

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO EN  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

“Diseño E Implementación De Un Controlador De Carga Para Un  
Sistema Fotovoltaico Autónomo”

Renato Oña Pólit

QUITO – ECUADOR

2005

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente proyecto de grado “Diseño e implementación de un controlador de carga para un sistema fotovoltaico autónomo” fue desarrollado en su totalidad por el Sr. Jorge Renato Oña Pólit, bajo nuestra dirección, como requerimiento parcial a la obtención del título de Ingeniero Electrónico.

Sangolquí, 1 de Septiembre de 2005

---

Ing. Víctor Proaño  
DIRECTOR

---

Ing. Pablo Molina  
CODIRECTOR

## ***Agradecimiento***

*A Dios, por dar al ser humano la intuición y el talento para poder seguir sus sueños y concluirlos en inventos que ayuden al progreso de la humanidad... en su beneficio.*

*A mis padres, por saber apoyarme sin condiciones en todas las decisiones que a lo largo de mi vida he tomado, aconsejándome, cuestionándome y creyendo en mí en todo momento, a ellos les debo el tesoro más preciado de mi existencia... mi educación.*

*A todas aquellas personas que influyeron en mi vida de manera positiva, hermanos, amigos, maestros... siempre los recuerdo.*

## ***Dedicatoria***

*Dedico este proyecto a todas aquellas personas que creen que el futuro de la humanidad esta en la conservación y buen manejo de los recursos naturales de nuestro planeta Tierra.*

## **PRÓLOGO**

El presente documento redacta el proceso de diseño de un controlador de carga para baterías, para un sistema fotovoltaico autónomo domiciliario.

En el capítulo I se aprecia un breve análisis de la situación actual del país en lo que a recursos energéticos se refiere, tipos, costos y comparación de ellos con respecto a otros países de la región; dando mayor énfasis al estudio de la utilización de energías renovables o alternativas, como es el caso de la energía solar fotovoltaica y eólica, con datos obtenidos del Ministerio de Energía y Minas del Ecuador, publicaciones de fundaciones y empresas ecuatorianas dedicadas a la preservación del ecosistema analizando su principal impacto en zonas de alta importancia ecológica como es el caso de las Islas Galápagos, o zonas a las cuales la energía eléctrica convencional no puede llegar y se hace necesario de la instalación de sistemas fotovoltaicos para el progreso de dichos pueblos. También se realiza un análisis de los costos que implicaría el implantar este tipo de sistemas en función de la medida de utilización de dicha energía, analizando dos casos puntuales de dos tipos de viviendas alejadas de la red de electrificación convencional.

El segundo capítulo se encuentra orientado al conocimiento teórico que se requiere para entender el funcionamiento de un sistema de energía solar, analizando desde que y quien fue el descubridor del efecto fotovoltaico, hasta el tipo de componentes que se utilizan para la generación eléctrica por este método, y revisando cual es la función de cada uno de ellos. Paneles solares, baterías, inversores de corriente, y controladores de carga son analizados en este capítulo con la finalidad de brindar un conocimiento más amplio de los elementos que interactúan para producir energía solar fotovoltaica.

Dentro del capítulo III se detalla el proceso de diseño del controlador de carga basado en especificaciones técnicas de tres de ellos existentes en el mercado, los cuales proveen las pautas de la gran mayoría de controladores de carga de baterías que se encuentran en el mercado. El documento redacta el diseño tanto electrónico mediante un microcontrolador, como el programa desarrollado para el funcionamiento de los diferentes ciclos de carga y descarga que actúan durante el proceso de generación y consumo del sistema, y que se encuentra grabado en la memoria de dicho microcontrolador.

Los capítulos IV y V redactan los resultados obtenidos mediante pruebas realizadas con el sistema durante su etapa de puesta a punto, y las diferentes conclusiones y recomendaciones a las que se ha podido llegar una vez finalizado el proyecto.

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
• 1.1. Análisis de la situación actual	1
• 1.2. La energía solar: una energía renovable	12
<b>CAPÍTULO II : EL SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO</b>	<b>26</b>
• 2.1. El efecto fotovoltaico	26
• 2.2. La celda solar	28
• 2.3. El panel solar	30
• 2.4. El controlador de carga	33
• 2.5. El inversor de corriente	35
• 2.6. Las baterías	36
<b>CAPÍTULO III : EL CONTROLADOR DE CARGA</b>	<b>41</b>
• 3.1. Diseño del controlador de carga	
• 3.1.1. Generalidades	41
• 3.1.2. Características técnicas base del controlador de carga	42
• 3.1.3. Selección del tipo de acumulador	44
• 3.1.4. Selección del método de carga	46
• 3.1.5. Selección de modalidad de utilización del método de carga	48
• 3.1.6. Diseño conceptual del controlador de carga	51
• 3.1.7. Diagrama de bloques de funcionamiento del controlador	55
• 3.1.8. El controlador propiamente dicho	56
• 3.1.9. Programación del PIC	58
• 3.1.10. Diagrama electrónico del controlador	66
• 3.1.11. Programa del controlador	74
<b>CAPÍTULO IV : RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS CON EL SISTEMA</b>	<b>75</b>
<b>CAPÍTULO V : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>78</b>
• 5.1. Conclusiones	78

• 5.2. Recomendaciones	81
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>83</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>84</b>
• ANEXO A: Datos técnicos Panel Kyocera KC80	85
• ANEXO B: Datos técnicos Controlador de Carga ISOLER 20	91
• ANEXO C: Datos técnicos Controlador de Carga MINO V2	93
• ANEXO D: Datos técnicos Batería Dynasty UPS12-170	95
• ANEXO E: Datos técnicos Inversor TRIPP-LITE PV 300	97
• ANEXO F: Datos técnicos Regulador de Carga SCC2 10	98
• ANEXO G: Programa del Controlador	101
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>129</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>131</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>132</b>
<b>ÍNDICE DE DATA SHEETS</b>	<b>134</b>



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

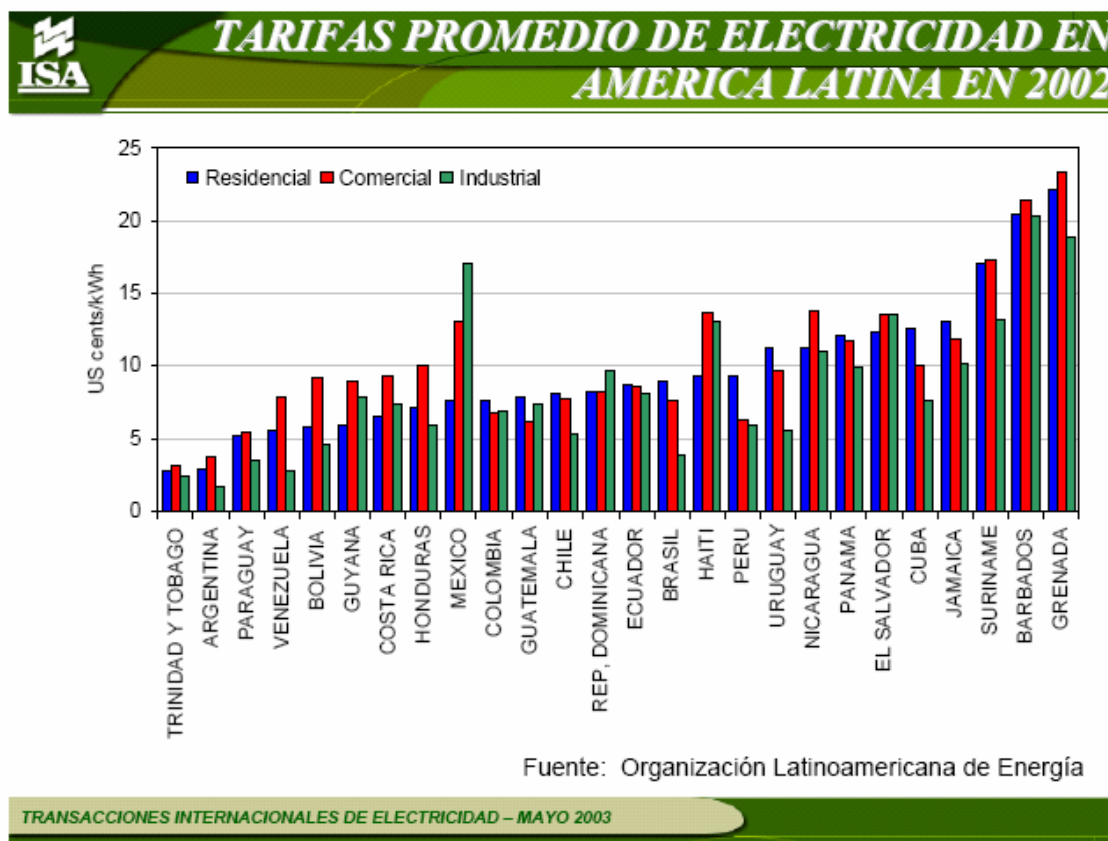
Ecuador, un país localizado en el centro del mundo, es rico en recursos naturales de todo tipo. Se lo ha catalogado como un país mega-diverso por su flora y fauna que en ciertos casos es única en el mundo. La cantidad de etnias que habitan en su territorio tan reducido, es muy amplia dando lugar a una riqueza cultural interesante en comparación con países de las mismas dimensiones territoriales. En recursos energéticos, posee de todo: desde combustibles fósiles como es el caso del petróleo y el gas natural; pasando por ríos andinos que tienen como destino la cuenca del Pacífico o la amazonía, los que dan la posibilidad de generación hidroeléctrica; o la cantidad de volcanes existentes en su serranía los cuales hacen pensar en un posible aprovechamiento de la energía geotérmica; hasta el hecho de su ubicación en plena línea equinoccial lo que es una ventaja si se habla del aprovechamiento de la energía solar.

El manejo de dichos recursos ha estado durante muchos años en manos del estado, el cual no los ha sabido aprovechar en su totalidad por diferentes motivos que van desde una falta de previsión a futuro, lo cual indica un incorrecto manejo de las políticas energéticas en el país, hasta intereses políticos mezquinos que lo único que buscan es el enriquecimiento de grupos elitistas y no el bienestar de todos los ecuatorianos.

El sector eléctrico es un área que genera dinero al Estado, pero que lamentablemente hasta ahora no se la ha sabido aprovechar de una manera correcta. Si se analiza el caso de la represa hidroeléctrica Paute como ejemplo explicativo, se puede sacar varias conclusiones sencillas. Hace algunos años atrás se presentó un problema grave de estiaje, con lo cual se inició un programa

de racionamientos de energía eléctrica como solución de última instancia, lo cual lógicamente provocó pérdidas de miles de dólares en producción para las empresas nacionales. La falta de previsión de los gobiernos anteriores y del de aquella época, fue la real causa de esta falla. Haciendo un poco de historia, el proyecto Paute constaba de tres fases en su concepción, la primera de ellas Mazar, que era en si una represa de alta montaña ubicada en el mismo cause de la central hidroeléctrica Paute pero varios kilómetros aguas arriba y su función era la de almacenamiento acuífero para épocas de sequía. Si se hubiera ejecutado dicha fase en su momento el Ecuador no tendría un sistema eléctrico tan frágil y tan dependiente del clima como lo es el actual sistema nacional interconectado. Han pasado aproximadamente tres décadas y media y Mazar todavía no se ha construido; por lo que se concluye que los recursos energéticos del país todavía siguen en manos de personas que son colocadas en dichos cargos por presiones políticas y no ven mas allá de su permanencia en el poder a corto plazo, es decir no se planifica con visión a futuro.

En la actualidad el servicio eléctrico todavía tiene sus deficiencias en el aspecto técnico; las comercializadoras cobran un valor de 0.08 cts. el KWH promedio, lo cual incluye costos por consumo y comercialización, sin tomar en cuenta impuestos o tasas adicionales que se cobran en una planilla; pero al comparar este precio con el del resto de países de Sudamérica como Argentina o Paraguay se llega a la conclusión de que Ecuador paga uno de los precios más caros por KWH dentro de lo que es Sudamérica según la Organización Latinoamericana de Energía (como podemos apreciar en la figura 1.1 a continuación); y el servicio que recibe no es del todo bueno, ya que todavía existen cortes de energía imprevistos, los cuales causan daños en maquinaria y aparatos domésticos y por consiguiente pérdidas económicas. Adicionalmente si se analiza el precio del KWH en los sectores: residencial, comercial e industrial, observamos que en el caso ecuatoriano, el costo es el mismo, lo cual influye en el aparato productivo del estado, ya que al no dar facilidades a estos sectores, no se está incentivando el desarrollo empresarial ecuatoriano.



**Figura. 1.1. Tarifas promedio de electricidad en América Latina en 2002**

Tomando como ejemplo los países del pacto andino y analizando los costos por KWH para el consumidor final, se puede observar que en el sector industrial, de los cinco países, Ecuador es el que lleva la delantera en cuanto a costo de la energía eléctrica, lo cual no es nada beneficioso para la producción local. En el caso comercial, se encuentra en tercer puesto y para el segmento residencial nuevamente vuelve a estar en la delantera.

Si bien es cierto los datos son del 2002, se puede observar a continuación otra gráfica, la cual muestra una estimativa del crecimiento del precio de la energía eléctrica hasta Mayo del 2003, en donde se puede apreciar que la electricidad en el Ecuador con respecto a otros países como Colombia, Panamá y Perú, en vez de disminuir o mantener sus costos, más bien los iba a incrementar, con lo cual el país deja de ser competitivo en el mercado energético Andino, en cambio que nuestro vecino del norte es un potencial exportador líder de electricidad. Hoy en día en pleno 2005 el costo de la energía eléctrica no ha bajado del todo a pesar

de los anuncios presidenciales, con lo cual las predicciones visualizadas en la figura 1.2 no estuvieron muy alejadas de lo que ahora es la realidad; y lo peor del caso es que si no se corrige esto a tiempo será más económico el comprar electricidad a los países vecinos que generarla internamente.

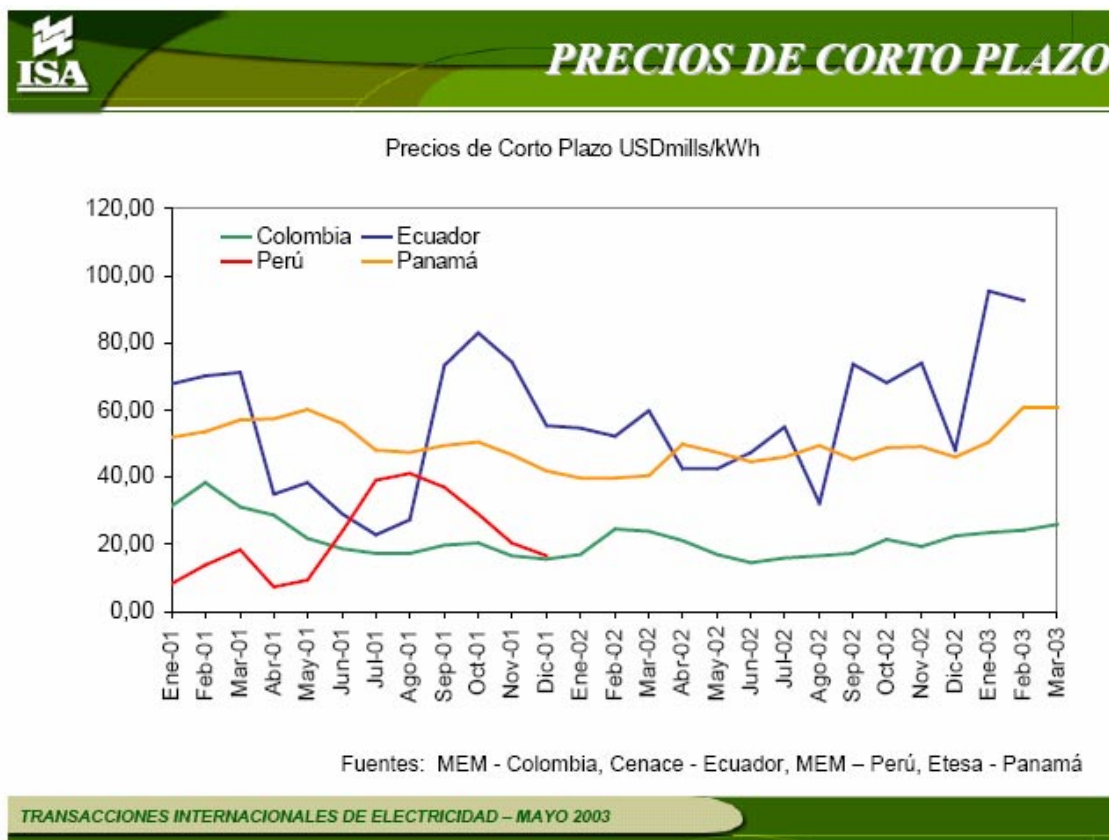


Figura. 1.2. Precios de corto plazo

Se puede observar que el costo de la energía en países como Colombia o Panamá es bastante estable durante el transcurso de un año, pero más que todo económico, reflejando así políticas energéticas bien planificadas; sin embargo como se puede apreciar, el caso ecuatoriano es en cambio bastante fluctuante a lo largo de todo el año, lo cual es una muestra más del fallo en las políticas energéticas establecidas por el Estado, y de la dependencia del clima de las centrales hidroeléctricas con que cuenta el país por falta de previsión.

Pero el problema de la energía eléctrica en nuestro país también incluye el hecho de que a pesar de que estamos en pleno siglo XXI, todavía existen algunas

comunidades que no cuentan con electricidad, lo que de una u otra manera influye en el subdesarrollo de la nación, ya que no se puede acceder a educación del nuevo milenio, o por otro lado la producción de algún tipo de insumo o servicio se mantiene artesanal y no se la industrializa, con lo cual el país no progresa, y por tanto no puede seguirle el paso a un mundo globalizado que constantemente evoluciona y en el cual las fronteras comerciales son cada vez mas pequeñas.

De lo expuesto anteriormente se observa que la generación eléctrica convencional en nuestro país no es del todo confiable, por tanto se hace necesario buscar otro tipo de fuentes de electricidad. Este es el caso de las llamadas energías renovables o alternativas o también conocidas como energías limpias, las cuales son métodos de generación eléctrica no convencionales que tal vez no tengan el rendimiento de las tradicionales, pero que preservan el medio ambiente por no ser contaminantes y eso, hoy en día y a futuro será muy importante para la preservación de vida en nuestro planeta. Entre el rango de posibilidades podemos contar con la energía eólica, la energía solar o la energía geotérmica, que son algunos de los ejemplos para nombrar, y que en un futuro no muy lejano van a ser las que estarán en auge en el mundo, ya que el petróleo como tal es un recurso finito que en las próximas décadas dejará de existir, y por tanto la dependencia de este recurso se terminará. Ecuador no puede dejar de pensar en nuevas fuentes de energía ya que su economía depende mucho de dicho combustible fósil, por lo cual la búsqueda, manejo y utilización de energías renovables se hace una tarea urgente e indispensable.

El Ministerio de Energía y Minas (MEM), es el encargado del manejo de los recursos energéticos del Ecuador, dentro de los que se encuentra la generación eléctrica, ya sea, por métodos tradicionales o alternativos. La DERE, Dirección de Energías Renovables y Eficiencia Energética, es un departamento del MEM, que se encarga de la utilización de este tipo de recursos, dentro de los cuales se encuentra la utilización de la energía solar para la obtención de electricidad por generación fotovoltaica.

