pulsar pueden producirse rebotes mecánicos e interpretarlos como varias repeticiones de la misma tecla. Para evitarlo basta con esperar un tiempo superior a la duración de los mismos antes de seguir leyendo datos del teclado.

Este tiempo debe ser ajustado por el alumno de tal forma que ni se detecten pulsaciones falsas ni resulte lento el manejo del teclado. El ajuste se puede realizar a tanto alzado, aumentando la espera hasta que desaparezca el fenómeno de repetición o bien de modo más preciso midiendo los transitorios con rebotes y su duración con un osciloscopio digital con captura sensible a flancos (como los disponibles en el laboratorio B-043).

1.10 Lenguaje Bascom AVR

La herramienta BASCOM AVR desarrollada por la empresa MCS Electronics, sirve para realizar programas en alto nivel para microcontroladores AVR, el cual posee un compilador y un ensamblador que traduce las instrucciones estructuradas en lenguaje de máquina.⁷²

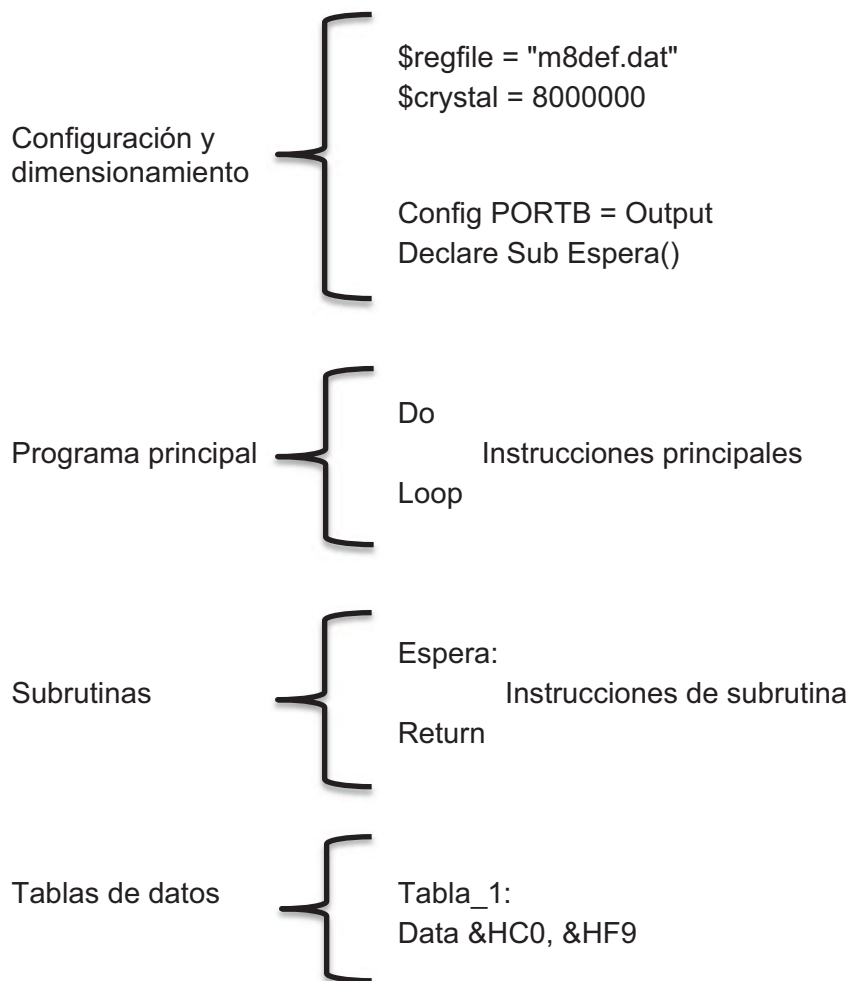
⁷¹ <http://lenguajesosota18.blogspot.com/>

⁷² APLICACIONES ELECTRÓNICAS CON MICROCONTROLADORES AVR, Ramiro Valencia, Microtel, 2008, página: 5.

1.10.1 Estructura de un programa en Basic⁷³

Cuando se estructura un programa en alto nivel, es necesario llevar un orden y vinculación de las instrucciones que se realizan.

El siguiente ejemplo muestra cómo se puede estructurar un programa en alto nivel:



⁷³ APLICACIONES ELECTRÓNICAS CON MICROCONTROLADORES AVR, Ramiro Valencia, Microtel, 2008, página: 16-17.

1.10.2 Tipos de datos⁷⁴

Cada variable en Bascom tiene un tipo de datos que determina lo que puede ser almacenado en dicha variable.

Tipos de datos fundamentales:

- **Bit (1/8 byte).** Variable de un solo bit, puede tener un valor de 0 o 1.
- **Byte (1 byte).** Bytes se almacenan como números binarios de 8 bits sin signo, cuyo valor oscila entre 0 y 255.
- **Integer (dos bytes).** Integers se almacenan como números binarios de 16 bits con signo, su valor oscila entre -32.768 y 32.767.
- **Word (dos bytes).** Words se almacenan como números binarios de 16 bits sin signo, cuyo valor oscila entre 0 y 65535.
- **Dword (cuatro bytes).** Dwords se almacenan como números binarios de 32 bits sin signo, cuyo valor oscila entre 0 y 4294967295.
- **Long (cuatro bytes).** Longs se almacenan como números binarios de 32 bits, cuyo valor oscila entre -2147483648 y 2147483647.
- **Single.** Singles son almacenados como números binarios de 32 bits con signo, su valor oscila entre $1,5 \times 10^{-45}$ y $3,4 \times 10^{38}$.
- **Double.** Doubles son almacenados como números binarios de 64 bits con signo, su valor oscila entre $5,0 \times 10^{-324}$ y $1,7 \times 10^{308}$.
- **String.** Strings son almacenados como bytes y son finalizados con un byte 0. Un string dimensionado con una longitud de 10 bytes ocupará 11 bytes.

1.10.3 Variables⁷⁵

Una variable es un nombre que hace referencia a un objeto, un número determinado. Una variable numérica, sólo se puede asignar un valor numérico (integer, byte, long, single o bit).

⁷⁴ BASCOM-AVR user manual, MCS Electronics.

⁷⁵ BASCOM-AVR user manual, MCS Electronics.

La siguiente lista muestra algunos ejemplos de asignaciones de variables:

- Un valor constante:
A = 5
C = 1.1
- El valor de otra variable numérica:
Abc = def
K = g
- El valor obtenido de la combinación de otras variables, constantes y operadores:
Temp = a + 5
Temp = C + 5
- El valor obtenido por llamar una función:
Temp = Asc(S)

1.10.3.1 Nombres de variables

Un nombre de variable Bascom puede contener hasta 32 caracteres. Los caracteres permitidos en un nombre de variable son letras y números. El primer carácter de un nombre de variable debe ser una letra.

Un nombre de variable no puede ser una palabra reservada, pero las palabras reservadas embebidas están permitidas.

Por ejemplo, la siguiente sentencia es ilegal porque AND es una palabra reservada:

```
AND = 8
```

Sin embargo, la siguiente sentencia es legal:

```
ToAND = 8
```

Las palabras reservadas incluyen todos los comandos BASCOM, sentencias, nombres de funciones, registros internos y los nombres de los operadores.

Se puede especificar un número hexadecimal o binario con el prefijo &H o &B. $a = \&HA$, $a = \&B1010$ y $a = 10$ son todos lo mismo.

Antes de asignar una variable, debe indicar al compilador de ello con la instrucción **Dim**, así:

Dim b1 **As Bit**, l **as Integer**, k **as Byte**, s **As String** * 10

El tipo STRING necesita un parámetro adicional para especificar la longitud.

También puede utilizar DEFINT, DEFBIT, DEFBYTE, DEFWORD, DEFLNG o DEFSNG.

Por ejemplo, DEFINT c le dice al compilador que todas las variables que no están dimensionadas y que comienzan con el caracter c son del tipo Integer.

1.10.4 Expresiones y Operadores⁷⁶

Una expresión puede ser una constante numérica, una variable o un único valor obtenido por combinación de constantes, variables, y otras expresiones con los operadores.

Los operadores realizan operaciones matemáticas o lógicas sobre valores. Los operadores proporcionados por Bascom se pueden dividir en cuatro categorías, así:

1. Aritméticos
2. Relacionales
3. Lógicos
4. Funcionales

1.10.4.1 Operadores Aritméticos

Los operadores aritméticos se usan para hacer cálculos. Los operadores aritméticos son + (suma), - (resta), * (multiplicación), \, / y ^.

⁷⁶ BASCOM-AVR user manual, MCS Electronics.

- Integer
División de enteros se señala por la tecla backslash (\).
Ejemplo: $Z = X \setminus Y$
- Módulo aritmético
Módulo aritmético se señala por el operador de módulo MOD. El módulo aritmético proporciona el residuo de una división de enteros.
Ejemplo: $X = 10 \setminus 4$: residuo = $10 \text{ MOD } 4$
- Exceso y división para cero
División para cero produce un error. Al momento no se produce ningún mensaje de error, entonces hay que asegurarse que esto no ocurra.

1.10.4.2 Operadores Relacionales

Los operadores relacionales se utilizan para comparar dos valores tal como se muestra en la tabla siguiente. El resultado puede ser utilizado para tomar una decisión sobre el flujo del programa, la tabla 1.9 muestra los operadores relacionales.

Operador	Relación probada	Expresión
=	Igualdad	$X = Y$
< >	Desigualdad	$X < > Y$
<	Menor que	$X < Y$
>	Mayor que	$X > Y$
<=	Igual o menos que	$X <= Y$
>=	Igual o más que	$X >= Y$

Tabla 1.9. Operadores relacionales de Bascom⁷⁷

1.10.4.3 Operadores Lógicos

Los operadores lógicos realizan pruebas en las relaciones, las manipulaciones de bits, o los operadores booleanos. Hay cuatro operadores lógicos en Bascom que se muestran en la tabla 1.10.

⁷⁷ BASCOM-AVR user manual, MCS Electronics.

Operador	Significado
NOT	Complemento lógico
AND	Conjunción
OR	Disyunción
XOR	OR exclusivo

Tabla 1.10. Operadores lógicos de Bascom⁷⁸

Es posible utilizar operadores lógicos para probar bytes para un patrón de bits particular. Por ejemplo, el operador AND se puede utilizar para enmascarar todos menos uno de los bits de un byte de estado, mientras que OR se puede usar para combinar dos bytes para crear un valor binario particular.

1.10.4.4 Operadores funcionales

Los operadores funcionales son usados como suplementos para operadores simples.

1.10.5 Instrucciones⁷⁹

Una instrucción de BASCOM es "ejecutable" o "no ejecutable". Una instrucción ejecutable promueve el flujo de una lógica de programa ordenándole al programa que hacer a continuación. Las instrucciones no ejecutables realizan tareas tales como asignación de almacenamiento para variables, declarando y definiendo tipos de variables.

Las siguientes instrucciones Bascom son ejemplos de instrucciones no ejecutables:

- REM o (iniciar un comentario)
- Dim

Un "comentario" es una instrucción no ejecutable usada para aclarar el funcionamiento o propósito de un programa. Un comentario es ingresado por la instrucción **REM** o por un carácter ('). Las siguientes líneas son equivalentes:

⁷⁸ BASCOM-AVR user manual, MCS Electronics.

⁷⁹ BASCOM-AVR user manual, MCS Electronics.

PRINT " Quantity remaining" : REM Print report label.

PRINT " Quantity remaining" ' Print report label.

Más de una instrucción Bascom puede ser colocada en una línea, pero deben estar separadas por dos puntos (:), así:

FOR I = 1 **TO** 5 : **PRINT** " Gday, mate." : **NEXT** I

1.10.5.1 Instrucciones básicas

1.10.5.1.1 Directivas⁸⁰

1.10.5.1.1.1 \$regfile

Esta instrucción va siempre al inicio del proyecto a realizar, se encarga de direccionar al respectivo microcontrolador que será utilizado.

Ejemplo:

ATMEGA 48: \$regfile="m48def.dat"

ATMEGA 16: \$regfile="m16def.dat"

1.10.5.1.1.2 \$crystal

Permite especificar la frecuencia de oscilación con la que va a funcionar el microcontrolador.

Ejemplo:

\$crystal = 1000000: para cristales de 1Mhz

\$crystal = 8000000: para cristales de 8Mhz

⁸⁰ APLICACIONES ELECTRÓNICAS CON MICROCONTROLADORES AVR, Ramiro Valencia, Microtel, 2008, página: 12.

1.10.5.1.2 Configuración⁸¹

1.10.5.1.2.1 Config

Especifica la configuración de un pin, un puerto o un dispositivo, ya que pueden ser configurados como entradas o salida de datos.

Ejemplo:

Config PORTB = output:	Declara todo el puerto B como salida.
Config PINA.0 = input:	Pin A.0 como entrada
Config Lcd = 16 * 2	LCD de 16 caracteres y 2 líneas

1.10.5.1.2.2 DDRx, PORTx, PINx

DDR, PORT Y PIN son registros que permiten utilizar el puerto como entrada o salida de datos.

DDR: Configura el pin como entrada o salida de datos.

PORT: Es el registro de salida de datos.

PIN: Es el registro de entrada de datos.

Las siguientes combinaciones, hacen que los pines funciones en configuración especial, como se muestra a continuación:

DDRB.X = 0 : PORTB.X = 0	Entrada alta impedancia
DDRB.X = 0 : PORTB.X = 1	Entrada pull-up
DDRB.X = 1 : PORTB.X = 0	Salida a cero (0L)
DDRB.X = 1 : PORTB.X = 1	Salida a uno (1L)

Es importante recalcar que cuando se configura un puerto como salida, se debe ocupar la palabra PORT y si se lo configura como entrada se usa la palabra PIN.

Ejemplo:

⁸¹ APLICACIONES ELECTRÓNICAS CON MICROCONTROLADORES AVR, Ramiro Valencia, Microtel, 2008, página: 12, 14.

DDRD.7 = 0 : PORTD.7 = 1 : Entrada_1 Alias PIND.7

Pin 7 del puerto D definido como entrada pull-up.

DDRB.0 = 1 : PORTB.0 = 0 : Salida_1 Alias PORTB.0

Pin 0 del puerto B definido como salida a cero.

1.10.5.1.2.3 Alias

Sirve para dar un nombre a un pin o puerto dentro de un proyecto.

Ejemplo:

DDRB.0 = 1 : PORTB.0 = 0 : Foco Alias PORTB.0

Pin 0 del puerto B definido como salida a cero y con nombre *Foco*

1.10.5.1.3 Tipos de Datos ⁸²

1.10.5.1.3.1 Dim

Dimensiona el tipo de variable que se va a utilizar.

Ejemplo:

Dim Dato_1 As Byte Declara Dato_1 como byte.

Dim Dato_2(10) As Byte Declara Dato_2 como una matriz de bytes de 10 elementos.

Dim Dato_3 As String *10 Declara Dato_3 como una String de 10 elementos.

Dim Dato_4 As Word At \$100 Declara Dato_4 como una Word ubicados en la dirección 100 de la memoria.

⁸² APLICACIONES ELECTRÓNICAS CON MICROCONTROLADORES AVR, Ramiro Valencia, Microtel, 2008, página: 13.

Dim Dato_5(2) As Byte At \$100 Declara Dato_5 en la misma dirección de la memoria de Dato_4.

1.10.5.1.4 Manipulación de Bits⁸³

1.10.5.1.4.1 Toggle

Esta instrucción sirve para complementar el estado anterior de alguna variable o pin de algún puerto.

Ejemplo:

Toggle PORTB.0 Complementa PORTB.0

1.10.5.1.5 Instrucciones de Uso General⁸⁴

1.10.5.1.5.1 Wait, waitms, waitus

Suspende la ejecución del programa por un tiempo determinado, ya sea en segundos, milisegundos y microsegundos respectivamente.

Ejemplo:

Wait 3: Espera 3 segundos
 Waitms 700: Espera 700 milisegundos
 Waitus 500: Espera 500 microsegundos

1.10.5.1.5.2 Const

Declara una constante simbólica

Ejemplo:

Const S = "test" declara una constante con nombre S y valor "test"
 Const A = 5 declara una constante con nombre A y valor 5

⁸³ APLICACIONES ELECTRÓNICAS CON MICROCONTROLADORES AVR, Ramiro Valencia, Microtel, 2008, página: 13.

⁸⁴ BASCOM-AVR user manual, MCS Electronics.

Const B1 = &B1001 declara una constante con nombre B1 con dirección B1001

1.10.5.1.5.3 Incr

Incrementa en 1 el valor de una variable.

Ejemplo:

Dim A As byte

Incr A

1.10.5.1.5.4 Decr

Decrementa en 1 el valor de una variable.

Ejemplo:

Dim A As byte

Decr A

1.10.5.1.6 Instrucciones de estructura y condicionales⁸⁵

1.10.5.1.6.1 Do – Loop

Repite un bloque de instrucciones hasta que una condición sea verdadera.

Sintaxis:

DO

 sentencias

LOOP [UNTIL expresión]

Observaciones:

- Se puede salir de una DO...LOOP con la instrucción Exit Do.
- La DO-LOOP siempre se realiza al menos una vez en el proyecto.
- La parte principal del código se ejecuta dentro de un DO.. LOOP.

⁸⁵ BASCOM-AVR user manual, MCS Electronics.

Ejemplo:

```
$regfile = "m48def.dat"    ' se especifica el micro usado
$crystal = 4000000        ' frecuencia de cristal utilizado
```

```
Dim A As Byte
```

```
A = 1                    'asignar una variable
```

```
Do                      'comenzar un do..loop
```

```
    Incr A                'incrementar en uno
```

```
Loop Until A = 10      'do hasta que A sea igual a 10
```

'Se puede hacer un do loop (bucle) infinito de la siguiente manera:

```
Do
```

```
    'código aquí
```

```
Loop
```

1.10.5.1.6.2 If - Then - Else – End If

Permite la ejecución condicional o de ramificación, con base en la evaluación de una expresión booleana.

Sintaxis:

```
If expresión Then
```

```
    [ Elseif expresión Then ]
```

```
    [ Else ]
```

```
End if
```

Observaciones:

- La versión de una línea de If se puede utilizar así:
If expresión Then instrucción [Else instrucción]
- El uso de [Else] es opcional.
- If var.bit = 1 Then

^--- bit es una variable o constante numérica que oscila entre 0 y 255.

- Se puede usar OR o AND para probar condiciones múltiples. Las condiciones son evaluadas desde la izquierda hacia la derecha.

Ejemplo:

```
Dim A As Integer
```

```
A = 10
```

```
If A = 10 Then                                'Expresión de prueba
```

```
    Incr A
```

```
Else
```

```
    Decr A
```

```
End If
```

```
If A = 10 Then Incr A
```

```
If A = 10 Then A = 0
```

1.10.5.1.6.3 Exit

Permite salir de un FOR..NEXT, DO..LOOP , WHILE ..WEND, SUB..END SUB o FUNCTION..END FUNCTION.

Sintaxis:

```
Exit FOR
```

```
Exit DO
```

```
Exit WHILE
```

```
Exit SUB
```

```
Exit FUNCTION
```

Observaciones:

Con la instrucción Exit puede salir de una estructura en cualquier momento.

Ejemplo:

```
Dim B1 As Byte , A As Byte
```

```
B1 = 50                                'Asigna variable
```

```
For A = 1 To 100                        'Lazo for-next
```

```

    If A = B1 Then          'decisión
        Exit For          'Salir del bucle
    End If
Next
A = 1
Do
    Incr A
    If A = 10 Then
        Exit Do
    End If
Loop

```

1.10.5.1.6.4 For – Next

Ejecuta un bloque de instrucciones un número de veces.

Sintaxis:

For *variable* = *condición_inicio* **to** *condición_fin* [**Step** *valor*]

Observaciones:

- Para bucles incrementales, se debe utilizar **To**.
- Para bucles decrementales, debe utilizar un tamaño de paso negativo.
- Se debe terminar una estructura For con la sentencia Next.
- El uso de Step es opcional. Se usa el valor de 1 por defecto.
- Cuando se sabe de antemano cuántas veces debe ser ejecutado un bloque de código, es conveniente usar el bucle For .. Next.
- Es importante que el si utiliza variables de inicio y fin, que se trata del mismo tipo de datos.

Ejemplo:

```
Dim A As Byte , B1 As Byte , C As Integer
```

```
For A = 1 To 10 Step 2
```

```

        B1 = B1 + 1
Next A
For C = 10 To -5 Step -1
    A = A + 1
Next
For A = 1 To 10
    For B1 = 1 To 10
        Next
    Next A

```

1.10.5.1.6.5 Select – Case – End Select

Ejecuta uno de varios bloques de instrucciones dependiendo del valor de una expresión.

Sintaxis:

```

Select Case variable
    Case test1 : instrucciones
    [Case test2 : instrucciones ]
Case Else : instrucciones
End Select

```

Observaciones:

- Se puede evaluar condiciones como: CASE IS > 2
- Otra opción es evaluar un rango: CASE 2 TO 5

Ejemplo:

```

Dim A As Byte, B as Byte
Do
    Select Case A
        Case 1 : B = 1
        Case 2 : B = 2

```


1.10.5.2 Instrucciones de manejo de LCD⁸⁶

1.10.5.2.1 Config Lcd

Sirve para configurar el tipo de LCD que se va a utilizar, puede ser de 16 caracteres por 2 líneas (16x2), de 20 caracteres por 4 líneas (20x4), etc.

Ejemplo:

Config lcd = 16*2 'Lcd de 16x2

1.10.5.2.2 Config Lcdpin

Configurar los pines por los cuales se va a manejar la información a mostrar en el lcd.

Ejemplo:

Config Lcdpin = Pin , Rs = Portc.7 , E = Portc.6 , Db4 = Portc.5 , Db5 = Portc.4 , Db6 = Portc.3 , Db7 = Portc.2

1.10.5.2.3 Lcd ""

Escribe cualquier frase en el lcd, sin importar la localización del cursor.

Ejemplo:

Lcd "HOLA"

1.10.5.2.4 Locate x,y

Localiza el cursor en la línea y columna adecuada, para empezar a escribir en el lcd.

Ejemplo:

Locate 1 , 1 (Ubica el cursor en la fila 1, columna 1)

⁸⁶ APLICACIONES ELECTRÓNICAS CON MICROCONTROLADORES AVR, Ramiro Valencia, Microtel, 2008, página: 34-35.

1.10.5.3 Instrucciones de comunicación I²C⁸⁷

1.10.5.3.1 I2start, I2Cstop, I2Crbyte, I2Cwbyte, I2Crepstart

Acción:

I2cstart genera una condición de inicio I2C.

I2crepstart genera una condición repetida de inicio I2C.

I2Cstop genera una condición de fin I2C.

I2Crbyte recibe un byte de un dispositivo I2C.

I2Cwbyte envía un byte hacia un dispositivo I2C.

Sintaxis:

I2Cstart

I2Crepstart

I2Cstop

I2Crbyte *variable1*, ack/nack

I2Cwbyte *variable2*

ack/nack.- Se especifica ACK si hay más bytes para leer. Se especifica NACK si es el último byte que se lee.

Ejemplo:

Config Scl = Portb.4 'Configuración de pin para línea SCL de I²C

Config Sda = Portb.5 'Configuración de pin para línea SDA de I²C

Const Addressw = 174 'dirección de escritura del esclavo

Const Addressr = 175 'dirección de lectura del esclavo

Dim B1 As Byte , Adres As Byte , Value As Byte

'ejemplo de escritura de un byte en una EEPROM AT2404

⁸⁷ BASCOM-AVR user manual, MCS Electronics.

I2cstart	'condición de inicio
I2cwbyte Addressw	'dirección de esclavo
I2cwbyte Address	'dirección de la EEPROM
I2cwbyte Value	'valor a escribir
I2cstop	'condición de fin

'ejemplo de lectura de un byte de una EEPROM AT2404

I2cstart	'generar inicio
I2cwbyte Addressw	'dirección de esclavo
I2cwbyte Adres	'dirección de la EEPROM
I2cstart	'inicio repetido
I2cwbyte Addressr	'dirección del esclavo (lectura)
I2crbyte Value , Nack	'lectura de byte
I2cstop	

1.10.5.4 Instrucciones de conversión análoga a digital⁸⁸

1.10.5.4.1 Getadc

Recupera el valor analógico del canal especificado.

Sintaxis:

variable = Getadc(*canal*)

canal.- Es el canal a medir. Podría ser superior a 7 en algunos chips. El Mega2560 tiene 16 canales. Entonces el rango es 0-15 en el Mega2560.

Observaciones:

- La función GETADC() sólo funcionará en microprocesadores que tienen un convertidor A/D. Los pines de la entrada de convertidor A/D se puede utilizar para E/S digitales también. Pero es importante que no hay conmutación de E/S se realiza mientras se utiliza el convertidor A/D.

⁸⁸ BASCOM-AVR user manual, MCS Electronics.

- Es necesario asegurarse encender el convertidor AD con la sentencia **Start adc** o estableciendo el bit apropiado en el registro de configuración del ADC.
- La función GETADC() devuelve una variable *word* desde que los registros de datos del convertidor A/D constan de 2 registros. La resolución depende del chip.

Ejemplo:

'configurar en modo simple y auto ajuste prescaler

'el modo simple debe ser utilizado con la función GETADC()

'el prescaler divide el reloj interno por 2,4,8,16,32,64 o 128

'debido a que el ADC necesita un reloj 50 a 200 KHz

'la función AUTO, se seleccionará el más alto posible clockrate

Config Adc = Single , Prescaler = Auto

'Ahora dar energía al chip

Start Adc

'Con STOP ADC, se puede quitar la energía del chip

'Stop Adc

Dim W As Word , Channel As Byte

Channel = 0

'ahora lee el valor A/D desde el canal 0

Do

 W = Getadc(channel)

 Lcd "Channel" : Lcd Channel : Lcd "value" : Lcd W

Loop

CAPÍTULO 2

2 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

2.1 Obtención de datos de la posición del Sol

En la sección 1.2.5 se citan las hojas de cálculo de las cuales se obtienen las coordenadas de la posición del Sol en un instante determinado, estas coordenadas son los ángulos de elevación solar, acimut solar y declinación solar.

Con la hoja de cálculo “*NOAA_Solar_Calculations_day.xls*” se obtienen los ángulos de elevación solar y acimut solar para varios instantes durante un día determinado.

Con la hoja de cálculo “*NOAA_Solar_Calculations_year.xls*” se obtiene el ángulo de declinación solar para varias fechas durante un año determinado.

La implementación de un programa para el microcontrolador usando directamente estas coordenadas requeriría un programa muy extenso, por consiguiente un microcontrolador con una memoria de programa más grande, razón por la cual para la hoja de cálculo “*NOAA_Solar_Calculations_day.xls*” se realizaron cálculos adicionales los cuales se explican en las siguientes secciones.

2.1.1 Posición del Sol para el movimiento diario

La hoja de cálculo “*NOAA_Solar_Calculations_day.xls*” contiene celdas donde se ingresan datos y otras donde se obtienen los resultados (a partir de los datos ingresados) de la posición del Sol durante un día determinado.

2.1.1.1 Ingreso de datos

La tabla 2.1 muestra las celdas donde se ingresan los datos a partir de los cuales la hoja realiza los cálculos para determinar la posición del Sol a una hora determinada:

Latitude (+ to N)	40
Longitude (+ to E)	-105
Time Zone (+ to E)	-6
Date	21/06/2010

Tabla 2.1. Ingreso de localización, zona horaria y fecha para las hojas de cálculo⁸⁹

En los campos de la tabla 2.1 se ingresan los datos de localización, zona horaria y la fecha. En Quito (localización geográfica de la Escuela Politécnica Nacional) se tiene una localización y zona horaria con los siguientes datos⁹⁰:

- Latitud: -0,21
- Longitud: -78,48
- Zona horaria: -5 (Zona Horaria de Ecuador continental)

La tabla 2.2 muestra las celdas donde en cada una de ellas se ingresa una hora específica a la que se determina la posición del Sol.

Time (past local midnight)
0:06:00
0:12:00

Tabla 2.2. Ingreso de la hora para la hoja de cálculo "NOAA_Solar_Calculations_day.xls"⁹¹

2.1.1.2 Análisis de Resultados de la hoja de cálculo "NOAA_Solar_Calculations_day.xls"

Existen muchas columnas de resultados de las cuales son relevantes (para este proyecto) las siguientes:

- **Solar Elevation Angle (deg) (\hat{H})** (Ángulo de elevación solar)
- **Solar Azimuth Angle (deg cw from N) (\hat{A})** (Ángulo de acimut solar)

La figura 2.1 muestra las coordenadas de la posición del Sol.

⁸⁹ http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/NOAA_Solar_Calculations_day.xls

⁹⁰ <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/>

⁹¹ http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/NOAA_Solar_Calculations_day.xls

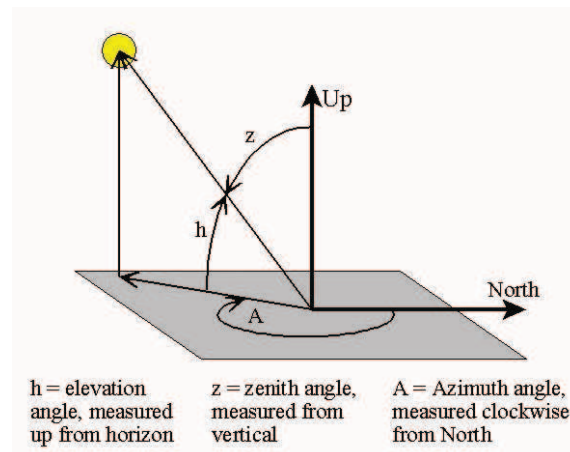


Figura 2.1. Coordenadas de la posición del Sol⁹²

Se analizan estos ángulos en cada uno de los cuatro cuadrantes del plano horizontal y se proyecta la posición del Sol sobre el Plano Ecuatorial para obtener un ángulo adicional que se denomina H' el cual se utilizará en el programa para el microcontrolador.

2.1.1.2.1 Análisis del 1^{er} cuadrante del plano horizontal

La figura 2.2 muestra la posición del Sol en el primer cuadrante, esto corresponde aproximadamente a horas entre las 6:15 y las 12:15, las fechas entre el 18 de marzo y 18 de septiembre (en promedio se tiene estas horas y fechas).