La utilización de la energía solar en países en vías de desarrollo como es el caso del Ecuador, ha quedado más bien ligada a brindar electricidad a comunidades alejadas de los centros urbanos, como es el caso del oriente, o a específicos lugares de la costa, especialmente Esmeraldas. Sin embargo existe una región del país en la cual la electrificación por generación fotovoltaica tiene una importancia primordial: Las Islas Galápagos.

La región insular ecuatoriana es uno de los lugares más importantes en el mundo en lo que a conservación de las especies se refiere. Las Galápagos fueron declaradas patrimonio natural de la humanidad por la UNESCO el 8 de Septiembre de 1978, es por esta razón que los sistemas de generación eléctrica para la población residente, no deberían influir en el ecosistema. Sin embargo actualmente la electricidad se la obtiene de generadores a diesel, los cuales aunque en pequeña escala perjudican al medio ambiente, ya que generan niveles mínimos de contaminación produciendo a la larga el tan conocido efecto invernadero. Adicionalmente se debe tomar en cuenta que el combustible se lo transporta desde el continente, lo cual en más de una ocasión ha producido derrames de combustible en las cercanías del archipiélago. La energía solar entonces, es la respuesta más adecuada para solucionar los problemas de electrificación de las islas ya que de todas las maneras conocidas hasta ahora, la generación fotovoltaica es la menos contaminante que existe en el mundo, y la que menos impacto ambiental causa.

Consiente de esto el MEM y el Ministerio de Medio Ambiente, firmaron el 20 de Febrero de 2002 un convenio de cooperación internacional con las Naciones Unidas para el proyecto: *Ecuador: generación de electricidad con energía renovable para las islas Galápagos*, cuyo objetivo es producir energías renovables limpias para proteger el ambiente del archipiélago; con lo cual el estado ecuatoriano está garantizando la preservación del medio ambiente de las Galápagos.

Dentro de todo este plan, varios organismos internacionales conjuntamente con el estado, se encuentran trabajando con el fin de llevar a cabo la realización de

este proyecto. El Ministerio de Energía y Minas realiza el seguimiento al Proyecto de Electrificación con Fuentes Renovables de Energía, en las Islas Galápagos. Los técnicos de la Subsecretaría de Electrificación y de la Dirección de Energías Renovables y Eficiencia Energética, DERE, trabajan en seminarios talleres con representantes del Gobierno de Alemania; Grupo Internacional Fondo e7; Fondo Especial de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD; Global Environment Facility, GEF; SEBA de España; Natura INC; Green Empowerment de WWF; Organización Latinoamericana de Energía, OLADE; ELECGALAPAGOS y CONELEC; para posicionar y acreditar responsabilidades en la implementación del Proyecto de Energías Alternativas, en las Islas del Archipiélago.

Los organismos cooperantes internacionales y nacionales brindan apoyo profesional y financiero para la implementación del Proyecto de Electrificación con Fuentes Renovables de Energía, en las Islas Galápagos. El Gobierno de Alemania a través de sus representantes, aportará con 7'857.272,87 euros, para la instalación de sistemas fotovoltaicos, mejoramiento de uso de combustibles, programas de capacitación y ambiente.

El Fondo e7, integrado por empresas mundiales American Electric Power, Hydro – Québec, Notario Power, Generation, Electricité de France, aportará con \$ 5 millones de dólares americanos, para electrificación con fuentes eólicas, en la Isla San Cristóbal. El Fondo Especial de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD, aportará con \$ 1 millón de dólares americanos.

La implementación del Proyecto de Electrificación con Fuentes renovables de Energía tiene como objetivos reemplazar el 70% de la generación termoeléctrica con diesel, ahorrar 1.400 toneladas de emisión de Dióxido de Carbono, CO<sub>2</sub>, al año, conservar la biodiversidad, y de esta forma proteger el ambiente.

La generación de energía eléctrica alternativa, mediante el uso de aerogeneradores o celdas fotovoltaicas, se estudió y analizó desde la perspectiva ambiental, lo que permitió establecer los criterios y realizar la predicción,

identificación y valoración de los posibles impactos sobre el medio ambiente en los sitios pre-seleccionados. La calidad del suelo, el agua y el aire de la zona de influencia de las estaciones durante la operación de los nuevos sistemas (aerogeneradores o celdas fotovoltaicas) no será afectada. Los impactos negativos identificados son en general limitados y de baja magnitud e importancia. Estos son: generación de ruido del aerogenerador, alteración de la cobertura vegetal dentro de un pequeño radio limitado, y reducción eventual de áreas de cultivo si había cultivos en el sitio seleccionado.

Todo lo anterior en cuanto al aspecto ambientalista, es correcto. Sin embargo el estudio técnico y económico realizado por el MEM, no es muy alentador, según los resultados del análisis realizado. El proyecto abarca cuatro islas en donde la población se encuentra asentada: Isabela, Santa Cruz, San Cristóbal y Floreana.

- En San Cristóbal, si se permite una subvención a los costos de inversión de 25 % (fondos propios), con un máximo para un nivel bajo de penetración de las energías renovables con 16.0 % de rentabilidad sobre los fondos propios correspondientes a 8.8 % sobre la inversión total. Los costos nivelados de 6.36 centavos/kWh al nivel de generación parecen bien aceptables. La causa: en los sitios seleccionados de San Cristóbal el viento medido es particularmente fuerte y regular.
- La manera de almacenar la energía en esta isla influye en el costo final del proyecto notablemente. Existen dos opciones: la opción *a* usa acumuladores electroquímicos y la opción *b* usa un embalse con aprovechamiento hidroeléctrico. Sin embargo el estudio hidrológico para el aprovechamiento hidroeléctrico debe profundizarse.
- En Santa Cruz, ni siquiera con una subvención del 25% de la inversión inicial, el proyecto es viable. No es suficiente para interesar a un inversionista privado. Una participación del sector privado podría ser lograda, sin embargo, aumentando la subvención a la inversión inicial.
- En los centros de carga pequeños (Isabela y Floreana) no es sorprendente no lograr un rendimiento positivo por la escala de los sistemas. Los sistemas de energías renovables de estas islas no pueden cubrir sus



costos, al nivel de tarifas de 90 % de 8.4 centavos la kWh, salvo con subvenciones muy elevadas y por eso no se prestan para inversionistas privados. Su implementación puede servir de detonante en el mercado fotovoltaico nacional.

De todos modos, como en todas las islas del Archipiélago ni el régimen del viento ni la radiación solar son permanentes ni regulares durante todo el año, todavía hace falta un sistema, con una capacidad de generación de respaldo suficientemente importante para poder respaldar el sistema renovable

Tal capacidad de soporte, emergencia o respaldo puede ser la térmica actual de diesel, o bien - si una decisión política prefiere energías limpias - subsistemas diferentes e inteligentes según la situación en cada una de las islas.

Como se ha podido constatar en este estudio realizado por el MEM, la energía solar, todavía sigue siendo poco rentable en países como el Ecuador debido a varios factores, entre ellos el económico, ya que son proyectos más bien de beneficio social.

En el siguiente ejemplo se puede observar en cambio un proyecto ya ejecutado y en marcha por CODESO (Corporación para el Desarrollo Sostenible), que es una organización no gubernamental, y sin fines de lucro, radicada en el Ecuador, quienes tienen como finalidad planificar, formular y ejecutar proyectos, así como concienciar y capacitar a la población sobre la importancia del manejo sostenible de los recursos naturales, para mejorar la situación socioeconómica del sector campesino sin causar daños ecológicos.

La comunidad Chiwias está ubicada en la selva del sur oriente Ecuatoriano, en la Provincia de Morona Santiago, Cantón Taisha, Asociación Tutinentsa, cerca del río Kankaim, a unos 25 km de la frontera con el Perú.

La población Shuar de Chiwias vive principalmente de la siembra de yuca y plátano, la caza de animales silvestres y la pesca. El promedio de ingresos brutos mensuales de una familia es menor de 20 US\$, de lo cual se gasta gran parte en movilización aérea.



**Figura 1.3. Comunidad de Chiwias**

Es importante que la comunidad tenga su sistema de energía fotovoltaico para poder desempeñar las tareas diarias como por ejemplo la educación de los niños inclusive por la noche, tener acceso a información por medios de comunicación. El sistema solar ayuda a preservar el ecosistema del bosque primario y secundario.

Fue prevista la implementación de un sistema de generación de energía solar para el agua y la luz de la comunidad, pero actualmente se ejecutó solamente la parte de dotación de energía eléctrica fotovoltaica por problemas de financiamiento.

El sistema de energía solar consta inicialmente de 6 paneles Isofotón I 165 y 1 panel I 110 con un total de 3850 Whp / d (vatios hora pico por día) que se pueden apreciar en la figura 1.4, 10 acumuladores estacionales MAC de 12 V (voltios) 150 Ah (amperios horas), 1 regulador Isofotón I 30 A, 1 Inversor Triplite APS 2400 W

(generación de corriente alterna de 110 V para la red eléctrica local) y una caja de control.



**Figura 1.4. Paneles Isofotón instalados por CODESO en la comunidad Chiwias**

El sistema de Chiwias genera la energía para el consumo de luz (actualmente hay por lo menos 2 fluorescentes de 15 W) y radio grabadora en las casas. Las 24 familias tienen ahora con el sistema de energía solar durante el día la posibilidad de escuchar radio, usar licuadoras y ventiladores. Por la noche pueden usar sus lámparas de bajo consumo energético.

Se formó una microempresa comunal de servicio eléctrico y en el futuro de agua, para garantizar a largo plazo el funcionamiento del sistema. Las familias pagan una cuota mínima a la microempresa, y ella tiene recursos para un pago al técnico y para mantener, reparar y aumentar el sistema, enfrentando un crecimiento futuro.

Como esta, existen varias comunidades que, gracias a fundaciones como CODESO, consiguen tener su propio sistema fotovoltaico autónomo, con lo cual pueden acceder a algunos de los beneficios de la electricidad.

El MEM en su página web cuenta con un formulario que puede ser llenado por las comunidades o personas que deseen acceder a la electricidad solar, en el se

encuentran varias preguntas de índole social económico y técnico, con lo cual la DERE, podrá analizar el caso y estimar si es necesario el instalar un sistema fotovoltaico autónomo.

De lo que se ha podido analizar, si existe el interés por el uso de la energía solar, tanto por parte del gobierno como por parte de fundaciones y algunas empresas privadas. Claro está, la explotación de este recurso natural que el país posee, a pesar de que se lo ha venido haciendo hace ya algunos años, no ha tenido el repunte que debería pues como este tipo de proyectos no tiene mayor rentabilidad, y son mas bien de beneficio social, los recursos del estado asignados a esta área son todavía limitados. Ojalá a futuro, los nuevos gobiernos, vean en este recurso energético renovable una opción para generar electricidad en lugares del país que se encuentran demasiado alejados de la red pública de electricidad, y de esta manera fomentar el progreso en el Ecuador.

## **1.2. LA ENERGÍA SOLAR: UNA ENERGÍA RENOVABLE**

El planeta Tierra se ha vuelto dependiente del petróleo, muchas de las cosas que actualmente se han creado, son sobre la base de este material. La gran mayoría de motores de automóviles funcionan con sus derivados. En la industria también se lo utiliza para algunos generadores de energía. Como se puede observar ha sido muy útil para el desarrollo de la humanidad. El problema está en que las emisiones de dichos motores generan contaminación, lo que ya ha provocado el tan conocido efecto invernadero a escala mundial y por consiguiente el medio ambiente de nuestro planeta se está acabando poco a poco. Pero cabe señalar algo: las reservas de petróleo del planeta tienen sus días contados.

¿Cómo es que la humanidad, conociendo de los efectos tan nocivos que causan los combustibles derivados del petróleo al medio ambiente, siga haciendo uso de ellos? La respuesta es muy sencilla, la rentabilidad que genera esta industria es altísima, por tanto hay intereses económicos que son más fuertes que la conciencia ecológica que debería existir en todos nosotros como habitantes de este planeta azul.

Sin embargo la situación está cambiando poco a poco; existen algunas personas y organizaciones que están trabajando a favor del medio ambiente. Ellos están tratando de preservar lo que todavía no ha sido dañado por la contaminación, aunando esfuerzos para el desarrollo de materiales que sean biodegradables y de energías que no produzcan efectos nocivos en la naturaleza.

El desarrollo de energías limpias que no produzcan contaminación o que por lo menos la disminuyan, se viene dando a escala mundial cada vez con más fuerza, y dentro de ellas y tal vez la que menos impacto ambiental causa, es el aprovechamiento de la energía solar.

La humanidad desde sus inicios ha visto al sol como fuente de vida, tal es así que algunas de las civilizaciones ancestrales lo convirtieron en deidad; como ejemplo se puede señalar a los Incas quienes lo nombraron como el dios Inti, o también los egipcios para quienes Ra era el dios sol. En realidad no estuvieron muy lejos en su apreciación de fuente de vida, pues hoy en día se sabe que el astro rey a pesar de que no posee poderes omnipotentes, si es un proveedor de energía para la Tierra, sin el cual la vida en el planeta no sería posible como se la conoce. Tomemos el ejemplo de una planta: sin la existencia de la luz solar, la fotosíntesis no existiría y por tanto la renovación de oxígeno no se produciría.

El sol produce grandes cantidades de energía, y solo una fracción alcanza al planeta Tierra, no obstante esa pequeña cantidad de energía solar que se recibe en un solo día resulta más que suficiente para cubrir la demanda mundial de todo un año; tomando en cuenta también que parte de la luz solar es absorbida en la atmósfera terrestre y la restante es reflejada nuevamente al espacio. Lamentablemente todavía no existe la tecnología necesaria para aprovechar toda esa cantidad de energía de manera efectiva.

Observando desde su nacimiento, la luz solar viaja en línea recta desde el sol hasta la Tierra. Al penetrar la atmósfera terrestre, una parte se dispersa y otra cae sobre la superficie en línea recta. Finalmente, una última parte es absorbida por la

atmósfera. La luz solar dispersa se denomina radiación difusa o luz difusa. La luz del sol que cae sobre la superficie sin dispersarse ni ser absorbida, es, por supuesto, radiación directa que es la más intensa, como se puede apreciar en la figura 1.5 a continuación:

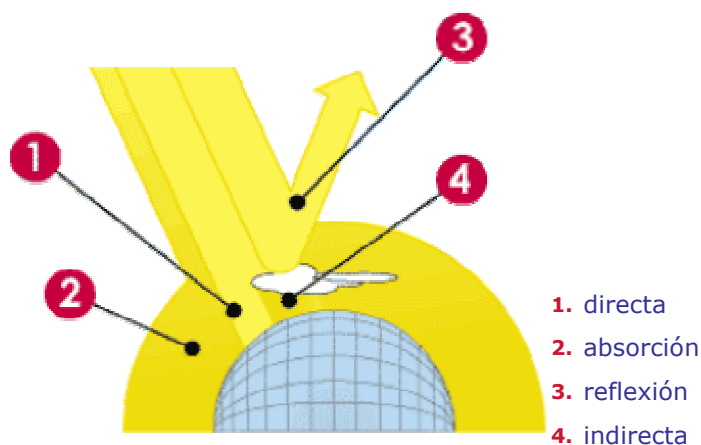


Figura 1.5. Radiación solar sobre el planeta Tierra<sup>1</sup>

Como es lógico de suponer los niveles de radiación solar en la tierra no son homogéneos debido a los movimientos de traslación y rotación propios del planeta, y a factores climáticos intrínsecos; por lo tanto la intensidad de la luz del sol no va a ser la misma en un país ubicado en la zona tórrida, que en otro que se encuentre sobre el círculo polar ártico. El mapa a continuación muestra un esquema bastante descriptivo de la radiación solar promedio al año en nuestro planeta:

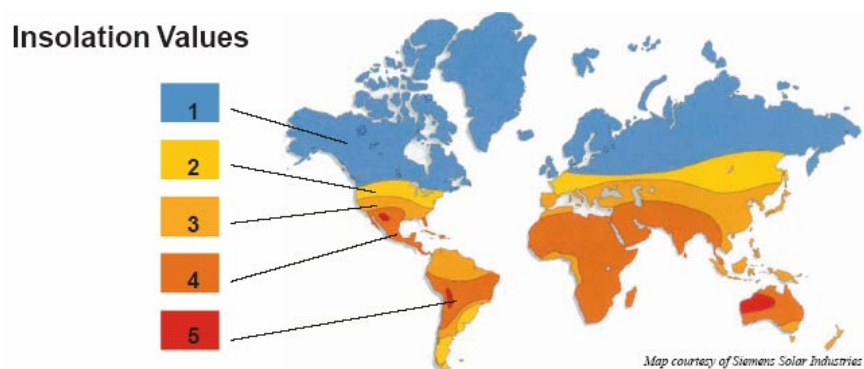


Figura 1.6. Radiación solar promedio al año sobre el planeta

<sup>1</sup> Gráfica obtenida de [www.mysolar.com](http://www.mysolar.com)

La energía total registrada sobre una base diaria o anual se denomina 'radiación' e indica la intensidad de dicha luz. La radiación se expresa en  $\text{Wh/m}^2$  por día o, también, en  $\text{kWh/m}^2$  por día. No obstante para facilitar los cálculos realizados basándose en la información sobre radiación, la energía solar se expresa en equivalentes a horas de luz solar plena. La luz solar plena registra una potencia de unos  $1,000 \text{ W/m}^2$ ; por lo tanto, una hora de luz solar plena equivale a  $1 \text{ kWh/m}^2$  de energía. Ésta es, aproximadamente, la cantidad de energía solar registrada durante un día soleado de verano, con cielo despejado, en una superficie de un metro cuadrado, colocada en perpendicular al sol. La radiación varía según el momento del día. Sin embargo, también puede variar considerablemente de un lugar a otro, especialmente en regiones montañosas. La radiación fluctúa entre un promedio de  $1,000 \text{ kWh/m}^2$  al año, en los países del norte de Europa (tales como Alemania), y  $2,000$  a  $2,500 \text{ kWh/m}^2$  al año, en las zonas desérticas. Estas variaciones se deben a las condiciones climáticas y a la diferencia con respecto a la posición relativa del sol en el cielo (elevación solar), la cual depende de la latitud de cada lugar. Observemos un mapa de radiación solar de la parte norte de Sudamérica como ejemplo para poder visualizar lo especificado anteriormente:

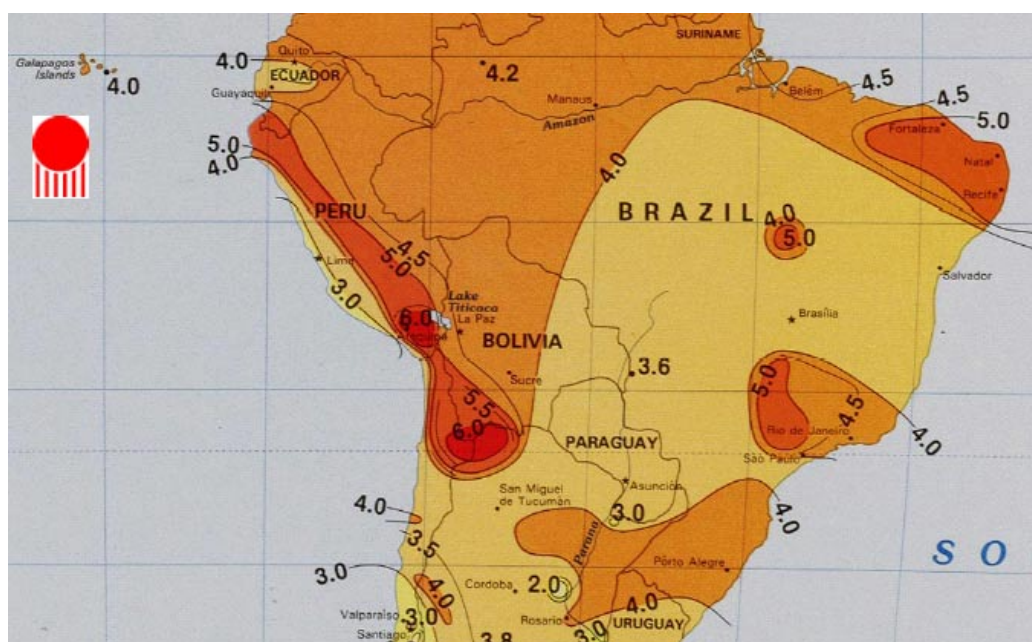
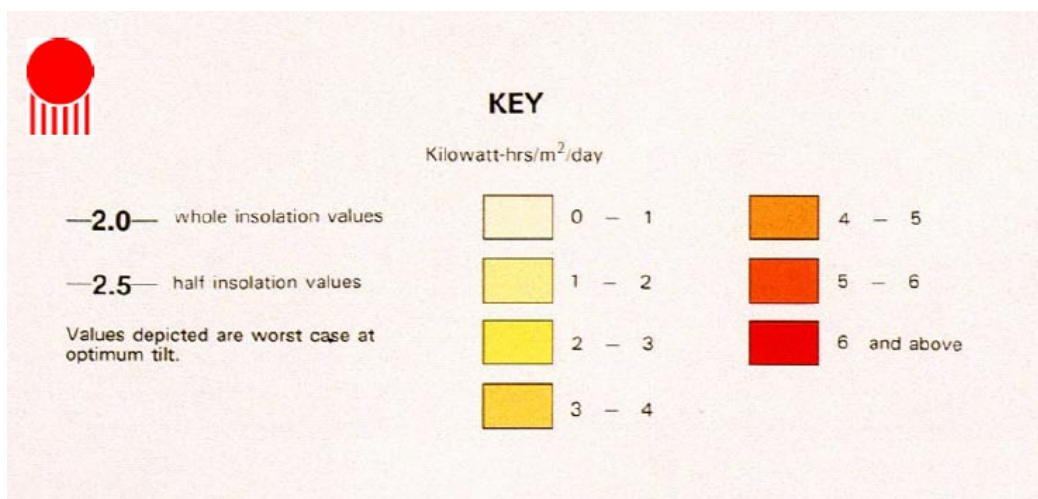


Figura 1.7. Radiación solar sobre el norte de Sudamérica<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Gráfica obtenida de [www.bpsolarex.com](http://www.bpsolarex.com)

Se observe en el mapa que ciertas zonas del Perú y Bolivia tienen un nivel de radiación solar más alto que el resto de lugares del continente  $6.0 \text{ kWh/m}^2$  al día; esto se debe a que son zonas desérticas, en el caso del Ecuador los niveles de radiación son menores debido a que la cordillera de los Andes lo atraviesa. La explicación de los valores mostrados en el mapa se los puede leer en el código propuesto a continuación:



**Figura 1.8. Valores de radiación solar<sup>3</sup>**

De lo expuesto anteriormente, se puede concluir que la energía que nos provee el sol diariamente es altísima; el problema radica en el aprovechamiento de ella. La tecnología actual en el área de fotovoltaica es todavía insuficiente para poder mejorar el rendimiento de los paneles solares existentes hoy en día. Su rendimiento está en un promedio del 12% al 15%, lo que quiere decir a breves cuentas que el 85% de la energía recibida del sol se desperdicia y solo una fracción es utilizada.

Pero cuales son las ventajas de utilizar al sol como fuente de energía. El beneficio más importante es que el planeta Tierra, no se va a seguir contaminando. Lo cual, es a futuro un bien grandísimo para la humanidad. Actualmente se habla que las secuelas producidas por el efecto invernadero sobre el clima del planeta no serán observadas hasta dentro de 20 años, según el

<sup>3</sup> Datos de Solarex's World Design Insolation map.



Pentágono. Lamentablemente dichos cambios no serán del todo benéficos más bien, podrían ser catastróficos en la superficie del planeta.

La energía solar fotovoltaica es tal vez la que menos impacto ambiental causa; pues no genera ruido, no produce desechos y lo mejor de todo está al alcance de todo aquel que tenga acceso a la luz del sol.

Si es tan buena; ¿por qué no se la ha utilizado masivamente?. Lo que sucede es que en la actualidad, la energía solar fotovoltaica es poco rentable. El nivel de eficiencia de las celdas que atrapan la luz solar, es muy bajo como ya se dijo anteriormente, y por tanto su rédito económico es mínimo.

Todo lo anterior si se habla de electrificación a gran escala. Pero si se trata de comunidades alejadas en la amazonía o en la costa como es el caso del ejemplo expuesto al inicio del presente capítulo, donde la red pública de electrificación no llega, se descubre que la energía solar es la solución más viable ya que no requiere una gran infraestructura para el montaje de un sistema fotovoltaico autónomo.

Dicho sistema se lo utiliza en ciertas ocasiones con el objeto de brindar energía eléctrica a algunas casas de la comunidad para efectos de iluminación, o de alimentación de uno que otro electrodoméstico como puede ser un televisor, una radio-grabadora, o una licuadora. Se la utiliza también para energizar bombas de agua o sistemas de telecomunicaciones en lugares alejados.

Es decir la energía solar fotovoltaica tiene mayor aplicación en los sectores rurales a los cuales es inaccesible el suministro de energía eléctrica por medios convencionales (cableado por postes de hormigón), como es el caso del oriente ecuatoriano.

Suponiendo un ejemplo de una casa de campo, la cual se encuentra alejada de todo tipo de sistema de electrificación convencional y la instalación de un sistema fotovoltaico autónomo es una posible solución:

Se observa en la gráfica a continuación cuales son los componentes de un SFD (sistema fotovoltaico autónomo o domiciliario):

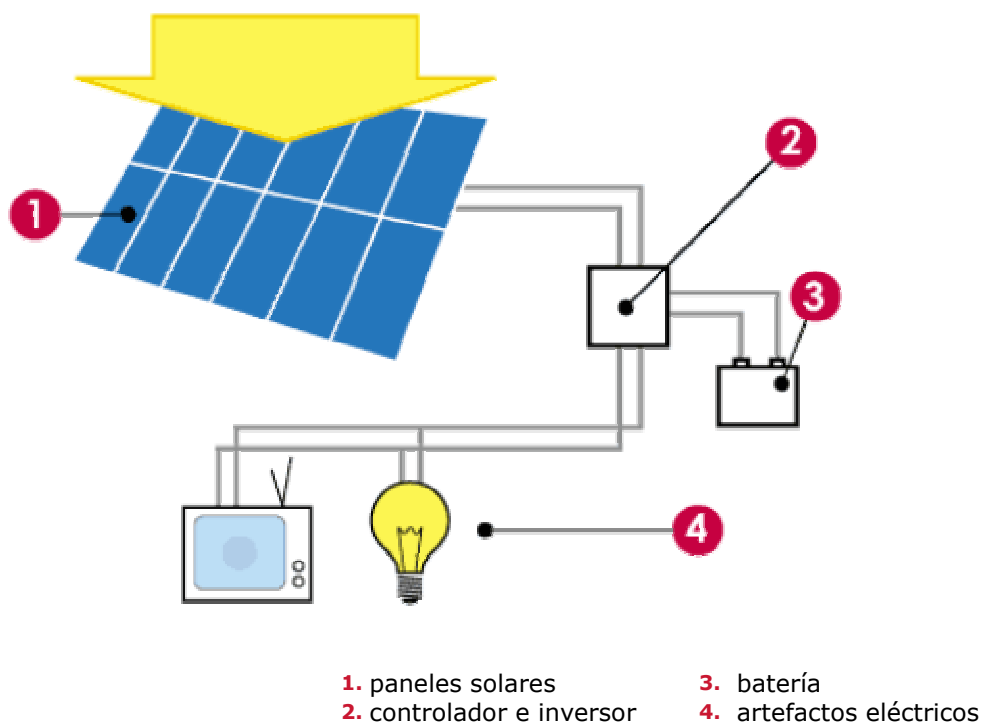


Figura 1.9. Esquema de un sistema fotovoltaico domiciliario<sup>4</sup>

Analizando para dos casos tenemos:

#### CASO 1

La carga que se debe alimentar se compone de: 4 lámparas fluorescentes, 1 radio-grabadora y 1 televisor. La siguiente tabla muestra la potencia que dichos artefactos eléctricos consumen, y la energía requerida para ponerlos a funcionar, tomando en cuenta un promedio de utilización diario aproximado.

<sup>4</sup> Gráfico obtenido de [www.mysolar.com](http://www.mysolar.com)

Cantidad	Equipo	Potencia [W]	Potencia Subtotal [W]	Horas al día de uso [horas]	Energía [W/hora]
A	B	C	D = A x C	E	F = D x E
4	Lámparas Fluorescentes	15	60	4	240
1	Radio-grabadora	10	10	4	40
1	Televisor	60	60	2	120
			<b>Total =</b>	<b>W h día</b>	<b>400</b>

**Tabla 1.1. Carga a ser alimentada por el SFD CASO 1**

Se observa que el consumo de esta casa de campo es de 400 Wh al día. Según los datos proporcionados por CODESO en su página web, el factor de radiación solar en el Ecuador es de 3.5 horas sol al día. Si se utilizan paneles de 110[W], entonces se realizan las siguientes operaciones para saber el número de ellos que se requiere:

- Se multiplica el factor de radiación solar por la potencia del panel solar, para saber cuanta energía es capaz de generar un panel de dicha capacidad en un día.

$$110 \text{ [W]} \times 3.5 \text{ [horas]} \text{ al día} = 385 \text{ [Wh]} \text{ al día.}$$

- Al tener la potencia que se requiere 400 [Wh] al día y la energía que se puede generar con un panel 385 [Wh] al día, se divide la primera por la segunda, para obtener el número de paneles requeridos para el SFD:

$$400 \text{ [Wh]} / 385 \text{ [Wh]} = 1.04 \text{ Paneles.}$$

Los resultados muestran que se puede hacer uso de un solo panel de 110 W de capacidad de generación.

Lo siguiente que se debe realizar es el cálculo para los dispositivos de almacenamiento de energía (baterías de 12 [V])

- Se divide la energía requerida para la tensión a la que va a trabajar el sistema para obtener la capacidad de las baterías a ser instaladas:

$$400 \text{ [Wh]} / 12 \text{ [V]} = 33.33 \text{ [Ah]}$$

- Una vez calculada la capacidad de las baterías, se divide este resultado para la capacidad de una batería de 100[Ah] para obtener el número de ellas que se necesita.

$$1 \text{ batería} \times 33.33[\text{Ah}] / 100[\text{Ah}] = 0.33 \text{ baterías.}$$

Para finalizar siempre es bueno que estos sistemas sean dimensionados con reservas para que se pueda tener una autonomía de uno a tres días.

Reserva para 1 día:

- Se realiza la misma operación anterior pero esta vez tomando en cuenta el número de días adicionales, es decir una batería más por día:

$$2 \text{ baterías} \times (33.33[\text{Ah}]) / 100[\text{Ah}] = 0.67 \text{ baterías.}$$

Reserva para 2 días:

- 3 baterías  $\times (33.33[\text{Ah}]) / 100[\text{Ah}] = 1.33 \text{ baterías.}$

Los criterios para el dimensionamiento de la reserva son los siguientes: el clima del lugar donde se va a instalar el sistema (existen regiones geográficas en las cuales la lluvia puede estar presente hasta en tres días seguidos, con lo cual se requiere planificar una reserva mínima de tres días); y el tipo de aplicación para la cual el sistema FV va a ser utilizado (comunicaciones y equipos médicos)

La inversión para un sistema fotovoltaico autónomo se justifica si el lugar al cual se quiere proveer de electricidad se encuentra demasiado alejado de la red pública, o es inaccesible. CODESO en su página web muestra el rango de precios de los componentes de un sistema FV de la siguiente manera:

1 panel solar fotovoltaico de 110 W	600 - 900 US\$
1 batería estacionaria de 12 V 100 Ah	100 - 400 US\$
1 regulador (protector de la batería) de 12 V 10 A	32 - 60 US\$
1 inversor APS de 300 W 110 V AC	85 - 160 US\$
<b>Total de inversión sin tomar en cuenta costos de instalación</b>	<b>817 - 1520 US\$</b>

Tabla 1.2. Costo<sup>5</sup> de los componentes del SFD, CASO 1

<sup>5</sup> Datos obtenidos [www.codeso.com](http://www.codeso.com)

Una vez dimensionado el sistema, la instalación es bastante sencilla por lo cual su precio puede ser bastante bajo. Se puede considerar hasta un 15% de ganancia dependiendo del cliente, si es para ser comercializado. Si el sistema en cambio es para uso doméstico propio, no se tomaría en cuenta ese margen de ganancia.

## CASO 2

Supongamos que a dicha casa se requiere agregarle una refrigeradora. La forma de calcular la potencia que consume este electrodoméstico se lo hace de la siguiente manera:

Una refrigeradora de  $\frac{1}{4}$  de [hp] aproximadamente 200 [W] se prende y apaga en un ritmo (dependiendo del uso, de las temperaturas adentro y afuera, del aislamiento, etc.) 15 minutos prendida y 45 minutos apagada, que equivale a un consumo promedio de 48 [W]; se la aproximara a 50 para facilidad en los cálculos.

Cantidad	Equipo	Potencia [W]	Potencia Subtotal [W]	Horas al día de uso [horas]	Energía [W/hora]
A	B	C	D = A x C	E	F = D x E
4	Lámparas Fluorescentes	15	60	4	240
1	Radio-grabadora	10	10	4	40
1	Televisor	60	60	2	120
1	Refrigerador	50	50	24	1200
			<b>Total =</b>	<b>W h día</b>	1600

**Tabla 1.3. Carga a ser alimentada por el SFD CASO 2**

La energía generada por un solo panel con un factor de radiación de 3.5 es de 385 [Wh] al día; en este caso la energía requerida es de 1600 [Wh] al día, es decir se requerirían 4 paneles para una instalación de este tipo

Para el cálculo de baterías:

- $1600 \text{ [Wh]} / 12 \text{ [V]} = 133.33 \text{ [Ah]}$ ; se puede utilizar baterías de 150 [Ah] que existen en el mercado.
- Luego para saber el número de baterías:  $133.33 \text{ [Ah]} / 150 \text{ [Ah]} = 0.88$ ; es decir se utilizará 1 batería de 150 [Ah]

Para la reserva:

- Reserva para 1 día:  $2 \times (133.33 \text{ [Ah]}) / 150 \text{ [Ah]} = 1.77 \approx 2$  baterías.
- Reserva para 2 días:  $3 \times (133.33 \text{ [Ah]}) / 150 \text{ [Ah]} = 2.66 \approx 3$  baterías.
- Reserva para 3 días:  $4 \times (133.33 \text{ [Ah]}) / 150 \text{ [Ah]} = 3.55 \approx 4$  baterías.

El costo de este sistema sería:

4 paneles solares fotovoltaicos de 110 W	2400 - 3600 US\$
4 baterías estacionarias de 12 V 100 Ah	100 - 400 US\$
2 reguladores (protector de la batería) de 12 V 30 A	160 - 300 US\$
1 inversor APS de 1000 W 110 V AC	800 - 2000 US\$
<b>Total de inversión sin tomar en cuenta costos de instalación</b>	<b>3760 - 7500 US\$</b>

Tabla 1.4. Costo<sup>6</sup> de los componentes del SFD, CASO 2

Se utilizan dos reguladores debido al número de paneles que debe manejar (1 por cada 2 paneles)

Se puede apreciar que la inversión inicial es realmente alta, y la cantidad de energía que se obtiene alcanza solo para la carga previamente dimensionada. Es decir que dado el caso se quisiera incrementar algún otro tipo de electrodoméstico se deberá incrementar el número de componentes del sistema. Esto se aprecia en la diferencia entre el CASO 1 y el CASO 2, en donde el único contraste es el incremento de un refrigerador de  $\frac{1}{4}$  de HP. Esto ocasiona que se multiplique por cuatro el número de paneles y de baterías, por dos el número de controladores, y hace necesario utilizar un inversor que soporte mayor carga. Sin embargo hay

<sup>6</sup> Datos obtenidos [www.codeso.com](http://www.codeso.com)

que tomar en cuenta que un sistema de estos no requiere mantenimiento. La vida útil de los paneles es de 20 años, y de las baterías 5 años. Si se realiza un análisis del total de la inversión a 20 años para el caso 1 podemos observar lo siguiente:

Costo total del Proyecto CASO 1:

Inversión inicial:	817 - 1520 US\$
Costo de cambio de baterías cada 5 años:	300 - 1200 US\$
Total:	1117 - 2720 US\$
El costo anual de la energía sería:	56 -136 US\$

Es decir que el costo de la energía en un día tendría un valor de entre 0.15 a 0.37 dólares. Si sabemos que al día se va a consumir 400 Wh, el costo de 1 Wh, estaría entre 0.000375 y 0.000925, es decir el KWh costaría entre 0.375 a 0.925 dólares. Su costo promedio: 0.65 US\$.

Para el CASO 2 en cambio:

Inversión inicial:	3760 - 7500 US\$
Costo de cambio de baterías cada 5 años:	1200 - 4800 US\$
Total:	4960 - 12300 US\$
El costo anual de la energía sería:	248 - 615 US\$

En un día la energía costaría 0.679 a 1.684 dólares, y el valor de 1 Wh estaría entre: 0.0004 a 0.0010 dólares; por tanto el valor del KWh estaría en un rango de 0.424 a 1.053 dólares. Valor promedio del KWh: 0.73 US\$.

Como se puede apreciar, el costo de 1 KWh en los dos casos es muy superior al valor que las comercializadoras de energía eléctrica en el Ecuador venden su KWh (0.08 US\$)

Luego de haber analizado el costo de generación de electricidad solar, se puede concluir que un sistema fotovoltaico autónomo todavía está lejos de ser rentable con respecto a uno de electrificación convencional, debido a varios factores como: el bajo rendimiento que las celdas solares proveen hoy en día (hasta 15%), la necesidad de contar siempre con acumuladores de energía (baterías), la inversión inicial sumamente alta para contar con un sistema de generación de energía eléctrica propio, y la diferencia de precios que existe en el mercado, entre un 1 KWh de energía eléctrica convencional y uno de energía solar alternativa.