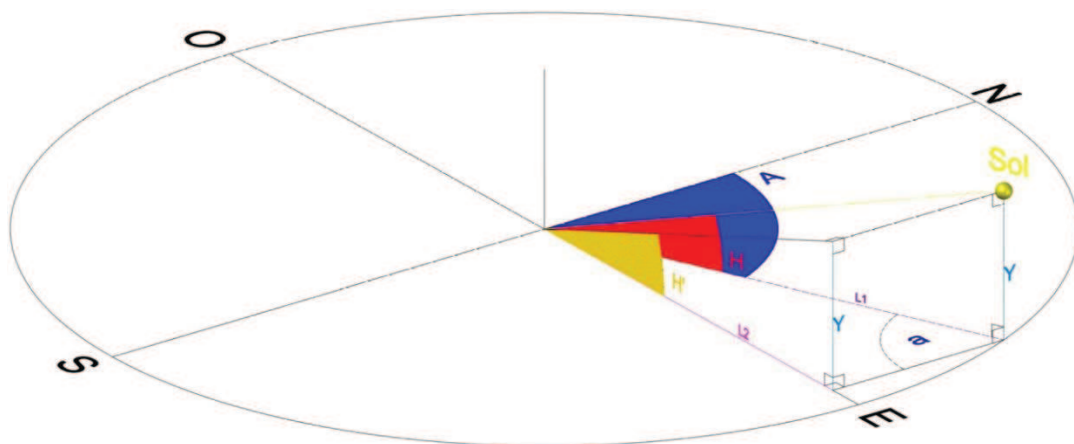


Figura 2.2. Coordenadas solares para el primer cuadrante de plano horizontal

⁹² <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/azelzen.gif>

Se realiza el siguiente cálculo para determinar el ángulo H' en función de los ángulos elevación solar H y acimut solar A :

$$\text{i.} \quad \tan(\widehat{H}') = \frac{Y}{L2}$$

$$\text{ii.} \quad \tan(\widehat{H}) = \frac{Y}{L1}$$

$$\text{iii.} \quad \text{sen}(\widehat{\alpha}) = \frac{L2}{L1}$$

$$\text{i, ii, iii} \rightarrow L1 * \text{sen}(\widehat{\alpha}) \tan(\widehat{H}') = L1 * \tan(\widehat{H})$$

$$\widehat{H}' = \tan^{-1} \left(\frac{\tan(\widehat{H})}{\text{sen}(\widehat{\alpha})} \right)$$

$$\widehat{\alpha} = \widehat{A}$$

2.1.1.2.2 Análisis del 2^{do} cuadrante del plano horizontal

La figura 2.3 muestra la posición del Sol en el primer cuadrante, esto corresponde aproximadamente a horas entre las 6:15 y las 12:15, las fechas entre el 18 de septiembre y 18 de marzo (en promedio se tiene estas horas y fechas).

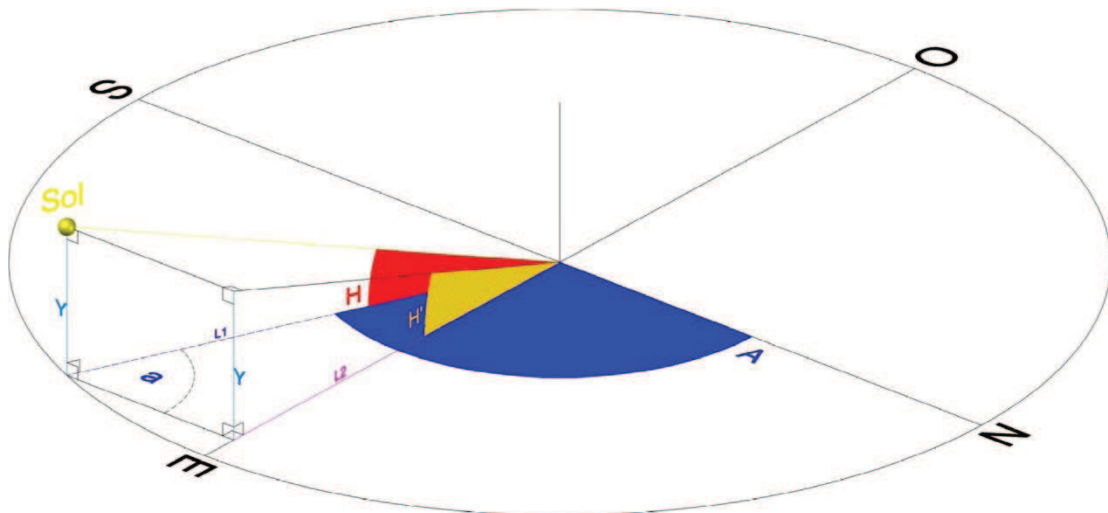


Figura 2.3. Coordenadas solares para el segundo cuadrante de plano horizontal

Se realiza el siguiente cálculo para determinar el ángulo H' en función de los ángulos elevación solar H y acimut solar A :

$$\text{i. } \tan(\widehat{H}') = \frac{Y}{L2}$$

$$\text{ii. } \tan(\widehat{H}) = \frac{Y}{L1}$$

$$\text{iii. } \text{sen}(\widehat{a}) = \frac{L2}{L1}$$

$$\text{i, ii, iii} \rightarrow L1 * \text{sen}(\widehat{A}) \tan(\widehat{H}') = L1 * \tan(\widehat{H})$$

$$\widehat{H}' = \tan^{-1} \left(\frac{\tan(\widehat{H})}{\text{sen}(\widehat{a})} \right)$$

$$\widehat{a} = 180^\circ - \widehat{A}$$

2.1.1.2.3 Análisis del 3^{er} cuadrante del plano horizontal

La figura 2.4 muestra la posición del Sol en el primer cuadrante, esto corresponde aproximadamente a horas entre las 12:15 y las 18:15, las fechas entre el 18 de septiembre y 18 de marzo (en promedio se tiene estas horas y fechas).

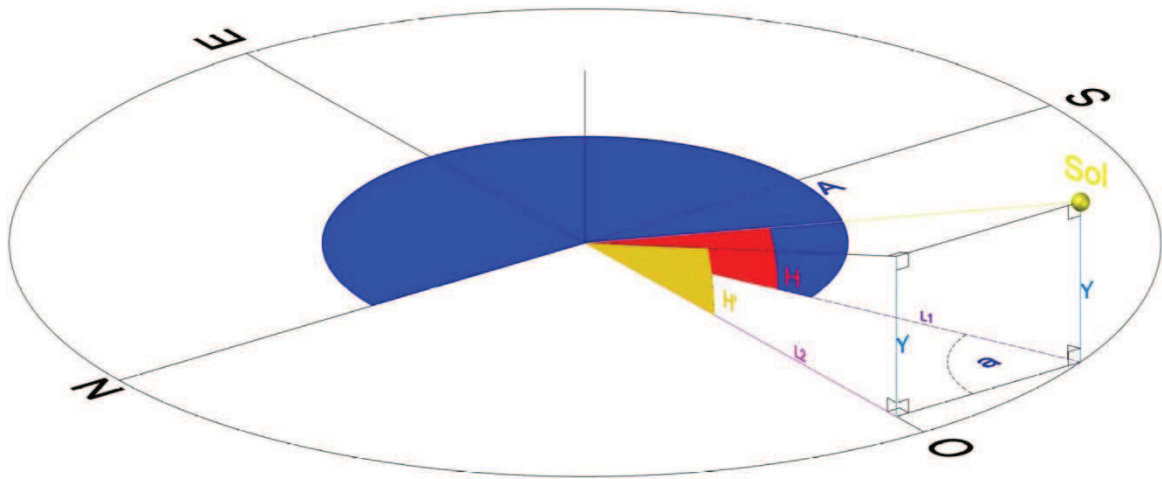


Figura 2.4. Coordenadas solares para el tercer cuadrante de plano horizontal

Se realiza el siguiente cálculo para determinar el ángulo H' en función de los ángulos elevación solar H y acimut solar A:

$$\text{i. } \tan(\widehat{H}') = \frac{Y}{L2}$$

$$\text{ii. } \tan(\widehat{H}) = \frac{Y}{L1}$$

$$\text{iii.} \quad \text{sen}(\hat{\alpha}) = \frac{L2}{L1}$$

$$\text{i, ii, iii} \rightarrow L1 * \text{sen}(\hat{A}) \tan(\hat{H}') = L1 * \tan(\hat{H})$$

$$\hat{H}' = \tan^{-1} \left(\frac{\tan(\hat{H})}{\text{sen}(\hat{\alpha})} \right)$$

$$\hat{\alpha} = \hat{A} - 180^\circ$$

2.1.1.2.4 Análisis del 4^{to} cuadrante del plano horizontal

La figura 2.5 muestra la posición del Sol en el primer cuadrante, esto corresponde aproximadamente a horas entre las 12:15 y las 18:15, las fechas entre el 18 de marzo y 18 de septiembre (en promedio se tiene estas horas y fechas).

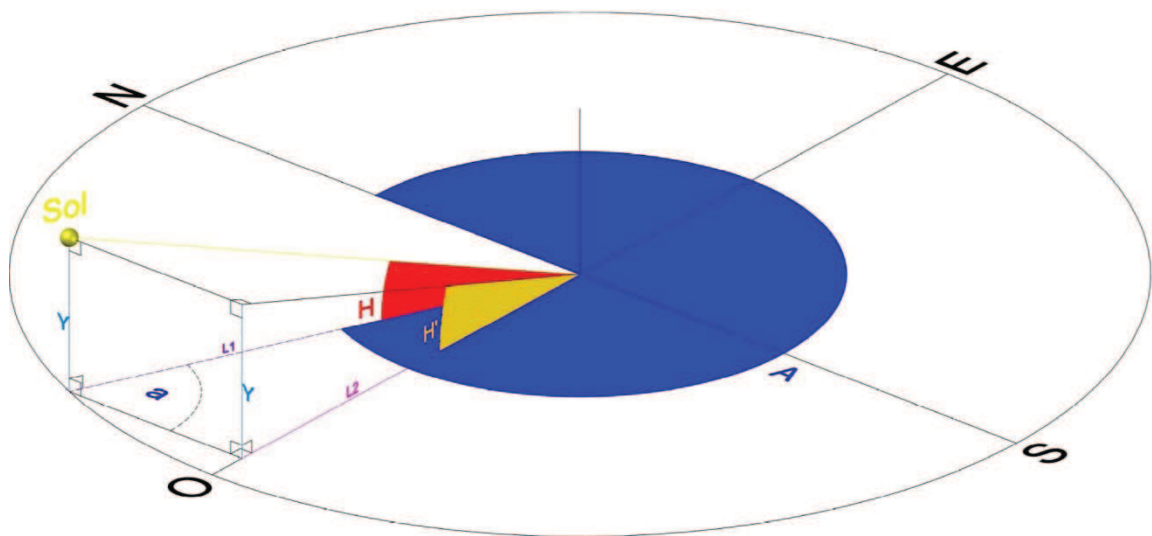


Figura 2.5. Coordenadas solares para el cuarto cuadrante de plano horizontal

Se realiza el siguiente cálculo para determinar el ángulo H' en función de los ángulos elevación solar H y acimut solar A :

$$\text{i.} \quad \tan(\hat{H}') = \frac{Y}{L2}$$

$$\text{ii.} \quad \tan(\hat{H}) = \frac{Y}{L1}$$

$$\text{iii.} \quad \text{sen}(\hat{\alpha}) = \frac{L2}{L1}$$

$$i, ii, iii \rightarrow L1 * \text{sen}(\hat{A}) \tan(\hat{H}') = L1 * \tan(\hat{H})$$

$$\hat{H}' = \tan^{-1} \left(\frac{\tan(\hat{H})}{\text{sen}(\hat{a})} \right)$$

$$\hat{a} = 360^\circ - \hat{A}$$

2.1.1.2.5 Conclusiones de los análisis de las coordenadas solares en el plano horizontal

Es necesario el cálculo de un ángulo H' cuyos valores se usarán en el programa para el microcontrolador, la ecuación para el cálculo del ángulo H' es:

ecuación 1
$$\hat{H}' = \tan^{-1} \left(\frac{\tan(\hat{H})}{\text{sen}(\hat{a})} \right)$$

Esta ecuación está en función del *ángulo de elevación solar H* y del *ángulo a* cuyo valor depende de las siguientes condiciones:

- a) Si la hora es entre las 6:15 y las 12:15 y las fechas son entre el 18 de marzo y 18 de septiembre:

$$\hat{a} = \hat{A}$$

- b) Si la hora es entre las 6:15 y las 12:15 y las fechas son entre el 18 de septiembre y 18 de marzo:

$$\hat{a} = 180^\circ - \hat{A}$$

- c) Si la hora es entre las 12:15 y las 18:15 y las fechas son entre el 18 de septiembre y 18 de marzo:

$$\hat{a} = \hat{A} - 180^\circ$$

- d) Si la hora es entre las 12:15 y las 18:15 y las fechas son entre el 18 de marzo y 18 de septiembre:

$$\hat{a} = 360^\circ - \hat{A}$$

Con estas condiciones y la ecuación 1 se puede obtener el ángulo H' en función de los ángulos: elevación solar y acimut solar.

2.1.1.2.6 Implementación en la hoja de cálculo

Se usa varias columnas para escribir las fórmulas de Excel y realizar los cálculos adicionales: en una de las columnas se escriben las condiciones para obtener el ángulo α y otra para aplicar la ecuación de obtención del ángulo H' en función de los ángulos: elevación solar y acimut solar. Por último una columna para redondear el resultado del ángulo H' en grados. La tabla 2.3 muestra un ejemplo con las columnas añadidas para los cálculos adicionales:

Ingreso de datos		Coordenadas de la posición solar			Columnas añadidas para cálculos adicionales			
NOAA Solar Calculations - Change any of the highlighted cells to get solar position data for that location and date.		Time (past local midnight)	Solar Elevation Angle (deg)	Solar Azimuth Angle (deg cw from N)	Ángulo α (grados)	Ángulo H' (grados)	Redondeo de H' (grados)	Variación de H' (grados)
		6:15:00	1,112	113,3	66,61	1,211	1	
Latitude (+ to N)	-0,21	7:15:00	14,84	114,1	65,81	16,20	16	14,99
Longitude (+ to E)	-78,48	8:15:00	28,40	116,7	63,29	31,18	31	14,98
Time Zone (+ to E)	-5	9:15:00	41,51	121,8	58,19	46,16	46	14,98
		10:15:00	53,60	131,6	48,38	61,14	61	14,97
Date	18/12/2014	11:15:00	63,17	150,7	29,25	76,11	76	14,97
		12:15:00	66,79	182,5	-2,539	-88,91	-89	-165,0
		13:15:00	62,04	212,8	32,84	73,94	74	162,8
		14:15:00	51,95	230,2	50,23	58,96	59	-14,97
		15:15:00	39,65	239,1	59,15	43,99	44	-14,97
		16:15:00	26,45	243,7	63,78	29,01	29	-14,98
		17:15:00	12,85	246,0	66,01	14,02	14	-14,98
		18:15:00	-0,88	246,5	66,59	-0,968	-1	-14,99

Tabla 2.3. Ejemplo de cálculos de coordenadas solares con columnas añadidas

Después de ingresar varios datos de horas se puede observar que cada hora hay una variación de aproximadamente 15° en el ángulo H' , dicha variación es suficientemente pequeña para que el seguimiento del Sol sea eficiente y suficientemente grande como para que no sea necesario usar un motor DC con velocidad de giro demasiado lenta (ya que los motoredutores con velocidades muy

bajas son muy costosos), entonces el movimiento diario del panel fotovoltaico es cada hora.

Las horas escogidas para el seguimiento del Sol son: 6:15; 7:15; 8:15; 9:15; 10:15; 11:15; 12:15; 13:15; 14:15; 15:15; 16:15 y 17:15, debido a que luego de ingresar varias horas se observa que en promedio durante muchos días a las 12:15 el Sol se encuentra con un ángulo de elevación solar máximo y por consiguiente el ángulo H' es prácticamente 90° .

2.1.1.2.7 Obtención de resultados definitivos para el movimiento diario

Una vez realizados los cambios en la hoja de cálculo se ingresan las horas escogidas y se obtienen las coordenadas solares para varias fechas a lo largo de un año (en este caso el año 2014), luego se calcula el promedio de todas las fechas correspondientes a cada hora y se obtienen los resultados con los que se implementará el programa. Los resultados se muestran en la tabla 2.4:

HORA	Valores para el ángulo H'												Promedio de ángulo H'
	18-ene-14	18-feb-14	18-mar-14	18-abr-14	18-may-14	18-jun-14	18-jul-14	18-ago-14	18-sep-14	18-oct-14	18-nov-14	18-dic-14	
6:15:00	-2	-3	-2	0	1	0	-1	-1	2	4	4	1	0
7:15:00	13	12	13	15	16	15	14	14	17	19	19	16	15
8:15:00	28	27	28	30	31	30	29	29	32	34	34	31	30
9:15:00	43	42	43	45	46	45	44	44	47	49	49	46	45
10:15:00	58	57	58	60	61	60	59	59	62	64	64	61	60
11:15:00	73	72	73	75	76	75	74	74	77	79	79	76	75
12:15:00	88	87	88	90	89	90	89	89	88	86	86	89	88 ≈ 90
13:15:00	77	78	77	75	74	75	76	76	73	71	71	74	75
14:15:00	62	63	62	60	59	60	61	61	58	56	56	59	60
15:15:00	47	48	47	45	44	45	46	46	43	41	41	44	45
16:15:00	32	33	32	30	29	30	31	31	28	26	26	29	30
17:15:00	17	18	17	15	14	15	16	16	13	11	11	14	15
18:15:00	2	3	2	0	-1	0	1	1	-2	-4	-4	-1	0

Tabla 2.4. Resultados del ángulo H'

Hay que tomar en cuenta que el ángulo H' está medido desde el Este hasta la proyección de la posición del Sol en el plano ecuatorial entre las horas 6:15 y 12:15 y desde el Oeste hasta la proyección de la posición del Sol en el plano ecuatorial entre las horas 12:16 hasta las 18:15 para cualquier fecha.

2.1.2 Posición del Sol para el movimiento anual

La hoja de cálculo “NOAA_Solar_Calculations_year.xls” contiene celdas donde se ingresan datos y otras donde se obtienen los resultados (a partir de los datos ingresados) de la posición del Sol durante un año determinado.

2.1.2.1 Ingreso de datos

La tabla 2.5 muestra las celdas donde se ingresan los datos a partir de los cuales la hoja realiza los cálculos para determinar la posición del Sol a una hora determinada durante varios días del año ingresado:

Latitude (+ to N)	-0,21
Longitude (+ to E)	-78,48
Time Zone (+ to E)	-5
Local Time (hrs)	12:15:00
Year	2014

Tabla 2.5. Ingreso de datos para la hoja de cálculo “NOAA_Solar_Calculations_year.xls”⁹³

En cada celda de la tabla 2.6 muestra se ingresa la fecha en la cual se calculará la posición solar correspondiente.

Date
01/01/2010
02/01/2010

Tabla 2.6. Ingreso de fecha para la hoja de cálculo “NOAA_Solar_Calculations_year.xls”⁹⁴

⁹³ http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/NOAA_Solar_Calculations_year.xls

⁹⁴ http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/NOAA_Solar_Calculations_year.xls

2.1.2.2 Análisis de Resultados de la hoja de cálculo “NOAA_Solar_Calculations_year.xls”

De todos los resultados que se obtienen en esta hoja de cálculo el único relevante (para este proyecto) es el ángulo de declinación solar, el mismo que se obtiene directamente de la hoja para utilizar en el programa.

Las fechas escogidas son el 18 de cada mes debido a que luego de ingresar varias fechas en varios años se observa que en promedio durante el año, el 18 de marzo y el 18 de septiembre se tienen declinaciones de 0°, es decir, en estas fechas se tienen los equinoccios.

2.1.2.3 Obtención de resultados definitivos para el movimiento diario

Una vez que se ingresan las fechas escogidas y se obtienen los valores del ángulo de declinación solar para cada fecha en varios años (del siglo XXI). Se calcula el promedio de todos los valores del ángulo de declinación solar para cada fecha y se obtienen los valores definitivos con los que se implementará el programa. Los valores definitivos se muestran en la tabla 2.7:

Fecha	Valores del ángulo de declinación solar											
	Año										PROMEDIO	
	2013	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2099		
18-ene	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20
18-feb	-10	-11	-11	-11	-10	-11	-10	-11	-10	-10	-10	-11
18-mar	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
18-abr	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
18-may	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
18-jun	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
18-jul	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
18-ago	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
18-sep	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
18-oct	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11	-11
18-nov	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20
18-dic	-23	-23	-23	-23	-23	-23	-23	-23	-23	-23	-23	-23

Tabla 2.7. Resultados del ángulo de declinación solar

2.2 Construcción de la estructura mecánica

La estructura mecánica sirve para sostener el panel fotovoltaico en la posición adecuada, además el movimiento del panel se efectúa por medio de motores DC que están sujetos a esta estructura.

El seguimiento del Sol requiere que haya movimiento en dos direcciones una para el movimiento diario y otra para el movimiento anual, por consiguiente se necesitan dos motores para mover el panel fotovoltaico, uno para cada movimiento.

2.2.1 Descripción del movimiento diario

El movimiento diario lo ejecuta un motor DC, el mismo que tiene adaptado un eje alrededor del cual se enrolla o desenrolla un cable que jala o afloja un extremo del panel fotovoltaico haciendo que éste gire.

El extremo está alargado mediante un fragmento de perfil de aluminio que se ha colocado con propósito de hacer que el giro del panel sea lo más lento posible, esto para conseguir mayor precisión al momento de ubicar la orientación del panel en el ángulo correcto, entonces cuando el cable se enrolla en el eje del motor, jala de este extremo.

El extremo opuesto tiene acoplado otro fragmento de perfil de aluminio al cual se sujeta un peso que hace que el panel gire cuando el cable se está desenrollando del eje del motor.

Además se han colocado dos resortes los cuales cumplen tareas diferentes. El primero (resorte 1) cumple la tarea de empujar el panel hasta un ángulo desde el cual el peso colocado en el extremo opuesto cumpla con su objetivo. El otro resorte (resorte 2) sirve para sostener el panel en el lado opuesto (en caso de ser necesario), razón por la cual la constante elástica de este resorte es menor que la constante del anterior.

En la figura 2.6 se puede observar las partes descritas anteriormente:

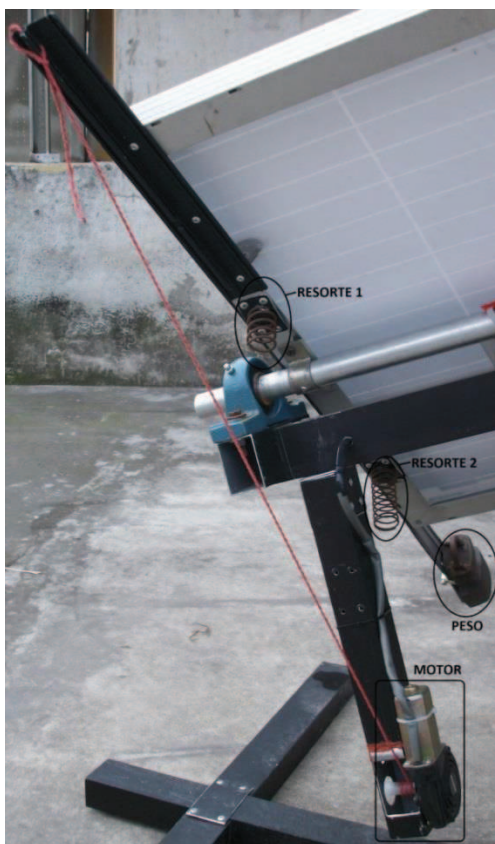


Figura 2.6. Construcción del sistema mecánico para el movimiento diario

2.2.2 Descripción del movimiento anual

El movimiento anual lo realiza una gata para vehículos que tiene incorporado un motor DC de 12V, este movimiento requiere de una declinación máxima de $23,4^\circ$ y mínima de $-23,4^\circ$. Hay que tomar en cuenta que la distancia máxima de elevación de la gata es 24 cm. Debido a esto la ubicación de la gata debe estar a una distancia máxima del pivote para garantizar que la orientación del panel fotovoltaico pueda alcanzar los ángulos anteriormente mencionados, a continuación se realiza el cálculo de la distancia máxima de la gata al pivote:

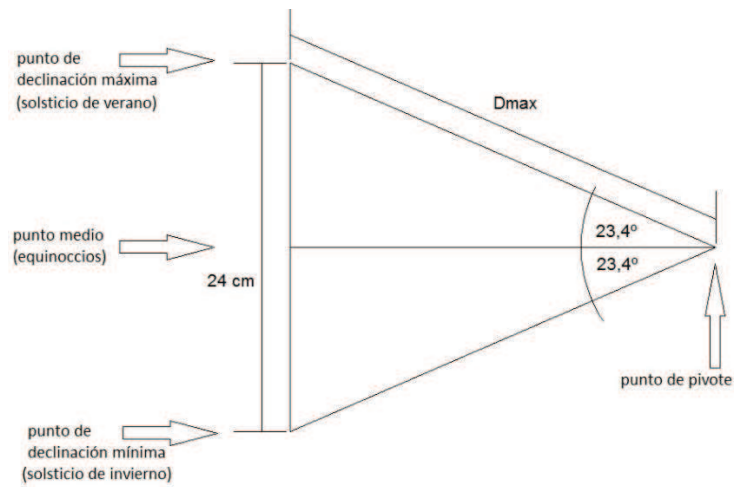


Figura 2.7. Diagrama de distancia máxima entre la gata y punto de pivote

$$D_{max} = \frac{12}{\text{sen}(23,4^\circ)}$$

$$D_{max} = 30,2 \text{ [cm]}$$

Así entonces la distancia a la que se ubica la gata es a 29 cm del pivote con lo que se garantiza que el panel fotovoltaico pueda alcanzar los ángulos necesarios, la figura 2.8 muestra la ubicación de la gata:

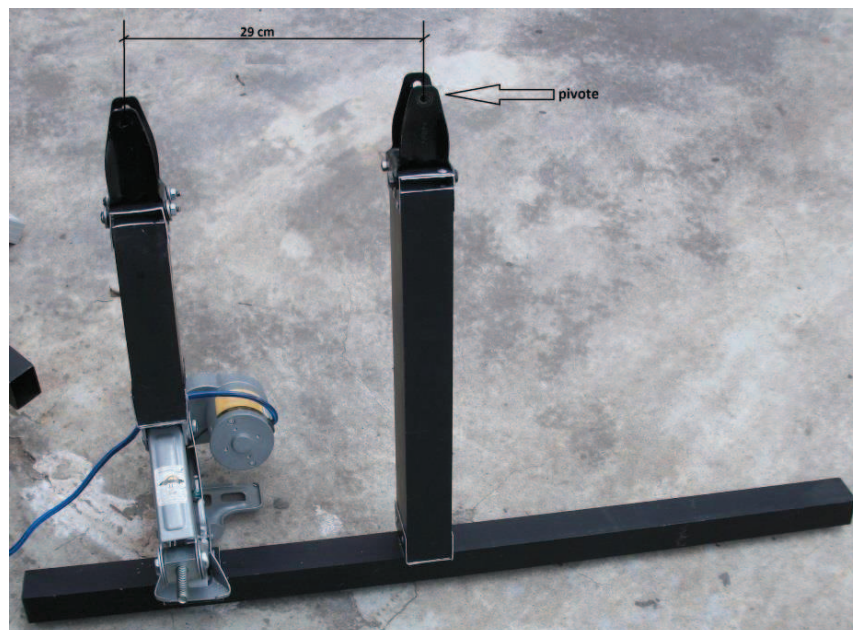


Figura 2.8. Construcción del sistema mecánico para el movimiento anual

2.2.3 Ensamblaje de la estructura mecánica

Una característica importante que hay que mencionar es que el panel debe tener un direccionamiento hacia el Norte como se indica en la figura 2.9 para efectuar los movimientos diario y anual correctamente.



Figura 2.9. Estructura mecánica terminada

2.3 Descripción del sistema fotovoltaico

De todos los elementos de un sistema fotovoltaico convencional, el sistema fotovoltaico de este proyecto no toma en cuenta un inversor o convertidor de corriente continua a corriente alterna ya que se usará la energía proveniente de la batería de plomo-ácido directamente en iluminación LED con voltaje nominal de 12 voltios.

El sistema fotovoltaico de este proyecto consta de los siguientes dispositivos:

- Panel fotovoltaico EXMORK 50P.
- Regulador de carga Morningstar SHS-10.
- Batería de plomo-ácido de 12 V.

- Iluminación LED (como dispositivo de consumo).

La figura 2.10 muestra los dispositivos del sistema fotovoltaico, excepto la luminaria LED la misma que se hará a partir de una baquelita y diodos LED.



Figura 2.10. Dispositivos del sistema fotovoltaico

2.3.1 Panel fotovoltaico EXMORK 50P

El panel fotovoltaico está formado por células de silicio policristalino encapsuladas en una base de acetato con fluoruro de polivinilo con una cubierta de vidrio templado para protección de condiciones ambientales.

El panel también consta de una caja de conexiones en la parte trasera como se muestra en la figura 2.11, la cual tiene protecciones (diodos) contra cortocircuito de los terminales del panel.

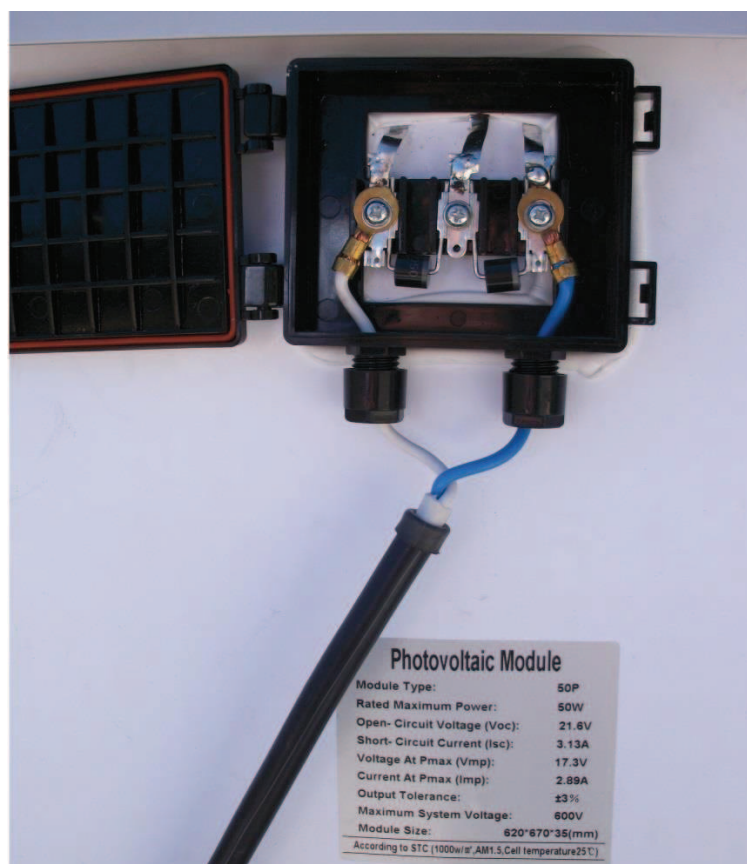


Figura 2.11. Caja de conexiones del panel fotovoltaico.

La tabla 2.8 muestra las especificaciones técnicas del panel fotovoltaico:

PARÁMETROS	VALOR
Potencia máxima (watt) W	50
Tolerancia de potencia	+3% /-3%
Voltaje óptimo (Vmp) V	17.5V
Corriente óptima (Imp) A	2.86A
Voltaje máximo (Voc) V	22.0V
Corriente máxima (Isc) A	3.07A
Dimensiones	670*620*35mm
Voltaje máxima externa permitida	600V
Eficiencia de conversión	15.75%

Tabla 2.8. Especificaciones técnicas del panel fotovoltaico⁹⁵

⁹⁵ Hoja de datos del panel fotovoltaico EXMORK 50P.

2.3.2 Regulador de carga Morningstar SHS-10

El regulador de carga Morningstar SHS-10 es un dispositivo electrónico que cuenta como dispositivos principales un microcontrolador MCHC908 de Freescale y transistores F3205S (transistores de potencia MOSFET), este circuito se muestra en la figura 2.12.

Este dispositivo se encarga principalmente de entregar energía a la batería mediante regulación PWM (modulación por ancho de pulso) a partir de la energía que recibe del panel fotovoltaico.