Claro está que las ventajas que se obtienen al contar con un sistema fotovoltaico autónomo, son algunas como por ejemplo: la flexibilidad que uno de estos sistemas tiene para seguir expandiéndose de acuerdo a la necesidad del usuario; el gran beneficio ecológico que representa el utilizar sistemas de energía que no contaminan el medio ambiente; y en sí la autonomía que representa contar con energía eléctrica propia para no depender de comercializadoras que en nuestro país actualmente se encuentran en crisis.

Se observa que este tipo de sistemas es una solución viable si no existe cerca un generador de energía eléctrica convencional desde el cual se pueda transmitir la energía hasta el lugar del usuario, y claro si este costo no es mayor que el de colocar líneas de transmisión hasta el lugar en cuestión. Su uso puede ser excelente para la alimentación de sistemas de telecomunicaciones instalados en lugares inaccesibles, o para sistemas médicos portátiles. De hecho los programas espaciales de las naciones del primer mundo utilizan sistemas fotovoltaicos para proveer de energía eléctrica a satélites artificiales o a estaciones espaciales que se encuentran en órbita alrededor de la Tierra, en donde la forma más fácil de obtener energía es del sol.



Actualmente varias naciones como Alemania se encuentran incentivando el uso de energía solar en sus habitantes, para que adicionalmente de estar conectados a la red posean un sistema de energía autónomo, el cual a más de alimentar a la carga doméstica, aporta con electricidad a la red pública, de esta manera, dicho residente se convierte en generador de electricidad para el sistema. A gran escala si existen varios moradores que realizan lo mismo, la energía tiende a abarataarse, lo cual a mas de ser una ayuda para ellos, es un beneficio para el medio ambiente.

A futuro la utilización de energías limpias a escala mundial se volverá algo de todos los días, las reservas de petróleo poco a poco se están acabando y el valor de la conservación del ambiente se vuelve más importante cada día. Por esto se debe incentivar desde hoy la utilización de energías alternativas para comenzar a crear una verdadera conciencia ecológica que nos recuerde que el planeta Tierra es nuestro único hogar en la inmensa bóveda celeste que es el espacio y que si no se lo cuida la humanidad ya no tendrá donde existir.

## CAPÍTULO II

### EL SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO

La generación de electricidad solar actualmente es uno de los métodos, que causan menor impacto ambiental como ya se mencionó en el capítulo I. Los elementos necesarios para obtener energía de esta manera son los siguientes: un panel solar fotovoltaico, un acumulador o batería, un controlador de carga, y si se requiere tener corriente alterna, un inversor. Dichos componentes serán analizados en el presente capítulo, comenzando por una explicación sencilla del principio que gobierna el efecto fotovoltaico, y de una celda solar, el elemento primordial de un sistema FV.

Dentro de las opciones para disponer de una conexión a una fuente de energía solar, una de ellas es la que se conoce como sistema fotovoltaico autónomo o también denominado sistema fotovoltaico domiciliario, el cual no depende de ningún otro sistema de generación eléctrica, sino exclusivamente de los paneles solares. Se los instala cuando no se tiene acceso a la red pública y por lo general son sistemas que no generan una gran cantidad de energía

#### 2.1. EL EFECTO FOTOVOLTAICO

La generación de electricidad solar se debe a un fenómeno físico denominado efecto fotovoltaico. Fue observado por primera vez en 1839, por el científico francés Edmund Becquerel. Albert Einstein en 1905 propone el fundamento teórico para la comprensión de dicho fenómeno. Sin embargo no fue hasta el año de 1954 en que la primera celda solar fue fabricada por un grupo de científicos de los laboratorios Bell en los Estados Unidos. Consiste en la generación de corriente por absorción de fotones, en un material semiconductor. La gráfica a continuación muestra un diagrama esquemático de como se produce dicho fenómeno.

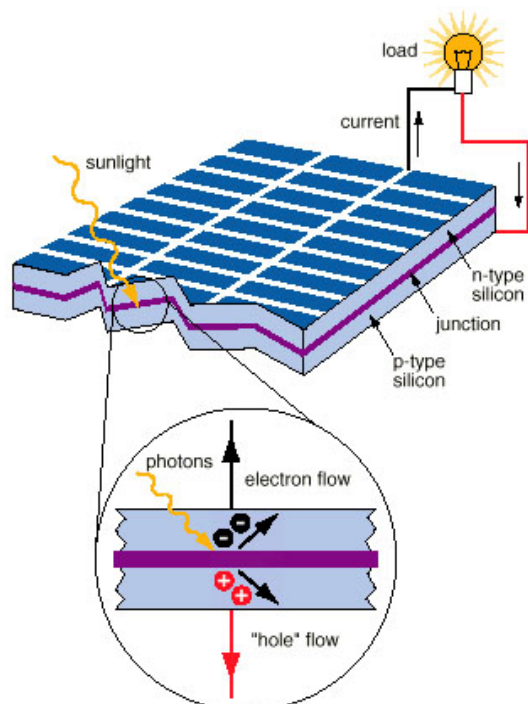


Figura 2.1. El principio de la electricidad solar<sup>1</sup>

Cuando la luz del sol cae sobre una celda solar (componente de un sistema fotovoltaico que será explicado posteriormente en este mismo capítulo), el material de la misma, absorbe algunas de las partículas de luz, denominadas fotones. Un fotón es considerado un pequeño paquete de energía que contiene masa y viaja a una velocidad extremadamente alta en el espacio. Cuando un fotón con suficiente energía es absorbido por una celda solar, este puede interactuar con los átomos de la misma, creando un par “electrón hueco”, con cargas portadoras positiva y negativa respectivamente, lo cual hace que dichas portadoras se muevan libremente sobre la celda. Las cargas negativas se propagan cruzando la juntura p-n dentro del material tipo n. Las portadoras positivas en cambio se propagan en el material tipo p. Este efecto genera una barrera de potencial en la juntura, por tanto si se conectan ambos lados de una celda solar con un cable para formar un circuito, una corriente fluirá en el momento en que el fotón es absorbido. La celda solar genera, entonces, electricidad, que puede ser utilizada inmediatamente o almacenada en una batería.

<sup>1</sup> Gráfica obtenida de <http://acre.murdoch.edu.au/>

## 2.2. LA CELDA SOLAR

En la actualidad existen varios tipos de celdas solares para producir electricidad y deben su nombre a la conformación de los átomos de silicio dentro de su estructura, que puede ser monocristalina, policristalina y amorfa. Su diferencia radica en la eficiencia de cada una de ellas, siendo las primeras las que mayor rendimiento presentan y así en orden sucesivo las otras dos restantes.

Haciendo un pequeño análisis de cada una de las diferentes celdas solares se puede encontrar contrastes en cuanto al porque difieren en su rendimiento unas con otras. Una celda solar de silicio monocristalino presenta un rendimiento entre el doce y el quince por ciento (12 al 15%), debido a que tiene una mayor sensibilidad a la luz infrarroja, la cual dentro del espectro electromagnético posee un nivel de radiación bajo. Es el material más usado para la elaboración de celdas y por consiguiente paneles solares. Se puede observar a continuación una fotografía de una celda solar monocristalina en la figura 2.2



**Figura 2.2. Celda solar de silicio monocristalino<sup>2</sup>**

La celda de silicio policristalino es en cambio de menor rendimiento (11 al 14%), debido a su fabricación. Luego de hacer una selección al silicio que se va a utilizar, se lo funde y luego se lo vierte en un molde, para dejarlo secar. A continuación se lo corta en forma de rebanadas y se obtiene la celda solar. Lógicamente es más barata que la de cristales de silicio puro. A continuación se puede apreciar una celda solar de silicio policristalino.

---

<sup>2</sup> Fotografía obtenida de <http://acre.murdoch.edu.au/refiles/pv/text.html>



**Figura 2.3. Celda solar de silicio policristalino<sup>3</sup>**

Para terminar la celda de silicio amorfo se la fabrica colocando silicio sobre una base de vidrio de un gas reactivo que puede ser el  $\text{SiH}_4$ . Este tipo de celdas tiene una gran cantidad de ventajas, que van desde su facilidad de fabricación en masa y por consiguiente su bajo costo, hasta su facilidad de ensamblaje en la fabricación. Lamentablemente el rendimiento máximo que se puede conseguir con este tipo de celdas está en el rango del seis al siete por ciento (6 al 7%), lo cual es favorable para sistemas en los cuales el factor económico sea algo primordial, como por ejemplo una instalación en comunidades rurales del Ecuador, las cuales por lo general no cuentan con el suficiente financiamiento para tener paneles de alto costo, pero lo que necesitan es simplemente energía eléctrica para las labores cotidianas, lo que se puede solucionar con paneles conformados con celdas solares amorfas, las que cumplen con el propósito de generar electricidad solar y son de menor costo. En la figura 2.4 se aprecia una fotografía de celdas solares amorfas.



**Figura 2.4. Celda solar de silicio amorfo<sup>3</sup>**

---

<sup>3</sup> Fotografías obtenidas de <http://acre.murdoch.edu.au/refiles/pv/text.html>

### 2.3. EL PANEL SOLAR

Una celda solar por si sola no produce la suficiente energía para poder alimentar a algún dispositivo que funcione con electricidad. Por esta razón se utiliza varias celdas en conjunto para poder tener voltajes suficientemente grandes. Un módulo fotovoltaico está compuesto por un número de celdas solares eléctricamente interconectadas y encapsuladas dentro de una estructura de soporte, las cuales para conseguir los niveles de voltaje y potencia deseados se combinan en serie o en paralelo. Serie para obtener un mayor nivel de voltaje, y en paralelo para obtener corrientes de mayor amperaje.

La corriente generada por un panel solar es DC, por lo cual en el mercado existen varios modelos hechos por los fabricantes que van desde el simple panel solar hasta, pequeños sistemas FV dentro de la misma estructura, que incluyen batería o inversor colocados en la parte posterior del mismo módulo. Esto es de gran ayuda en ciertos casos específicos en los cuales no se requiere más de un solo módulo para la alimentación de algún sistema eléctrico como puede ser una radio portátil. En la fotografía a continuación (figura 2.5) se observa un panel que incluye una batería de almacenamiento.



**Figura 2.5. Módulo fotovoltaico portátil<sup>4</sup>**

Claro está un módulo como el de la figura 2.5 es un caso especial; un panel solar por lo general no viene con batería o inversor incluido, simplemente es el

---

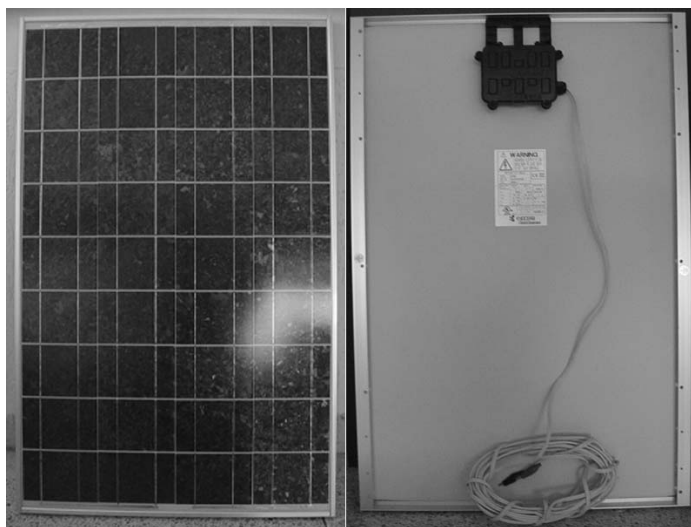
<sup>4</sup> Módulo FV marca Ecosolar modelo Solar 40 (incluye batería), fotografía obtenida de <http://www.elsitioagricola.com/>

conjunto de varias celdas solares colocadas en serie y en paralelo y cuyas dimensiones en la gran mayoría de casos no exceden del 0.5 m<sup>2</sup> de área.

Las características técnicas a observar para la selección de un panel solar comenzando por las eléctricas son las siguientes: potencia generada por el módulo, corriente en cortocircuito, tensión en circuito abierto, corriente de máxima potencia, tensión de máxima potencia y el número de celdas en serie y paralelo. En lo que se refiere a detalles técnicos de construcción en cambio se debe tomar en cuenta de que tipo son las celdas existentes, si la cara posterior se encuentra protegida con vidrio templado de alta transmisividad, si se tiene una toma de tierra exterior, si la caja de conexión incluye diodo de bypass, el cual sirve para evitar corrientes de retorno, en el caso que estuvieran dos paneles conectados en serie y uno de ellos se encuentre generando más energía que el otro.

En el mercado existe disponibilidad de paneles solares en diferentes marcas que van desde los 55, 115, 165 Wp (Watt pico) entre los más comunes, los cuales producen dichas cantidades de potencia en condiciones de luz solar plena.

En el caso específico que concierne a este proyecto, el panel solar a utilizarse es de marca Kyocera KC-TYPE Series de 80 Watts, el cual se aprecia en la figura 2.6 mostrada a continuación:



**Figura 2.6. Panel Solar Kyocera KC-TYPE utilizado para el presente proyecto**

Las especificaciones técnicas propias de este panel se las puede apreciar a continuación en la figura 2.7

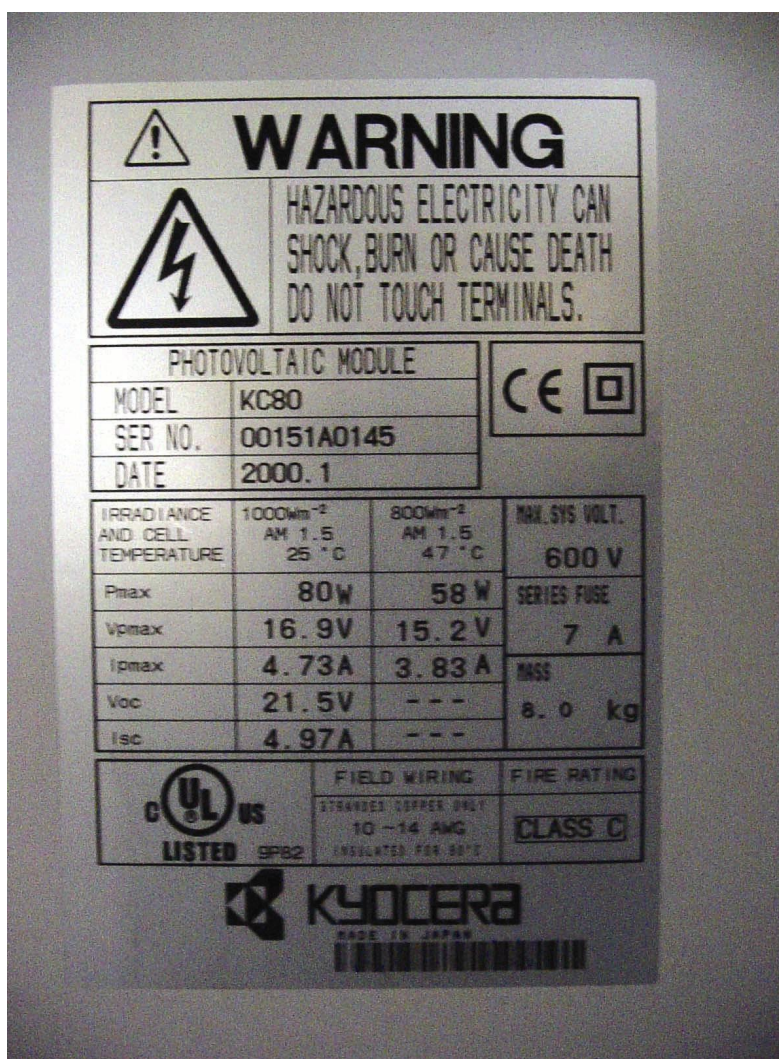


Figura 2.7. Placa posterior del Panel Solar Kyocera KC80 utilizado para el presente proyecto

Como se aprecia en la fotografía, las características técnicas del panel solar son las siguientes:

- Potencia máxima : 80 Watts
- Voltaje pico máximo: 16.9 V
- Corriente pico máxima : 4.73 A
- Voltaje máximo en circuito abierto : 21.5 V
- Corriente de cortocircuito: 4.97 A
- Celdas de cristal policristalino.



Además de estas características, las celdas fotovoltaicas del panel solar Kyocera KC80, se encuentran encapsuladas entre una cubierta de vidrio templado por delante, para protegerlas de las más severas condiciones ambientales. El laminado entero del panel se encuentra instalado en un marco de aluminio anodizado consiguiendo de esta manera un soporte estructural más fuerte, y al mismo tiempo de más fácil instalación. Especificaciones adicionales del panel se las puede observar en el anexo A.

#### **2.4. EL CONTROLADOR DE CARGA**

Uno de los elementos más importantes de un sistema fotovoltaico es el denominado controlador de carga, cuya implementación es el objetivo del presente proyecto. Su función es la de protección al acumulador de un sistema FV a descarga profunda (descarga extrema, demasiada energía consumida) o de sobrecarga (carga extrema, demasiada energía proveniente del panel solar). Lógicamente la utilización de este dispositivo es altamente recomendable ya que ayuda a la conservación o extensión de la vida útil de las baterías.

Como referencia para el diseño e implementación del controlador de carga objetivo de este proyecto, se utilizará el modelo ISOLER 20 de la marca ISOFOTON S.A., el cual fue provisto por el Ministerio de Energía y Minas para el estudio de su funcionamiento, cuyas características físicas, eléctricas y constructivas se encuentran en el anexo B.

Paralelamente al ISOLER 20 se utilizará también el regulador MINO V2, cuyas características de funcionamiento serán provistas por su hoja técnica publicada en Internet y que se encuentran en el anexo C. La figura 2.8 y 2.9 a continuación muestran las fotografías de los dispositivos antes mencionados. Ambos dispositivos son controladores digitales, los cuales tienen capacidad de trabajar en lugares en los cuales las condiciones ambientales no excedan temperaturas mayores a 50° C o bajen de 0° C; es decir son controladores de carga para instalaciones domiciliarias. Por tanto dentro de estos parámetros se encontrará el regulador de carga desarrollado en el presente proyecto.



Figura 2.8. Controlador de Carga ISOLER 20



Figura 2.9. Controlador de Carga MINO V2

Tanto el diseño como la implementación del controlador de carga se encuentran relatados en el capítulo III del presente documento.

## 2.5. EL INVERSOR DE CORRIENTE

Como ya se señaló anteriormente, el panel solar genera corriente directa DC, la cual alimenta al acumulador que lógicamente también guarda y provee energía DC. Sin embargo la mayoría de artefactos eléctricos utilitarios dentro de un hogar funcionan con energía AC como por ejemplo una radio grabadora o un televisor o una refrigeradora. Por esta razón se hace necesaria la utilización de un inversor de corriente en los sistemas fotovoltaicos autónomos que no solo sean utilizados para iluminación. Un inversor de corriente es un dispositivo para convertir corriente continua (CC) de la batería en corriente alterna (CA). Son muy útiles en sistemas fotovoltaicos de emergencia, los cuales se encuentran conectados a la red, y que proveen de energía a artefactos que por lo general reciben alimentación de CA.

La potencia del inversor se la dimensiona de acuerdo a la cantidad de carga de CA que se va a disponer. En el mercado existen varios modelos y que soportan diferentes cargas.