También se encarga de entregar energía a la carga (en este caso iluminación LED) a manera de fuente de voltaje, voltaje que está acorde al nivel de carga de la batería, es decir, si el nivel de la batería es alto (aproximadamente 14.5 V) entrega a la carga aproximadamente 14,5 V y si el nivel de la batería es medio, por ejemplo 13 V, entrega un voltaje aproximado de 13 V, pero si el nivel de la batería es bajo (11,5 V) el circuito del regulador de carga desconecta la salida a la carga para precautelar el buen estado de la batería.

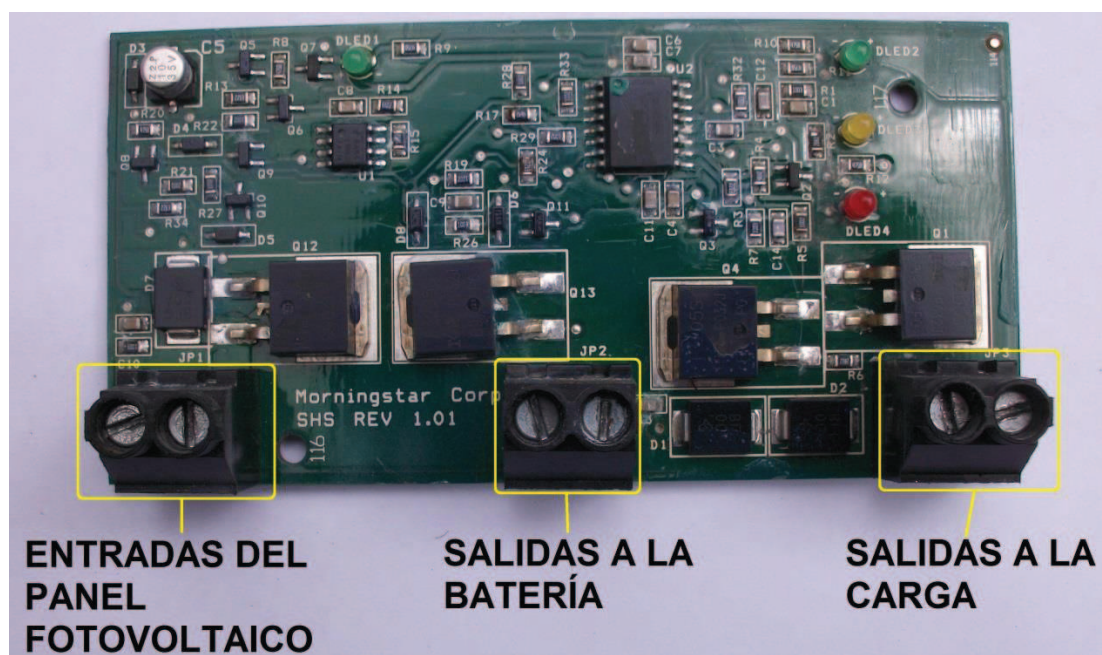


Figura 2.12. Placa electrónica del regulador de carga Morningstar SHS-10

La figura 2.13 muestra el regulador de carga:



Figura 2.13. Regulador de carga Morningstar SHS-10⁹⁶

La tabla 2.9 muestra las especificaciones técnicas del regulador de carga.

INFORMACIÓN TÉCNICA	
Capacidades Nominales	<ul style="list-style-type: none"> • 12 V. • 170 W ó 10 A para el sistema de carga solar y carga.
Punto de regulación	14,3 V
Desconexión por bajo voltaje	11,5 V
Reconexión por bajo voltaje	12,6 V
Tipo de carga	PWM Serie (modulación de ancho de pulso) 4 etapas: en bruto, PWM, por incremento o "Boost" y flotante.
Protecciones electrónicas	<ul style="list-style-type: none"> • Cortocircuito y exceso de corriente - sistema de carga solar y carga. • Polaridad inversa - en sistema de carga solar, en la carga y en la batería. • Corriente inversa por la noche. • Alto voltaje - en la carga. • Rayos - en sistema solar, en la carga y en la batería.
Indicaciones de los LED	<ul style="list-style-type: none"> • Verde: en carga. • Niveles de batería: verde, amarillo y rojo. • Rojo: advertencia de bajo voltaje y desconexión. • Los tres LED destellando - indicación de errores.
Dimensiones	15,1 x 6,6 x 3,6 cm
Consumo propio	8 mA máximo
Temperatura	-25° C a +50° C
Humedad	100% sin condensación

Tabla 2.9. Especificaciones técnicas del regulador de carga⁹⁷

⁹⁶ <http://www.morningstarcorp.com/en/support/library/SHS-10-F.jpg>

⁹⁷ Hoja de datos del regulador de carga Morningstar SHS-10.

El diagrama que se muestra en la figura 2.14 se ha diseñado a partir de la observación de las conexiones eléctricas del dispositivo, este diagrama se usará para explicar la conexión eléctrica de sistema fotovoltaico y circuito de control en la sección 2.3.4.

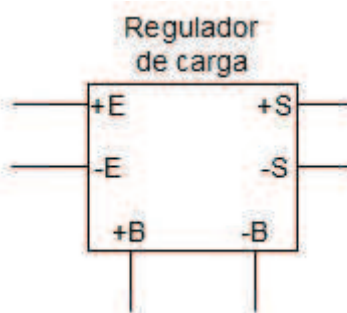


Figura 2.14. Diagrama de conexiones del regulador de carga

El regulador de carga tiene 6 terminales que son: 2 de entrada del panel fotovoltaico (positivo +E y negativo -E), 2 de salida para la carga (positivo +S y negativo -S) y 2 para la batería (positivo +B).

2.3.3 Batería de plomo-ácido BOSCH S4 42 SP 770

Las especificaciones técnicas de la batería se muestran en la tabla 2.10.

PARÁMETROS	VALOR
Voltaje nominal	12 V
Capacidad útil	60 Ah
Capacidad de reserva	100 min

Tabla 2.10. Especificaciones técnicas de la batería

2.3.4 Conexión eléctrica del sistema fotovoltaico y circuito de control

Como se muestra en la figura 2.15 el regulador de carga entrega la energía a la carga (luminaria LED), mientras que el circuito de control está energizado directamente de la batería, en lugar de conectarlo a la salida del regulador de carga, esto con el propósito de mantener funcionando siempre el circuito de control ya que cuando el nivel de voltaje de la batería baja a 11,5 V el regulador de carga desconecta la salida para precautelar el buen estado de la batería.

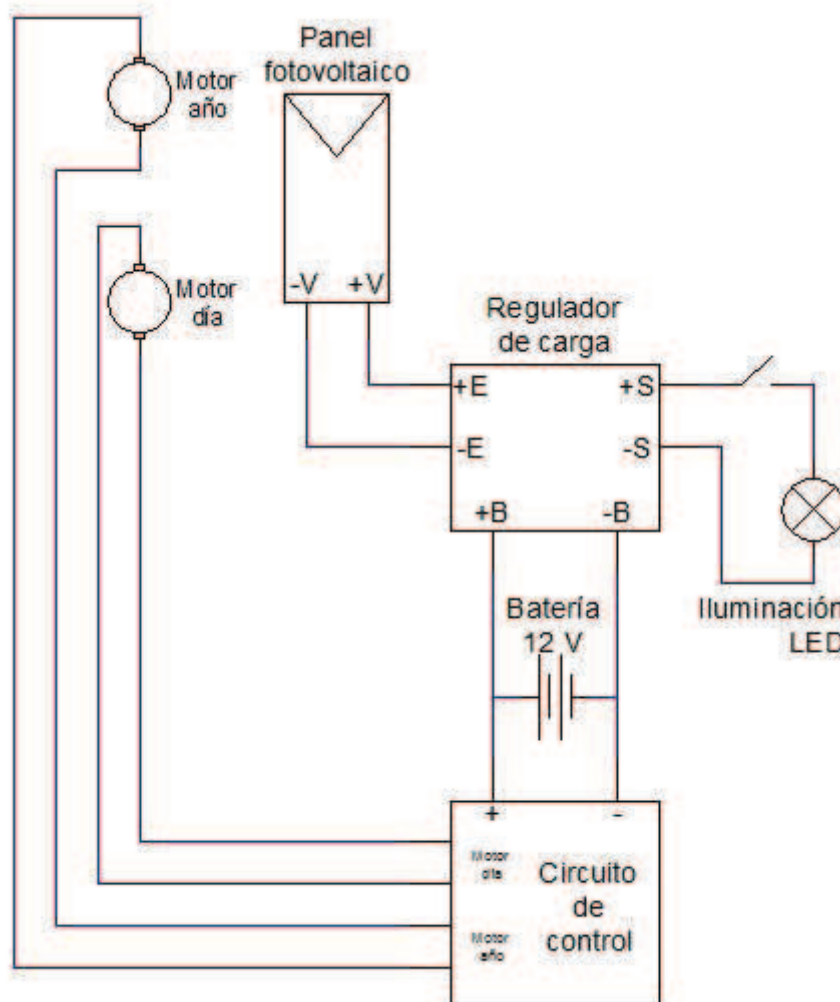


Figura 2.15. Diagrama de conexión eléctrica del sistema fotovoltaico y circuito de control

2.3.5 Luminaria LED

La luminaria LED está elaborada a partir de diodos LED, hay que señalar que no está elaborada para iluminar sino más bien tiene fines demostrativos, es decir, con este dispositivo solo se pretende demostrar que la energía almacenada es utilizable en luminaria que funcione con voltaje directo de la batería.

Las figuras 2.16 y 2.17 muestran el diagrama y la luminaria elaborada.

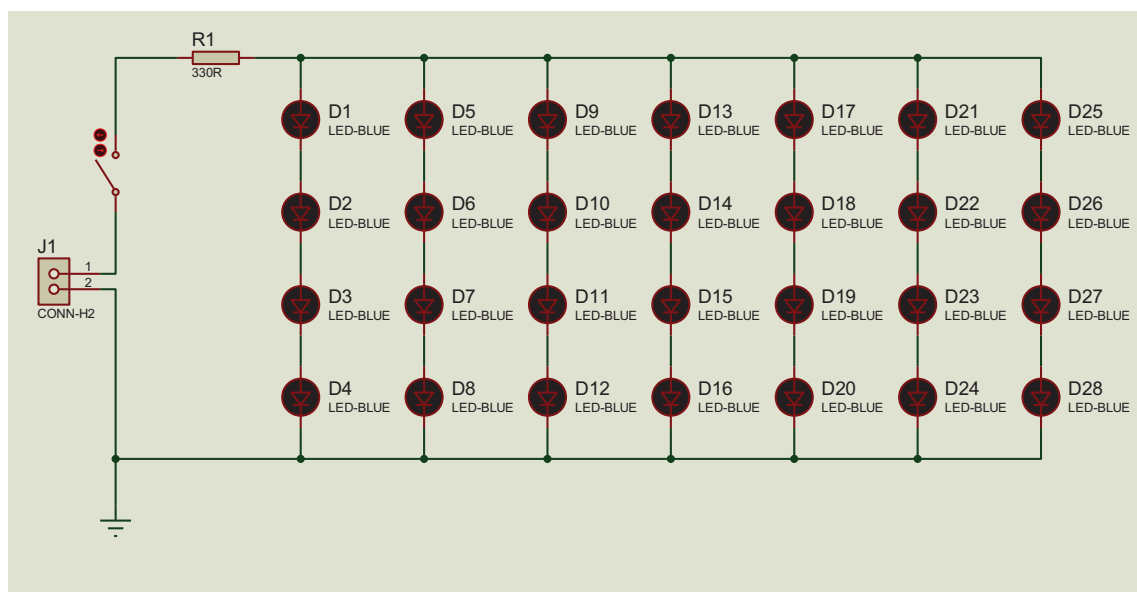


Figura 2.16. Diagrama de la luminaria LED

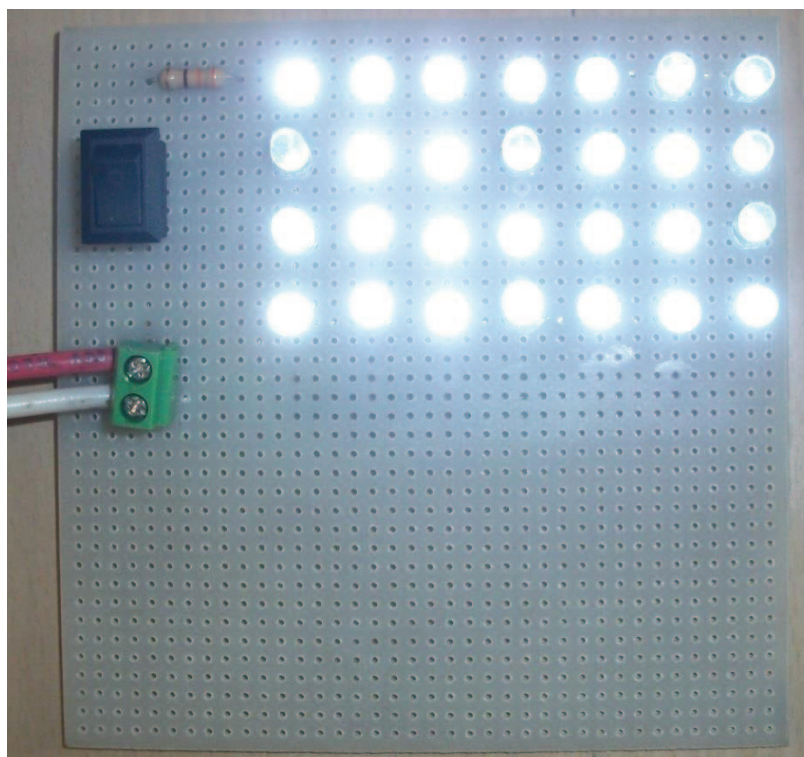


Figura 2.17. Luminaria LED (con fines demostrativos)

2.4 Circuito de control

El circuito de control se compone de todos los dispositivos capaces de actuar sobre los motores que mueven el panel fotovoltaico hacia la posición correcta a partir de los datos que entrega el sensor de orientación, el mismo que es parte del circuito. Además el circuito incluye dispositivos de visualización e ingreso de datos para observar e igualar la hora y fecha.

2.4.1 Diagrama de bloques del circuito de control

La figura 2.18 muestra el diagrama de bloques del circuito de control.

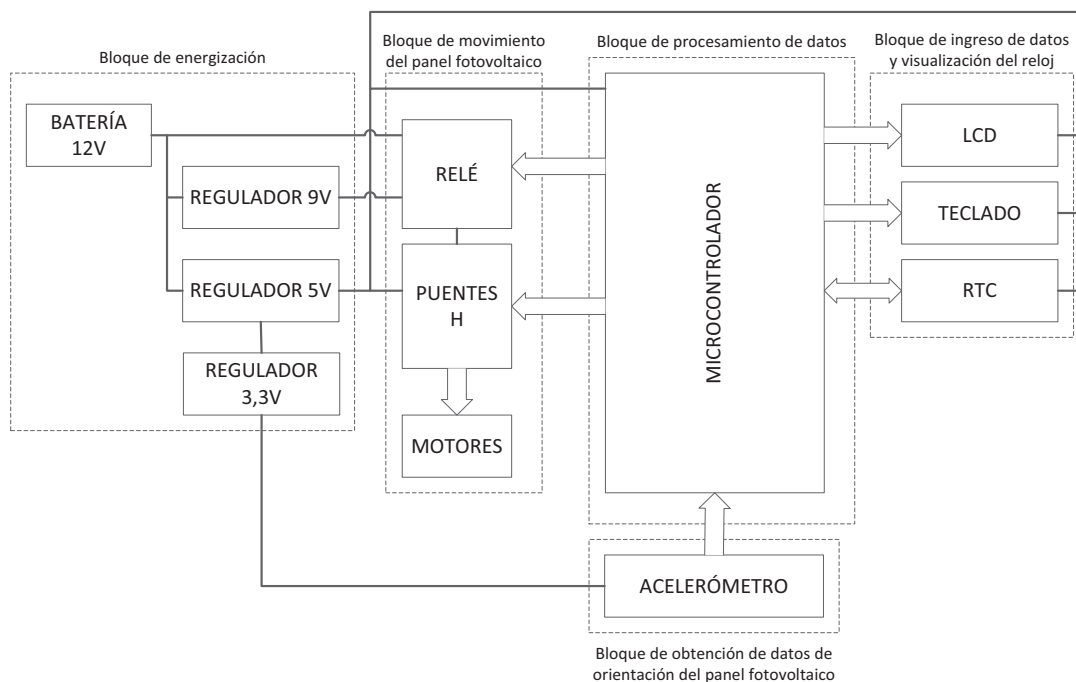


Figura 2.18. Diagrama de bloques del circuito de control

2.4.1.1 Descripción del diagrama de bloques

- **Bloque de movimiento del panel fotovoltaico:** este bloque está formado por los dispositivos capaces de hacer que el panel fotovoltaico se mueva correctamente.

- **Bloque de obtención de datos de orientación del panel fotovoltaico:** este bloque se compone de un único elemento que es el sensor de orientación del panel fotovoltaico.
- **Bloque de energización:** este bloque está formado por los dispositivos capaces de entregar energía con el voltaje adecuado a los diferentes elementos del circuito.
- **Bloque de ingreso de datos y visualización del reloj:** este bloque se compone de los dispositivos capaces de: registrar el tiempo actual, visualizar el tiempo e ingresar la fecha y la hora correspondientes al tiempo actual.
- **Bloque de procesamiento de datos:** este bloque se compone de un único dispositivo que es el microcontrolador que se encarga de procesar los datos.

2.4.2 Dimensionamiento del circuito de control

Para cada bloque del diagrama de bloques que se muestra en la sección 2.4.1 son necesarios varios dispositivos los cuales se dimensionan bajo criterios que se explican a continuación:

2.4.2.1 Bloque de movimiento del panel fotovoltaico:

- Dos motores DC: el primero (movimiento anual) es un motor que funciona con 12 voltios, el segundo (movimiento diario) es un motor que puede funcionar desde 5 voltios hasta 12 voltios pero para este proyecto funcionará con 9 voltios, voltaje suficientemente bajo como para hacer que la velocidad de giro sea lo más lenta posible y suficientemente alto como para que la energía que entrega el puente H correspondiente sea capaz de mover el motor.
- Un circuito integrado con dos puentes H (uno para cada motor), que sea capaz de entregar suficiente corriente a los motores (2 A), este circuito integrado es el driver L298 que tiene dos puentes H, mediante los cuales se puede controlar el sentido de giro de motores DC.
- Un relé de dos posiciones para cambiar de fuente de voltaje, una para cada motor.

2.4.2.2 Bloque de obtención de datos de orientación del panel fotovoltaico:

- Un acelerómetro que pueda funcionar como sensor de orientación, el módulo Pololu MMA7361L tiene el acelerómetro MMA7361L de tres ejes XYZ capaz de determinar la orientación del panel fotovoltaico.

2.4.2.3 Bloque de energización:

- Tres circuitos integrados reguladores de voltaje de 9 voltios (LM7809), para colocarlos en paralelo con la finalidad de que entreguen suficiente corriente al circuito integrado L298.
- Un circuito integrado regulador de voltaje de 3,3 voltios (LM1117), para energizar el acelerómetro.
- Un circuito integrado regulador de voltaje de 5 voltios (LM7805), para energizar los bloques lógicos.

2.4.2.4 Bloque de ingreso de datos y visualización del reloj:

- Un LCD de 16 caracteres por 2 filas, tamaño suficiente como para mostrar fecha y hora.
- Un teclado de 4 filas por 3 columnas, con el número de teclas suficientes como para ingresar fecha y hora.
- Un RTC, el circuito integrado DS1307 es un circuito integrado muy popular, fácil de adquirir y barato.

2.4.2.5 Bloque de procesamiento de datos:

Es necesario un microcontrolador con las siguientes características:

- Tener suficientes pines como para conectar: un LCD de 16 caracteres por 2 filas en conexión con 4 pines (6 pines), un teclado de 4 filas por 3 columnas (7 pines), un acelerómetro de tres ejes (3 pines), un RTC (2 pines I²C), un driver L298 (4 pines), un pin para activación del LCD, un pin para activación del relé y

un pin para entregar energía a la luz de fondo del LCD. Entonces se necesitan al menos un total de 22 pines para interconexión con otros dispositivos.

- Comunicación I²C para el RTC.
- Conversión analógica digital para el acelerómetro.
- Suficiente memoria de programa para almacenar el programa el mismo que se describe en la sección 2.5.

Entonces el microcontrolador escogido es el ATmega164 que cumple con todas las características anteriormente indicadas.

2.4.3 Diseño del circuito de control

Una vez dimensionado se diseña el circuito de control tomando en cuenta todos los dispositivos necesarios y el circuito se muestra en la figura 2.20, además tiene las siguientes características:

- El LCD tiene una conexión con bus de 4 bits, para lo que se utiliza los pines D4, D5, D6 y D7 del LCD conectados a los pines PC5, PC4, PC3 y PC2 del microcontrolador.
- El transistor D5283 funciona en corte y saturación haciendo que la luz de fondo del LCD se encienda y se apague dependiendo si se está visualizando el reloj o no.
- El transistor 2N2219 funciona en corte y saturación para activar o desactivar el relé y este a su vez cambie de posición.
- Los pines del microcontrolador para la comunicación con el RTC son los pines I²C por defecto, es decir, los pines PC0 y PC1.
- Los pines del microcontrolador para la comunicación con el acelerómetro son los primeros 3 canales ADC, es decir, los pines PA0, PA1 y PA2, de los cuales funcional el pin PA0 para el eje X y PA1 para el eje Y. El pin PA3 no se usa (a pesar de que está conectado).

- La salida del regulador de voltaje LM1117 (de 3,3 V) está conectada al pin de la referencia análoga del conversor análogo digital (además de energizar al acelerómetro).
- Los pines del microcontrolador que se usan para la activación y control de giro de los motores son: el PD2, PD3, PD4 y PD5 que se conectan a las entradas lógicas del driver L298.

2.4.3.1 Fuente de poder

La batería provee la energía que alimenta el circuito de control mediante una conexión directa.

La fuente de poder se compone de los dispositivos que suministran energía a los demás componentes del circuito de control, estos dispositivos son:

- **Batería.-** la cual provee la energía que alimenta el circuito de control mediante una conexión directa, además suministra energía al motor para el movimiento anual a través del circuito integrado L298.
- **Regulador de voltaje LM7805.-** el cual suministra 5 V a: el circuito integrado LM1117, el microcontrolador, el LCD, el RTC y las etapas lógicas del L298.
- **Regulador de voltaje LM1117.-** el cual suministra 3,3 V al acelerómetro y obtiene la energía del circuito integrado LM7805.
- **Reguladores de voltaje LM7809.-** son 3 reguladores que suministran 9 V al motor para el movimiento diario a través del circuito integrado L298, estos reguladores están conectados en paralelo para obtener suficiente corriente para el motor (2 A).

Las entradas de los circuitos integrados LM7805 (5 V) y LM7809 (9 V) tienen conectado un diodo cada uno que sirve como protección.

Las salidas de 5 V y 9 V tienen conectados dos capacitores (de 100 nF y 100pF) cada una para reducir el rizado.

La figura 2.19 muestra el diagrama de la fuente de poder.

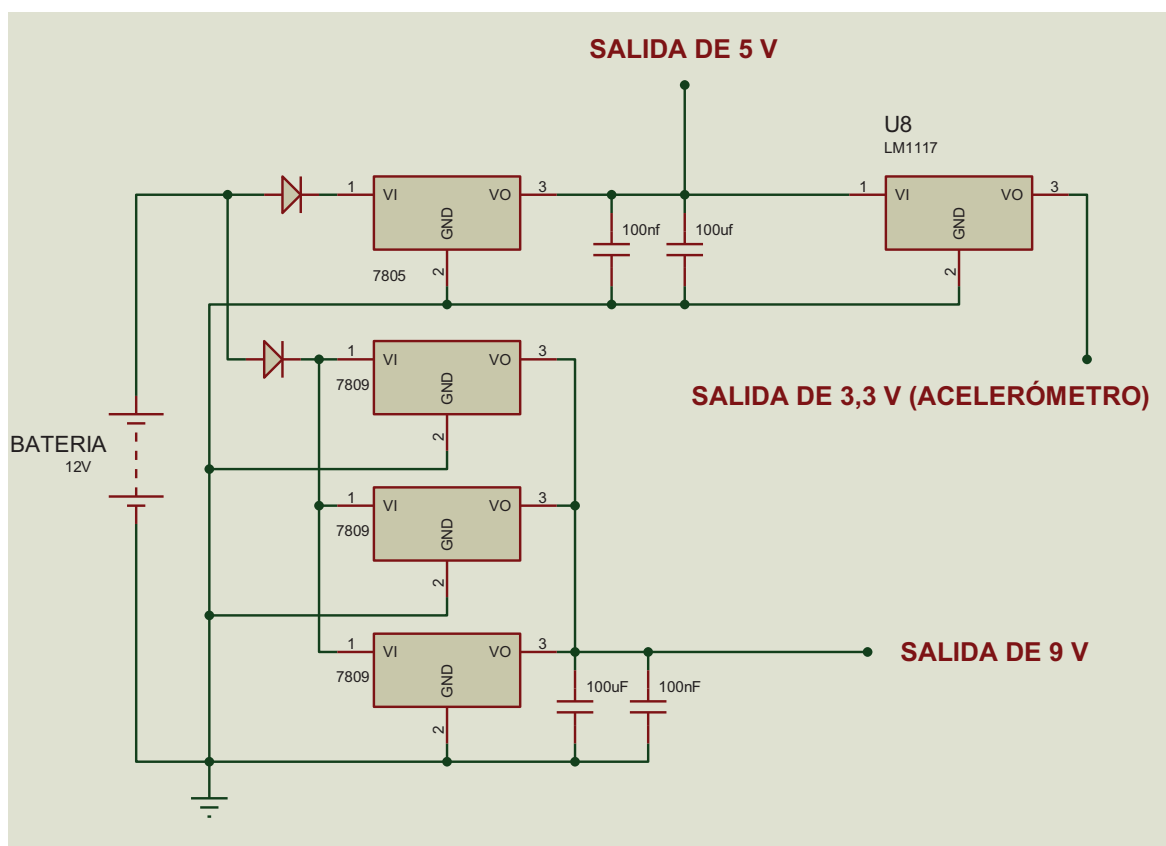


Figura 2.19. Diagrama de la fuente de poder

A pesar de que el circuito integrado L298 suministra la energía a los motores no se toma en cuenta para la fuente de poder porque no es un regulador de de voltaje.

Tomando en cuenta que la batería cuando está descargada tiene un voltaje aproximado de 11,5 V entre sus bornes, es capaz de entregar energía al circuito de control incluso si está descargada ya que el circuito de control funciona con 5 V en las etapas lógicas, 9 V el motor para el movimiento diario y el mismo voltaje de la batería para el motor del movimiento anual. El circuito de control dejaría de funcionar si la batería se encuentra en mal estado, en tal caso se necesitaría cambiar la batería.

La figura 2.20 muestra el diagrama del circuito de control:

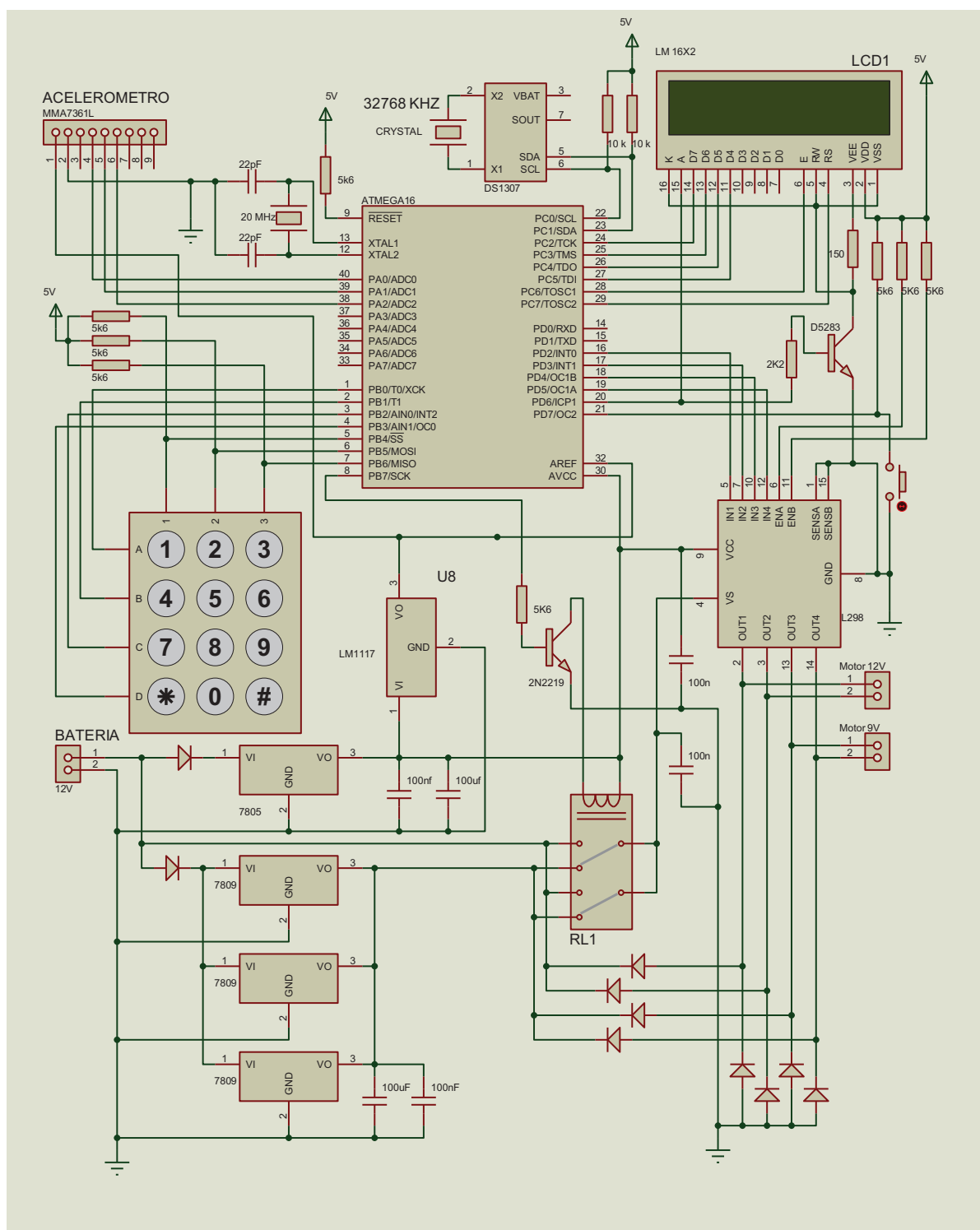


Figura 2.20. Diagrama del circuito de control

2.4.4 Pruebas del circuito de control

Las pruebas se realizaron en protoboard y se comprobó el movimiento de los motores, en la figura 2.21 se muestra el circuito armado en protoboard.

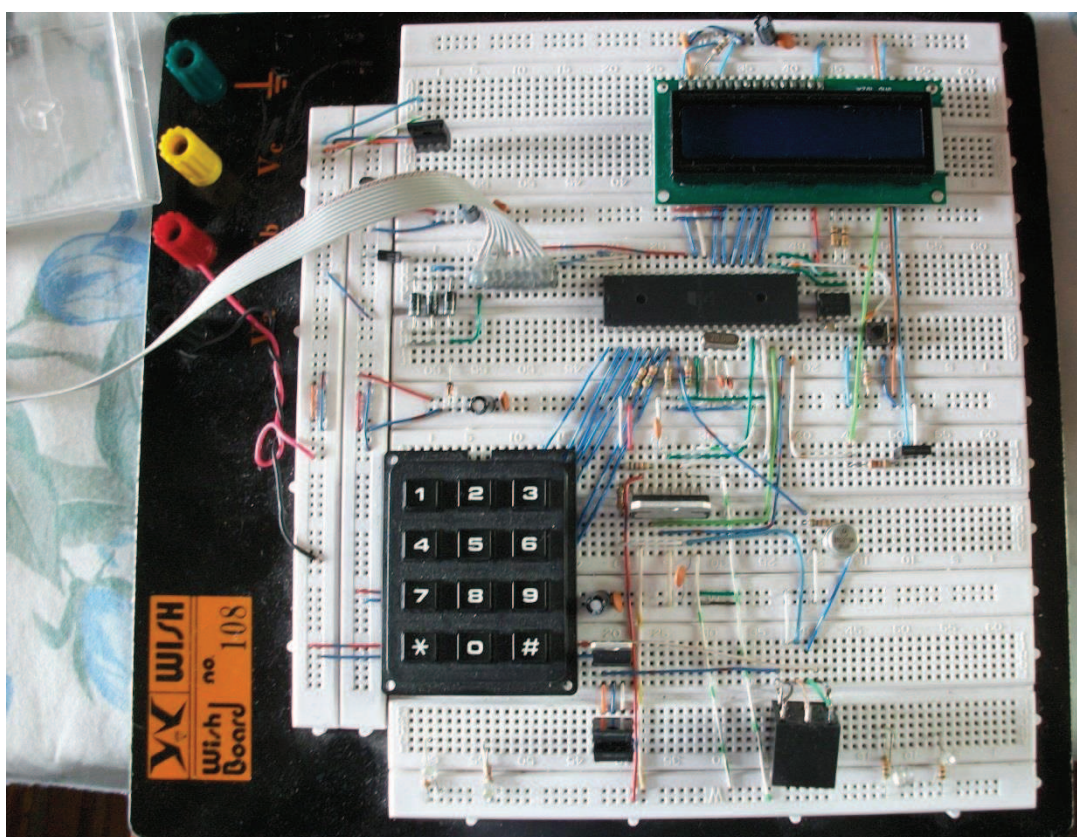


Figura 2.21. Circuito armado en protoboard

El siguiente paso es adaptar los valores de los datos de la posición del Sol obtenidos en la sección 2.1 a los valores datos correspondientes que entrega el acelerómetro, en la sección 2.4.5 se explica esta adaptación de datos.

2.4.5 Adaptación de datos de la posición del Sol y datos del acelerómetro

En los resultados de la tabla 2.4 el ángulo H' está medido desde el Este hasta la proyección de la posición del Sol en el plano ecuatorial entre las horas 6:15 y 12:15 y desde el Oeste hasta la proyección de la posición del Sol en el plano ecuatorial entre las horas 13:15 hasta las 18:15 para cualquier fecha. Con el propósito de obtener valores del ángulo H' que sean utilizables para orientar el panel fotovoltaico hacia el

Sol se toma como referencia un plano horizontal para adaptar los valores de la tabla 2.4 siguiendo los siguientes pasos:

- Cuando son las 12:15 el panel fotovoltaico debe estar horizontal (orientado hacia el Sol en ese momento) con respecto al eje asociado al movimiento diario, entonces el valor correspondiente a las 12:15 debe ajustarse a 0° por lo tanto este valor se toma como referencia.
- Para los valores entre las 6:15 y 12:15, se resta 90° de cada valor de la tabla 2.4.
- Para los valores entre las 13:15 y 18:15, se suma el valor de 90° a cada valor de la tabla 2.4 cambiado de signo.

Finalmente se obtienen los valores que se utilizan para el acelerómetro, los cuales se muestran en la tabla 2.11.

Hora	Ángulo H' (grados)	Datos a usarse con el acelerómetro (grados)
6:15	0	-90
7:15	15	-75
8:15	30	-60
9:15	45	-45
10:15	60	-30
11:15	75	-15
12:15	90	0
13:15	75	15
14:15	60	30
15:15	45	45
16:15	30	60
17:15	15	75
18:15	0	90

Tabla 2.11. Adaptación de los valores del ángulo H' para el acelerómetro

El acelerómetro es un dispositivo analógico por lo que se necesita realizar una conversión ADC de la señal que entrega, este valor digital oscila entre

aproximadamente 250 y 750 pero es necesario adaptar estos valores a los datos de la tabla 2.11 de la siguiente manera:

- Se coloca el acelerómetro en una superficie horizontal (medida con un nivel de burbuja). Mediante un programa el cual se muestra en la figura 2.22, se obtiene el valor que entrega el acelerómetro ya convertido en digital y se obtienen los siguientes valores de referencia: **eje X; V_ref = 490 y eje Y: V_ref = 525**, estos resultados se denominan valores de referencia.

```

$regfile = "m164pdef.dat"
$crystal = 20000000

Config ADC = Single , Prescaler = Auto
Start ADC

Config Lcdpin = Pin , Rs = PORTC.7 , E = PORTC.6 , Db4 = PORTC.
Config Lcd = 16 * 2
Initlcd
Cursor Off Noblink

Dim Adc_getx As Word , Adc_gety As Word

'-----
Do

    Gosub Adc_lectura

    Cls
    Locate 1 , 1 : Lcd Adc_getx : Waitms 100
    Locate 2 , 1 : Lcd Adc_gety : Waitms 100

Loop

'-----

Adc_lectura:
    Adc_getx = Getadc(0)
    Adc_gety = Getadc(1)

Return

```

Figura 2.22. Programa para obtener el valor que entrega el acelerómetro en una superficie horizontal

- Se coloca el acelerómetro con una inclinación como se indica en las tablas 2.11 y 2.7, en el eje X y eje Y respectivamente, se observa el valor obtenido por cada ángulo y se obtiene los datos de las tablas 2.12 y 2.13. Para esto se usa un programa que se muestra en la figura 2.23 en el cual se ha realizado un cálculo a partir de los valores de referencia de esta manera:
 - Se obtienen 5 lecturas del acelerómetro.

- Se suman las 5 lecturas y se calcula el promedio.
- Se resta este promedio del valor referencia.

```

$regfile = "m164pdef.dat"
$crystal = 20000000

Config ADC = Single , Prescaler = Auto
Start ADC

Config Lcdpin = Pin , Rs = PORTC.7 , E = PORTC.6 , Db4 = PORTC.5 , Db5
Config Lcd = 16 * 2
Initlcd
Cursor Off Noblink

Dim Adc_getx As Word , Adc_gety As Word
Dim Adc_sumx As Integer , Adc_sumy As Integer
Dim Adc_refx As Word , Adc_refy As Word
Dim Adc_lecx As Integer , Adc_lecty As Integer
Dim For_presicion As Byte

Adc_refx = 490
Adc_refy = 525

'-----
Do

  Gosub Adc_lectura

 Cls
  Locate 1 , 1 : Lcd Adc_lecx : Waitms 100
  Locate 2 , 1 : Lcd Adc_lecty : Waitms 100

Loop

'-----

Adc_lectura:
  Adc_sumx = 0
  Adc_sumy = 0

  For For_presicion = 1 To 5

    Adc_getx = Getadc(0)
    Adc_gety = Getadc(1)
    Waitms 10

    Adc_sumx = Adc_sumx + Adc_getx
    Adc_sumy = Adc_sumy + Adc_gety

  Next For_presicion

  Adc_sumx = Adc_sumx / 5
  Adc_sumy = Adc_sumy / 5

  Adc_lecx = Adc_refx - Adc_sumx
  Adc_lecty = Adc_refy - Adc_sumy

Return

```

Figura 2.23. Programa para obtener el valor que entrega el acelerómetro en cada ángulo

NOTA: Este procedimiento se utilizará en el programa.

Movimiento diario (eje X)		
Hora	Datos a usarse con el acelerómetro (grados)	Valor entregado por el acelerómetro
6:15	-90	-----
7:15	-75	-202
8:15	-60	-200
9:15	-45	-165
10:15	-30	-115
11:15	-15	-62
12:15	0	0
13:15	15	62
14:15	30	120
15:15	45	165
16:15	60	215
17:15	75	218
18:15	90	-----

Tabla 2.12. Datos entregados por el acelerómetro en los ángulos correspondientes al movimiento diario

Movimiento anual (eje Y)		
Mes	Ángulo de declinación solar (grados)	Valor entregado por el acelerómetro
enero	-20	77
febrero	-11	43
marzo	0	0
abril	12	-55
mayo	20	-90
junio	23	-105
julio	20	-90
agosto	12	-55
septiembre	0	0
octubre	-11	43
noviembre	-20	77
diciembre	-23	92

Tabla 2.13. Datos entregados por el acelerómetro en los ángulos correspondientes al movimiento anual

El movimiento diario del panel fotovoltaico en la estructura mecánica tiene límites que se determinan en términos de valores que entrega el acelerómetro en dichos límites,

estos valores son los correspondientes a las horas 7:15 y 17:15, aunque no correspondan a los ángulos indicados en la tabla 2.12. Los ángulos correspondientes a las horas 6:15 y 18:15 no se toman en cuenta debido a que sobrepasan los límites que tiene el panel fotovoltaico en el movimiento diario.

2.4.6 Circuito impreso

El circuito impreso está hecho a doble lado, cada uno de los cuales se muestran en las figuras 2.25 y 2.27. La corriente que fluye desde y hacia los motores es mucho mayor (hasta 2 A) que la corriente que circula por las etapas lógicas del circuito que está en el rango de miliamperios, por esta razón las pistas que llevan la corriente desde y hacia los motores tienen un grosor mayor a las demás (4,25 mm), esto se puede observar en las figuras 2.24 y 2.26:

El LCD, teclado, acelerómetro y botón de encendido del LCD se conectan mediante buses, el circuito tiene conectores de pines para estos dispositivos.

Los circuitos integrados L298, 7509 y 7805 deben tener disipadores de calor debido a que se calientan considerablemente, sobre todo el circuito L298 el cual entrega la energía a los motores, a su vez los 3 circuitos integrados 7809 conectados en paralelo que entregan energía al L298. El 7805 entrega energía a las etapas lógicas del circuito no se calienta a menos que el LCD esté en funcionamiento, por tal razón también debe tener un disipador de calor.

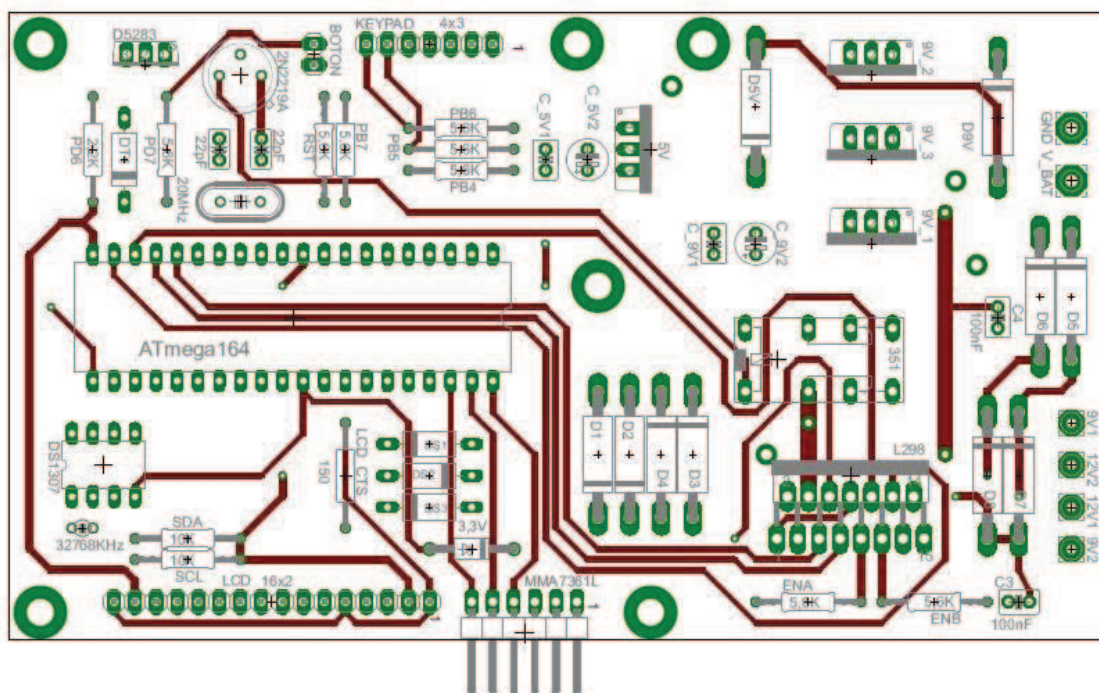


Figura 2.24. Diseño del lado superior del circuito impreso

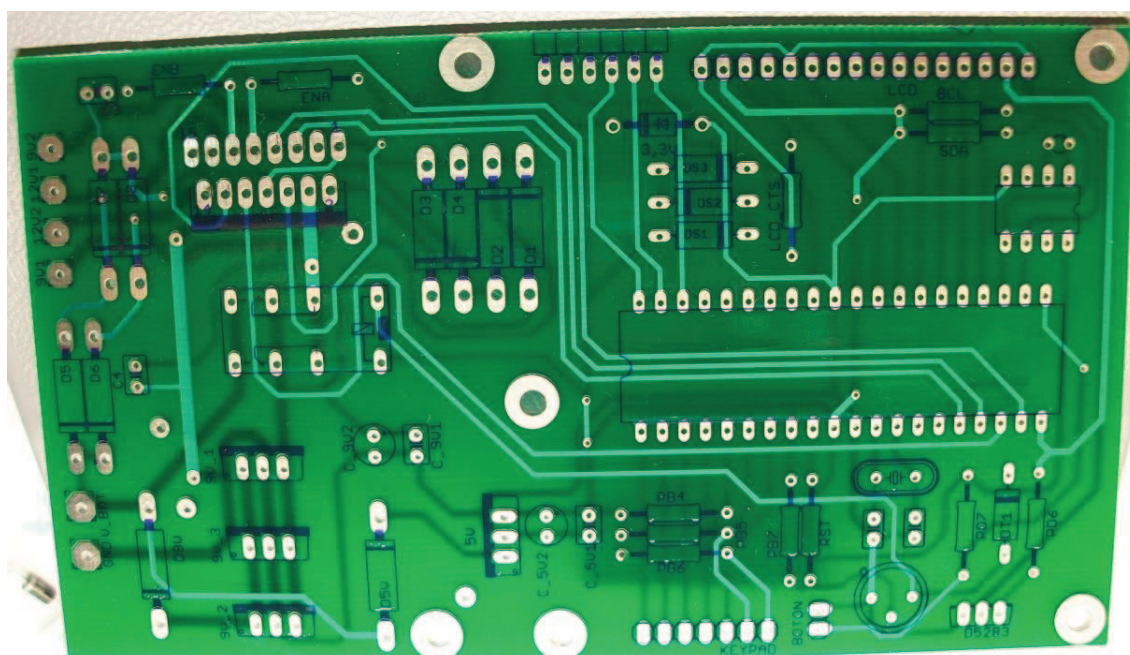


Figura 2.25. Lado superior del circuito impreso

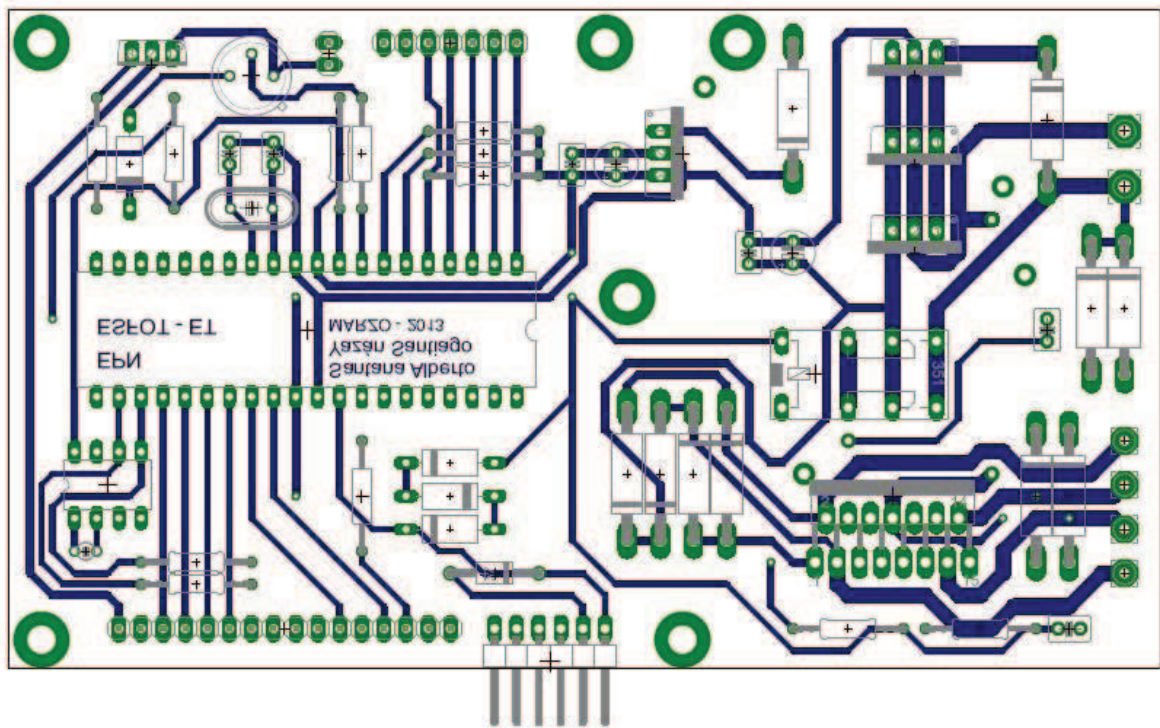


Figura 2.26. Diseño del lado inferior del circuito impreso

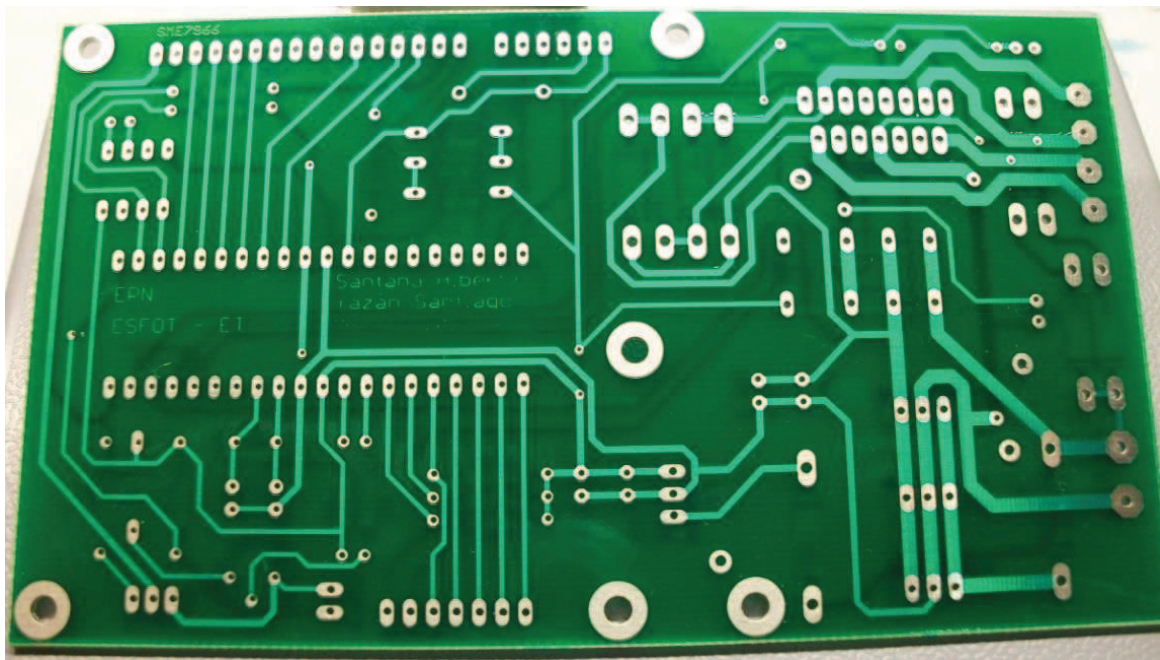


Figura 2.27. Lado inferior del circuito impreso

2.4.7 Ensamblaje del circuito de control

La figura 2.28 muestra el circuito impreso con los elementos soldados.

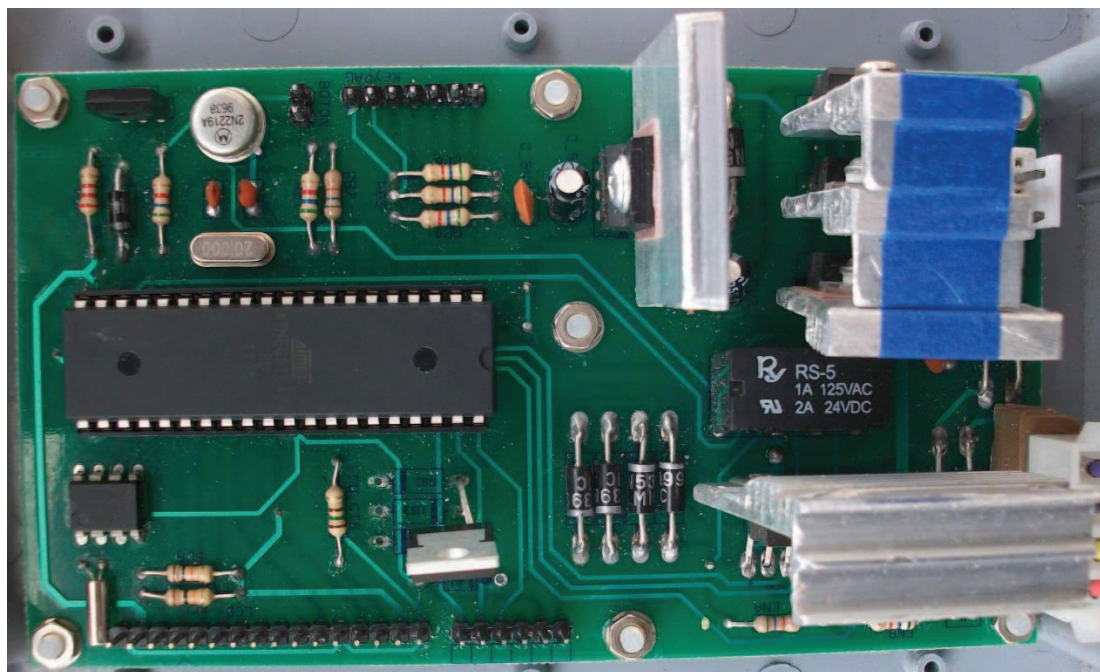


Figura 2.28. Circuito impreso ensamblado

2.5 Descripción del programa del microcontrolador

En esta sección se describe el funcionamiento del programa del microcontrolador que ha sido desarrollado en lenguaje Bascom AVR y está constituido por: inicialización, bucle principal y varias subrutinas.

2.5.1 Inicialización del programa

El programa comienza con la especificación del microcontrolador y la frecuencia de oscilación seguido de la configuración de pines, declaración de variables, asignación de valores iniciales de las variables y verificación de que los valores de las variables para los datos del RTC se encuentren en rangos correctos. La figura 2.29 muestra el diagrama de flujo de la inicialización del programa.

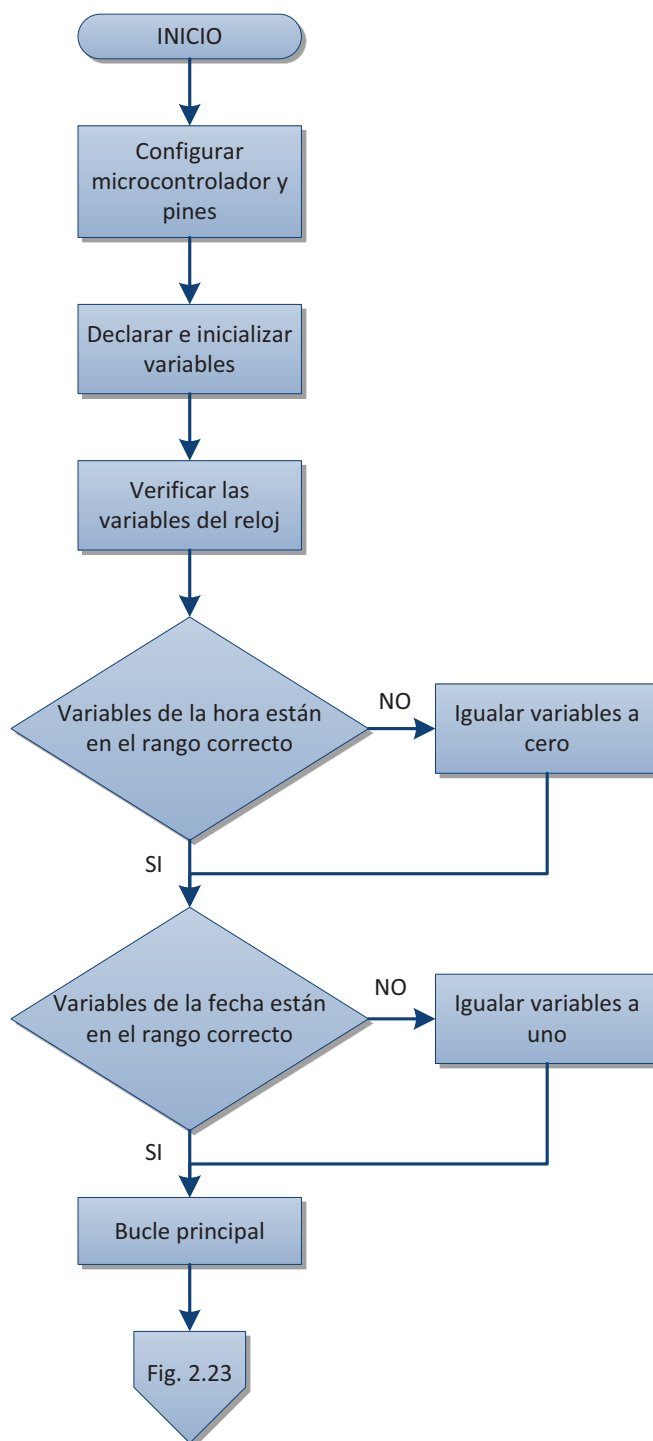


Figura 2.29. Diagrama de flujo de la inicialización del programa

2.5.2 Bucle principal

En la figura 2.30 se muestra el diagrama de flujo del bucle principal.

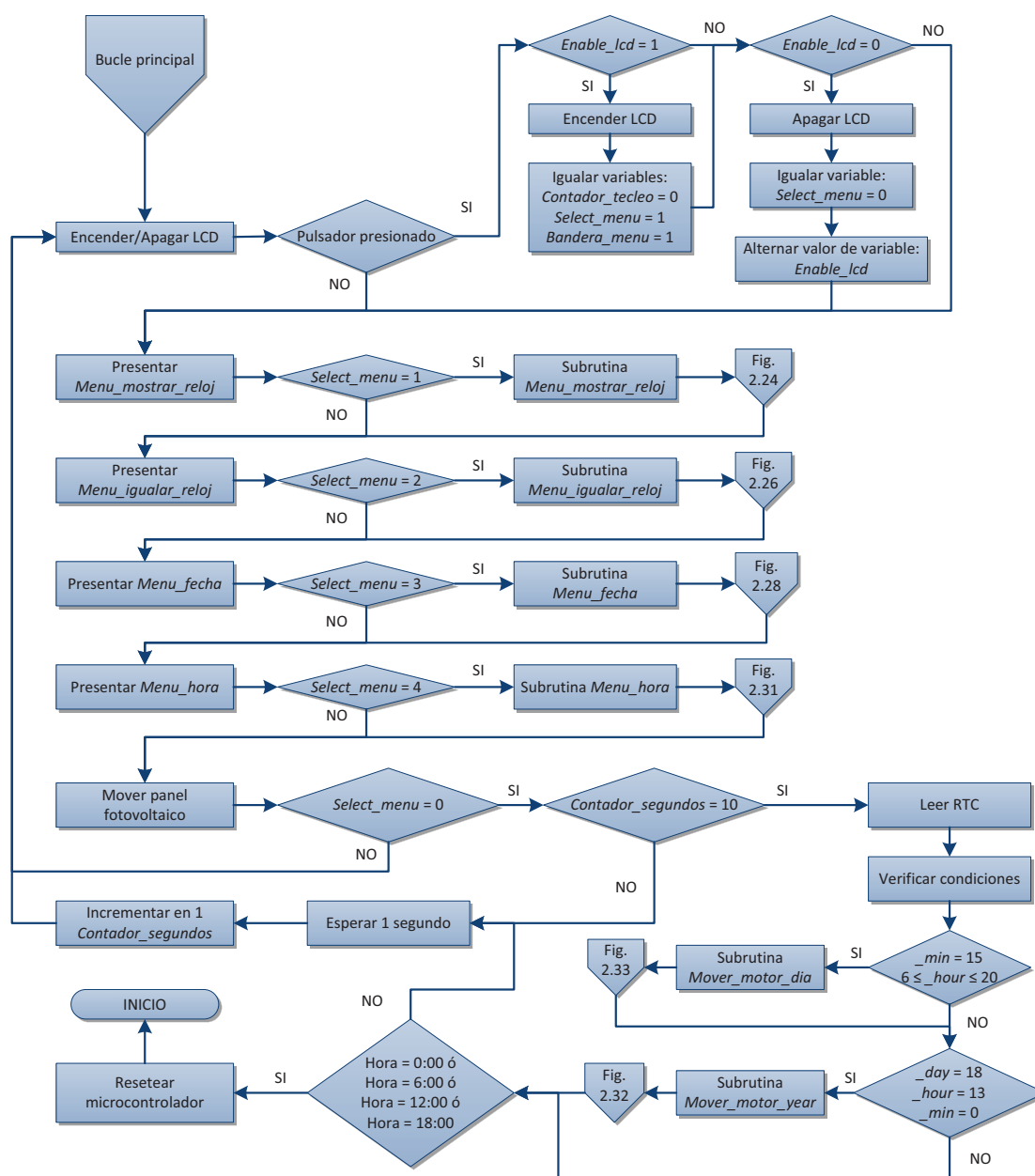


Figura 2.30. Diagrama de flujo del bucle principal del programa

En esta parte el programa verifica si se ha presionado el pulsador de encendido del LCD y si es así se enciende el LCD y pasa a mostrar los menús, caso contrario apaga el LCD si es que este está encendido.

Después de mostrar los menús, el microcontrolador lee los datos del RTC (lee el reloj), la variable *Contador_segundos* se usa para leer el reloj cada 10 segundos

aproximadamente, ya que si el microcontrolador lee constantemente los datos del RTC, este se desigualará fácilmente.

Luego de leer los datos del RTC, pasa a mover el panel fotovoltaico si se cumplen las siguientes condiciones: las horas o fechas correspondan a las de las tablas 2.12 y 2.13, esto es, para el movimiento diario: las horas entre las 7 y las 19 en el minuto 15 y para el movimiento anual: el 18 de cada mes a la hora 13:00.

Por último hay una espera de 1 segundo, se incrementa la variable *Contador_segundos* y retorna al inicio del bucle para repetir el proceso.

El microcontrolador se resetea en las horas: 0:00; 6:00; 12:00 y 18:00 mediante una instrucción *watchdog* para evitar que el microcontrolador se cuelgue.