Figura 2.10. Varios tipos de Inversores de Corriente<sup>5</sup>

Adicionalmente también existen en el mercado paneles solares que en su parte posterior llevan un inversor incorporado, a estos dispositivos se los conoce

---

<sup>5</sup>Gráfica obtenida de <http://www.mysolar.com>, Inversores Techinverter

como módulos de corriente alterna, los cuales son bastante útiles en aplicaciones específicas para las cuales no se requiere corriente directa como puede ser el caso de prescindir de iluminación, que por lo general se lo hace con CD.



Figura 2.11. Módulo de corriente alterna<sup>6</sup>

## 2.6. LAS BATERÍAS

Una de las partes más importantes de un sistema fotovoltaico son los acumuladores o baterías de almacenamiento de energía. Son utilizados para almacenar electricidad que será utilizada durante la noche para iluminación o para el consumo de electrodomésticos. Asimismo, suministran electricidad durante periodos de escasez o ausencia de luz solar, necesaria para que el panel solar produzca energía. La duración del periodo que puede ser cubierto está determinada por la demanda de electricidad y el tamaño de la batería de almacenamiento.

---

<sup>6</sup> Gráfico obtenido de <http://www.mysolar.com>, Modulo de CA Smaster 130

En los sistemas solares de emergencia, las baterías son utilizadas para cubrir periodos de corte del fluido eléctrico de la red. En cambio los sistemas conectados más comunes (en los lugares donde la red de distribución pública es confiable) no usan baterías.

Las baterías están disponibles en diversas formas y tamaños. Las de 12V son las más utilizadas. Si las baterías son nuevas y son del mismo tipo y tamaño, pueden ser conectadas para incrementar la capacidad del almacenamiento del banco de almacenamiento.

Algunos sistemas solares están provistos de baterías solares especiales. Otros utilizan baterías para auto comunes. Sin embargo, debe preferirse las primeras, ya que están adaptadas para su uso en sistemas solares y su tiempo de vida será considerablemente más largo.

Por lo general, las baterías son la parte más delicada de un sistema FV y la primera en ser reemplazada, por tanto se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones para extender el tiempo de vida útil de ellas.

- El uso de un controlador de carga es altamente recomendable. Éste desconecta las cargas cuando la batería se encuentra casi completamente descargada. Todos los sistemas solares domiciliarios estándar cuentan con un controlador de carga.
- Debe existir relación entre el número de paneles solares, el tamaño de las baterías y el número de cargas eléctricas (luces, artefactos eléctricos) y sus respectivos consumos.
- El controlador de carga verifica el estado de carga de la batería (cuán cargada se encuentra). Por lo general, el controlador está provisto de un indicador luminoso rojo, que se enciende cuando la batería está descargada, y uno verde, que se enciende cuando está completamente cargada. El indicador verde debe permanecer encendido el mayor tiempo posible. Esto extenderá el tiempo de vida de la batería.

- Se debería cargar al máximo la batería utilizando un cargador/generador, una vez al mes, pues esto ayuda a extender el tiempo de vida de la batería.
- No se debe ignorar las indicaciones del controlador de carga con el fin de extraer hasta la última gota de energía de la batería. Esto la arruinaría.

Para terminar, la demanda de electricidad y el tamaño de la batería de almacenamiento determinan la duración del periodo de escasez de luz solar que podrá ser cubierto, al que se denomina "periodo de autonomía": tiempo máximo durante el cual las necesidades básicas de electricidad pueden ser cubiertas, cuando no se cuenta con suministro de corriente producida por el panel solar. El periodo de autonomía es un parámetro utilizado para el dimensionamiento del sistema, como se observó en el Capítulo I.



**Figura 2.12. Baterías para descarga profunda<sup>7</sup>**

Para el caso del presente proyecto, la batería a ser utilizada es de marca Dynasty para UPS catalogada como cero mantenimiento, la cual es bastante buena para ser utilizada en un proyecto de esta naturaleza debido a la capacidad de soportar descarga profunda. El acumulador Dynasty UPS 12-170 es una batería de plomo - ácido ideal para instalaciones fotovoltaicas debido a su gran capacidad de soportar descargas profundas y a su bajo costo comparado con una

---

<sup>7</sup> Fotografía obtenida de <http://www.mysolar.com>, baterías de descarga profunda marca techbattery

batería de níquel – cadmio que no es comúnmente utilizada en este tipo de sistemas.



**Figura 2.13. Batería Dynasty para UPS utilizada en el presente proyecto**

Sus características técnicas más importantes se las puede detallar de la siguiente manera: 12 [V], 50 [AH], con un promedio de duración de 20 horas, sus celdas poseen una capacidad de 170 [W/celda] con un promedio de descarga constante de 1.67 [V/celda] en 15 minutos a 25° C (Vease anexo D). El funcionamiento de un acumulador de plomo – ácido brevemente se lo puede resumir de la siguiente manera. Se encuentra constituido por un ánodo de bióxido de plomo (electrodo positivo), un cátodo de plomo (polo negativo) y un electrolito<sup>8</sup> de ácido sulfúrico diluido en agua. El momento en que el generador se conecta a un circuito que consume potencia eléctrica del cátodo se liberan electrones que circulan hasta el ánodo por dicha carga, produciendo en ambos electrodos sulfato de plomo (PbSO<sub>4</sub>), disminuyendo la concentración del electrolito.

Para dar por concluido este capítulo se debe tomar en cuenta que dependiendo de una correcta selección de los generadores de energía (paneles solares), y de una correcta selección y cálculo de los acumuladores (baterías) a utilizarse, dependerá el óptimo funcionamiento de un sistema FV; por tanto antes

---

<sup>8</sup> Conductor, que al ser atravesado por la corriente eléctrica, da lugar a un transporte mensurable de materia y a fenómenos químicos en los electrodos. ENCICLOPEDIA MONOGRÁFICA DE LA INFORMACIÓN, *Ciencia e Investigación, Volumen VI, Uribearte, Bilbao (España) 1966, 623 págs.*

de comenzar a comprar los dispositivos se debe realizar un total estudio de las características técnicas de cada uno de dichos componentes.



## CAPÍTULO III

### EL CONTROLADOR DE CARGA

El principal elemento de un sistema fotovoltaico autónomo es el acumulador de energía; siendo este de tanta importancia, se debe idear un sistema de control de carga y descarga apropiado para que su tiempo de vida útil se prolongue.

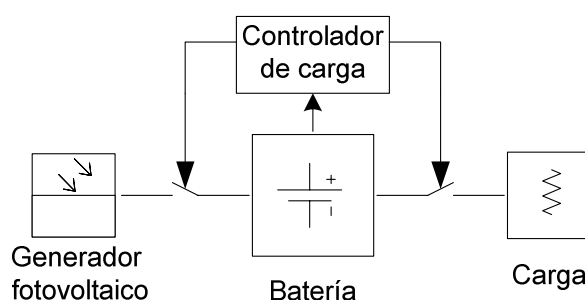
Por lo general una batería en un sistema FV debería durar 5 años promedio; esto se logra con un apropiado controlador de carga de dicho acumulador. El presente capítulo reseña paso a paso el proceso de diseño de un controlador de carga para un sistema fotovoltaico autónomo.

#### 3.1. DISEÑO DEL CONTROLADOR DE CARGA

**3.1.1. Generalidades.** Todo diseño comienza en base al planteamiento del problema, en este caso el propósito de la implementación de un controlador de carga, es el limitar la sobrecarga de energía a una batería por parte de un panel solar y evitar que la carga que maneja dicha batería sea excesiva y pueda llegar a dañar a dicho acumulador. Es decir que de una manera muy conceptual el diseño de este dispositivo se lo podría describir en un diagrama como el que se muestra en la figura 3.1. El controlador como se puede apreciar en la gráfica se encarga de tomar valores característicos de la batería y en función de ellos controla la desconexión del panel o de la carga según sea el caso.

El diseño del controlador de carga está basado en las características físicas, eléctricas y constructivas de tres existentes en el mercado. Uno es el ISOLER

20 de ISOFOTÓN S.A.<sup>1</sup>, el otro es el MINO V2 de ATERSA<sup>2</sup> y el último es el SCC2 10 Amp Solar Charge Controller publicado en [www.cirkits.com](http://www.cirkits.com).<sup>3</sup> Los dos primeros controladores de carga funcionan en base a microcontroladores que manejan el estado del panel, batería y carga; mientras que el tercero es un arreglo análogo el cual solo controla panel y batería.



**Figura 3.1. Diagrama de bloques conceptual de las funciones de un controlador de carga.**

**3.1.2. Características técnicas base del controlador de carga.** Dentro de los objetivos definidos al inicio del proyecto se planteó diseñar un controlador de carga de similares características técnicas que el ISOLER 20 de Isofotón, pero durante el avance del proyecto se ha podido observar que se requería de más información; por tanto se tomó como referencia al MINO V2 de Atersa y el SCC2 10, como apoyo para comparar las especificaciones; y en base a toda esa información obtener un controlador de carga con características propias.

No solamente el diseño se ha referido exclusivamente a los tres controladores ya mencionados, sino también se han tomado en cuenta las especificaciones tanto del panel como de la batería que se han utilizado en el proyecto, para de esta manera obtener un circuito que funcione en base a los dispositivos a los cuales va a ser conectado.

<sup>1</sup> ISOFOTON S.A., empresa española con sede en Madrid dedicada a la energía solar [www.isofoton.com](http://www.isofoton.com)

<sup>2</sup> ATERSA: Aplicaciones Técnicas de la Energía, empresa española con sede en Madrid, Catarroja y Córdoba; dedicada a la energía solar

<sup>3</sup> [www.cirkits.com](http://www.cirkits.com), página en la que se publicó el 18 de Febrero de 2004 el diagrama electrónico del controlador de G. Forrest Cook;

Las especificaciones eléctricas, que se ha observado como base en los controladores analizados previo al diseño del controlador concerniente a este proyecto son los siguientes:

Tensión Nominal	Bi-tensión, selección automática 12/ 24 [V]
Intensidad Máxima de Generación	20 [A]
Intensidad Máxima de Consumo	20 [A]
Sobrecarga Admisible	25 %
Autoconsumo	≈ 25 [mA]
Pérdida Máxima generación/consumo	< 2 [W] / 2 [W]

**Tabla 3.1. Especificaciones eléctricas base.**

Por otro lado las características constructivas base observadas en los controladores tomados como muestras son:

Tipo de regulación	Serie con microcontrolador, con relé de estado sólido
Sistema de regulación	Carga Profunda / Flotación / Igualación
Visualización modo de carga	Carga profunda, flotación e igualación mediante LED
<i>Compensación por temperatura</i>	<i>Si -2 mV/°C / V mediante sonda externa</i>
Desconexión del consumo por baja tensión	Si con rearme automático
Alarmas locales	Alta y baja tensión, sobrecarga y cortocircuito mediante LEDs
Indicadores de estado de carga	Batería llena, media y vacía
<i>Protección contra corriente inversa de batería</i>	<i>Opcional mediante diodo de bajas pérdidas (MOSFET)</i>
<i>Protección contra polaridad inversa</i>	<i>Si (líneas generación, batería y consumo)</i>
Protección contra sobrecarga	Si, temporizada (línea consumo)
Protección contra cortocircuito	Si, instantánea (línea consumo)
Protección contra sobre tensiones	Si, mediante varistores (líneas generación batería y consumo)
Protección contra desconexión de batería	Si
Rango de temperatura de funcionamiento	0 – 50 °C
<i>Rearme desconexión sobrecarga/cortocircuito</i>	<i>Reset manual</i>

**Tabla 3.2. Especificaciones constructivas base.**

Tomando como referencia todas estas características, el diseño del controlador, se deberá comenzar por el análisis del tipo de acumulador a utilizar, para en base a esto determinar cual es la mejor forma de cargarlo.

**3.1.3. Selección del tipo de acumulador.** Existen varios tipos de acumuladores de energía eléctrica, los cuales se los podría describir por su ciclo de carga y descarga, clasificándolos de la siguiente manera:

- Acumuladores de arranque.
- Acumuladores de tracción.
- Acumuladores especiales.
- Acumuladores estacionarios.

Los acumuladores de arranque sirven para el arranque de motores de combustión interna. La mayor exigencia para este tipo de acumuladores es suministrar gran corriente durante un intervalo de tiempo corto y en condiciones desfavorables de temperatura.

Los de tracción están diseñados para la tracción en vehículos con motor eléctrico. Son sometidos a fuertes descargas a intervalos de tiempo, durante un periodo que suele ser de 8 horas (una jornada laboral). Después de este periodo deben ser recargados rápidamente para la próxima jornada.

Acumuladores especiales como su nombre lo indica son aquellos utilizados para aplicaciones específicas tales como submarinos, en donde la salida de gases y la contaminación del aire deben de ser mínima; y en los aviones, donde la diferencia de presión puede crear problemas de funcionamiento. Dentro de lo que son las instalaciones solares, el tipo de acumulador que se utiliza es el estacionario. Su aplicación es la de almacenar energía eléctrica sin tener que moverse la batería. Las aplicaciones son muy variadas, siendo la más extendida la de funcionamiento en stand by, para suministrar energía eléctrica en caso de falla de la tensión de la red o como acumulador para un sistema fotovoltaico autónomo.

Una vez escogido el tipo de acumulador a utilizar, es decir el estacionario, se debe analizar los factores que inciden en su funcionamiento como son los ciclos de carga y descarga, el régimen de descarga, la profundidad de descarga y el trabajo en baja carga, para poder determinar el método de carga a utilizar. Tomando en cuenta que el acumulador estacionario en una instalación fotovoltaica está sometido a una serie de ciclos de trabajo. Cada ciclo comprende la descarga del acumulador, bajo un determinado régimen, seguido de la subsiguiente recarga. El acumulador estacionario debe estar diseñado para soportar el máximo número posible de ciclos de carga - descarga.

En cuanto al régimen de descarga, para el caso de un acumulador estacionario de aplicación solar es mucho más lento que el de otros tipos (de arranque o tracción). Por ello la capacidad de la batería viene referida a una descarga de 100 horas, que es aproximadamente el período mínimo de autonomía exigible.

La profundidad de descarga se refiere a: “la intensidad con que se produce la descarga en un ciclo determinado de trabajo”<sup>4</sup>. Generalmente la batería en una instalación fotovoltaica descarga cada día entre un 10 y un 30% de la energía almacenada. La profundidad máxima de descarga admisible no debe ser superior a un 80% de la capacidad nominal de la batería.

Por último, estos acumuladores, no trabajan en baja carga; sin embargo el acumulador estacionario de uso solar puede soportar un régimen de trabajo de tres meses sucesivos con el 30% de su capacidad, y luego recuperarse totalmente una vez cargado.

Por tanto, para un sistema fotovoltaico autónomo una batería debe soportar gran cantidad de ciclos de carga y descarga, la profundidad de descarga no debe ser muy grande (80 % de la capacidad nominal del acumulador), se debe pensar que el mantenimiento no va a ser muy a menudo y por último su costo.

---

<sup>4</sup> [http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/Solar\\_Fotovoltaica/componentes.htm](http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/Solar_Fotovoltaica/componentes.htm), baterías

Una vez analizado todos estos parámetros lo que nos queda es escoger el tipo de batería según su constitución; es decir si va a ser de plomo ácido (en cualquiera de sus combinaciones) o níquel – cadmio. Si bien es cierto estas últimas, ofrecen una excelente fiabilidad y resistencia ya que pueden soportar descargas de hasta un 90% de su capacidad teórica, recuperándose totalmente y soportar temperaturas extremadamente bajas; además de soportar ocasionales cortocircuitos que dañarían las baterías de plomo, así como la eventual falta de agua, que haría que sólo dejara de funcionar temporalmente hasta que se le añadiera, tienen el inconveniente de su elevado precio, del orden de 5 a 10 veces más que las equivalentes de plomo, siendo estas últimas bastante fiables también y que cumplen también con las características necesarias y suficientes para una instalación solar, pero de menor costo. Adicionalmente se sabe que este tipo de acumuladores los más utilizados dentro de lo que son sistemas fotovoltaicos autónomos.

En base a estos criterios se observa que es mejor trabajar con una batería de plomo ácido de cero mantenimiento que cumple con las prestaciones especificadas para el proyecto. Por tanto, para el presente proyecto la batería a ser utilizada es de plomo ácido (Dynasty de C&D Technologies, Inc<sup>5</sup>), catalogada como cero mantenimiento.

Una vez determinado que tipo de acumulador va a ser utilizado, hay que determinar el método de carga a utilizar; mediante su correcta elección se podrá garantizar el alargamiento del tiempo de vida útil del acumulador.

**3.1.4. Selección del Método de Carga.** La vida útil de una batería y sus prestaciones dependen directamente de los procesos de carga a los que es sometida.

Los principales métodos de carga son:

- Tensión constante

---

<sup>5</sup> C&D Technologies, Inc. Dynasty Division, empresa norteamericana con sede en Milwaukee

- Corriente constante
- Corriente descendente
- Dos niveles de tensión constantes

El método de carga a tensión constante es el más usado para cargar baterías de plomo - ácido. Consiste en aplicar una tensión constante de 2,3, 2,4 ó 2,5 V/elemento, limitando la corriente inicial de carga a  $0,1C$  ó  $0,2C$  amperios, siendo  $C$  la capacidad de la batería en amperios - hora. El tiempo de carga va de 40 horas a 10 horas y la tensión debe regularse según la temperatura ambiente: si la temperatura es alta, la tensión de carga debe ser baja y viceversa. Algunos fabricantes admiten la utilización de este método sin limitación de corriente, pues sus baterías están dimensionadas para fuertes corrientes. En este caso, si se inicia el proceso con 2,3V/elemento, la corriente inicial después de una descarga profunda será de  $3C$  amperios y de un  $0,5C$  durante un período largo.

El método de carga a corriente constante<sup>6</sup> es recomendado por algunos fabricantes para las baterías de níquel - cadmio, limitando la corriente entre  $0,25C$  y  $0,05C$  amperios. En el caso de carga profunda se admiten corrientes de  $1C$  amperios, pero vigilando la tensión de la batería o la temperatura.

El método de corriente descendente es el sistema de carga más económico y es utilizado por algunos fabricantes para sus baterías níquel - cadmio. Consiste en una carga sin regulación limitada por una resistencia serie, que en algunos casos es la propia resistencia del devanado del transformador de alimentación. A medida que la batería se va cargando, la corriente de carga va descendiendo gradualmente. Es un método antiguo y muy peligroso porque la tensión y corriente de carga dependen de las fluctuaciones de la corriente de la red, con lo que existe riesgo implícito de sobrecarga.

---

<sup>6</sup> La carga a corriente constante se utiliza como carga de igualación en baterías plomo - ácido para corregir diferencias de capacidad entre las baterías de un mismo grupo. Para evitar una sobrecarga que destruya la batería, es necesario terminar cuando el acumulador alcance su máxima capacidad.