Las subrutinas que se muestran en la figura 2.30 se explican en la siguiente sección.

2.5.3 Subrutinas del programa

2.5.3.1 Subrutinas de menú

Los menús son las partes del programa encargadas de mostrar en el LCD lo necesario para observar la fecha y hora del sistema e igualar si se requiere.

2.5.3.1.1 Menú_mostrar_reloj

Esta subrutina comienza con una llamada a la subrutina *Teclado*, la cual tiene el código para detectar cual tecla (del teclado) se ha presionado, y guarda el valor de la tecla en la variable *Numero_tecla*.

En este menú se muestra la fecha y la hora que registra el RTC en el momento de encender el LCD, el diagrama de flujo de esta subrutina se muestra en la figura 2.31.

La fecha y la hora permanece mostrándose hasta que se presione la tecla # del teclado, entonces se cambian las variables necesarias para seguir al siguiente menú

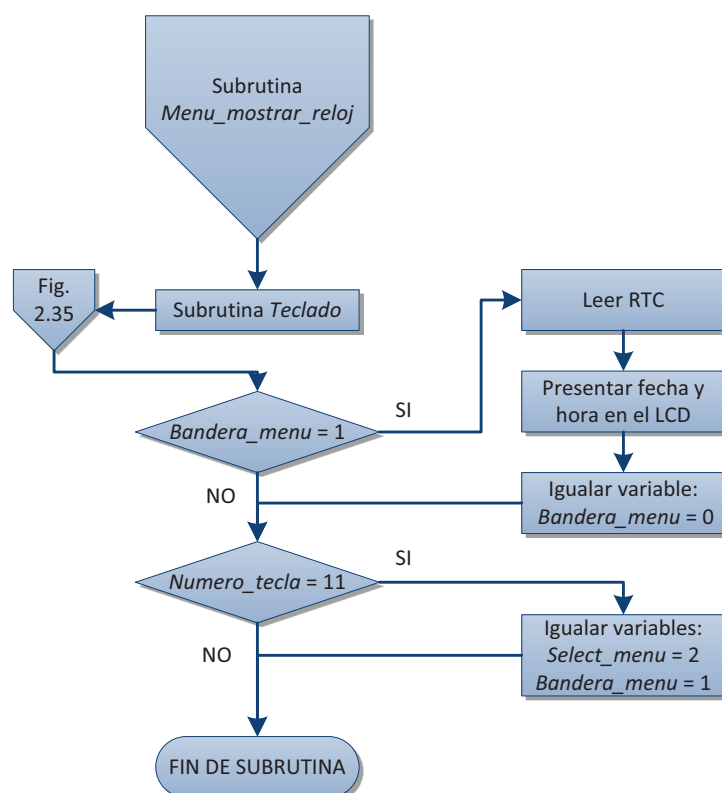


Figura 2.31. Diagrama de flujo de la subrutina Menu_mostrar_reloj

La figura 2.32 muestra un ejemplo del Menu_mostrar_reloj mostrado en el LCD.



Figura 2.32. Ejemplo del Menu_mostrar_reloj mostrado en el LCD

2.5.3.1.2 Menú_igualar_reloj

Esta subrutina sirve para confirmar si la fecha y hora que se observan en el menú anterior están correctas, si se requiere cambiar la fecha y la hora se presiona la tecla 1 con lo cual sigue al siguiente menú, si no, la tecla 3 con lo cual se apaga el LCD y vuelve al bucle principal.

La figura 2.33 muestra el diagrama de flujo de esta subrutina:

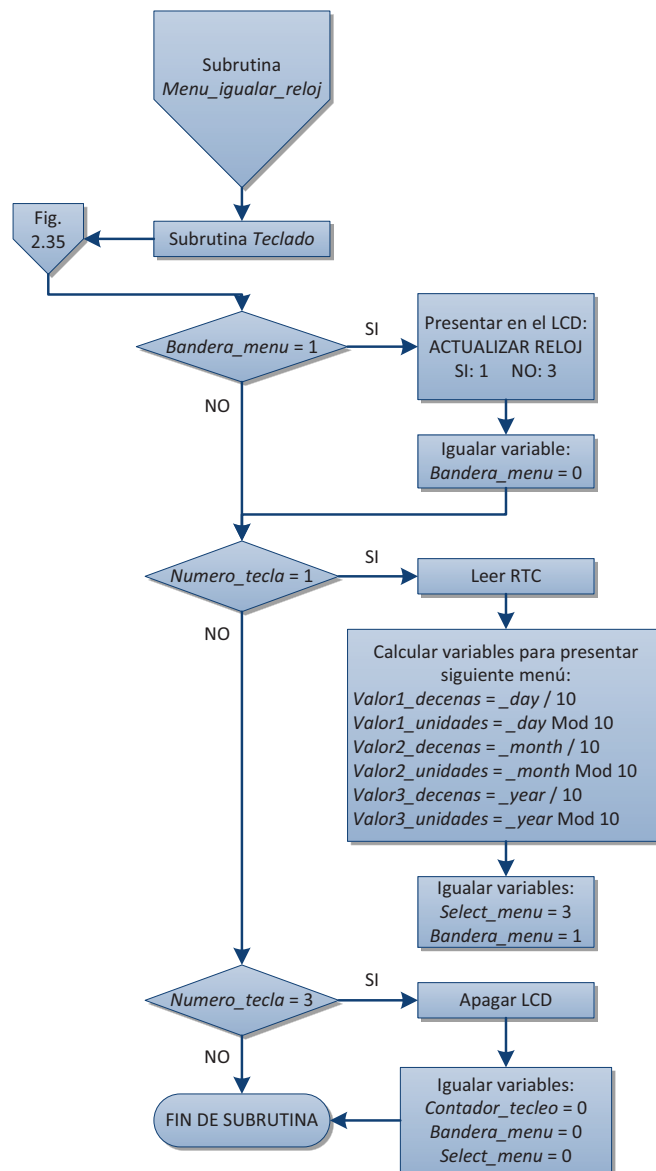


Figura 2.33. Diagrama de flujo de la subrutina Menu_igualar_reloj

La figura 2.34 muestra un ejemplo del Menu_igualar_reloj mostrado en el LCD.



Figura 2.34. Ejemplo del Menu_igualar_reloj mostrado en el LCD

2.5.3.1.3 Menú_fecha

La figura 2.35 muestra el diagrama de flujo de esta subrutina:

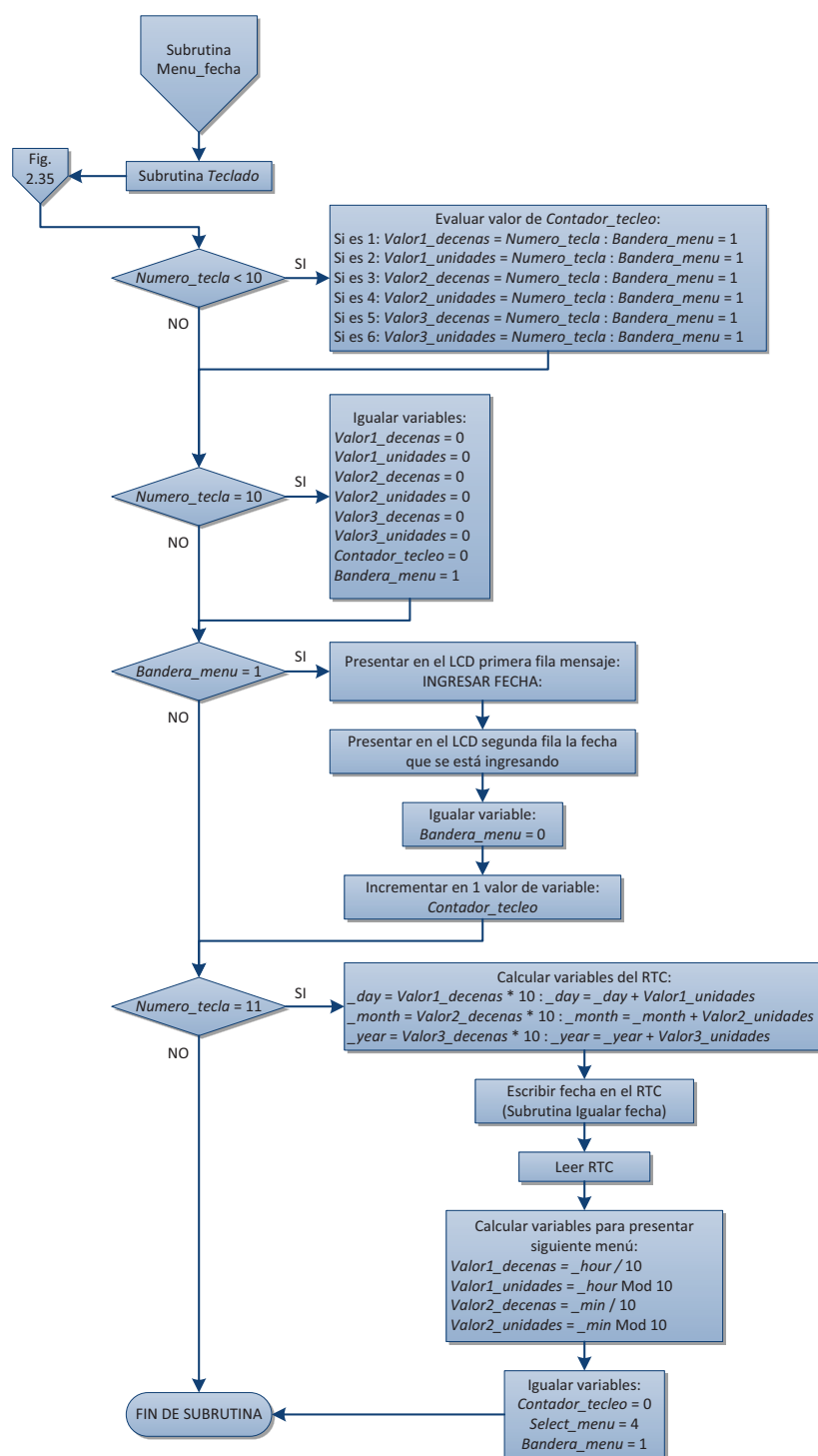


Figura 2.35. Diagrama de flujo de la subrutina Menu_fecha

Esta subrutina sirve para igualar la fecha, la misma que se ingresa con el siguiente formato: DD/MM/AA.

Si se ha ingresado mal algún dato se presiona la tecla *, con lo cual se enceran todos los datos y se procede a ingresar de nuevo la fecha. Si la fecha está ingresada completamente se presiona la tecla #, con lo cual el programa procede a igualar el reloj con los datos ingresados, la figura 2.36 muestra un ejemplo del Menu_fecha en el LCD.



Figura 2.36. Ejemplo del Menu_fecha mostrado en el LCD

2.5.3.1.4 Menú_hora

Esta subrutina sirve para igualar la hora, la misma que se ingresa con el siguiente formato: HH:MM.

Si se ha ingresado mal algún dato se presiona la tecla *, con lo cual se enceran todos los datos y se procede a ingresar de nuevo la fecha.

Si la fecha está ingresada completamente se presiona la tecla #, con lo cual el programa procede a igualar el reloj con los datos ingresados, luego se apaga el LCD y el programa procede a hacer un llamado a las subrutinas encargadas de mover el panel fotovoltaico hacia la orientación que debería tener en la fecha y hora ingresadas. Luego de esto regresa al bucle principal, la figura 2.37 muestra un ejemplo del Menu_hora en el LCD.



Figura 2.37. Ejemplo del Menu_hora mostrado en el LCD

La figura 2.38 muestra el diagrama de flujo de esta subrutina:

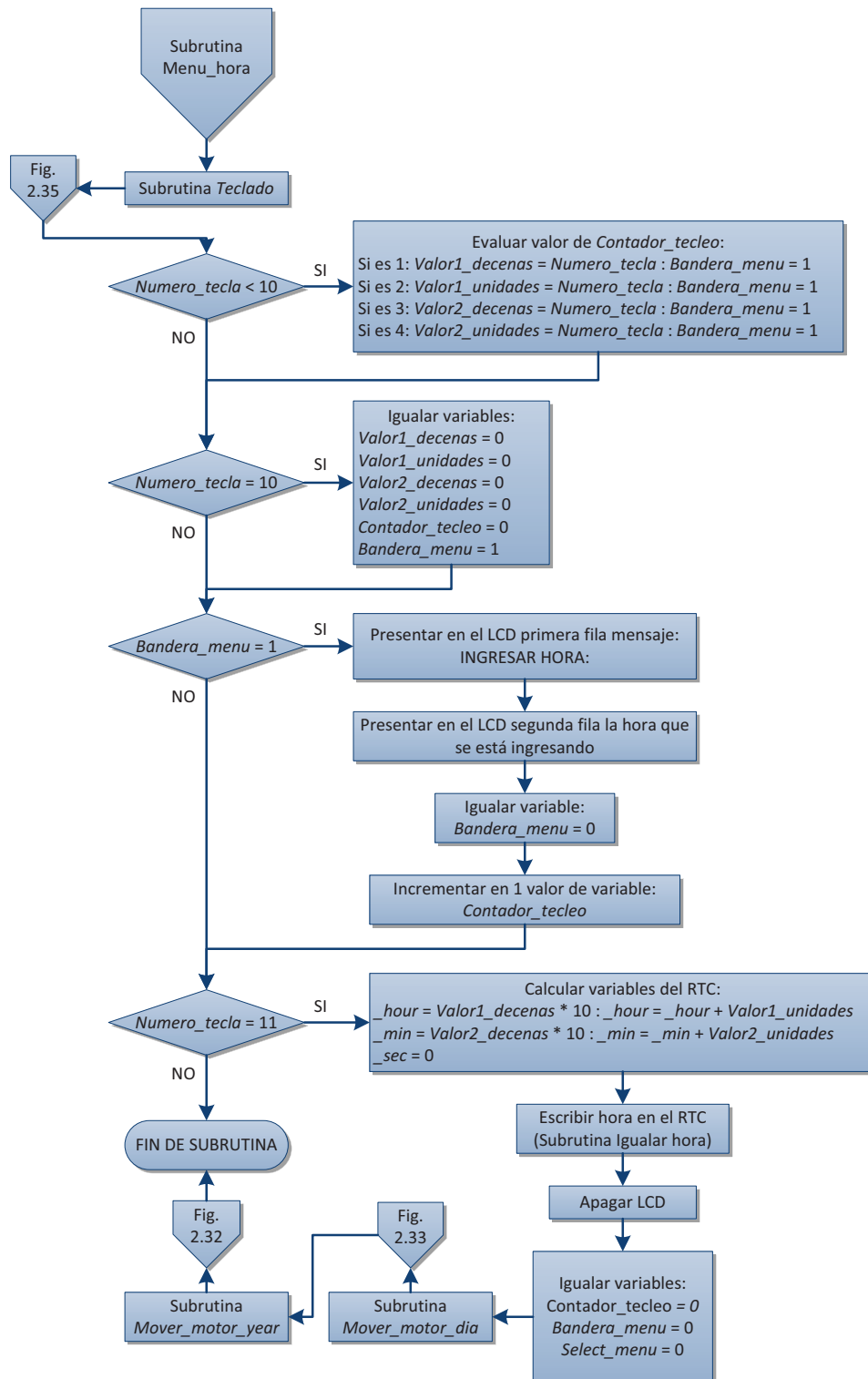


Figura 2.38. Diagrama de flujo de la subrutina Menu_hora

2.5.3.2 Subrutinas de movimiento del panel fotovoltaico

Estas subrutinas cumplen el objetivo de actuar sobre los pines del microcontrolador que están conectados a las entradas lógicas del driver L298 y por consiguiente controlar el motor. Estos pines se identifican con los nombres: M_giro1_year; M_giro2_year para el motor que se encarga del movimiento anual y: M_giro1_day; M_giro2_day para el motor que se encarga del movimiento diario.

Una parte fundamental de estas subrutinas es comparar los datos obtenidos de la lectura del acelerómetro con las variables que tienen los valores de las tablas 2.12 y 2.13 para orientar el panel fotovoltaico con los ángulos correctos mediante el giro adecuado del respectivo motor.

También se hace el cálculo de una tolerancia para la lectura del acelerómetro porque la lectura del acelerómetro varía un poco debido a que es un dispositivo análogo.

Por último el programa desactiva el motor y espera 1 minuto para que el bucle principal no llame de nuevo a estas subrutinas.

2.5.3.2.1 Subrutina para el movimiento anual

Esta subrutina se encarga de controlar el estado lógico de los pines M_giro1_year y M_giro2_year que mueven el motor que se alimenta con 12V y mueve el panel fotovoltaico en el eje Y.

La figura 2.39 muestra el diagrama de flujo de la subrutina para el movimiento anual.

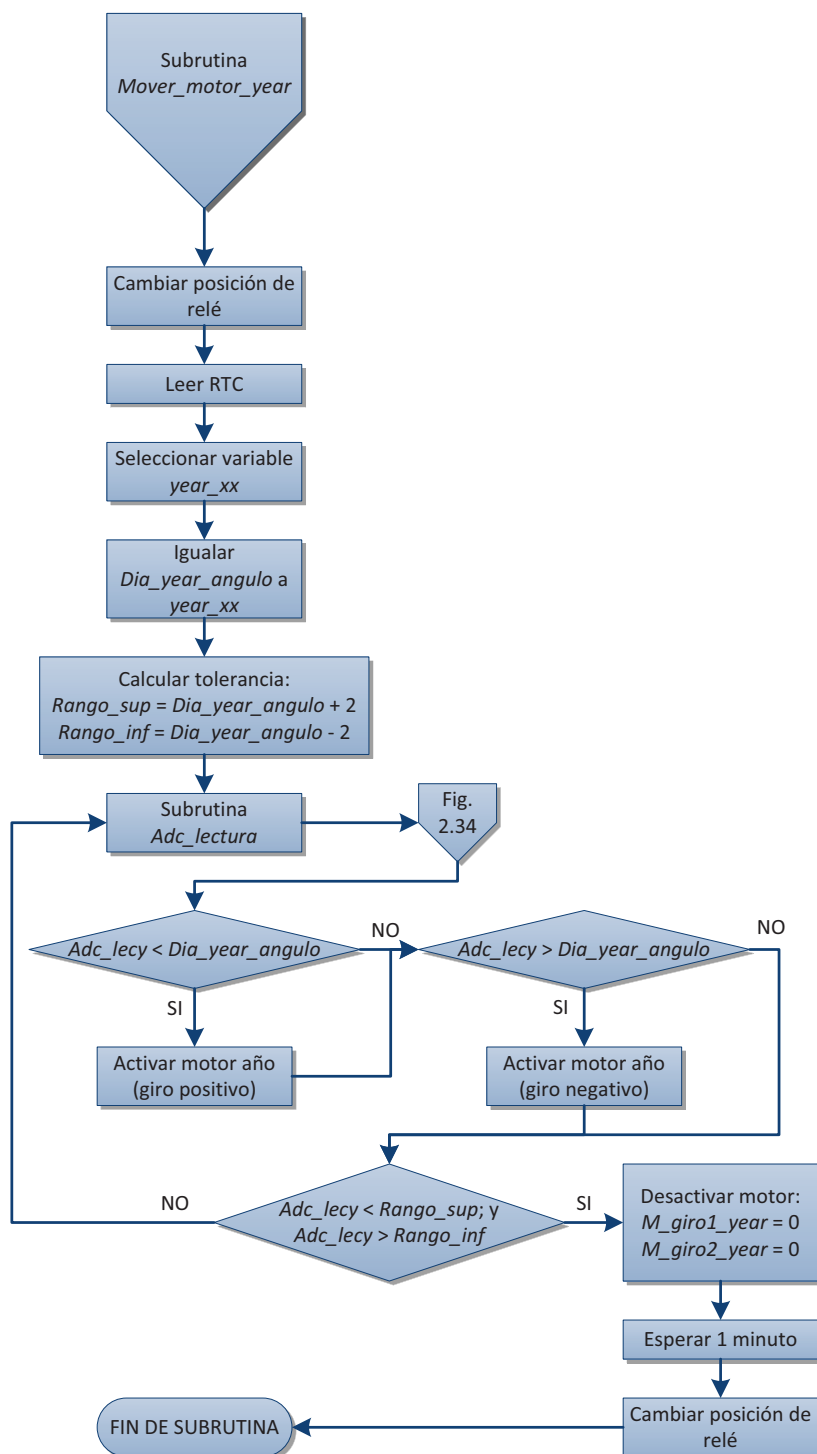


Figura 2.39. Diagrama de flujo de la subrutina *Mover_motor_year*

2.5.3.2.2 Subrutina para el movimiento diario

Esta subrutina se encarga de los pines M_giro1_day y M_giro2_day que mueven el motor que se alimenta con 9V.

La figura 2.40 muestra el diagrama de flujo de la subrutina para el movimiento anual.

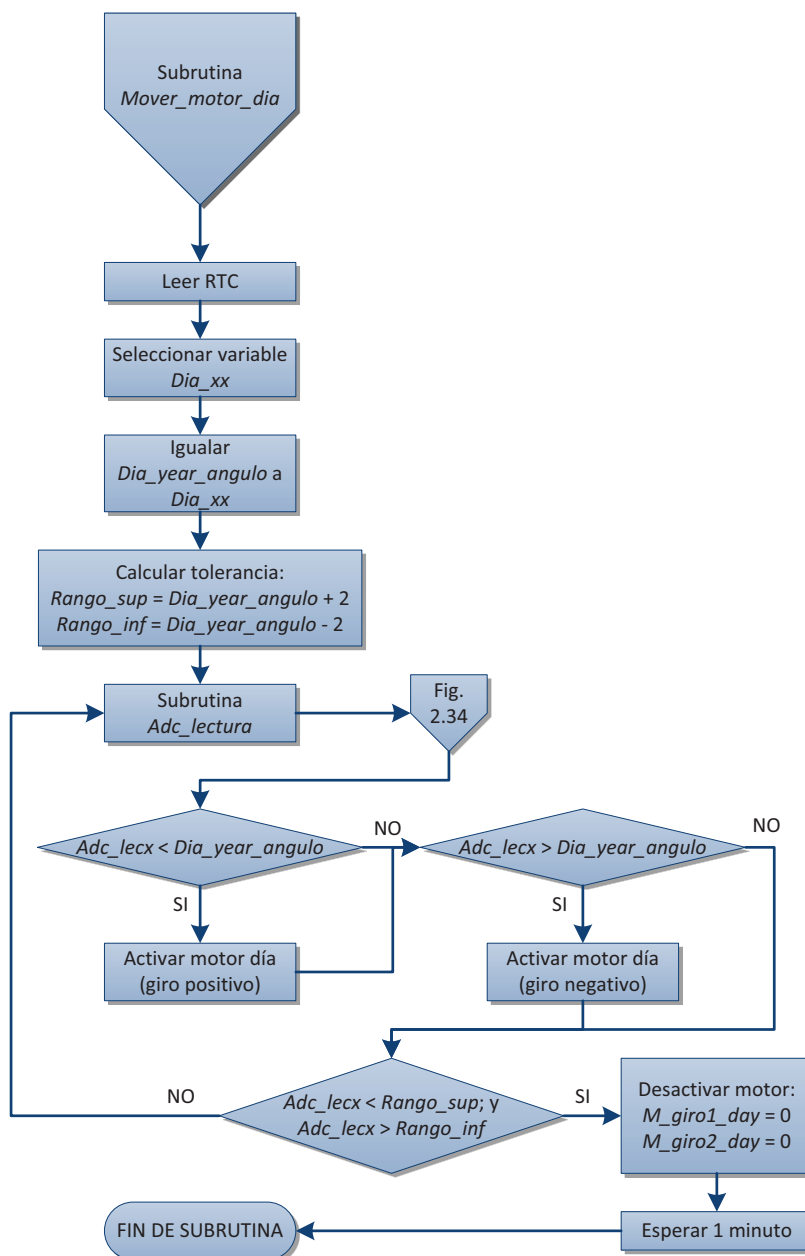


Figura 2.40. Diagrama de flujo de la subrutina Mover_motor_dia

2.5.3.3 Subrutina de lectura del acelerómetro

Para obtener los datos del acelerómetro y usarlos de acuerdo al análisis de la sección 2.4.5 se implementa la subrutina *Adc_lectura* con la cual se obtiene la lectura del acelerómetro.

La figura 2.41 muestra el diagrama de flujo de esta subrutina:

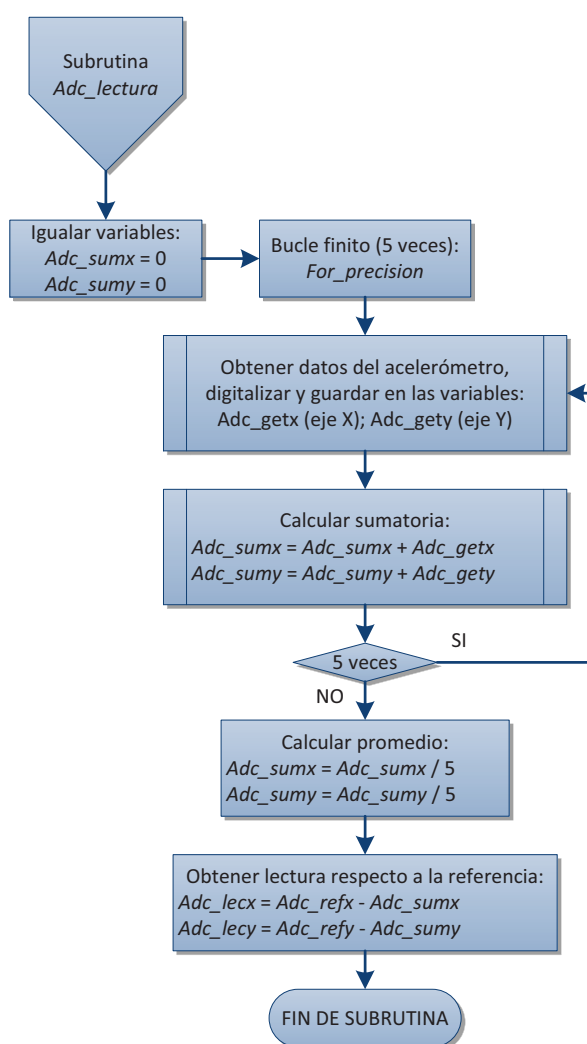


Figura 2.41. Diagrama de flujo de la subrutina *Adc_lectura*

Esta subrutina sirve para obtener la lectura del acelerómetro tanto en el eje X como en el eje Y, tiene un bucle mediante el cual se recibe 5 lecturas las cuales se suman

y se dividen para 5 obteniendo un promedio, este promedio se realiza con el propósito de conseguir datos precisos (procedimiento de la figura 2.23).

2.5.3.4 Subrutina del Teclado

Para detectar la tecla que se presiona se utilizan muchas subrutinas, el diagrama de flujo que se muestra en la figura 2.42 resume el funcionamiento de esas subrutinas.

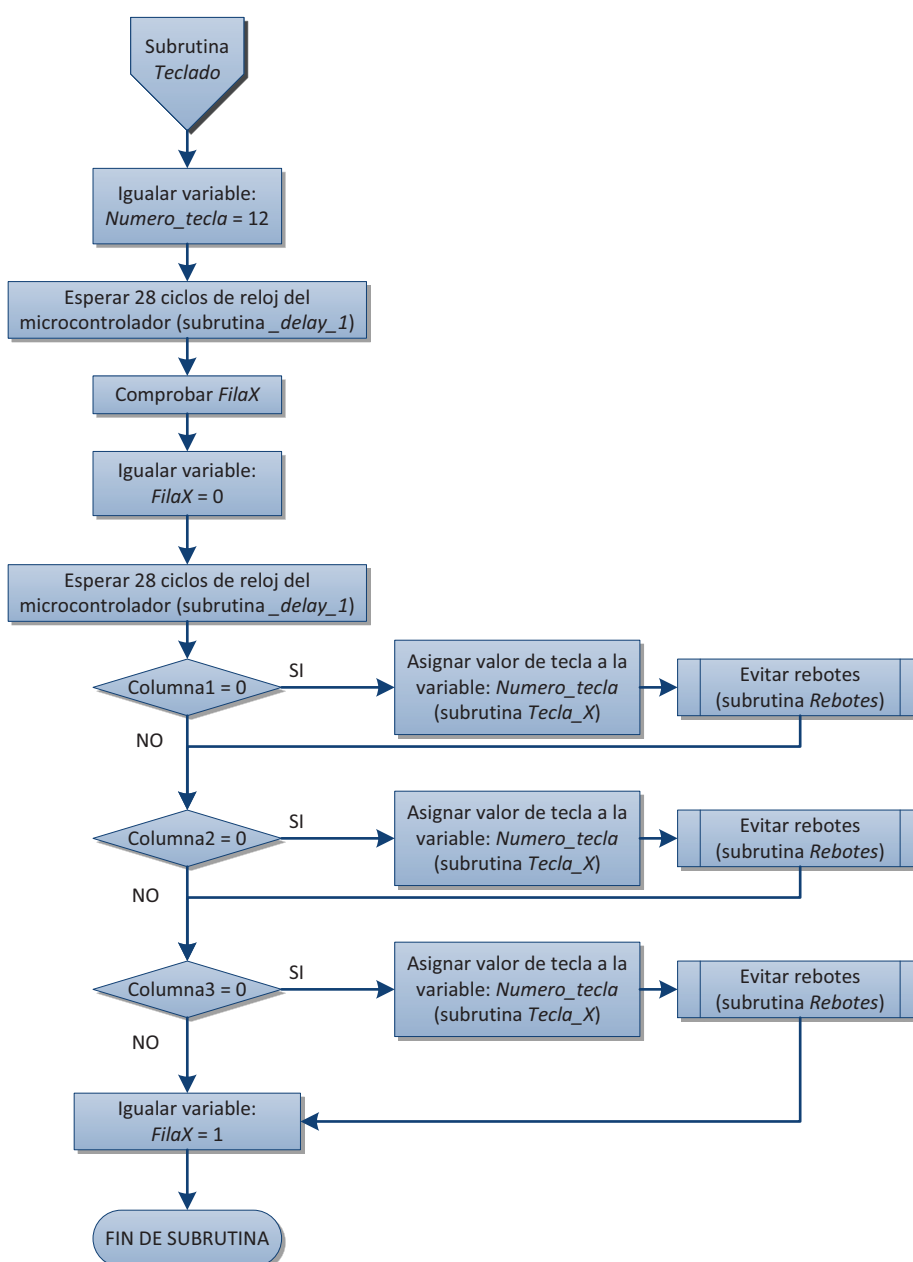


Figura 2.42. Diagrama de flujo de las subrutinas para el teclado

Se usa una subrutina *_delay_1* que sirve para esperar que el programa identifique una fila antes que salte a la siguiente.

Se usa una subrutina para cada tecla después de verificar la fila y la columna, en esta subrutina se asigna el valor a la tecla en la variable *Numero_tecla*.

Se usa una subrutina *Rebotes* para suprimir las señales de rebotes al presionar cualquier tecla.

En el diagrama mostrado se ha resumido el procedimiento para una sola fila, este procedimiento se lo hace para cada fila, es decir se repite 4 veces.

2.6 Instalación del sistema de seguimiento del Sol

2.6.1 Ensamblaje del sistema de seguimiento del Sol

El circuito impreso es fijado dentro de una caja, la misma que se fija a la estructura mecánica. En esta caja se colocan el LCD, teclado y pulsador de encendido/apagado del LCD. El acelerómetro está adherido al panel fotovoltaico de manera que se encuentre paralelo.

El sistema completo y ensamblado se muestra en la figura 2.43, esta figura muestra la gata con un forro para protección contra lluvia, la caja del circuito también está protegida contra lluvia aunque en esta figura no se muestra.



Figura 2.43. Sistema de seguimiento del Sol ensamblado completamente

2.6.2 Puesta en funcionamiento del sistema de seguimiento del Sol

2.6.2.1 Requisitos de instalación del sistema de seguimiento del Sol

El correcto funcionamiento del sistema mecánico necesita algunos requisitos, los cuales se explican a continuación:

- El sistema está diseñado para ser colocado en una superficie plana.
- El panel fotovoltaico tiene que estar direccionado hacia el Norte de tal manera que el movimiento coincida con los ángulos calculados en las tablas 2.12 y 2.13, como se muestra en la figura 2.44:

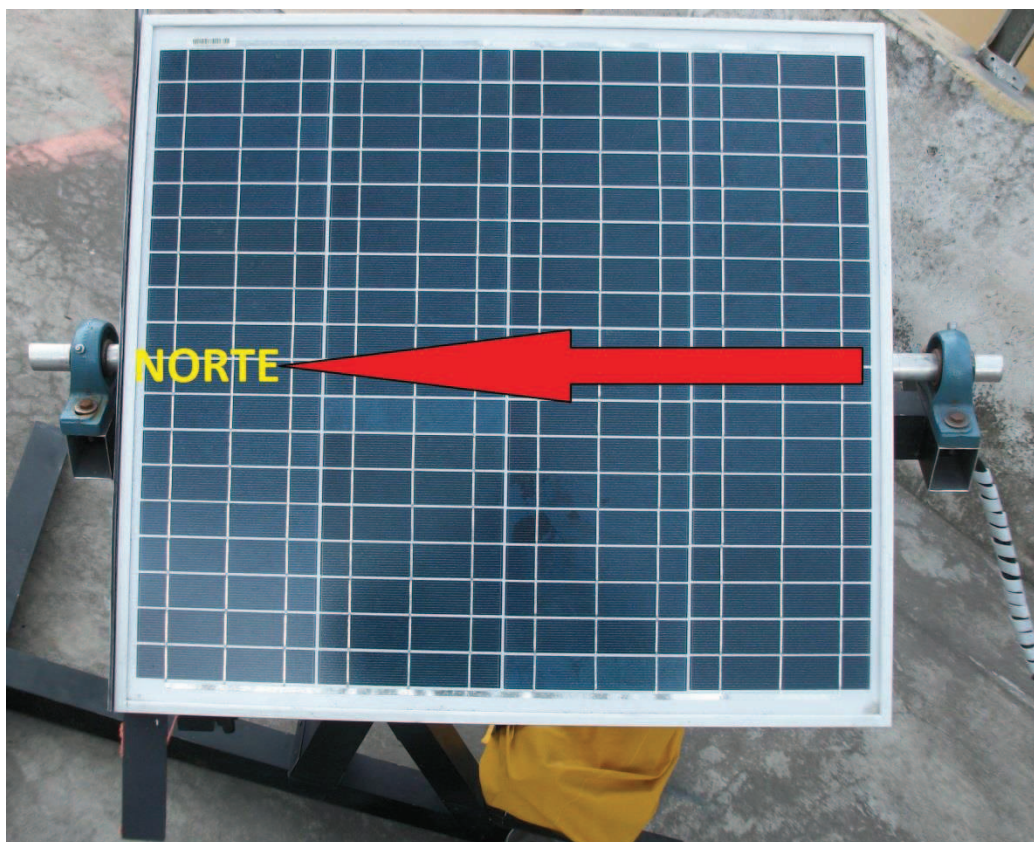


Figura 2.44. Direccionamiento del sistema de seguimiento del Sol

- Debe colocarse en un lugar donde no proyecte sombra sobre el panel fotovoltaico en ningún momento.
- El panel fotovoltaico debe tener libertad de girar para seguir al Sol (sin cosas estorbando).

2.6.2.2 Configuración del reloj

La configuración del reloj se debe seguir los siguientes pasos:

- Encender el LCD mediante el pulsador que se encuentra a la derecha del mismo, luego se muestra la fecha: 1/1/2013 y la hora 00:00, para seguir se debe presionar la tecla #.
- Cuando se muestra el mensaje “ACTUALIZAR RELOJ”, se tienen dos opciones, la primera es seguir con la configuración si se presiona la tecla 1 y la segunda

opción es apagar el LCD (dejando el sistema con la hora y fecha mostradas anteriormente) si se presiona la tecla 3.

- Una vez presionada la tecla 1 como se mencionó en el punto anterior se ingresa la fecha con el siguiente formato: DD/MM/AA, los valores se ingresan de dos dígitos en dos dígitos, por ejemplo si la fecha es 4 de febrero se debe ingresar los números de la siguiente manera: 0 → 4 → 0 → 2, para el año se ingresan los últimos dos dígitos. Si no se ha ingresado correctamente algún dígito se puede repetir esta parte al presionar la tecla *, si se ha ingresado correctamente la fecha se procede al siguiente paso mediante presionar la tecla #.
- Ingresar la hora de la misma manera que se indicó en el punto anterior.
- En cualquier parte del procedimiento se puede salir al presionar el pulsador de encendido/apagado del LCD, con lo cual se apaga el LCD y el sistema sigue con el funcionamiento rutinario.

CAPÍTULO 3

3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Conclusiones

- El proyecto construido es conveniente principalmente para su uso en lugares donde no existe red eléctrica comercial, aunque está diseñado para ser utilizado en Quito puede ser usado en zonas del planeta en las cuales la latitud es cercana a 0° sin afectar la eficiencia del sistema.
- La energía almacenada en la batería puede ser empleada para energizar cualquier dispositivo que funcione con voltaje directo de la batería, a pesar de que el proyecto está planteado inicialmente para energizar luminaria LED.
- El acelerómetro empleado en este proyecto necesita ser alimentado con una fuente de voltaje de 3,3 V muy estable debido a que las salidas del acelerómetro no solo dependen de la inclinación del mismo sino también del voltaje de alimentación, esto porque es un dispositivo analógico y el microcontrolador usa el voltaje de alimentación del acelerómetro para la referencia del conversor análogo-digital.
- El uso de microcontroladores AVR en conjunto con el lenguaje de programación Bascom AVR hizo que la consecución de este proyecto sea más fácil y rápida que en lugar de utilizar otras marcas de microcontroladores u otros lenguajes de programación.

3.2 Recomendaciones

- Para la construcción de un sistema de seguimiento del Sol a partir del presente proyecto se recomienda colocar un sistema fotovoltaico (panel fotovoltaico, batería y controlador de carga) más grande ya que los motores utilizados son capaces de mover un panel fotovoltaico más grande que el usado en este proyecto y así lograr un sistema más rentable.
- Si se necesita energizar un dispositivo que funciona con energía eléctrica comercial (110 V AC), se recomienda incorporar al sistema fotovoltaico un inversor de corriente tomando en cuenta que existirán pérdidas.
- Si se dispone de un dispositivo analógico se recomienda alimentar con una fuente de voltaje muy estable para que la conversión análoga-digital sea lo más precisa posible.
- En proyectos similares se recomienda desarrollar el programa en Bascom AVR, ya que se pudo comprobar que el proceso de programar con este lenguaje, incluido el aprendizaje del mismo es más sencillo que otros y se puede realizar el proyecto en menos tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

Gopal Nath Twari, S. D. (2010). *Fundamentals of photovoltaic modules and their applicatios*. RSC.

Javier Méndez, R. C. (2007). *Energía Solar Fotovoltaica*. FC EDITORIAL.

Lewis M. Fraas, L. D. (2010). *Solar Cells and their applications*. Wiley.

Sonnenergie, D. G. (s.f.). *Planning installing photovoltaic systems*. 2008: Earthscan.

Valencia, R. (2008). *Aplicaciones electrónicas con microcontroladores AVR*. Microtel.

Vallina, M. M. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Ediciones Paraninfo.

Hoja de datos del microcontrolador ATmega164

Hoja de datos del acelerómetro MMA7361L

Hoja de datos del RTC DS1307

Hoja de datos del driver L298

Hoja de datos del panel fotovoltaico Exmork 50P

Hoja de datos del regulador de carga Morningstar SHS-10

Referencias:

<http://www.sfe-solar.com/calculo-sistemas-fotovoltaicos-aislados-autonomos/>

<http://oretano.iele-ab.uclm.es/~carrion/Bibliografia/M%C3%B3dulos%20Fotovoltaicos.pdf>

http://www.eraeco.es/index.php?option=com_content&view=article&id=58&Itemid=63

<http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com/2006/01/el-regulador-de-carga.html>

http://www.eraeco.es/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=69

http://www.catalogobosch.com/BibliotecaPDF_es/Bater%C3%ADas/Bater%C3%ADas_Manual.pdf

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/solar/imgsol/eclip.gif>

<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/glossary.html>
<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/azelzen.gif>
http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/fig5_0n.gif
<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/glossary.html>
<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/celsphere.gif>
<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/calcdetails.html>
<http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>
<http://es.wikipedia.org/wiki/AVR>
<http://www.cursomicros.com/avr/microcontroladores/caracteristicas.html>
http://www.ucontrol.com.ar/wiki/images/b/b7/EluC_02a.png
<http://www.cursomicros.com/avr/microcontroladores/caracteristicas.html>
http://en.wikipedia.org/wiki/Atmel_AVR
<http://www.cursomicros.com/avr/arquitectura/caracteristicas-de-los-avr.html>
<http://www.cursomicros.com/avr/arquitectura/empaques-de-los-avr.html#diagrama-bloques-atmega>
<http://www.digikey.com/us/en/techzone/microcontroller/resources/articles/enabling-timekeeping-function.html>
<http://www.dimensionengineering.com/info/accelerometers>
<http://www.pololu.com/catalog/product/1251>
http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_continua
<http://www.scribd.com/doc/78480580/4/CARACTERISTICAS-TECNICAS-DE-MOTORES-DC>
<http://lonely113.blogspot.com/2011/03/lcd-2x16.html>
http://electronics-diy.com/schematics/1162/HD44780_breadboard_02_lrg.jpg
<http://lonely113.blogspot.com/2011/03/lcd-2x16.html>
<http://www.programarpicenc.com/libro/cap03-display-lcd-16x2-2x16-hd44780-mikroc-pro.html>
<http://lorien.die.upm.es/juancho/pfcs/jmrs/Teclado/Teclado%20Matricial.doc>
<http://lenguajesosota18.blogspot.com/>

ANEXOS

ANEXO A

HOJA DE DATOS DEL MICROCONTROLADOR ATMEGA 164

Features

- High-performance, low-power 8-bit Atmel® AVR® Microcontroller
- Advanced RISC architecture
 - 131 powerful instructions – most single-clock cycle execution
 - 32 × 8 general purpose working registers
 - Fully static operation
 - Up to 20MIPS throughput at 20MHz
 - On-chip 2-cycle multiplier
- High endurance non-volatile memory segments
 - 16/32/64/128KBytes of In-System Self-programmable Flash program memory
 - 512/1K/2K/4KBytes EEPROM
 - 1/2/4/16KBytes internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/ 100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/ 100 years at 25°C ⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Atmel QTouch® library support
 - Capacitive touch buttons, sliders and wheels
 - QTouch and QMatrix acquisition
 - Up to 64 sense channels
- JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) interface
 - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
 - Extensive On-chip Debug Support
 - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG interface
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
 - One/two 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Six PWM Channels
 - 8-channel, 10-bit ADC
 - Differential mode with selectable gain at 1x, 10x or 200x
 - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
 - Two Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated RC Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 32 Programmable I/O Lines
 - 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, 44-pad VQFN/QFNMLF
 - 44-pad DQFN
 - 49-ball VFBGA
- Operating Voltages
 - 1.8 - 5.5V
- Speed Grades
 - 0 - 4MHz @ 1.8 - 5.5V
 - 0 - 10MHz @ 2.7 - 5.5V
 - 0 - 20MHz @ 4.5 - 5.5V
- Power Consumption at 1MHz, 1.8V, 25°C
 - Active: 0.4mA
 - Power-down Mode: 0.1µA
 - Power-save Mode: 0.6µA (including 32kHz RTC)

Note: 1. See "Data retention" on page 9 for details.



**8-bit Atmel
Microcontroller
with
16/32/64/128K
Bytes In-System
Programmable
Flash**

**ATmega164A
ATmega164PA
ATmega324A
ATmega324PA
ATmega644A
ATmega644PA
ATmega1284
ATmega1284P**

Summary

8272DS-AVR-05/12

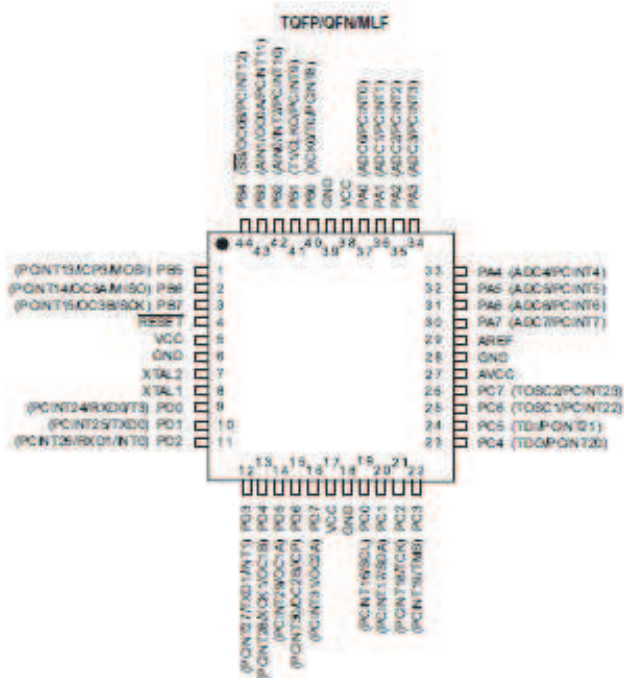


ATmega164A/PA/324A/PA/644A/PA/1284/P

1. Pin configurations

1.1 Pinout - PDIP/TQFP/VQFN/QFN/MLF for ATmega164A/164PA/324A/324PA/644A/644PA/1284/1284P

Figure 1-1. Pinout.



Note: The large center pad underneath the VQFN/QFN/MLF package should be soldered to ground on the board to ensure good mechanical stability.

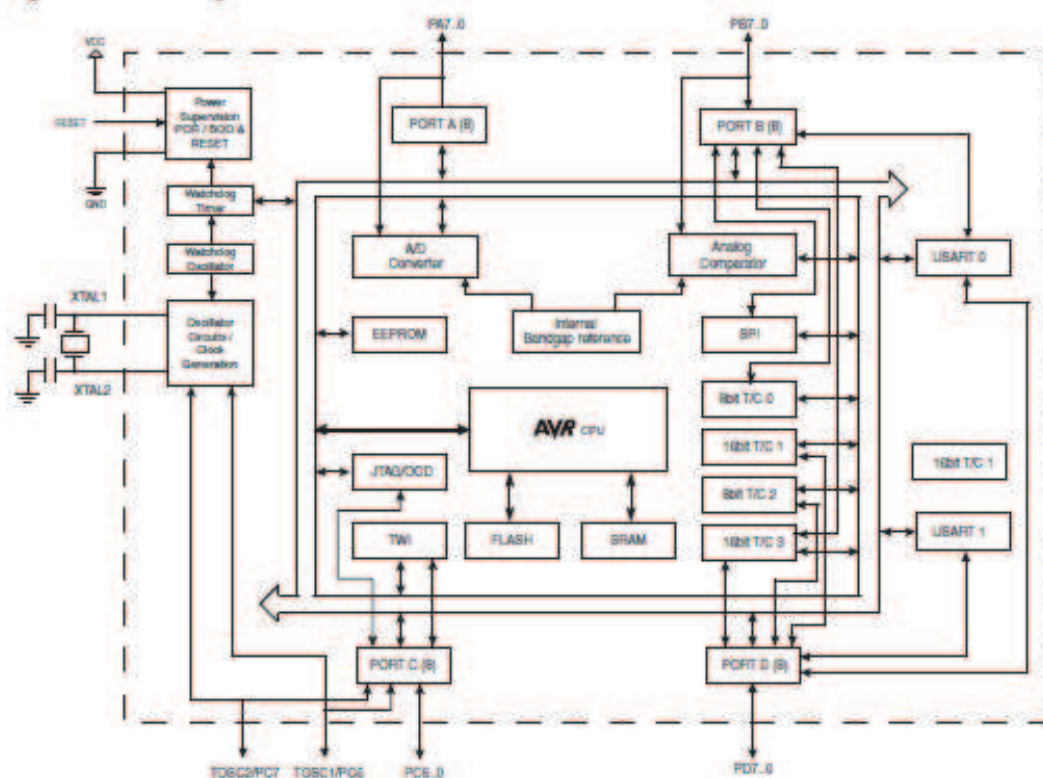
ATmega164A/PA/324A/PA/644A/PA/1284/P

2. Overview

The Atmel ATmega164A/164PA/324A/324PA/644A/644PA/1284/1284P is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega164A/164PA/324A/324PA/644A/644PA/1284/1284P achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

2.1 Block diagram

Figure 2-1. Block diagram.



The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

Device	Flash	EEPROM	RAM	Units
ATmega164A	16K	512	1K	bytes
ATmega164PA	16K	512	1K	
ATmega324A	32K	1K	2K	
ATmega324PA	32K	1K	2K	
ATmega644A	64K	2K	4K	
ATmega644PA	64K	2K	4K	
ATmega1284	128K	4K	16K	
ATmega1284P	128K	4K	16K	

2.3 Pin Descriptions

2.3.1 VCC

Digital supply voltage.

2.3.2 GND

Ground.

2.3.3 Port A (PA7:PA0)

Port A serves as analog inputs to the Analog-to-digital Converter.

Port A also serves as an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port A output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port A pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port A pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port A also serves the functions of various special features of the Atmel ATmega164A/164PA/324A/324PA/644A/644PA/1284/1284P as listed on [page 80](#).

2.3.4 Port B (PB7:PB0)

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port B also serves the functions of various special features of the ATmega164A/164PA/324A/324PA/644A/644PA/1284/1284P as listed on [page 82](#).

2.3.5 Port C (PC7:PC0)

Port C is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port C output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source

ATmega164A/PA/324A/PA/644A/PA/1284/P

capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port C also serves the functions of the JTAG interface, along with special features of the Atmel ATmega164A/164PA/324A/324PA/644A/644PA/1284/1284P as listed on [page 85](#).

2.3.6 Port D (PD7:PD0)

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port D also serves the functions of various special features of the ATmega164A/164PA/324A/324PA/644A/644PA/1284/1284P as listed on [page 88](#).

2.3.7 RESET

Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in [™](#) on [page 336](#). Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset.

2.3.8 XTAL1

Input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

2.3.9 XTAL2

Output from the inverting Oscillator amplifier.

2.3.10 AVCC

AVCC is the supply voltage pin for Port A and the Analog-to-digital Converter. It should be externally connected to V_{CC} , even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter.

2.3.11 AREF

This is the analog reference pin for the Analog-to-digital Converter.

ANEXO B

HOJA DE DATOS DEL ACELERÓMETRO MMA7361L

Freescale Semiconductor
Technical Data

Document Number: MMA7361L
Rev 0, 04/2008



±1.5g, ±6g Three Axis Low-g Micromachined Accelerometer

The MMA7361L is a low power, low profile capacitive micromachined accelerometer featuring signal conditioning, a 1-pole low pass filter, temperature compensation, self test, 0g-Detect which detects linear freefall, and g-Select which allows for the selection between 2 sensitivities. Zero-g offset and sensitivity are factory set and require no external devices. The MMA7361L includes a Sleep Mode that makes it ideal for handheld battery powered electronics.

Features

- 3mm x 5mm x 1.0mm LGA-14 Package
- Low Current Consumption: 400 μ A
- Sleep Mode: 3 μ A
- Low Voltage Operation: 2.2 V – 3.6 V
- High Sensitivity (800 mV/g @ 1.5g)
- Selectable Sensitivity ($\pm 1.5g$, $\pm 6g$)
- Fast Turn On Time (0.5 ms Enable Response Time)
- Self Test for Freefall Detect Diagnosis
- 0g-Detect for Freefall Protection
- Signal Conditioning with Low Pass Filter
- Robust Design, High Shocks Survivability
- RoHS Compliant
- Environmentally Preferred Product
- Low Cost

Typical Applications

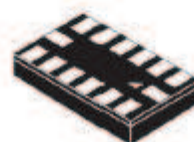
- 3D Gaming: Tilt and Motion Sensing, Event Recorder
- HDD MP3 Player: Freefall Detection
- Laptop PC: Freefall Detection, Anti-Theft
- Cell Phone: Image Stability, Text Scroll, Motion Dialing, E-Compass
- Pedometer: Motion Sensing
- PDA: Text Scroll
- Navigation and Dead Reckoning: E-Compass Tilt Compensation
- Robotics: Motion Sensing

ORDERING INFORMATION				
Part Number	Temperature Range	Package Drawing	Package	Shipping
MMA7361LT	-40 to +85°C	1977-01	LGA-14	Tray
MMA7361LR1	-40 to +85°C	1977-01	LGA-14	7" Tape & Reel
MMA7361LR2	-40 to +85°C	1977-01	LGA-14	13" Tape & Reel

MMA7361L

MMA7361L: XYZ AXIS
ACCELEROMETER
 $\pm 1.5g$, $\pm 6g$

Bottom View



14 LEAD
LGA
CASE 1977-01

Top View

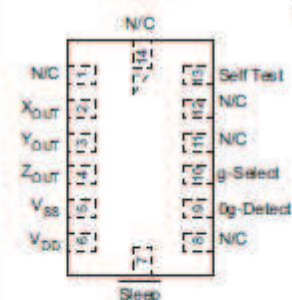


Figure 1. Pin Connections

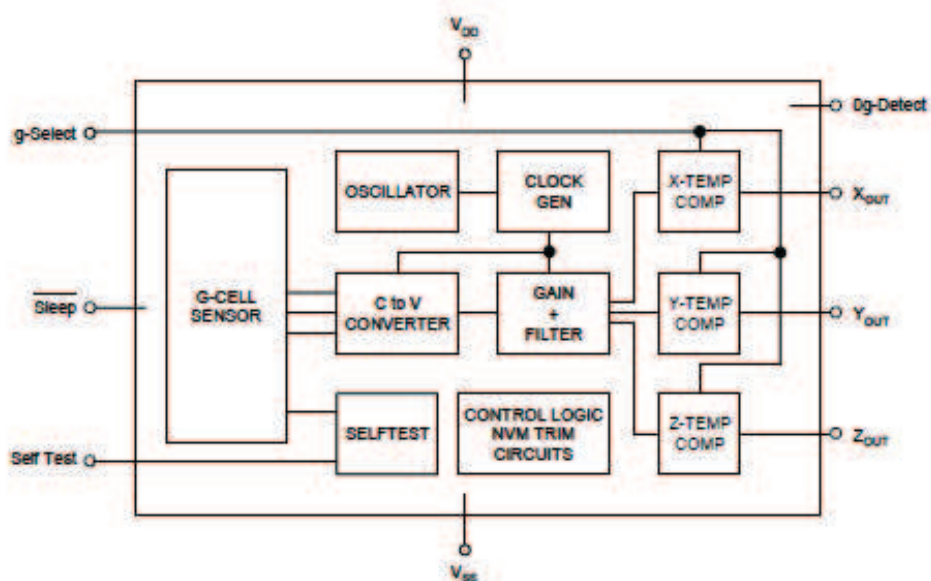


Figure 2. Simplified Accelerometer Functional Block Diagram

Table 1. Maximum Ratings

(Maximum ratings are the limits to which the device can be exposed without causing permanent damage.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Acceleration (all axis)	a_{max}	± 5000	g
Supply Voltage	V_{DD}	-0.3 to +3.6	V
Drop Test ⁽¹⁾	D_{drop}	1.8	m
Storage Temperature Range	T_{stg}	-40 to +125	°C

1. Dropped onto concrete surface from any axis.

ELECTRO STATIC DISCHARGE (ESD)

WARNING: This device is sensitive to electrostatic discharge.

Although the Freescale accelerometer contains internal 2000 V ESD protection circuitry, extra precaution must be taken by the user to protect the chip from ESD. A charge of over 2000 volts can accumulate on the human body or associated test equipment. A charge of this magnitude can

alter the performance or cause failure of the chip. When handling the accelerometer, proper ESD precautions should be followed to avoid exposing the device to discharges which may be detrimental to its performance.

PRINCIPLE OF OPERATION

The Freescale accelerometer is a surface-micromachined integrated-circuit accelerometer.

The device consists of a surface micromachined capacitive sensing cell (g-cell) and a signal conditioning ASIC contained in a single package. The sensing element is sealed hermetically at the wafer level using a bulk micromachined cap wafer.

The g-cell is a mechanical structure formed from semiconductor materials (polysilicon) using semiconductor processes (masking and etching). It can be modeled as a set of beams attached to a movable central mass that move between fixed beams. The movable beams can be deflected from their rest position by subjecting the system to an acceleration (Figure 3).

As the beams attached to the central mass move, the distance from them to the fixed beams on one side will increase by the same amount that the distance to the fixed beams on the other side decreases. The change in distance is a measure of acceleration.

The g-cell beams form two back-to-back capacitors (Figure 3). As the center beam moves with acceleration, the distance between the beams changes and each capacitor's value will change, ($C = \epsilon A/d$). Where A is the area of the beam, ϵ is the dielectric constant, and D is the distance between the beams.

The ASIC uses switched capacitor techniques to measure the g-cell capacitors and extract the acceleration data from the difference between the two capacitors. The ASIC also signal conditions and filters (switched capacitor) the signal, providing a high level output voltage that is ratiometric and proportional to acceleration.

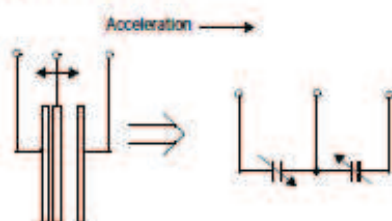


Figure 3. Simplified Transducer Physical Model

SPECIAL FEATURES

0g-Detect

The sensor offers a 0g-Detect feature that provides a logic high signal when all three axes are at 0g. This feature enables the application of Linear Freefall protection if the signal is connected to an Interrupt pin or a polled I/O pin on a microcontroller.

Self Test

The sensor provides a self test feature that allows the verification of the mechanical and electrical integrity of the accelerometer at any time before or after installation. This feature is critical in applications such as hard disk drive

protection where system integrity must be ensured over the life of the product. Customers can use self test to verify the solderability to confirm that the part was mounted to the PCB correctly. To use this feature to verify the 0g-Detect function, the accelerometer should be held upside down so that the z-axis experiences -1g. When the self test function is initiated, an electrostatic force is applied to each axis to cause it to deflect. The x- and y-axis are deflected slightly while the z-axis is trimmed to deflect 1g. This procedure assures that both the mechanical (g-cell) and electronic sections of the accelerometer are functioning.

g-Select

The g-Select feature allows for the selection between two sensitivities. Depending on the logic input placed on pin 10, the device internal gain will be changed allowing it to function with a 1.5g or 6g sensitivity (Table 3). This feature is ideal when a product has applications requiring two different sensitivities for optimum performance. The sensitivity can be changed at anytime during the operation of the product. The g-Select pin can be left unconnected for applications requiring only a 1.5g sensitivity as the device has an internal pull-down to keep it at that sensitivity (800mV/g).

Table 3. g-Select Pin Description

g-Select	g-Range	Sensitivity
0	1.5g	800 mV/g
1	6g	206 mV/g

Sleep Mode

The 3 axis accelerometer provides a Sleep Mode that is ideal for battery operated products. When Sleep Mode is active, the device outputs are turned off, providing significant reduction of operating current. A low input signal on pin 7 (Sleep Mode) will place the device in this mode and reduce the current to 3 μ A typ. For lower power consumption, it is recommended to set g-Select to 1.5g mode. By placing a high input signal on pin 7, the device will resume to normal mode of operation.

Filtering

The 3 axis accelerometer contains an onboard single-pole switched capacitor filter. Because the filter is realized using switched capacitor techniques, there is no requirement for external passive components (resistors and capacitors) to set the cut-off frequency.

Ratiometricity

Ratiometricity simply means the output offset voltage and sensitivity will scale linearly with applied supply voltage. That is, as supply voltage is increased, the sensitivity and offset increase linearly; as supply voltage decreases, offset and sensitivity decrease linearly. This is a key feature when interfacing to a microcontroller or an A/D converter because it provides system level cancellation of supply induced errors in the analog to digital conversion process.

MMA7361L

BASIC CONNECTIONS

Pin Descriptions

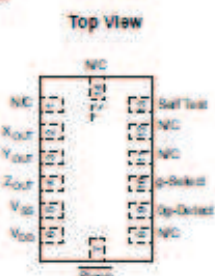


Figure 4. Pinout Description

Table 4. Pin Descriptions

Pin No.	Pin Name	Description
1	NC	No internal connection Leave unconnected
2	X _{OUT}	X direction output voltage
3	Y _{OUT}	Y direction output voltage
4	Z _{OUT}	Z direction output voltage
5	V _{DD}	Power Supply Ground
6	V _{DD}	Power Supply Input
7	Sleep	Logic input pin to enable product or Sleep Mode
8	NC	No internal connection Leave unconnected
9	g _D -Detect	Linear Freefall digital logic output signal
10	g-Select	Logic input pin to select g level
11	NC	Unused for factory trim Leave unconnected
12	NC	Unused for factory trim Leave unconnected
13	Self Test	Input pin to initiate Self Test
14	NC	Unused for factory trim Leave unconnected

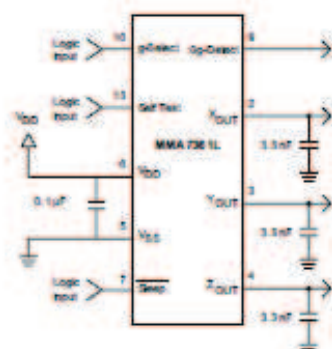


Figure 5. Accelerometer with Recommended Connection Diagram

PCB Layout

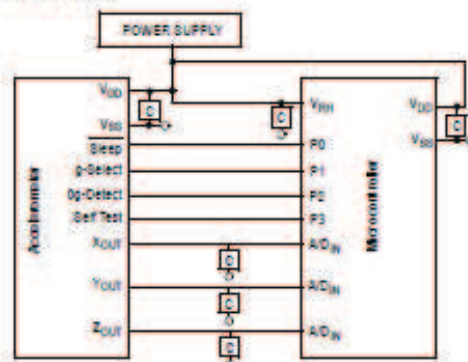


Figure 6. Recommended PCB Layout for Interfacing Accelerometer to Microcontroller

NOTES:

1. Use 0.1 µF capacitor on V_{DD} to decouple the power source.
2. Physical coupling distance of the accelerometer to the microcontroller should be minimal.
3. Place a ground plane beneath the accelerometer to reduce noise, the ground plane should be attached to all of the open ended terminals shown in Figure 6.
4. Use a 3.3nF capacitor on the outputs of the accelerometer to minimize clock noise (from the switched capacitor filter circuit).
5. PCB layout of power and ground should not couple power supply noise.
6. Accelerometer and microcontroller should not be a high current path.
7. A/D sampling rate and any external power supply switching frequency should be selected such that they do not interfere with the internal accelerometer sampling frequency (11 kHz for the sampling frequency). This will prevent aliasing errors.
8. 10MΩ or higher is recommended on X_{OUT}, Y_{OUT} and Z_{OUT} to prevent loss due to the voltage divider relationship between the internal 32 kΩ resistor and the measurement input impedance.