Por último el método de dos niveles de tensión constante es recomendado para cargar una batería de plomo - ácido hermética en un período corto de tiempo y mantener la batería en plena carga en situación de flotación. Inicialmente se carga a un nivel alto de tensión (2,45V/elemento), limitando la corriente. A partir de que esta disminuya por debajo de un nivel, se pasa a tensión constante permanente o de flotación. Este método es el más eficiente pues minimiza el tiempo de carga y la batería queda protegida de sobrecargas. Después de una descarga profunda es necesario un tiempo de carga más largo de lo normal. Inicialmente la corriente que admite la batería es baja, ya que la resistencia interna tiene un valor elevado y no adquiere su valor normal hasta pasados unos 30 minutos. Por este motivo es necesario inhibir el control durante este período de tiempo, pues el cargador podría suponer que la batería está cargada y dejarla en flotación.

Una vez revisados los métodos de carga que existen se concluye que el más apropiado es el de dos niveles de tensión constante, ya que el acumulador utilizado en el proyecto es una batería de plomo ácido hermética. Sin embargo a parte de seleccionar el método de carga se debe también seleccionar su modalidad de utilización, es decir el como se va a cargar la batería con dos niveles de tensión constantes.

**3.1.5. Selección de la modalidad de utilización del método de carga.** Las principales modalidades de utilización son:

- Flotación
- Ciclos de carga – descarga
- Tampón

Se dice que una batería trabaja en flotación cuando está permanentemente conectada en paralelo con una fuente de corriente y el circuito de corriente continua y a una tensión constante que puede oscilar de 2,10V/elemento a 2,25V/elemento, dentro de un estrecho margen de variación, por lo general del 1%. En estas condiciones la fuente suministra, normalmente, el consumo de corriente que demanda el circuito de continua al tiempo que proporciona una



pequeña corriente de carga a la batería que compensa la pérdida de capacidad que se produce continuamente en la misma por la auto descarga interna, manteniéndola plenamente cargada en todo momento. Cuando se produce una interrupción en la fuente ordinaria de corriente, la batería se hace cargo de la demanda de corriente continua durante todo el tiempo que dura dicha interrupción o hasta el agotamiento de su capacidad. Al re-establecer de nuevo el servicio, la fuente de corriente vuelve a abastecer las necesidades del circuito de DC y simultáneamente proporciona la corriente de carga de la batería.

En la modalidad: ciclos de carga - descarga, la batería se descarga sobre el circuito receptor estando desconectada del sistema de carga. Una vez que la batería se ha descargado o se ha restablecido el suministro normal de corriente haciendo innecesaria la misma, la batería se conecta al sistema de carga hasta que queda completamente cargada. Este ciclo se repite indefinidamente durante toda la vida de la batería.

Por último, en la modalidad de tampón, la batería se encuentra permanentemente conectada en paralelo con el generador de corriente continua. En las horas pico de consumo, la batería se descarga haciendo frente al exceso de demanda de corriente. Por el contrario en las horas de consumo reducido, es el generador de corriente continua el que atiende la misma y simultáneamente proporciona corriente a la batería, que de esta forma se carga.

Con todas estas consideraciones más el análisis de las modalidades de carga utilizadas en el controlador de carga ISOLER 20 (carga profunda, flotación e igualación), la curva de regulación de carga observada en la figura 3.2 del MINO V2 y los niveles de voltaje de funcionamiento de la batería UPS 12 – 170 de DYNASTY Division, se puede definir los umbrales de voltaje con los que va a trabajar el circuito que se está diseñando.

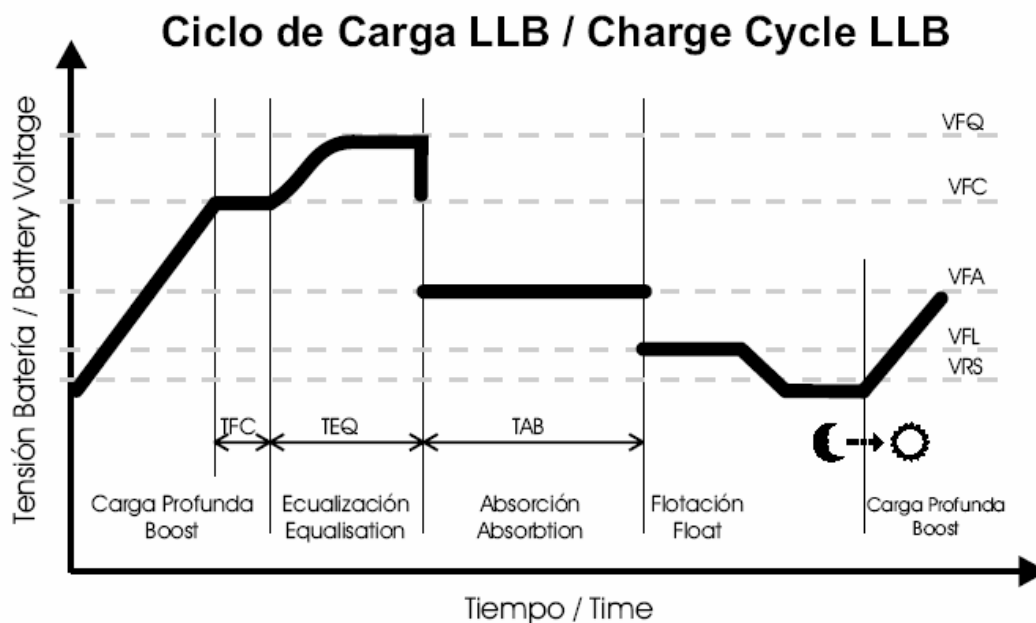


Figura 3.2. Ciclo de carga del regulador MINO V2<sup>7</sup>.

## 6.2.- Valores de Maniobra

	Gel	Plomo-Ácido
Tensión Máxima del Sistema	14,90	15,70
VFQ = Tensión Final de Ecualización	14,20	15,20
TEQ = Tiempo de Ecualización(minutos)	120 min	120 min
Tiempo entre ecualizaciones	30 días	30 días
VFC = Tensión Final de Carga	14,00	14,80
TFC = Tiempo de Final de Carga	3 min	3 min
VFA = Tensión Final de Absorción	13,80	14,00
TAB = Tiempo de Absorción	120 min	120 min
VFL = Tensión Flotación	13,40	13,80
VRS = Tensión de Reset	12,60	12,70
LVR = Reset desconexión	12,30	12,30
LVD = Desconexión	11,50	11,40

Tabla 3.3. Valores de maniobra del regulador MINO V2.

<sup>7</sup> Gráficas obtenidas de la hoja de especificaciones técnicas publicada por ATERSA creadora del controlador MINO V2.

\*All dimensions in inches and (millimeters). All dimensions are for reference only.  
Contact a C&D Representative for complete dimensional information.

<b>UPS12-170 - Specifications</b>						
Cells Per Unit	Voltage Per Unit	Weight	Electrolyte	Maximum Discharge Current	Short Circuit Current	Ohms Imped. 60 Hz ( $\Omega$ )
6	12.84	40 lbs. 18 kg	Absorbed H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> SG = 1.300	600 Amps	2500 Amps @ 0.1 sec.	0.0060 Ohms
<b>Capacity</b>	170 watts per cell at the 15 minute rate to 1.67 volts per cell at 77° F (25° C). 50 Ah @ 20 hr. rate to 1.75 volts per cell @ 77° F (25° C) 44.8 Ah @ 10 hr rate to 1.80 volts per cell @ 20° C (68° F)					
<b>Operating Temperature Range</b>	<b>Discharge:</b> -40° F (-40° C) to +160° F (71° C), <b>Charge:</b> -10° F (-23° C) to +140° F (60° C) (with temperature compensation)					
<b>Nominal Operating Temperature Range</b>	+74° F (23° C) to +80° F (27° C)					
<b>Float Charging Voltage</b>	13.5 to 13.8 VDC/unit Average at 77° F (25° C).					
<b>Recommended Maximum Charging Current Limit</b>	C/5 amperes (10.0 amperes @ 100% depth of discharge) @ 20 hour rate					
<b>Equalization and Cycle Service Charging Voltage</b>	14.4 to 14.8 VDC/unit Average at 77° F (25° C).					
<b>Maximum AC Ripple (Charger)</b>	0.5% RMS or 1.5% P-P of float charge voltage recommended for best results. Maximum voltage allowed = 1.4% RMS (4% P-P) Maximum current allowed = 2.5 amperes RMS (C/20)					
<b>Self Discharge</b>	Dynasty UPS batteries may be stored for up to 6 months at 77° F (25° C) and then a freshening charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.					
<b>Accessories</b>	Inter unit connectors, racks and cabinet systems are available.					
<b>Terminal</b>	"L" terminal with 0.28" clearance hole to accept 0.25" (6mm) bolt.					
<b>Terminal Hardware Initial Torque</b>	40 in.-lbs. (4.5 N-m).					
<b>Terminal Hardware Annual Retorque</b>	32 in.-lbs. (3.48 N-m).					

Figura 3.3. Especificaciones de la batería UPS 12 -170 de DYNASTY División.

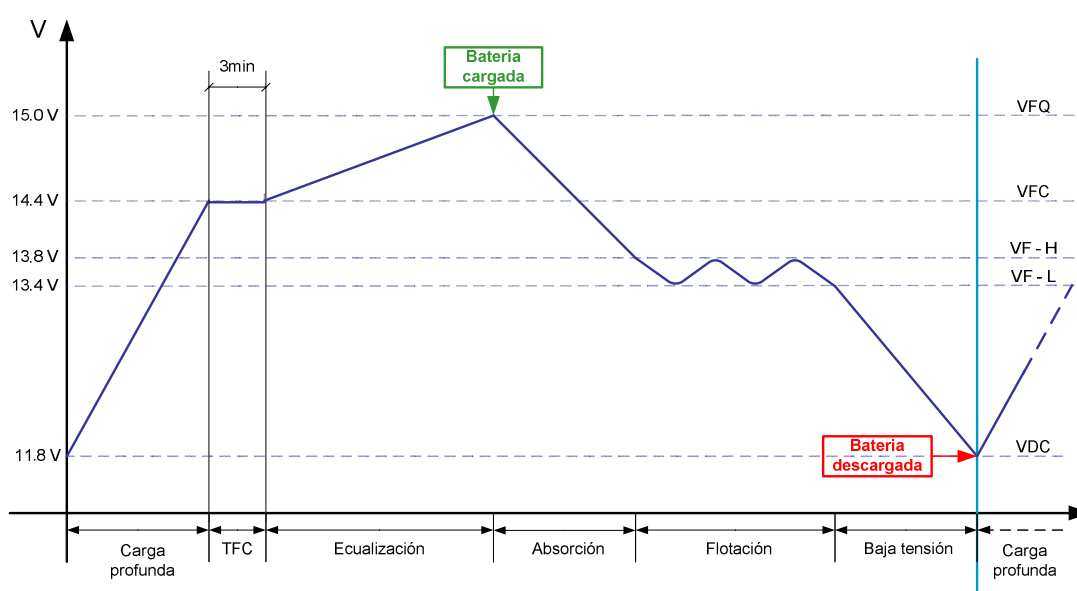
En base a la información recopilada se concluye para el presente proyecto se utilizará una curva de carga similar a la del MINO V2, con las fases de: carga profunda, igualación (ecualización), absorción y flotación como principales, más el resto de fases complementarias al ciclo de carga de la batería de plomo -ácido definidas por el diseñador en base a los voltajes de trabajo del acumulador utilizado en el proyecto.

**3.1.6. Diseño conceptual del controlador de carga.** Una vez estudiado, el tipo de acumulador a utilizar, el método de carga y su modalidad de utilización, se puede comenzar a diseñar el controlador propiamente dicho.

De primera se debe tomar en cuenta los umbrales de voltaje a ser utilizados; para esto se debe conocer la capacidad de voltaje máximo que un panel solar puede entregar. En el presente proyecto se hace uso de un panel marca

Kyocera KC-80<sup>8</sup>, el cual entrega como voltaje pico de operación máximo un valor de 16.9 V, con lo cual se asume que este es el valor tope con el que va a trabajar un sistema de 12 V<sup>9</sup>; en base a dicho valor el resto de niveles de voltaje deberán ser menores. Con este criterio se definirá dos ciclos de trabajo para el circuito a implementar. Uno es el ciclo de carga dentro del cual exclusivamente la batería entra en régimen de acumulación de energía, y el segundo es el ciclo de trabajo normal en el cual la carga conectada al sistema comienza a funcionar con la energía almacenada en el acumulador.

Se detalla a continuación los diferentes tipos de ciclos de trabajo en función del tiempo de carga y descarga de la batería:



**Figura 3.4. Gráfica tensión vs. Tiempo de carga del controlador sobre la batería.**

Primero se explicará como se encuentran distribuidas las fases de carga del controlador para luego pasar a detallar el funcionamiento de cada una de ellas. La nomenclatura de los nombres de los niveles de tensión detallados en la gráfica se encuentra en la tabla 3.4.

<sup>8</sup> KYOCERA CORPORATION, empresa japonesa dedicada a la elaboración de suministros electrónicos.

<sup>9</sup> Para el caso de sistemas de 24V se utilizará los valores multiplicados por 2, tal como se indica en los manuales de usuario de los controladores analizados para la elaboración del presente proyecto.

Como se puede apreciar el controlador de carga actúa primero en una fase de carga profunda, la cual se encuentra en una banda definida entre 11.8 V y 14.4 V; luego se presenta una fase de estabilización de carga la cual dura 3 minutos; si luego de este tiempo de espera, el acumulador baja su tensión a menos de 14.4 V, que es el nivel de voltaje que se necesita para entrar a fase de ecualización, el controlador hace que la batería entre nuevamente en modo de carga profunda para asegurar un valor correcto de tensión final de dicho banda de voltaje (14.4 V); de esta manera se asegura que la batería entre en etapa de ecualización cuando realmente se cumplan las condiciones que se han prefijado para esta fase de trabajo del controlador. Se ha predeterminado que esta etapa de ecualización, tenga una duración de 120 minutos, dentro de los cuales el panel estará en ciclos de conexión por 3 minutos y desconexión por 1 minuto hasta cumplir las 2 horas definidas<sup>10</sup>. Durante estas dos primeras fases, la carga se mantendrá desconectada para lograr un ciclo completo de recarga de la batería.

NOMENCLATURA	
VFQ	Tensión final de ecualización
VFC	Tensión final de carga profunda
VF - H	Tensión alta de flotación
VF - L	Tensión baja de flotación
VDC	Tensión de desconexión de carga
TFC	Tiempo de finalización de carga profunda

**Tabla 3.4. Valores de maniobra del controlador para el presente proyecto.**

Una vez alcanzado el nivel máximo de tensión permitido (15.1 V) se procede a la desconexión del panel solar y la reconexión de la carga; esta fase se la conocerá con el nombre de absorción, en la cual el voltaje del acumulador irá disminuyendo en función del consumo; hasta alcanzar la banda de flotación. Esta banda de voltaje en cambio se encuentra definida entre 13.8 y 13.4 V, dentro de la cual se conectará y desconectará el panel en función de la carga o descarga de la batería. En otras palabras, si por consumo el nivel de tensión baja de 13.4 V, el panel será conectado nuevamente para tratar de compensar

<sup>10</sup> Esta condición fue requerida basándose en la observación del funcionamiento del panel solar y con sustento en un procedimiento similar que realiza el regulador MINO V2 observado en sus especificaciones técnicas.

la descarga de la batería. Una vez que se alcanzó a cargar a 13.8 V se vuelve a desconectar el panel con lo que se logra obtener una banda de trabajo del controlador dentro de la cual se tratará de mantener flotante el nivel de tensión del acumulador.

Si el consumo es excesivo, y el controlador no puede mantener los niveles de tensión dentro de los rangos de la banda de flotación, el controlador pasa a otra fase de carga que será conocida con el nombre de banda de baja tensión la cual está delimitada entre 13.4 y 11.8 V. En esta banda de tensión, el controlador mantiene el panel conectado durante todo este período para tratar de compensar el alto consumo existente, con el fin de alcanzar otra vez la banda de flotación y nuevamente ingresar al modo normal de trabajo del controlador. Si no se logra este objetivo, y el consumo es demasiado alto entonces se desconecta la carga en 11.8 V para que no corra peligro de daño el acumulador.

En las tablas mostradas a continuación se detalla de una manera gráfica las acciones de control que el dispositivo realizará según los niveles de voltaje prefijados y las alarmas que presentará el circuito.

1. Ciclo de Carga				5	4	3	2	1	0
Banda de tensión	Niveles de voltaje	Alarmas encendidas	Acción de Control						
Carga Profunda	11,8 V a 14.4 V	RD3	Controlador en ciclo de carga profunda	■		■			
		RD5	Carga desconectada						
	tiempo de final de carga (3 min)	RD0	Controlador en fin de ciclo de carga prof.	■					■
		RD5	Carga desconectada						
Ecuación	<14,4 V o <15 V	RD2	Controlador en fase de inicio del ciclo	■		■	■		
		RD3	de ecuación						
		RD5	Carga desconectada						
	14,4 V a 15 V	RD2	Controlador en ciclo de ecuación	■			■		
	RD5	Carga desconectada							

Tabla 3.5. Acciones de control y señalización en ciclo de carga profunda.

La señalización de las alarmas se indica a la izquierda de la tabla; los cuales en el circuito implementado serán representados por leds de colores. En el caso de las salidas RD1 y RD2 se utilizará diodos led de dos colores igual para RD3 y RD4, para disminuir la cantidad de señalización.

2. Ciclo de trabajo normal				5	4	3	2	1	0
Banda de tensión	Niveles de voltaje	Alarmas encendidas	Acción de Control						
Alta Tensión	16,7 V a 15,2 V	RD0	Generación desconectada						
		RD1	Alarma por tensión alta						
Batería Cargada	15,2 V a 14,8 V	RD0	Generación desconectada						
		RD2	Indicador de batería cargada						
Absorción	14,8 V a 13,8 V	RD4 on por 1 seg	Controlador en ciclo de absorción						
		RD4 off por 1 seg							
		RD0	Generación desconectada						
Flotación	13,8 V a 13,4 V	RD4	Controlador en ciclo de flotación						
Baja Tensión	13,5 V a 12 V	RD3	Controlador en ciclo de baja tensión						
Batería descargada	12 V a 11,8 V	RD1	Alarma por tensión baja						

Tabla 3.6. Acciones de control y señalización en ciclo de trabajo normal.

**3.1.7. Diagrama de bloques del funcionamiento del controlador.** En la figura 3.5, se puede observar el diagrama de bloques que indica como se plantea implementar el circuito del controlador de carga, dentro del cual, se puede apreciar todas y cada una de las etapas que un sistema fotovoltaico autónomo. Se puede apreciar que el sistema propuesto es un control on / off en lazo cerrado, ya que en base a los niveles de voltaje sensados desde la batería se va a permitir la conexión o desconexión del panel solar, dependiendo del nivel de carga que ella presente. De igual forma el controlador podrá determinar cuando desconectar la carga en base al consumo que se observe en el acumulador. De esta manera se está asegurando que las variables controladas se encuentren dentro de las bandas de voltaje preestablecidas anteriormente.

Se observa además que existe un sensor de temperatura conectado al controlador, el cual va a estar leyendo esta variable física con el fin de que el ajuste necesario de 2mV por grado centígrado que es una característica constructiva básica se cumpla con el propósito de obtener una compensación en los niveles de voltaje, Para explicarlo de una manera más clara, lo que quiere decir esta compensación es que si la temperatura aumenta en un grado centígrado, el nivel de voltaje debe disminuir en 2 mV y viceversa.

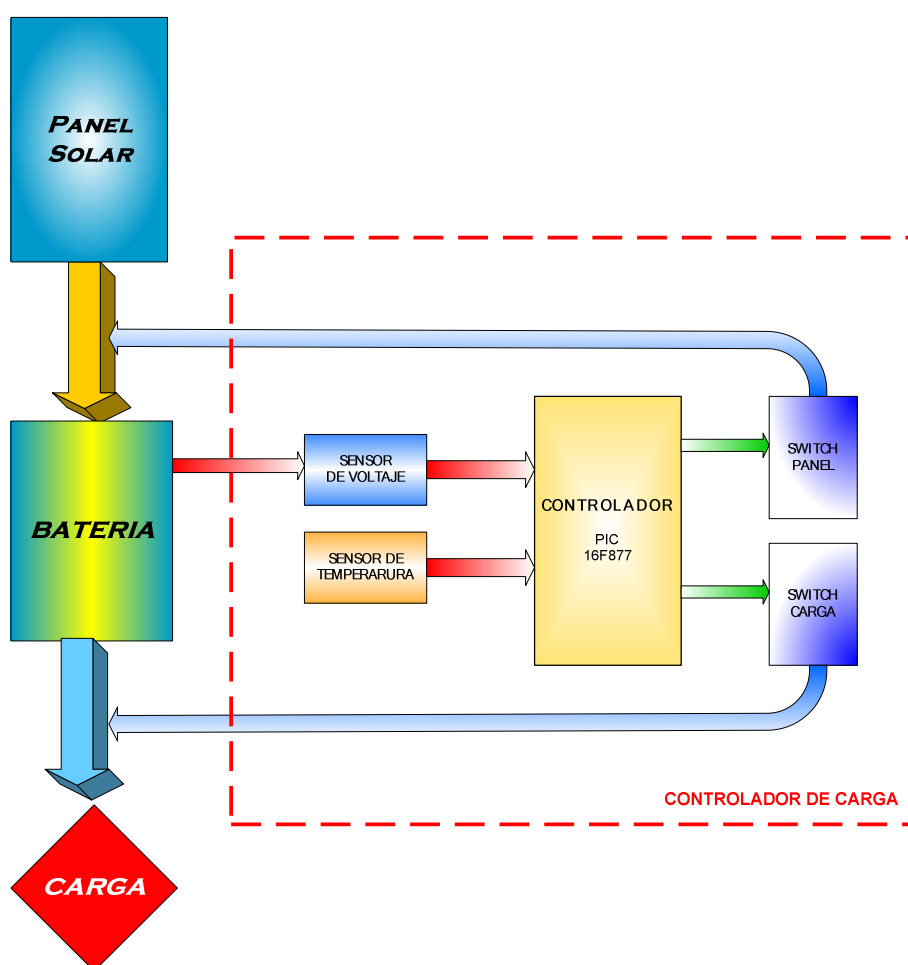


Figura 3.5. Diagrama de bloques del controlador de carga.

**3.1.8. El controlador propiamente dicho.** El modelo de referencia para el presente proyecto; el ISOLER 20, utiliza un microcontrolador como el principal elemento de control del sistema. El regulador MINO V2, también realiza sus funciones en base a una arquitectura micro-controlada. Ambos realizan control digital, en cambio el SCC2 10 es un controlador analógico, el cual utiliza un



amplificador operacional a manera de comparador de voltajes. En cualquiera de los casos, el controlador requiere saber en que nivel de voltaje se encuentra la batería para de esta manera decidir si conecta o desconecta o bien la carga o bien el panel. Además el controlador es preferible que sea digital ya que las variables digitales se las puede manipular de mejor manera en contraposición con las variables analógicas. Las primeras se las puede almacenar, y lógicamente al ser palabras digitales ocupan menor espacio, por lo cual, la mejor opción es implementar un controlador digital, el cual podría ser un computador, un PLC o un PIC, entre otras.

La primera opción, tomando en cuenta que este sistema debe ser sumamente económico y pequeño, debido a que se lo utiliza para instalaciones rurales, quedaría descartada, el PLC no sería una mala opción sin embargo su costo es mayor, y la aplicación que se está realizando no es del todo compleja, a parte el consumo de electricidad de este es mayor que la de un PIC, y lo que interesa en un controlador para este tipo de sistemas es que consuma la menor cantidad de corriente para su funcionamiento, porque como se ha podido determinar en capítulos anteriores, el rendimiento de un sistema fotovoltaico autónomo es sumamente bajo.

Basándose en estos criterios se tomó la decisión de diseñar e implementar el controlador con un PIC, en este caso el 16F877, debido a sus características técnicas acordes a los requerimientos del actual proyecto.

El PIC 16F877; propiedad de MICROCHIP, pertenece a una subfamilia de microcontroladores de la gama media, el cual dentro de sus características más destacables está el hecho de tener una memoria de código FLASH de 8 K palabras de 14 bits, 368 bytes de memoria de datos en RAM, 256 bytes de memoria de datos en EEPROM, 5 puertos que pueden ser programados como entradas - salidas dependiendo de las necesidades del usuario, 3 temporizadores y una de las principales opciones que presenta este microcontrolador es que posee un conversor análogo digital de ocho canales, el cual es de gran utilidad el momento de tener una interfase entre el mundo

digital y el analógico. Las características técnicas de este microcontrolador se encuentran relatadas en su hoja de especificaciones al final del documento.

**3.1.9. Programación del PIC.** Lógicamente dicho microcontrolador debe tener un programa cargado el cual va a definir la rutina de trabajo que va a realizar durante su modo operativo. Para construir dicho programa se utilizará el MPLAB 6.1 propiedad de MICROCHIP, y como compilador el MPASMWIN, de la misma casa desarrolladora de software para sus propios productos.

Según los requerimientos básicos de los controladores originales (ISOLER 20, MINO V2, y el SCC2 10), los cuales fueron utilizados como modelos de referencia para el desarrollo del presente proyecto, se necesita:

- Que tenga la capacidad de diferenciar entre una batería y un panel de 12 V o 24 V lo que se conoce como selección de bi-tensión automática.
- Que tenga la capacidad de realizar una compensación de voltaje debido a la baja o incremento de la temperatura según la siguiente relación  $2\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ .
- Luego de haber verificado estas dos condiciones debe leer el voltaje del acumulador y ser capaz de definir si este requiere o no de ser cargado. Esto se lo hace de la siguiente manera: si la batería tiene un nivel de voltaje mayor que 13.8 V (valor de voltaje superior de la banda de flotación), el controlador entra en régimen de funcionamiento normal con la carga conectada y el panel en funcionamiento, con lo cual el sistema comienza a trabajar en ese instante
- Si la batería requiere ser cargada, el controlador debe entrar a fase de carga profunda en donde se utilizará dos niveles de tensión constantes de referencia; el primero 14.4 V (fin de carga profunda e inicio de igualación) y de 15.1 V (voltaje de batería cargada). En esta fase la carga no se la conectará para permitir una óptima acumulación de energía en la batería. Una vez que esta se encuentre totalmente cargada, el controlador permitirá ingresar en la fase de funcionamiento normal, dentro del cual la carga se conecta, y puede existir consumo de energía.

- Si la batería no requiere ser cargada, entra en el segundo ciclo de funcionamiento, en el cual la característica básica es el proceso de flotación que se da en el acumulador. Consiste en conectar el panel, si el voltaje de la batería disminuye de 13.5 V y desconectarlo si aumenta de 13.8 V; dichos datos de voltaje fueron obtenidos de la hoja técnica del acumulador utilizado en el proyecto (ver anexo D). Por último, si el voltaje de la batería disminuye de 11.8 V, la carga es desconectada para evitar cualquier tipo de daño al acumulador, y luego se vuelve a modo de carga profunda, comenzando el ciclo nuevamente

Una vez definida la lógica que el programa debe manejar, se debe aprovechar las características que presenta el PIC 16F877 entre ellas sus 5 puertos de entradas – salidas. De esta manera las funciones del controlador se las puede dividir de la siguiente manera:

- Puerto A: Programado como entrada de señales, se utiliza 3 de sus 5 pines como entradas analógicas, con el fin de leer el voltaje de la batería si es que esta fuera de 12 o de 24 V (RA0 y RA1 respectivamente), y además para leer la señal del sensor de temperatura RA5.
- Puerto E: Programado como entrada de señales, se utiliza 2 de sus 3 pines como entradas analógicas para leer los niveles de voltaje tanto del panel como de la batería (RE1 y RE2 respectivamente) con el fin de realizar las acciones de selección automática de tensión entre 12 o 24 V.
- Puerto B: Programado como salidas discretas para controlar la conexión del panel y de la carga (RB0 y RB7 respectivamente) según sea el caso definido por el controlador.
- Puerto C: Programado como salidas discretas para la visualización a display de los valores de voltaje con los cuales se encuentra trabajando el controlador en tiempo real (RC0 a RC7 bus de 8 bits).
- Puerto D: Programado como salidas discretas para la visualización mediante LED's de los ciclos en los cuales se encuentra el controlador. (RD0 a RD5)<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> Ver tablas 3.5 y 3.6: señalización de los ciclos de trabajo del controlador.

Con todos los condicionamientos previamente definidos, es mejor interpretar la lógica del programa mediante un diagrama de flujo, este se lo puede apreciar en la figura 3.6.

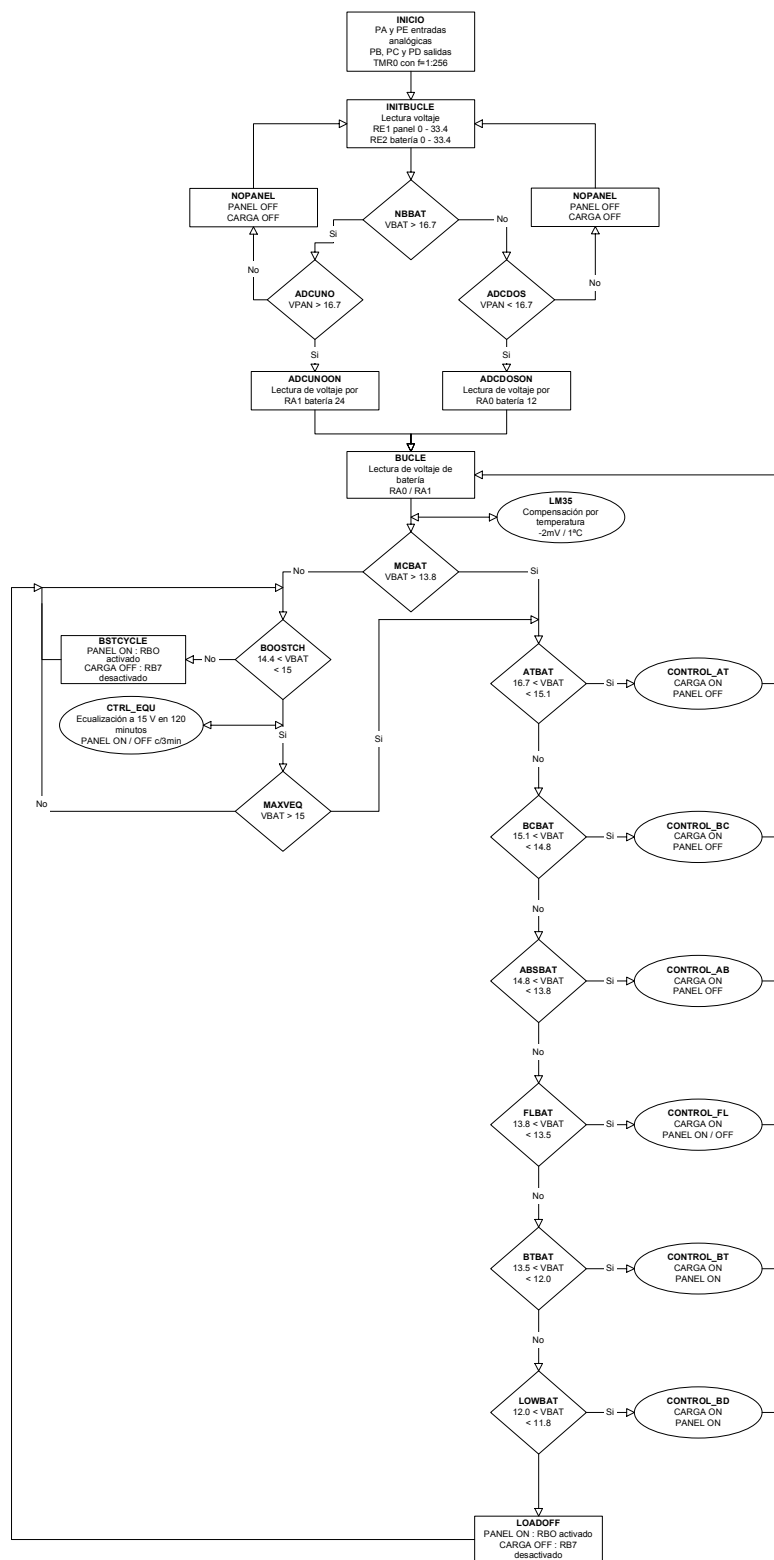


Figura 3.6. Organigrama del programa del controlador en ejecución.

El ciclo comienza en la rutina **INICIO** donde se inicializa los puertos de entrada y salida como ya se definió previamente y el TMR0 se lo usa como temporizador con pre-escala de 1:256 activando su incremento en cada flanco ascendente, con pulsos de reloj interno ( $F_{osc}/4$ , temporizador), interrupción externa activada con flanco ascendente y resistencias de pull-up del puerto B desactivadas, con la finalidad de generar un retardo por programa de 1 seg.

Una vez realizado este procedimiento se pasa a la rutina **INITBUCLE**, la cual incluye el bloque de decisión **NBBAT**, dentro del cual se procede a realizar la selección automática de tensión de trabajo o lo que se le conoce como bi-tensión automática entre 12 V o 24 V, esto se lo realiza tomando lectura de los valores de voltaje tanto del panel como de la batería por el puerto E. La escala para esta lectura está definida para los valores entre 0 a 33.4 V; este último es el valor duplicado de 16.7 V, el cual es el nivel máximo de voltaje provisto por el panel para cargar al acumulador, es decir que para poder trabajar con baterías de 24 V, los valores de voltaje especificados en las tablas 3.5 y 3.6 se duplican. Con este condicionante, si el nivel de voltaje es menor que 16.7, significa que el voltaje de trabajo de la batería es de 12 V, por el contrario si es mayor quiere decir que se trata de un acumulador de 24 V. Ya conocido dicho valor se procede a seleccionar el nivel de voltaje del panel, es decir si va a ser de 24 V (**ADCUNO**), o de 12 V (**ADCDOS**). Si los valores son adecuados, es decir el panel y la batería son de 12 V, el dispositivo comienza a realizar las acciones de control para cargar al acumulador. Si por el contrario los niveles de voltaje no coinciden, el controlador procede a mantener desconectada la carga y la generación mientras no se realiza una conexión adecuada (**NOPANEL**).

Cuando ya se ha logrado obtener concordancia en los niveles de voltaje del panel y batería se pasa al ciclo principal del programa (**BUCLE**), dentro del cual se procede como primera acción a llamar a la subrutina denominada **LM35**, que es la que se encarga de tomar lectura del sensor de temperatura del mismo nombre, el cual según las características presentadas en su hoja de especificaciones puede ser conectado directamente al PIC, proveyendo un rango de temperatura de 0 a 50° C, lo cual es lo requerido por los objetivos del

proyecto; más adelante se profundizará sobre el funcionamiento de este sensor y como se encuentra conectado en el circuito. En esta subrutina lo que primero se realiza es medir la temperatura ambiente actual, y en base a dicho dato se procede a compensar en  $-2\text{mV}$  por  $1^\circ\text{C}$  el valor de voltaje obtenido en **ADCUNO** o **ADCDOS**, según sea el caso. Este es un objetivo planteado al inicio para el proyecto basado en la compensación por temperatura que el ISOLER 20 maneja; sin embargo dentro de las características técnicas presentadas en la hoja de especificaciones del MINO V2, no se encuentra ningún tipo de compensación. Es lógico suponer porque ha sido descartada esta compensación, ya que si la analizamos detenidamente, el rango de temperatura a la cual el controlador trabaja es de  $0$  a  $50^\circ\text{C}$ , esto quiere decir que como máximo el dispositivo podrá aceptar una variación de temperatura de  $50^\circ\text{C}$ , lo cual indica que la mayor variación de voltaje que perciba el controlador va a ser de:  $-100\text{mV}$  por  $50^\circ\text{C}$ , es decir  $0.1\text{V}$  en todo el rango de trabajo del controlador, lo cual no influye significativamente en el trabajo del dispositivo. Esta compensación es más útil en controladores de mayor rango de trabajo y para aplicaciones mucho más grandes que un controlador de carga domiciliario, como por ejemplo puede ser en satélites geoestacionarios operados con energía solar fotovoltaica, los cuales por encontrarse fuera de la atmósfera terrestre pueden presentar variaciones de temperatura de más amplio rango que el que se presenta en el presente proyecto. Sin embargo, la compensación se encuentra realizada tal como es el requerimiento de los objetivos del proyecto, es decir  $-2\text{mV}$  por  $1^\circ\text{C}$ , a una resolución de  $4.8\text{mV}/\text{bit}$ , a  $10\text{ bits}^{12}$ , que es la máxima respuesta que da el conversor A/D del PIC 16F877 en cada uno de sus canales. El procedimiento de compensación se encuentra diseñado de la siguiente manera: la resolución máxima del PIC como ya se mencionó es de  $4.8 \approx 5\text{ mV}$  por bit, sin tensión interna o externa de referencia, esto se lo obtiene de la siguiente manera:

$$\text{resolución} = \left( \frac{(V_{ref+}) - (V_{ref-})}{1024} \right) = \left( \frac{5 - 0}{1024} \right) = 4.8\text{mV} / \text{bits}. \quad (3.1)$$

<sup>12</sup> ANGULO, José M, *Microcontroladores PIC Diseño práctico de aplicaciones*, segunda parte, segunda edición, MCGrawHill, España 2000, 231 páginas.

Luego se propone las siguientes relaciones lineales:

<b>Entradas analógicas al sistema</b>		<b>Señal acondicionada</b>	<b>Palabra digital correspondiente</b>
Temperatura	Voltaje de la batería	Entrada del sensor	Registro de 10 bits del ADC
50° C	16.7 V	5 V	1111111111
:	:	:	:
0° C	0 V	0 V	00000000

**Tabla 3.7. Relaciones lineales entre diferentes escalas de voltaje y temperatura.**

Tomando como ejemplo el nivel de voltaje de 12 V, el nivel de voltaje que recibe el PIC una vez acondicionada la señal, es de 3.592 V, y la palabra digital en 10 bits correspondiente a dicho valor es 1011100000. Suponiendo que la temperatura desciende en 1° C, el nivel de voltaje de la batería debería incrementarse en 2mV, es decir el nuevo valor sería de 12.002 V, y su correspondiente en escala de 5 V sería de 3.593 V. Sin embargo se debe tomar en cuenta que la resolución del ADC es de 5mV / bit. Por tanto lo que realmente sucede con el valor de 3.592 V el momento en que se incrementa 1° C, es que crece en 0.005 V, y el nuevo valor es de 3.597V (12.013 V en escala de 12 V). Esto quiere decir que el mínimo valor con que puede variar en un bit la palabra digital del controlador es de 13 mV, lo cual no permite realizar la compensación directa. La solución a este problema se la propone de la siguiente manera: si la relación propuesta es de 2mV / °C, por tanto:

$$2mV / ^\circ C = \frac{13mV}{(X)^\circ C} \quad (3.2)$$

$$(X)^\circ C = \frac{13mV}{2mV / ^\circ C} = 6.5^\circ C$$

Lo que se consigue mediante este cálculo es ajustar la compensación a la resolución que tiene el ADC del PIC 16F877; en resumen lo que se está haciendo es que por cada 6.5° C de diferencia en temperatura, el valor en voltaje varíe en 13 mV, consiguiendo de esta manera percibir la misma compensación de 2mV por °C, al incrementar en 1 bit la palabra digital.