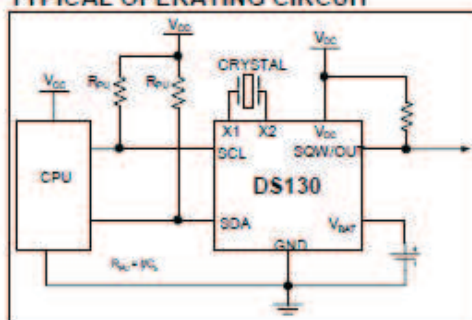
MMA7361L

ANEXO C

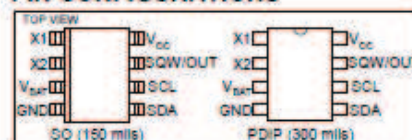
HOJA DE DATOS DEL RTC DS1307


DS1307
64 x 8, Serial, I²C Real-Time Clock
GENERAL DESCRIPTION

The DS1307 serial real-time clock (RTC) is a low-power, full binary-coded decimal (BCD) clock/calendar plus 56 bytes of NV SRAM. Address and data are transferred serially through an I²C, bidirectional bus. The clock/calendar provides seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The end of the month date is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with AM/PM indicator. The DS1307 has a built-in power-sense circuit that detects power failures and automatically switches to the backup supply. Timekeeping operation continues while the part operates from the backup supply.

TYPICAL OPERATING CIRCUIT**FEATURES**

- Real-Time Clock (RTC) Counts Seconds, Minutes, Hours, Date of the Month, Month, Day of the week, and Year with Leap-Year Compensation Valid Up to 2100
- 56-Byte, Battery-Backed, General-Purpose RAM with Unlimited Writes
- I²C Serial Interface
- Programmable Square-Wave Output Signal
- Automatic Power-Fail Detect and Switch Circuitry
- Consumes Less than 500nA in Battery-Backup Mode with Oscillator Running
- Optional Industrial Temperature Range: -40°C to +85°C
- Available in 8-Pin Plastic DIP or SO
- Underwriters Laboratories (UL) Recognized

PIN CONFIGURATIONS**ORDERING INFORMATION**

PART	TEMP RANGE	VOLTAGE (V)	PIN-PACKAGE	TOP MARK*
DS1307+	0°C to +70°C	5.0	8 PDIP (300 mils)	DS1307
DS1307N+	-40°C to +85°C	5.0	8 PDIP (300 mils)	DS1307N
DS1307Z+	0°C to +70°C	5.0	8 SO (150 mils)	DS1307
DS1307ZN+	-40°C to +85°C	5.0	8 SO (150 mils)	DS1307N
DS1307Z+T&R	0°C to +70°C	5.0	8 SO (150 mils) Tape and Reel	DS1307
DS1307ZN+T&R	-40°C to +85°C	5.0	8 SO (150 mils) Tape and Reel	DS1307N

+Denotes a lead-free/RoHS-compliant package.

*A "+" anywhere on the top mark indicates a lead-free package. An "N" anywhere on the top mark indicates an industrial temperature range device.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground	-0.5V to +7.0V
Operating Temperature Range (Noncondensing)	
Commercial	0°C to +70°C
Industrial	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range	-55°C to +125°C
Soldering Temperature (DIP, leads)	+260°C for 10 seconds
Soldering Temperature (surface mount)	Refer to the JPC/JEDEC J-STD-020 Specification.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to the absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

RECOMMENDED DC OPERATING CONDITIONS

($T_A = 0^\circ\text{C}$ to $+70^\circ\text{C}$, $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$.) (Notes 1, 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Logic 1 Input	V_{IH}		2.2		$V_{CC} + 0.3$	V
Logic 0 Input	V_{IL}		-0.3		+0.8	V
V_{BAT} Battery Voltage	V_{BAT}		2.0	3	3.5	V

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_{CC} = 4.5\text{V}$ to 5.5V ; $T_A = 0^\circ\text{C}$ to $+70^\circ\text{C}$, $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$.) (Notes 1, 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Leakage (SCL)	I_{LI}		-1		1	μA
I/O Leakage (SDA, SQW/OUT)	I_{LO}		-1		1	μA
Logic 0 Output ($I_{OL} = 5\text{mA}$)	V_{OL}				0.4	V
Active Supply Current ($f_{SCL} = 100\text{kHz}$)	I_{CCA}				1.5	mA
Standby Current	I_{CCS}	(Note 3)			200	μA
V_{BAT} Leakage Current	I_{BATLKO}			5	50	nA
Power-Fail Voltage ($V_{BAT} = 3.0\text{V}$)	V_{PF}		$1.216 \times V_{BAT}$	$1.25 \times V_{BAT}$	$1.284 \times V_{BAT}$	V

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($V_{CC} = 0\text{V}$, $V_{BAT} = 3.0\text{V}$; $T_A = 0^\circ\text{C}$ to $+70^\circ\text{C}$, $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$.) (Notes 1, 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
V_{BAT} Current (OSC ON); SQW/OUT OFF	I_{BAT1}			300	500	nA
V_{BAT} Current (OSC ON); SQW/OUT ON (32kHz)	I_{BAT2}			480	800	nA
V_{BAT} Data-Retention Current (Oscillator Off)	I_{BATDR}			10	100	nA

WARNING: Negative undershoots below -0.3V while the part is in battery-backed mode may cause loss of data.

TIMING DIAGRAM

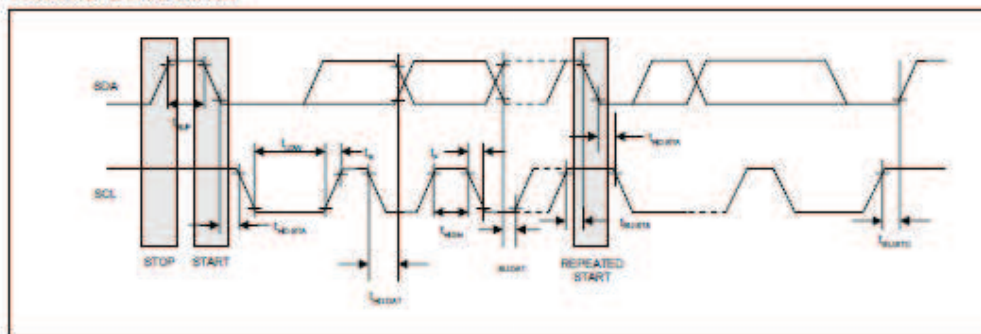
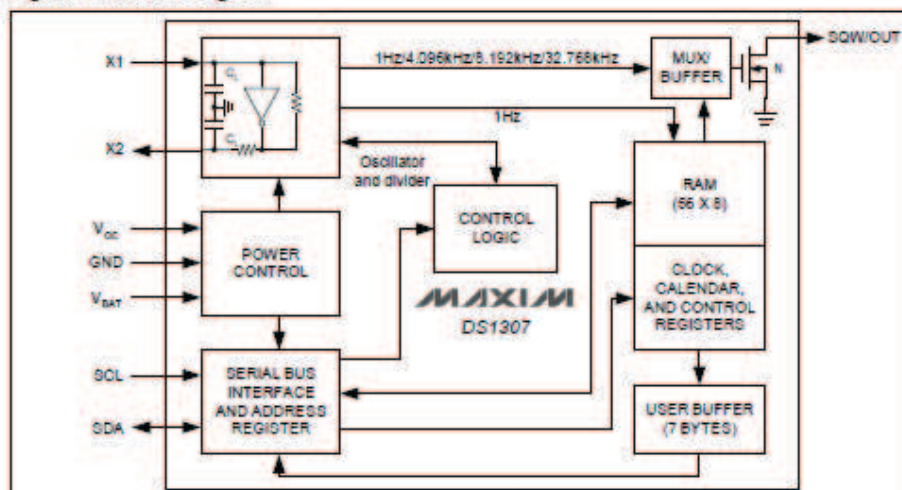


Figure 1. Block Diagram



PIN DESCRIPTION

PIN	NAME	FUNCTION
1	X1	Connections for Standard 32.768kHz Quartz Crystal. The internal oscillator circuitry is designed for operation with a crystal having a specified load capacitance (C_L) of 12.5pF. X1 is the input to the oscillator and can optionally be connected to an external 32.768kHz oscillator. The output of the internal oscillator, X2, is floated if an external oscillator is connected to X1.
2	X2	Note: For more information on crystal selection and crystal layout considerations, refer to <i>Application Note 58: Crystal Considerations with Dallas Real-Time Clocks</i> .
3	V _{BAT}	Backup Supply Input for Any Standard 3V Lithium Cell or Other Energy Source. Battery voltage must be held between the minimum and maximum limits for proper operation. Diodes in series between the battery and the V _{BAT} pin may prevent proper operation. If a backup supply is not required, V _{BAT} must be grounded. The nominal power-fail trip point (V _{PF}) voltage at which access to the RTC and user RAM is denied is set by the internal circuitry as 1.25 x V _{BAT} nominal. A lithium battery with 48mAh or greater will back up the DS1307 for more than 10 years in the absence of power at +25°C. UL recognized to ensure against reverse charging current when used with a lithium battery. Go to: www.maxim-ic.com/ga/info/ul/ .
4	GND	Ground
5	SDA	Serial Data Input/Output. SDA is the data input/output for the I ² C serial interface. The SDA pin is open drain and requires an external pullup resistor. The pullup voltage can be up to 5.5V regardless of the voltage on V _{CC} .
6	SCL	Serial Clock Input. SCL is the clock input for the I ² C interface and is used to synchronize data movement on the serial interface. The pullup voltage can be up to 5.5V regardless of the voltage on V _{CC} .
7	SQW/OUT	Square Wave/Output Driver. When enabled, the SQWE bit set to 1, the SQW/OUT pin outputs one of four square-wave frequencies (1Hz, 4kHz, 8kHz, 32kHz). The SQW/OUT pin is open drain and requires an external pullup resistor. SQW/OUT operates with either V _{CC} or V _{BAT} applied. The pullup voltage can be up to 5.5V regardless of the voltage on V _{CC} . If not used, this pin can be left floating.
8	V _{CC}	Primary Power Supply. When voltage is applied within normal limits, the device is fully accessible and data can be written and read. When a backup supply is connected to the device and V _{CC} is below V _{TP} , read and writes are inhibited. However, the timekeeping function continues unaffected by the lower input voltage.

DETAILED DESCRIPTION

The DS1307 is a low-power clock/calendar with 56 bytes of battery-backed SRAM. The clock/calendar provides seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The date at the end of the month is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The DS1307 operates as a slave device on the I²C bus. Access is obtained by implementing a START condition and providing a device identification code followed by a register address. Subsequent registers can be accessed sequentially until a STOP condition is executed. When V_{CC} falls below 1.25 x V_{BAT}, the device terminates an access in progress and resets the device address counter. Inputs to the device will not be recognized at this time to prevent erroneous data from being written to the device from an out-of-tolerance system. When V_{CC} falls below V_{BAT}, the device switches into a low-current battery-backup mode. Upon power-up, the device switches from battery to V_{CC} when V_{CC} is greater than V_{BAT} + 0.2V and recognizes inputs when V_{CC} is greater than 1.25 x V_{BAT}. The block diagram in Figure 1 shows the main elements of the serial RTC.

CLOCK AND CALENDAR

The time and calendar information is obtained by reading the appropriate register bytes. Table 2 shows the RTC registers. The time and calendar are set or initialized by writing the appropriate register bytes. The contents of the time and calendar registers are in the BCD format. The day-of-week register increments at midnight. Values that correspond to the day of week are user-defined but must be sequential (i.e., if 1 equals Sunday, then 2 equals Monday, and so on.) Illogical time and date entries result in undefined operation. Bit 7 of Register 0 is the clock halt (CH) bit. When this bit is set to 1, the oscillator is disabled. When cleared to 0, the oscillator is enabled. On first application of power to the device the time and date registers are typically reset to 01/01/00 01 00:00:00 (MM/DD/YY DOW HH:MM:SS). The CH bit in the seconds register will be set to a 1. The clock can be halted whenever the timekeeping functions are not required, which minimizes current (I_{SAVDR}).

The DS1307 can be run in either 12-hour or 24-hour mode. Bit 6 of the hours register is defined as the 12-hour or 24-hour mode-select bit. When high, the 12-hour mode is selected. In the 12-hour mode, bit 5 is the AM/PM bit with logic high being PM. In the 24-hour mode, bit 5 is the second 10-hour bit (20 to 23 hours). The hours value must be re-entered whenever the 12/24-hour mode bit is changed.

When reading or writing the time and date registers, secondary (user) buffers are used to prevent errors when the internal registers update. When reading the time and date registers, the user buffers are synchronized to the internal registers on any I²C START. The time information is read from these secondary registers while the clock continues to run. This eliminates the need to re-read the registers in case the internal registers update during a read. The divider chain is reset whenever the seconds register is written. Write transfers occur on the I²C acknowledge from the DS1307. Once the divider chain is reset, to avoid rollover issues, the remaining time and date registers must be written within one second.

Table 2. Timekeeper Registers

ADDRESS	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	FUNCTION	RANGE
00h	CH	10 Seconds			Seconds			Seconds	Seconds	00–59
01h	0	10 Minutes			Minutes			Minutes	Minutes	00–59
02h	0	12	10 Hour	10 Hour	Hours			Hours	1–12 +AM/PM 00–23	
		24	PM/ AM							
03h	0	0	0	0	0	DAY		Day	01–07	
04h	0	0	10 Date		Date			Date	Date	01–31
05h	0	0	0	10 Month	Month			Month	Month	01–12
06h	10 Year			Year			Year	Year	00–99	
07h	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	Control	—
08h–3Fh									RAM 56 x 8	00h–FFh

0 = Always reads back as 0.

as the beginning and end of a serial transfer, hardware performs address recognition after reception of the slave address and direction bit (see Figure 4). The slave address byte is the first byte received after the master generates the START condition. The slave address byte contains the 7-bit DS1307 address, which is 1101000, followed by the direction bit (R/W), which for a write is 0. After receiving and decoding the slave address byte, the DS1307 outputs an acknowledge on SDA. After the DS1307 acknowledges the slave address + write bit, the master transmits a word address to the DS1307. This sets the register pointer on the DS1307, with the DS1307 acknowledging the transfer. The master can then transmit zero or more bytes of data with the DS1307 acknowledging each byte received. The register pointer automatically increments after each data byte are written. The master will generate a STOP condition to terminate the data write.

2. **Slave Transmitter Mode (Read Mode):** The first byte is received and handled as in the slave receiver mode. However, in this mode, the direction bit will indicate that the transfer direction is reversed. The DS1307 transmits serial data on SDA while the serial clock is input on SCL. START and STOP conditions are recognized as the beginning and end of a serial transfer (see Figure 5). The slave address byte is the first byte received after the START condition is generated by the master. The slave address byte contains the 7-bit DS1307 address, which is 1101000, followed by the direction bit (R/W), which is 1 for a read. After receiving and decoding the slave address the DS1307 outputs an acknowledge on SDA. The DS1307 then begins to transmit data starting with the register address pointed to by the register pointer. If the register pointer is not written to before the initiation of a read mode the first address that is read is the last one stored in the register pointer. The register pointer automatically increments after each byte are read. The DS1307 must receive a Not Acknowledge to end a read.

Figure 4. Data Write—Slave Receiver Mode

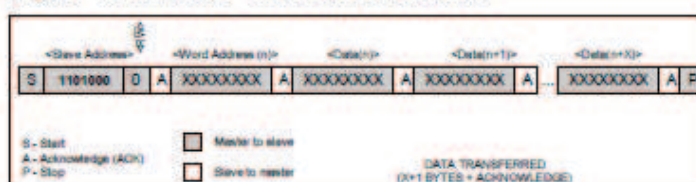


Figure 5. Data Read—Slave Transmitter Mode

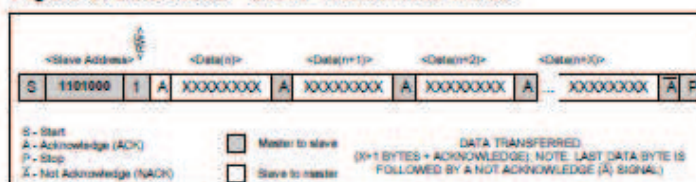
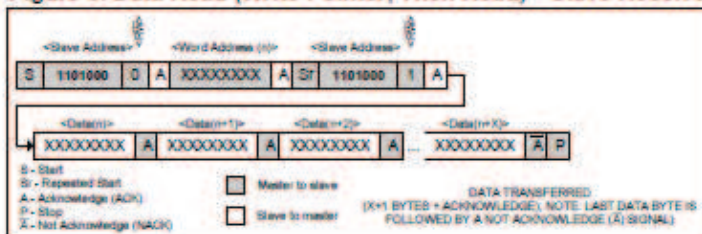


Figure 6. Data Read (Write Pointer, Then Read)—Slave Receive and Transmit



PACKAGE INFORMATION

For the latest package outline information and land patterns, go to www.maxim-ic.com/packages.

PACKAGE TYPE	PACKAGE CODE	DOCUMENT NO.
8 PDIP	—	21-0043
8 SO	—	21-0041

ANEXO D

HOJA DE DATOS DEL DRIVER L298



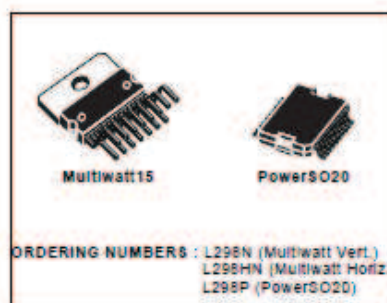
L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 48 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL '0' INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

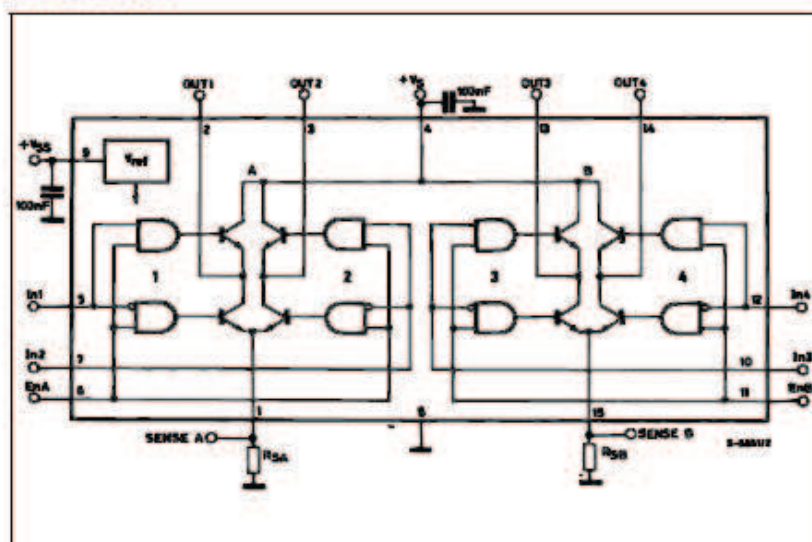
DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

BLOCK DIAGRAM

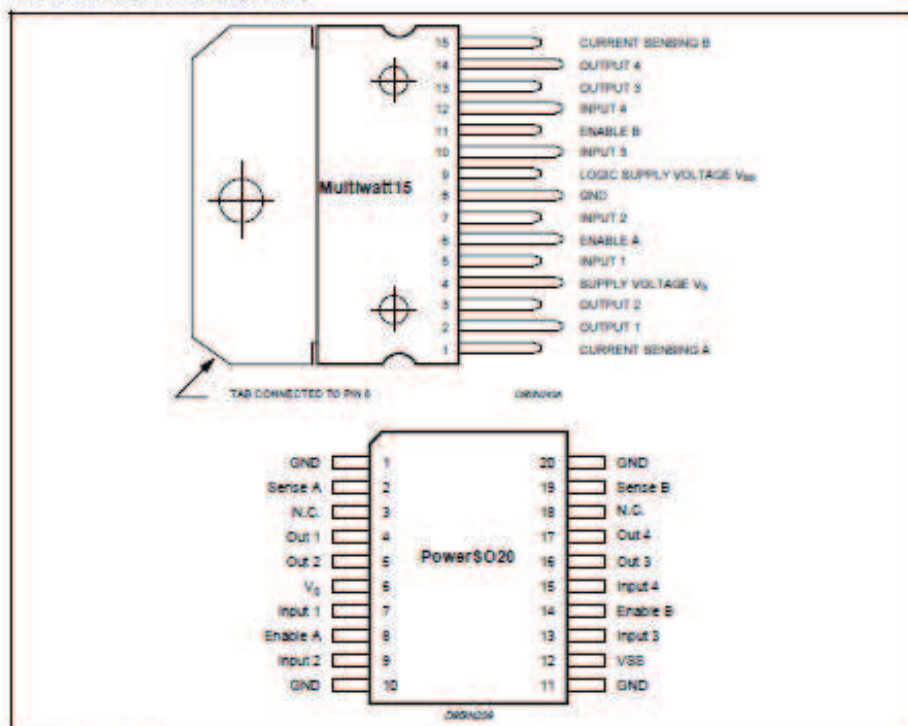


L298

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{DD}	Logic Supply Voltage	7	V
V_i, V_{en}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I_O	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ($t = 100\mu s$)	3	A
	- Repetitive (50% on -20% off, $t_{on} = 10ms$)	2.5	A
	-DC Operation	2	A
V_{sense}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
T_{stg, T_j}	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

PIN CONNECTIONS (top view)



THERMAL DATA

Symbol	Parameter	PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{\theta j-cases}$	Thermal Resistance Junction-case	Max. -	3	$^\circ C/W$
$R_{\theta j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max. 13 (*)	35	$^\circ C/W$

(*) Mounted on aluminum substrate

L298

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW,15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V _B	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
6;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1;10,11,20	GND	Ground.
9	12	V _{DD}	Supply Voltage for the Logic Blocks. A 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10;12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible inputs of the Bridge B.
13;14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
-	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{DD} = 5V, T_J = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V _B	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V _{EH} +2.5		45	V
V _{DD}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I _B	Quiescent Supply Current (pin 4)	V _{EH} = H; I _L = 0 V _I = L V _I = H		13 50	22 70	mA mA
I _{DD}	Quiescent Current from V _{DD} (pin 9)	V _{EH} = L V _{EH} = H; I _L = 0 V _I = L V _I = H V _{EH} = L V _I = X		24 7	36 12 6	mA mA mA
V _L	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		-0.3		1.5	V
V _{EH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V _{DD}	V
I _L	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _I = L			-10	μA
I _{EH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _I = H; V _{DD} = 0.6V		30	100	μA
V _{EH} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		-0.3		1.5	V
V _{EH} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V _{DD}	V
I _{EH} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{EH} = L			-10	μA
I _{EH} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{EH} = H; V _{DD} = 0.6V		30	100	μA
V _{DSAT (H)}	Source Saturation Voltage	I _L = 1A I _L = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V V
V _{DSAT (L)}	Sink Saturation Voltage	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V V
V _{DSAT}	Total Drop	I _L = 1A (5) I _L = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V V
V _{SEN}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		-1 (1)		2	V



L298

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

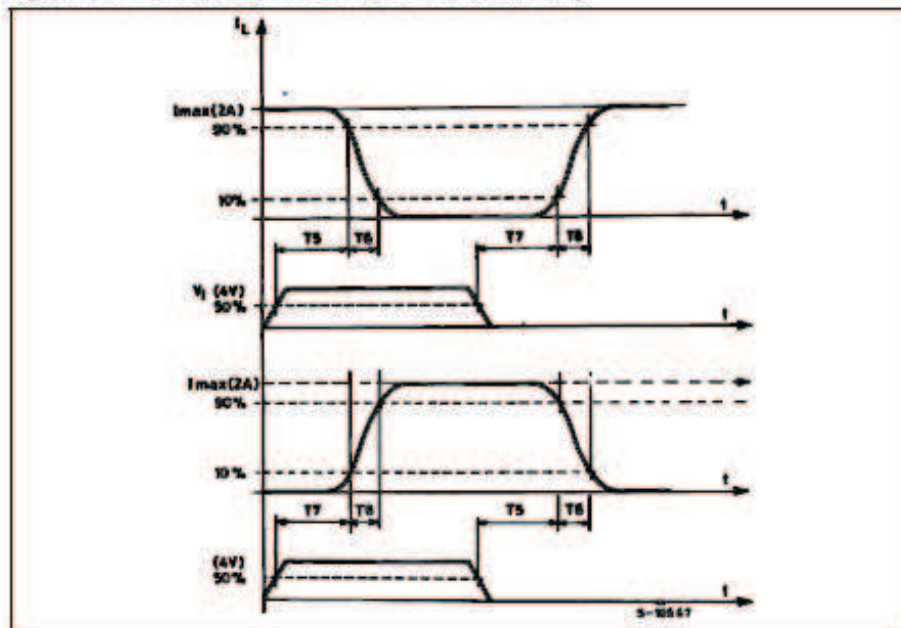
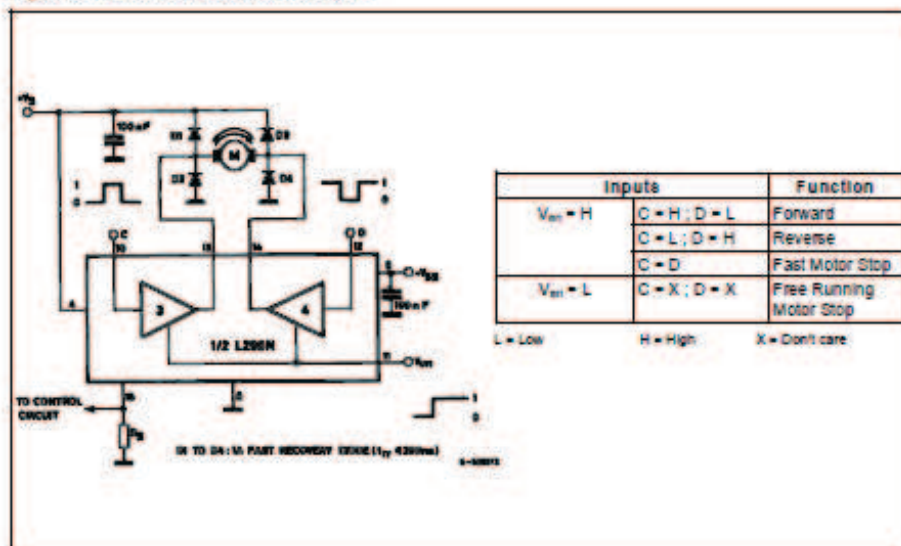


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.



ANEXO E

HOJA DE DATOS DEL PANEL FOTOVOLTAICO EXMORK 50P

ESPECIFICACIONES TECNICAS:

Parámetros	Tipo	50P
		Silicio Poli cristalino
Potencia máxima (watt)	W	50
Tolerancia de potencia		+3% /-3%
Voltaje óptima (Vmp)	V	17.5V
Corriente óptima (Imp)	A	2.86A
Voltaje máxima (Voc)	V	22.0V
Corriente máxima (Isc)	A	3.07A
Dimensiones		670*620*35mm
Marco (tipo, material y grosor)		Aluminium anodizado. Alloy 35mm
Voltaje máxima externa permitida		600V
Coefficiente de temperatura de Isc		±0.05%
Coefficiente de temperatura de Voc		-0.33%
Coefficiente de temperatura de P		-0.23%
Coefficiente de temperatura de Imp		+0.08%
Coefficiente de temperatura de Vmp		-0.33%
Resistencia a cargas mecánicas		200kg/m2
Eficiencia de conversión		> 15.75%

Nota: las especificaciones eléctricas indicadas corresponden a condiciones normalizadas de prueba: 1 kW/m2, masa de aire: 1.5 y célula: 25°C.

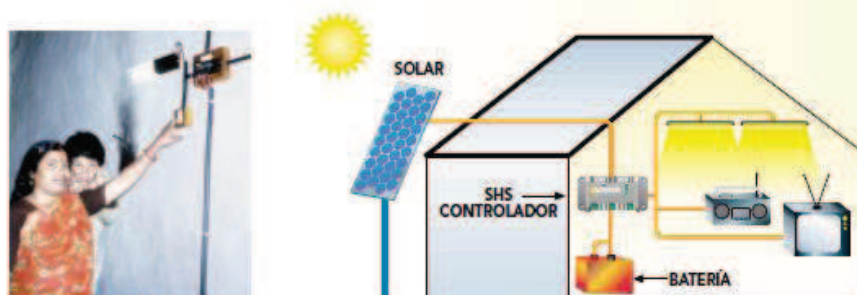
GARANTIAS:

Garantía Técnica por defectos de fabricación: 2 años
 Garantía de Rendimiento por degradación de potencia: 10 años a 90%,
 25 años a 85%



For over 10 years we have been specializing in wind and water power products. We service everything we sell. Scores of companies come and go, but we have consistently been in the market to take care of our customers.

ANEXO F

HOJA DE DATOS Y MANUAL DEL REGULADOR DE CARGA
MORNINGSTAR SHS-10**SHS™** CONTROLADOR SOLAR**INFORMACIÓN TÉCNICA**

CAPACIDADES NOMINALES: (TODOS A 12 VOLTIOS)

SHS-6	100 W ó 6 A PARA EL SISTEMA DE CARGA SOLAR Y LA CARGA
SHS-10	170 W ó 10 A PARA EL SISTEMA DE CARGA SOLAR Y LA CARGA

• Punto de regulación	14.3 V	• Indicaciones de los LED	Verde: en carga Niveles de batería: verde, amarillo y rojo Rojo: advertencia de bajo voltaje y desconexión Los 3 LED destellando — indicación de errores
• Desconexión por bajo voltaje	11.5 V	• Terminales	Para tamaños de cable de hasta 4 mm ²
• Reconexión por bajo voltaje	12.6 V	• Dimensiones	15.1 x 6.6 x 3.6 cm
• Tipo de carga	PWM Serie (modulación de ancho de pulso) 4 etapas: En bruto, PWM, por incremento o "Boost" y flotante Carga compensada en temperatura	• Peso	113 g
• Protecciones electrónicas	Cortocircuito y exceso de corriente — sistema de carga solar y carga Polaridad inversa — en sistema de carga solar, en la carga y en la batería Corriente inversa por la noche Alto voltaje — en la carga Rayos — en sistema solar, en la carga y en la batería	• Consumo propio	8 mA máximo
• Tropicalización	Placa de circuito — recubrimiento según norma Terminales — protegidos contra corrosión	• Temperatura	-25°C a +50°C
		• Humedad	100% sin condensación
		• Encapsulado	IP 22
		• Cumple con normas de	CE, Banco Mundial

GARANTÍA : Período de dos años de garantía. Póngase en contacto con Morningstar o su distribuidor autorizado para conocer los términos completos.

DISTRIBUIDOR MORNINGSTAR AUTORIZADO:

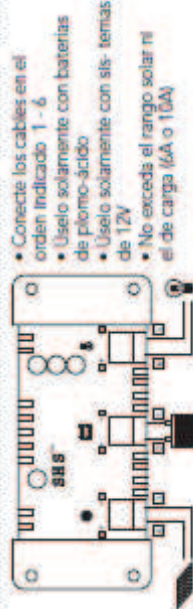
MORNINGSTAR
CORPORATION

1098 Washington Crossing Road
Washington Crossing, PA 18977 EUA
Tel: +1 215-321-4457 Fax: +1 215-321-4458
E-mail: info@morningstarcorp.com
Website: www.morningstarcorp.com



IMPRESO EN LOS ESTADOS UNIDOS 2335-R1-0/04

INSTALACIÓN



- Conecte los cables en el orden indicado 1 - 6
- Uselo solamente con baterías de plomo-ácido
- Uselo solamente con sistemas de 12V
- No exceda el rango solar ni el de carga (6A o 10A)

LUCES

- V** ● Se enciende el verde cuando el sistema de carga solar está cargando la batería
 - V** ● Verde encendido cuando el nivel de batería es alto
 - A** ● Amarillo encendido si el nivel de la batería es medio
 - R** ● Rojo intermitente cuando el nivel de la batería es bajo
 - R** ● Rojo encendido cuando las cargas se cortan
- SIGNIFICA**
- Verde encendido, luego amarillo encendido y luego rojo encendido **PUESTA EN MARCHA NORMAL**
 - Verde encendido **encendidos indica PROBLEMA**
 - Amarillo encendido **los cables + y - se tocan o demasiada corriente**
 - Rojo encendido

Modelos de luz nocturna

SHS

SHS-NL-6 / SHS-NL-10:

La carga se **ACTIVA** al caer la noche y se **DEACTIVA** al amanecer. La carga **NO** se activa durante el día.

- Para corregir el problema:**
1. Revise los cables
 2. Reduzca los amperes si es necesario
 3. Reinicie el controlador
- Desconecte el + de la batería
 - Reconecte el + de la batería

9

CAPACIDADES NOMINALES (TODOS A 12 V)

- SHS 6**
 - 100 Watts o 6 A para el sistema de carga solar y la carga
 - 170 Watts o 10 A para el sistema de carga solar y la carga
- SHS 10**
 - **Solamente para uso con paneles solares.**

NOTAS:

INFORMACIÓN TÉCNICA

- **PUNTO DE REGULACIÓN** 14.3 V
- **Desconexión por bajo voltaje** 11.5 V
- **Reconexión por bajo voltaje** 12.6 V
- **Tipo de carga** PWM serie (modulación por ancho de pulso)

4 etapas: En bruto, PWM, por incremento o "Boost" y flotante
Carga compensada en temperatura
Cortocircuito y exceso de corriente: en sistema solar y carga

• Protecciones electrónicas

Polaridad inversa: en sistema de carga solar, en la carga y en la batería
Corriente inversa en la noche
Limita los altos voltajes para proteger las cargas

Protección contra rayos

Placa de circuito impreso con recubrimiento según norma

Terminales resistentes a la corrosión
Para cables de tamaños de hasta 4 mm²

15.1 x 6.6 x 3.6 cm

113 g

8 mA máximo

-25°C a +50°C

100% sin condensación

IP 22

2 años

CE, Blanco Mundial

• Tropicalización

• Terminales

• Dimensiones

• Peso

• Consumo propio

• Temperatura

• Humedad

• Encapsulado

• Garantía

• Cumple con las normas de

ESPAÑOL

10

ANEXO G

PRESUPUESTO

CIRCUITO DE CONTROL

Caja de plástico	\$ 10,00
Microcontrolador Atmega 164	\$ 6,50
Cristal 20 Mhz	\$ 0,55
RTC DS1307	\$ 3,00
Cristal 32768 KHz	\$ 0,55
Acelerómetro MMA 7361L	\$ 39,50
Driver L298	\$ 3,75
3 Reguladores LM7809	\$ 1,65
1 Regulador LM7805	\$ 0,45
1 regulador LM1117T	\$ 0,95
Relé de 2 posiciones	\$ 2,50
10 diodos 1N5399	\$ 0,90
1 diodo 1N4007	\$ 0,00
1 transistor 2N2219	\$ 0,00
1 transistor D5283	\$ 0,00
1 resistor 100 ohm	\$ 0,02
2 resistores de 10 Kohm	\$ 0,04
8 resistores de 5,6 Kohm	\$ 0,18
2 resistor de 330 ohm	\$ 0,04
2 capacitores de 100 uF	\$ 0,25
2 capacitores de 22 pF	\$ 0,16
4 capacitores de 100 nF	\$ 0,31
24 LED's blancos	\$ 6,00
1 interruptor	\$ 1,70
1 bornera	\$ 0,10
LCD 2x16	\$ 6,90
Teclado 4x3	\$ 9,92
Elaboración de circuito impreso	\$ 62,00
Zócalo de 40 pines	\$ 0,21
tornillos y postes	\$ 2,05
Pines macho y hembra	\$ 0,91
Cable para buses	\$ 1,00
TOTAL	\$ 162,09

SISTEMA FOTOVOLTAICO

Panel fotovoltaico	\$ 168,00
Regulador de carga	\$ 50,40
Batería de plomo-ácido	\$ 114,00
Cable	\$ 9,80
Organizador de cable	\$ 4,50
Caja para batería	\$ 29,50
TOTAL	\$ 376,20

ESTRUCTURA MECÁNICA

Tubo rectangular de aluminio	\$ 24,06
Tubo circular de aluminio	\$ 3,56
2 chumaceras	\$ 24,64
2 garruchas	\$ 13,92
Gata de tornillo con motor	\$ 46,00
Motor eleva-vidrios	\$ 40,00
Eje del motor para el motor eleva-vidrios	\$ 10,00
Forros	\$ 10,00
TOTAL	\$ 172,18

PROYECTO

CIRCUITO DE CONTROL	\$ 162,09
SISTEMA FOTOVOLTAICO	\$ 376,20
ESTRUCTURA MECÁNICA	\$ 172,18
TOTAL	\$ 710,47

ANEXO H

CÓDIGO DEL PROGRAMA

```

'Especificación del microcontrolador utilizado (ATmega164P)
'y la frecuencia del cristal utilizado (20 MHz).

$regfile = "m164pdef.dat"
$crystal = 20000000

'Configuración de los pines de comunicación I2C para el RTC.

Config Sda = PORTC.1
Config Scl = PORTC.0

'Configuración para inicialización del conversor análogo-digital.

Config ADC = Single , Prescaler = Auto
Start ADC

'Configuración de pines para el LCD.

Config Lcdpin = Pin , Rs = PORTC.7 , E = PORTC.6 , Db4 = PORTC.5 , Db5 = PORTC.4 , Db6 = PORTC.3 , Db7 = PORTC.2
Config Lcd = 16 * 2
InitLcd
Cursor Off Noblink

'Configuración de pines para el teclado.

DDRB.0 = 1 : PORTB.0 = 0 : Fila1 Alias PORTB.0
DDRB.1 = 1 : PORTB.1 = 0 : Fila2 Alias PORTB.1
DDRB.2 = 1 : PORTB.2 = 0 : Fila3 Alias PORTB.2
DDRB.3 = 1 : PORTB.3 = 0 : Fila4 Alias PORTB.3
DDRB.4 = 0 : PORTB.4 = 1 : Columna1 Alias PINB.4
DDRB.5 = 0 : PORTB.5 = 1 : Columna2 Alias PINB.5
DDRB.6 = 0 : PORTB.6 = 1 : Columna3 Alias PINB.6

'Configuración del pin para el pulsador de encendido/apagado del LCD.

DDRD.7 = 0 : PORTD.7 = 1 : Pulsador_lcd_on_off Alias PIND.7

'Configuración de pines para las salidas.

DDRD.2 = 1 : PORTD.2 = 0 : M_giro1_year Alias PORTD.2
DDRD.3 = 1 : PORTD.3 = 0 : M_giro2_year Alias PORTD.3
DDRD.4 = 1 : PORTD.4 = 0 : M_giro1_day Alias PORTD.4
DDRD.5 = 1 : PORTD.5 = 0 : M_giro2_day Alias PORTD.5
DDRD.6 = 1 : PORTD.6 = 0 : Lcd_on_off Alias PORTD.6
DDRE.7 = 1 : PORTE.7 = 0 : Rele_posicion Alias PORTE.7

```

```
'Declaración de las variables de los ángulos.
```

```
Dim Dia_07 As Integer
Dim Dia_08 As Integer
Dim Dia_09 As Integer
Dim Dia_10 As Integer
Dim Dia_11 As Integer
Dim Dia_12 As Integer
Dim Dia_13 As Integer
Dim Dia_14 As Integer
Dim Dia_15 As Integer
Dim Dia_16 As Integer
Dim Dia_17 As Integer
```

```
Dim Year_ene As Integer
Dim Year_feb As Integer
Dim Year_mar As Integer
Dim Year_abr As Integer
Dim Year_may As Integer
Dim Year_jun As Integer
Dim Year_jul As Integer
Dim Year_ago As Integer
Dim Year_sep As Integer
Dim Year_oct As Integer
Dim Year_nov As Integer
Dim Year_dic As Integer
```

```
Dim Dia_year_angulo As Integer
```

```
'Declaración de variable para el teclado.
```

```
Dim Numero_tecla As Byte
```

```
'Declaración de variables del RTC.
```

```
Const Ds1307w = &HD0 : Const Ds1307r = &HD1
Dim _weekday As Byte
Dim _hour As Byte , _min As Byte , _sec As Byte
Dim _day As Byte , _month As Byte , _year As Byte
```

```
'Declaración de variables para el acelerómetro.
```

```
Dim Adc_getx As Word , Adc_gety As Word
Dim Adc_sumx As Integer , Adc_sumy As Integer
Dim Adc_refx As Word , Adc_refy As Word
Dim Adc_lecx As Integer , Adc_lecy As Integer
Dim For_precision As Byte
Dim Rango_sup As Integer
Dim Rango_inf As Integer
```



```

'Declaración de variables para los menús.
'
Dim Enable_lcd As Bit
Dim Select_menu As Byte
Dim Bandera_menu As Bit
Dim Contador_segundos As Byte
'
'Declaración de variables para visualización de números en el LCD.
'
Dim Valor1_decenas As Byte
Dim Valor1_unidades As Byte
Dim Valor2_decenas As Byte
Dim Valor2_unidades As Byte
Dim Valor3_decenas As Byte
Dim Valor3_unidades As Byte
Dim Contador_tecleo As Byte
'
'Declaración de variable de espera de un minuto.
'
Dim Espera_minuto As Byte
'
'Inicialización de variables de los ángulos para el movimiento diario y anual.
'En esta parte se utilizan los datos obtenidos en las tablas 2.12 y 2.13.
'se igualan las variables con estos valores y no cambian de valor en ninguna
'parte del programa, es decir, su valor permanece constante. Además se iguala
'las variables que se usan para la referencia obtenida en la sección 2.4.5.
'
Dia_07 = -202
Dia_08 = -200
Dia_09 = -165
Dia_10 = -115
Dia_11 = -62
Dia_12 = 0
Dia_13 = 62
Dia_14 = 120
Dia_15 = 165
Dia_16 = 215
Dia_17 = 218

Year_ene = 77
Year_feb = 43
Year_mar = 0
Year_abr = -55
Year_may = -90
Year_jun = -105
Year_jul = -90
Year_ago = -55
Year_sep = 0
Year_oct = 43
Year_nov = 77
Year_dic = 92

Adc_refx = 490
Adc_refy = 525

```

```
'Inicialización de variables de los menús.
```

```
Enable_lcd = 0  
Bandera_menu = 0  
Contador_tecleo = 0  
Contador_segundos = 0  
Select_menu = 0
```

```
'Verificación de que los valores de las variables del RTC se encuentren en  
'rangos razonables, es decir, por ejemplo: el valor de la variable para el día  
'no sobrepase de 31 ni sea menor a 0 o el valor de la variable de minuto no  
'sobrepase de 59 ni sea menor a 0. En caso de no encontrarse en los rangos  
'razonables se igualan estas variables a su valor mínimo razonable.
```

```
Gosub Leer_reloj
```

```
If _hour < 0 Or _hour > 23 Then _hour = 0  
If _min < 0 Or _min > 59 Then _min = 0  
If _sec < 0 Or _sec > 59 Then _sec = 0
```

```
If _sec = 0 And _min = 0 And _hour = 0 Then
```

```
    Gosub Igualar_hora
```

```
End If
```

```
If _day < 1 Or _day > 31 Then _day = 1  
If _month < 1 Or _month > 12 Then _month = 1  
If _year < 13 Or _year > 99 Then _year = 13  
If _weekday < 1 Or _weekday > 7 Then _weekday = 1
```

```
If _day = 1 And _month = 1 And _year = 13 Then
```

```
    Gosub Igualar_fecha
```

```
End If
```

El bucle principal que realiza las siguientes tareas:

- Verificar si se ha presionado el pulsador de encendido/apagado del LCD. Al presionar el pulsador el LCD se enciende si está apagado o viceversa.
- Realizar el llamado a cada subrutina de los menús, mediante la verificación del valor de la variable `Select_menu`.
- Verificar cada 10 segundos las condiciones necesarias para hacer el llamado a las subrutinas de movimiento del panel fotovoltaico. Estas condiciones son: para el movimiento diario: las horas entre las 7 y las 19 en el minuto 15 y para el movimiento anual: el 18 de cada mes a la hora 13:00.
- El microcontrolador se resetea en las horas: 0:00, 6:00, 12:00 y 18:00 mediante una instrucción `watchdog` para evitar que el microcontrolador se cuelgue.

Do

```

If Pulsador_lcd_on_off = 0 Then
  If Enable_lcd = 1 Then
    Lcd_on_off = 1
    Waitms 100
    Initlcd
    Cursor Off Noblink
    Contador_tecleo = 0
    Select_menu = 1 : Bandera_menu = 1
  End If

  If Enable_lcd = 0 Then
    Cls
    Lcd_on_off = 0
    Select_menu = 0
  End If

  Toggle Enable_lcd
  Waitms 500
End If

If Select_menu = 1 Then Gosub Menu_mostrar_reloj
If Select_menu = 2 Then Gosub Menu_igualar_reloj
If Select_menu = 3 Then Gosub Menu_fecha
If Select_menu = 4 Then Gosub Menu_hora

If Select_menu = 0 Then

  If Contador_segundos = 10 Then

    Gosub Leer_reloj

    If _min = 15 And _hour > 6 And _hour < 20 Then
      Gosub Mover_motor_dia
    End If

    If _day = 18 And _hour = 13 And _min = 0 Then
      Gosub Mover_motor_year
    End If

    Contador_segundos = 0
  
```

```

    If _hour = 0 Or _hour = 6 Or _hour = 12 Or _hour = 18 And _min = 0 Then
        Espera_minuto = _min

        Do
            Gosub Leer_reloj
            Waitms 500
        Loop Until _min <> Espera_minuto

        Config Watchdog = 16
        Start Watchdog
        Waitms 30

    End If

End If

Wait 1 : Incr Contador_segundos

End If

Loop

```

Las subrutinas para el movimiento del panel fotovoltaico realizan las siguientes tareas:

- En el caso de la subrutina Mover_motor_year (subrutina para el movimiento anual), cambiar estado del pin Rele_posicion, mediante el cual se cambia la posición del relé y así permitir que se energice el motor correspondiente con 12V.
- Evaluar el valor de las variables _month y _hour y dependiendo de ese valor seleccionar la variable Year_xx y Dia_xx para copiar su valor en la variable Dia_year_angulo, por ejemplo, si _month = 4 entonces Year_xx = Year_abr = -55 = Dia_year_angulo.
- Calcular una tolerancia para la lectura del acelerómetro y guardar el valor en las variables: Rango_sup y Rang_inf.
- Activar el motor correspondiente con el sentido de giro adecuado (mediante la comparación de las variables Adc_lecx o Adc_ley con la variable Dia_year_angulo) hasta que la lectura del acelerómetro (variables Adc_lecx o Adc_ley) sea igual a la variable Dia_year_angulo más/menos la tolerancia calculada anteriormente y así garantizar que el panel fotovoltaico se encuentra con la orientación correcta.
- Esperar un minuto para que después de regresar al bucle principal no haga una llamada a estas subrutinas innecesariamente.

Mover_motor_year:

```

    Rele_posicion = 1

    Gosub Leer_reloj

    Select Case _month
        Case 1:
            Dia_year_angulo = Year_ene
        Case 2:
            Dia_year_angulo = Year_feb
        Case 3:
            Dia_year_angulo = Year_mar
        Case 4:

```

```

Case 5:
Dia_year_angulo = Year_may
Case 6:
Dia_year_angulo = Year_jun
Case 7:
Dia_year_angulo = Year_jul
Case 8:
Dia_year_angulo = Year_ago
Case 9:
Dia_year_angulo = Year_sep
Case 10:
Dia_year_angulo = Year_oct
Case 11:
Dia_year_angulo = Year_nov
Case 12:
Dia_year_angulo = Year_dic
End Select

Rango_sup = Dia_year_angulo + 2
Rango_inf = Dia_year_angulo - 2

Do

  Gosub Adc_lectura

  If Adc_lecy < Dia_year_angulo Then
    M_girol_year = 1
    M_giro2_year = 0
  End If

  If Adc_lecy > Dia_year_angulo Then
    M_girol_year = 0
    M_giro2_year = 1
  End If

  Waitas 100

Loop Until Adc_lecy < Rango_sup And Adc_lecy > Rango_inf

M_girol_year = 0
M_giro2_year = 0

Gosub Leer_reloj
Espera_minuto = _min

Do
  Gosub Leer_reloj
  Waitas 500
Loop Until _min <> Espera_minuto

Rele_posicion = 0

Return

```

```
Mover_motor_dia:
  Rele_posicion = 0
  Gosub Leer_reloj
  Select Case _hour
    Case 0:
      Dia_year_angulo = Dia_07
    Case 1:
      Dia_year_angulo = Dia_07
    Case 2:
      Dia_year_angulo = Dia_07
    Case 3:
      Dia_year_angulo = Dia_07
    Case 4:
      Dia_year_angulo = Dia_07
    Case 5:
      Dia_year_angulo = Dia_07
    Case 6:
      Dia_year_angulo = Dia_07
    Case 7:
      Dia_year_angulo = Dia_07
    Case 8:
      Dia_year_angulo = Dia_08
    Case 9:
      Dia_year_angulo = Dia_09
    Case 10:
      Dia_year_angulo = Dia_10
    Case 11:
      Dia_year_angulo = Dia_11
    Case 12:
      Dia_year_angulo = Dia_12
    Case 13:
      Dia_year_angulo = Dia_13
    Case 14:
      Dia_year_angulo = Dia_14
    Case 15:
      Dia_year_angulo = Dia_15
    Case 16:
      Dia_year_angulo = Dia_16
    Case 17:
      Dia_year_angulo = Dia_17
    Case 18:
      Dia_year_angulo = Dia_17
    Case 19:
      Dia_year_angulo = Dia_07
    Case 20:
      Dia_year_angulo = Dia_07
    Case 21:
      Dia_year_angulo = Dia_07
    Case 22:
      Dia_year_angulo = Dia_07
    Case 23:
      Dia_year_angulo = Dia_07
  End Select
  Rango_sup = Dia_year_angulo + 2
  Rango_inf = Dia_year_angulo - 2
```

```

Do
    Gosub Adc_lectura
    If Adc_lecx < Dia_year_angulo Then
        M_giro1_day = 1
        M_giro2_day = 0
    End If
    If Adc_lecx > Dia_year_angulo Then
        M_giro1_day = 0
        M_giro2_day = 1
    End If
    Waitms 100
    Loop Until Adc_lecx < Rango_sup And Adc_lecx > Rango_inf
    M_giro1_day = 0
    M_giro2_day = 0
    Gosub Leer_reloj
    Espera_minuto = _min
    Do
        Gosub Leer_reloj
        Waitms 500
    Loop Until _min <> Espera_minuto
Return
'
'Las subrutinas para los menús realizan las siguientes tareas:
'--- Mostrar lo necesario para visualizar e igualar la fecha y hora del RTC.
'--- Cambiar las variables respectivas para continuar al siguiente menú si es
'    necesario.
'--- Realizar la llamada a la subrutinas de escritura del RTC (igualar fecha
'    y hora).
'--- Apagar el LCD una vez terminada la configuración de la fecha y la hora.
'--- Realizar la llamada a las subrutinas de movimiento del panel fotovoltaico
'    para orientar el panel con la inclinación que debe tener a la hora y
'    fecha ingresadas.
'
Menu_mostrar_reloj:
    Gosub Teclado
    If Bandera_menu = 1 Then
        Gosub Leer_reloj
        Cls
        Locate 1 , 1 : Lcd "FECHA:" : Lcd _day : Lcd "/" : Lcd _month : Lcd "/" : Lcd "20" : Lcd _year
        Locate 2 , 1 : Lcd "HORA:" : Lcd _hour : Lcd ":" : Lcd _min
        Bandera_menu = 0
    End If
    If Numero_tecla = 11 Then
        Select_menu = 2 : Bandera_menu = 1
    End If
Return

```

```
Menu_igualar_reloj:
```

```

Gosub Teclado
If Bandera_menu = 1 Then
  Cls
  Locate 1 , 1 : Lcd "ACTUALIZAR RELOJ"
  Locate 2 , 1 : Lcd "SI: 1      NO: 3 "
  Bandera_menu = 0
End If

If Numero_tecla = 1 Then
  Gosub Leer_reloj
  Valor1_decenas = _day / 10
  Valor1_unidades = _day Mod 10
  Valor2_decenas = _month / 10
  Valor2_unidades = _month Mod 10
  Valor3_decenas = _year / 10
  Valor3_unidades = _year Mod 10
  Select_menu = 3 : Bandera_menu = 1
End If

If Numero_tecla = 3 Then
  Cls
  Lcd_on_off = 0
  Contador_tecleo = 0
  Bandera_menu = 0
  Select_menu = 0
End If

```

```
Return
```

```
Menu_fecha:
```

```

Gosub Teclado
If Numero_tecla < 10 Then
  Select Case Contador_tecleo
    Case 1 :
      Valor1_decenas = Numero_tecla : Bandera_menu = 1
    Case 2 :
      Valor1_unidades = Numero_tecla : Bandera_menu = 1
    Case 3 :
      Valor2_decenas = Numero_tecla : Bandera_menu = 1
    Case 4 :
      Valor2_unidades = Numero_tecla : Bandera_menu = 1
    Case 5 :
      Valor3_decenas = Numero_tecla : Bandera_menu = 1
    Case 6 :
      Valor3_unidades = Numero_tecla : Bandera_menu = 1
  End Select
End If

If Numero_tecla = 10 Then
  Valor1_decenas = 0
  Valor1_unidades = 0
  Valor2_decenas = 0
  Valor2_unidades = 0
  Valor3_decenas = 0
  Valor3_unidades = 0
  Contador_tecleo = 0
  Bandera_menu = 1
End If

```



```

If Bandera_menu = 1 Then
Cls
Locate 1, 1 : Lcd "INGRESAR FECHA"
Locate 2, 1 : Lcd Valor1_decenas : Lcd "/" : Lcd Valor2_decenas : Lcd "20" : Lcd Valor3_decenas : Lcd Valor3_unidades
Bandera_menu = 0
Incr Contador_tecleo
End If

If Numero_teclea = 11 Then
_day = Valor1_decenas * 10 : _day = _day + Valor1_unidades
_month = Valor2_decenas * 10 : _month = _month + Valor2_unidades
_year = Valor3_decenas * 10 : _year = _year + Valor3_unidades
Gosub Igualar_fecha
Waitas 500
Gosub Leer_reloj
Valor1_decenas = _hour / 10
Valor1_unidades = _hour Mod 10
Valor2_decenas = _min / 10
Valor2_unidades = _min Mod 10
Contador_tecleo = 0
Select_menu = 4 : Bandera_menu = 1
End If

Return
Menu_hora:

Gosub Teclado

If Numero_teclea < 10 Then
Select Case Contador_tecleo
Case 1 :
Valor1_decenas = Numero_teclea : Bandera_menu = 1
Case 2 :
Valor1_unidades = Numero_teclea : Bandera_menu = 1
Case 3 :
Valor2_decenas = Numero_teclea : Bandera_menu = 1
Case 4 :
Valor2_unidades = Numero_teclea : Bandera_menu = 1
End Select
End If

If Numero_teclea = 10 Then
Valor1_decenas = 0
Valor1_unidades = 0
Valor2_decenas = 0
Valor2_unidades = 0
Contador_tecleo = 0
Bandera_menu = 1
End If

```

```

If Bandera_menu = 1 Then
  Cls :
  Locate 1, 1 : Lcd "INGRESAR HORA:"
  Locate 2, 1 : Lcd Valor1_decenas : Lcd Valor1_unidades : Lcd "." : Lcd Valor2_decenas : Lcd Valor2_unidades
  Bandera_menu = 0
  Incr Contador_tecleo
End If

If Numero_tecla = 11 Then
  _hour = Valor1_decenas * 10 : _hour = _hour + Valor1_unidades
  _min = Valor2_decenas * 10 : _min = _min + Valor2_unidades
  _sec = 0
  Gosub Igualar_hora
  Waitms 500

  Cls
  Lcd_on_off = 0
  Contador_tecleo = 0
  Bandera_menu = 0
  Select_menu = 0

  Gosub Mover_motor_dia
  Gosub Mover_motor_year
End If

Return

'Las subrutinas de lectura y escritura del RTC ejecutan las instrucciones de
'comunicación I2C para que el microcontrolador reciba y transmita los datos
'correspondientes a la fecha y la hora.

Igualar_fecha :
  day = Makebcd(_day) : _month = Makebcd(_month) : _year = Makebcd(_year)
  I2cstart
  I2cwrite Ds1307w
  I2cwrite 4
  I2cwrite _day
  I2cwrite _month
  I2cwrite _year
  I2cstop
  Waitms 10
Return

```

```

Igualar_hora:
  _sec = Makebcd(_sec) : _min = Makebcd(_min) : _hour = Makebcd(_hour)
  I2cstart
  I2cwrite Ds1307w
  I2cwrite 0
  I2cwrite _sec
  I2cwrite _min
  I2cwrite _hour
  I2cstop
  Waitms 10
Return

Leer_reloj:
  I2cstart
  I2cwrite Ds1307w
  I2cwrite 0
  I2cstart
  I2cwrite Ds1307r
  I2cwrite _sec , Ack
  I2cwrite _min , Ack
  I2cwrite _hour , Ack
  I2cwrite _weekday , Ack
  I2cwrite _day , Ack
  I2cwrite _month , Ack
  I2cwrite _year , Nack
  I2cstop
  _sec = Makedec(_sec) : _min = Makedec(_min) : _hour = Makedec(_hour)
  _day = Makedec(_day) : _month = Makedec(_month) : _year = Makedec(_year) : _weekday = Makedec(_weekday)
Return

'La subrutina para lectura del acelerómetro cumple las siguientes tareas:
' --- Obtener 5 lecturas del acelerómetro mediante los canales 0 y 1 del
'   conversor analógico-digital.
' --- Calcular la lectura del acelerómetro de acuerdo al procedimiento de la
'   figura 2.23.

Adc_lectura:
  Adc_sumx = 0
  Adc_sumy = 0

  For For_precision = 1 To 5
    Adc_getx = Getadc(0)
    Adc_gety = Getadc(1)
    Waitms 10

    Adc_sumx = Adc_sumx + Adc_getx
    Adc_sumy = Adc_sumy + Adc_gety
  Next For_precision

  Adc_sumx = Adc_sumx / 5
  Adc_sumy = Adc_sumy / 5

  Adc_lecx = Adc_refx - Adc_sumx
  Adc_leyy = Adc_refy - Adc_sumy

Return

```

'La subrutina Teclado se encarga de detectar la columna de la tecla presionada y realizar la llamada a la subrutina que le da el valor de la tecla en la variable Numero_tecla.'

Teclado:

```
Numero_tecla = 12
Gosub _delay_1

Fila1 = 0
  Gosub _delay_1 : If Columna1 = 0 Then Gosub Tecla_1
  Gosub _delay_1 : If Columna2 = 0 Then Gosub Tecla_2
  Gosub _delay_1 : If Columna3 = 0 Then Gosub Tecla_3
Fila1 = 1

  Gosub _delay_1

Fila2 = 0
  Gosub _delay_1 : If Columna1 = 0 Then Gosub Tecla_4
  Gosub _delay_1 : If Columna2 = 0 Then Gosub Tecla_5
  Gosub _delay_1 : If Columna3 = 0 Then Gosub Tecla_6
Fila2 = 1

  Gosub _delay_1

Fila3 = 0
  Gosub _delay_1 : If Columna1 = 0 Then Gosub Tecla_7
  Gosub _delay_1 : If Columna2 = 0 Then Gosub Tecla_8
  Gosub _delay_1 : If Columna3 = 0 Then Gosub Tecla_9
Fila3 = 1

  Gosub _delay_1

Fila4 = 0
  Gosub _delay_1 : If Columna1 = 0 Then Gosub Tecla_10
  Gosub _delay_1 : If Columna2 = 0 Then Gosub Tecla_11
  Gosub _delay_1 : If Columna3 = 0 Then Gosub Tecla_12
Fila4 = 1
```

Return

'La subrutina _delay_1 sirve para hacer una espera de 28 ciclos de reloj del microcontrolador con el propósito de que el programa identifique una fila antes que salte a la siguiente.'

```
_delay_1:
NOP : NOP : NOP : NOP
NOP : NOP : NOP : NOP
NOP : NOP : NOP : NOP
NOP : NOP : NOP : NOP
NOP : NOP : NOP : NOP
NOP : NOP : NOP : NOP
NOP : NOP : NOP : NOP
```

Return

```
' Las subrutinas siguientes asignan el valor a la variable Numero_tecla después  
' de identificar la columna de la tecla presionada.
```

```
Tecla_1:  
  Waitas 15  
  If Columna1 = 0 Then  
    Numero_tecla = 1  
    Gosub Rebotes  
  End If  
Return  
Tecla_2:  
  Waitas 15  
  If Columna2 = 0 Then  
    Numero_tecla = 2  
    Gosub Rebotes  
  End If  
Return  
Tecla_3:  
  Waitas 15  
  If Columna3 = 0 Then  
    Numero_tecla = 3  
    Gosub Rebotes  
  End If  
Return  
Tecla_4:  
  Waitas 15  
  If Columna1 = 0 Then  
    Numero_tecla = 4  
    Gosub Rebotes  
  End If  
Return  
Tecla_5:  
  Waitas 15  
  If Columna2 = 0 Then  
    Numero_tecla = 5  
    Gosub Rebotes  
  End If  
Return  
Tecla_6:  
  Waitas 15  
  If Columna3 = 0 Then  
    Numero_tecla = 6  
    Gosub Rebotes  
  End If  
Return  
Tecla_7:  
  Waitas 15  
  If Columna1 = 0 Then  
    Numero_tecla = 7  
    Gosub Rebotes  
  End If  
Return
```

```
Tecla_8:
  Waitms 15
  If Columna2 = 0 Then
    Numero_tecla = 8
    Gosub Rebotes
  End If
Return

Tecla_9:
  Waitms 15
  If Columna3 = 0 Then
    Numero_tecla = 9
    Gosub Rebotes
  End If
Return

Tecla_10:
  Waitms 15
  If Columna1 = 0 Then
    Numero_tecla = 10
    Gosub Rebotes
  End If
Return

Tecla_11:
  Waitms 15
  If Columna2 = 0 Then
    Numero_tecla = 0
    Gosub Rebotes
  End If
Return

Tecla_12:
  Waitms 15
  If Columna3 = 0 Then
    Numero_tecla = 11
    Gosub Rebotes
  End If
Return

'-----
'Subrutina para suprimir señales de rebotes al presionar cualquier tecla.
'-----

Rebotes:
  Fila1 = 1 : Fila2 = 1 : Fila3 = 1 : Fila4 = 1 : Waitms 300
Return
```