Tomando en cuenta que la temperatura de referencia es de 25 °C, se definen bandas de temperatura dentro de las cuales se va a sumar o restar bits dependiendo de la variación de temperatura que exista de la siguiente manera:

50° a 44.5°	-3
44.5° a 38°	-2
38° a 31.5°	-1
31.5° a 25°	0
25° a 18.5°	+1
18.5° a 12°	+2
12° a 5.5°	+3
5.5° a 0°	+4

**Tabla 3.8. Compensación de la palabra digital con respecto a la temperatura**

Una vez realizada la compensación de temperatura, se procede a revisar en que nivel de voltaje se encuentra el acumulador en el bloque de decisión **MCBAT**, para definir si este se encuentra cargado y puede entrar en régimen de funcionamiento normal, es decir que la carga se encuentre conectada; caso contrario el sistema entrará en ciclo de carga profunda, para que la batería pueda acumular suficiente energía y el sistema FV pueda funcionar en régimen de trabajo normal. Esta decisión se la toma en función de que si el nivel de voltaje de la batería al ser conectado por primera vez el controlador de carga, detecta un nivel de voltaje mayor o igual a 13.8 V. Si la respuesta es positiva el sistema se encuentra en el primer caso por tanto comienza a trabajar en su ciclo normal de funcionamiento; por el contrario si el voltaje de la batería es menor que 13.8, quiere decir que el acumulador requiere energía.

Si se analiza primero la opción, en la que la batería se encuentre descargada, el programa del controlador como se aprecia en el diagrama de flujo ingresa primero en un bloque de decisión **BOOSTCH**, con el cual, se comprueba si el voltaje de carga es de 14.4 V, valor de inicio de ecualización; si la respuesta es negativa el programa va a **BSTCYCLE**, rutina en la cual se mantiene desconectada la carga para que la generación pueda estar



alimentando al máximo al acumulador. En cambio si el voltaje ha alcanzado el nivel de 14.4 V, el sistema comienza el ciclo de ecualización de carga, dentro del cual se provee energía por períodos de tiempo controlados (3 minutos) precedidos por la desconexión de la generación durante un minuto; esto se lo hace para que en el tiempo de un minuto, el nivel de voltaje una vez desconectado el panel se estabilice y se pueda obtener una lectura real del nivel de voltaje del acumulador. El tiempo que demora este procedimiento en su totalidad es de 120 minutos, valor tomado como referencia de las especificaciones técnicas del MINO V2, en las cuales se recomienda que el controlador realice etapas de ecualización de 120 minutos. Todo este trabajo se lo realiza mediante la subrutina denominada **CTRL\_EQU**.

Si luego de terminado el ciclo de 120 minutos ya definido, en **CTRL\_EQU**, el nivel de voltaje se mantiene por debajo de lo requerido, es decir menor que 15 V, se vuelve a repetir dicho ciclo hasta que se alcance el nivel de carga total del acumulador. Cuando se ha cumplido esta condición o en su defecto el momento de la selección en **MCBAT**, la carga fue estimada como para que el sistema comience a funcionar normalmente, el programa comienza a trabajar según las bandas de voltaje previamente definidas en la tabla 3.6.

El ciclo normal de trabajo del controlador, comprende varios niveles de voltaje que van desde: 16.7 V a 15.1 V en la banda de tensión alta, **ATBAT**; en la cual la carga se encuentra conectada y el panel desconectado, para permitir que el exceso de energía se aproveche en la carga. La segunda banda de voltaje **BCBAT**, está comprendida entre 15.1 V y 14.8 V, en la cual se establece que la batería se encuentra totalmente cargada, por tanto la generación está desconectada. **ABSBAT** es la tercera banda, se encuentra comprendida entre (14.8 V y 13.8 V) en la que el controlador de carga reduce el nivel de voltaje de la batería mediante su consumo hasta llegar a la etapa de flotación. El ciclo de flotación **FLBAT** se encuentra comprendido entre dos niveles de voltaje predefinidos por los niveles establecidos de la batería (13.8 V a 13.5 V), dentro del cual en controlador se encarga de realizar la conexión o desconexión de la generación dependiendo si el valor de carga de la batería ha

disminuido de 13.5 V o ha sobrepasado el nivel de 13.8 V respectivamente. La banda comprendida entre 13.5 V y 12.0 V se la denomina **BTBAT** o de baja tensión, en la cual la generación se encuentra conectada durante todo el tiempo porque se requiere recargar al acumulador mientras este sigue alimentando a la carga. Si la batería entra al rango comprendido entre 12.0 y 11.8, se enciende una alarma que indica que la batería está descargada y que requiere energía para continuar su funcionamiento, esta banda se la ha denominado **LOWBAT**. Para finalizar si el valor de voltaje disminuye de 11.8 V el controlador ejecuta la rutina **LOADOFF**, en la cual la carga se desconecta, y se pasa directamente a la modalidad de carga profunda, para volver a recargar la batería.

Básicamente el programa del controlador durante el régimen normal de trabajo, actúa sensando el voltaje del sistema, para luego ubicarse en las diferentes bandas predefinidas y realizar las acciones correspondientes a cada una de ellas, de esta manera el PIC actúa como un controlador autónomo de los niveles de voltaje del acumulador.

**3.1.10. Diagrama electrónico del controlador.** El circuito electrónico que se encuentra implementado se basa en la arquitectura del PIC 16F877, el cual requiere una alimentación de 5 V por lo cual es necesario contar con un regulador de voltaje LM7805<sup>13</sup>, el cual se encargue de fijar el voltaje siempre a 5V y actúe como fuente de voltaje para el microcontrolador. La forma de conexión de este dispositivo se aprecia en la figura 3.7.

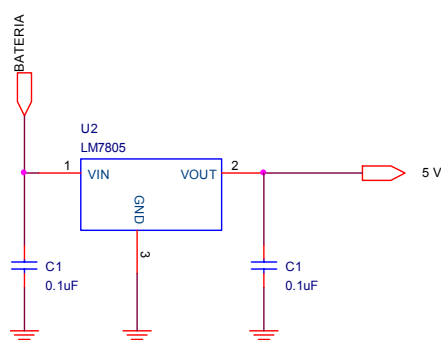


Figura 3.7. Fuente de 5 V para el controlador

<sup>13</sup> Regulador de voltaje para 5 V positivos, ver hoja de especificaciones al final del documento.

Se aprecia que el voltaje de entrada proviene de la batería, con lo cual el sistema puede ser para 12 V o 24 V, con lo cual se logra versatilidad en el manejo de diferentes niveles de voltaje. Los capacitores que se encuentran conectados tanto a la entrada y salida del LM7805, sirven para filtrar cualquier tipo de rizado que pudiera existir, aunque claro hay que acotar que tanto panel y batería proveen corriente directa, por lo que la diferencias de voltaje que pudiera existir son realmente ínfimas.

Una vez definido el voltaje de polarización del circuito se debe tomar en cuenta que el PIC 16F877, requiere de una señal de reset y una de reloj, las cuales se conectan a los pines especificados para dicha operación (MCLR, OSC1 y OSC2), como se muestra en las figuras 3.8 y 3.9

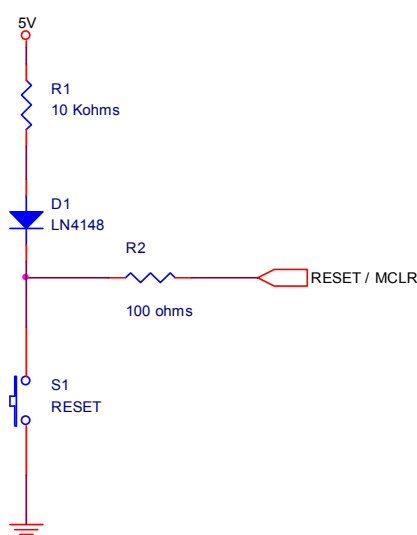


Figura 3.8. Circuito de reset.

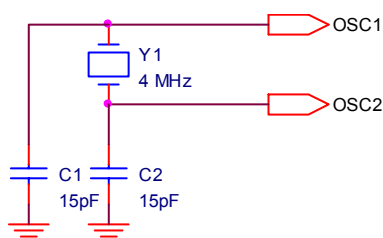


Figura 3.9. Oscilador a cristal de 4MHz.

Se aprecia que el voltaje de entrada proviene de la batería, con lo cual el sistema puede ser para 12 V o 24 V, con lo cual se logra versatilidad en el manejo de diferentes niveles de voltaje. Los capacitores que se encuentran conectados tanto a la entrada y salida del LM7805, sirven para filtrar cualquier tipo de rizado que pudiera existir, aunque claro hay que acotar que tanto panel y batería proveen corriente directa, por lo que la diferencias de voltaje que pudiera existir son realmente ínfimas.

Una vez definido el voltaje de polarización del circuito se debe tomar en cuenta que el PIC 16F877, requiere de una señal de reset y una de reloj, las cuales se conectan a los pines especificados para dicha operación (MCLR, OSC1 y OSC2), como se muestra en las figuras 3.8 y 3.9

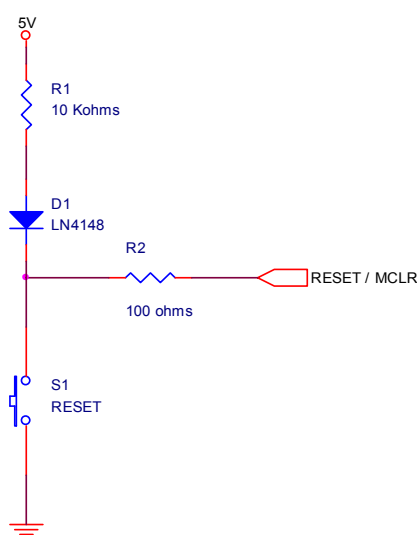


Figura 3.8. Circuito de reset.

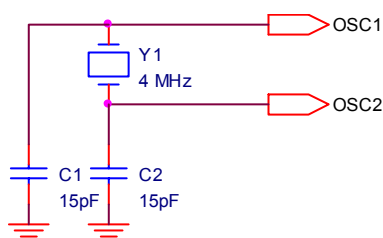


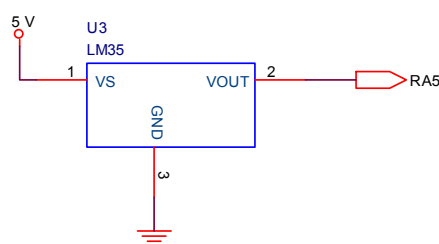
Figura 3.9. Oscilador a cristal de 4MHz.

La utilización del oscilador de 4 MHz. es debido a que con esta frecuencia se puede utilizar el ADC sin ningún inconveniente; hay que acotar que el conversor se demora como mínimo en pasar un valor análogo a un valor digital en 1.6 microsegundos<sup>14</sup>. Tomando en cuenta que se está utilizando un divisor de frecuencia de 1:256 del TMR0, como ya se especificó anteriormente, el cálculo que se realiza es el siguiente.

$$T_{AD} = \frac{1}{4MHz} \times 32 = 8\mu s \quad (3.3)$$

Tiempo suficiente como para que el PIC realice la conversión. Los condensadores que acompañan al cristal son de 15 pF como se especifica en las hojas técnicas del microcontrolador.

El sensor de temperatura es el LM35D, el cual se conecta directamente al PIC en la entrada analógica RA5, genera una señal proporcional a la temperatura que capta, es decir entre 0 y 100° C. Para ajustar la señal que está ingresando al PIC lo que se hizo fue polarizar al sensor con 5 V, tal como se muestra en sus hojas de especificaciones técnicas al final del documento, con lo cual la respuesta del LM35 va a ser proporcional al voltaje de polarización; se observa que voltaje está ingresando al PIC y luego en base a un termómetro de referencia se registra el valor en una palabra digital que corresponda a dicho valor. En este caso se ha tomado como valor patrón la temperatura ambiente de 18° C. La conexión de dicho sensor se la puede apreciar en la figura 3.10



**Figura 3.10. Conexión del sensor de temperatura LM35D.**

<sup>14</sup> ANGULO, José M, *Microcontroladores PIC Diseño práctico de aplicaciones*, segunda parte, segunda edición, McGrawHill, España 2000, 231 páginas.

conexiones del circuito. Una vez que se ha definido si el sistema es de 12 V o 24 V, se define cual va a ser el canal del ADC que va a trabajar si el RA0 (0 V – 16.7 V) o el RA1 (0 V – 33.4 V), para el resto del ciclo de funcionamiento del controlador.

Las salidas del controlador están distribuidas como se explicó anteriormente por puertos. El caso del puerto B, maneja dos salidas discretas, que controlan la conexión tanto del panel con la batería (RB0) y de esta con la carga (RB7), las cuales son señales que luego se las amplifica mediante transistores BJT conectados en modo corte y saturación, para que actúen como interruptores. Los cuales a su vez manejan MOSFETs<sup>15</sup> de alta corriente que controlan tanto la desconexión del panel como de la carga. La utilización de MOSFETs de diferente canal en el caso del panel canal P y en el caso de la carga canal N lo cual facilita la activación mediante pulsos que establecen una diferencia de potencial de -12 V para el caso del panel y de 12 V para el caso de la carga entre la compuerta y fuente ( $V_{GS}$ ) como se aprecia en la conexión realizada en el circuito de la figura 3.11.

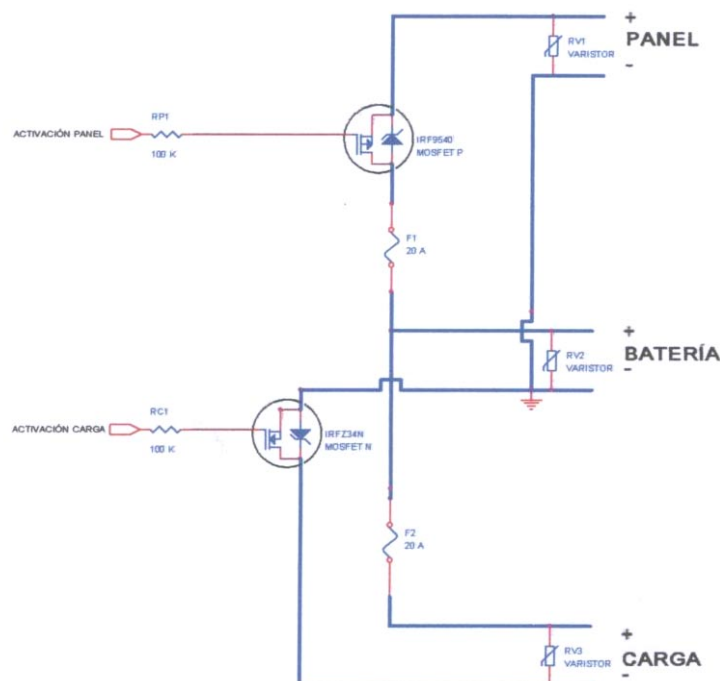


Figura 3.11. Diagrama de conexiones para el manejo de la carga y el generador.

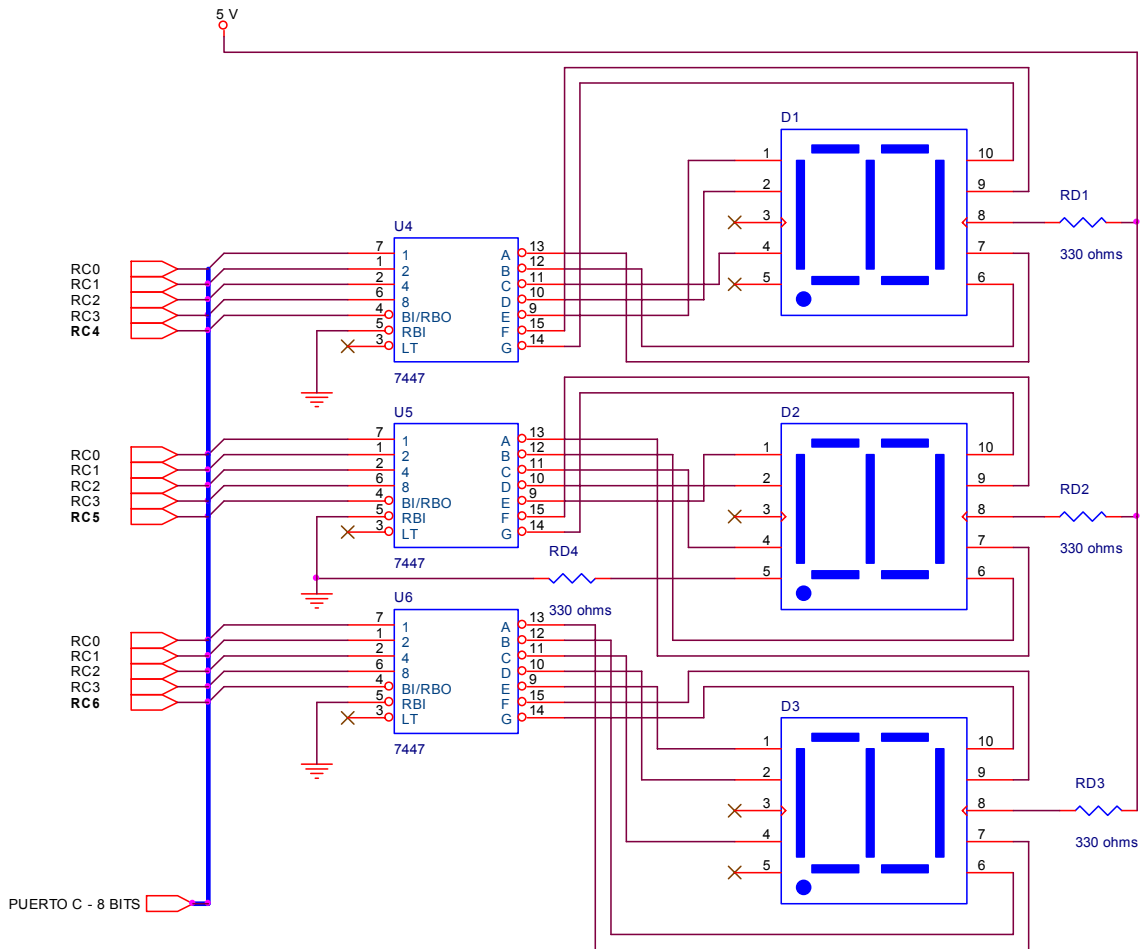
<sup>15</sup> IRFZ34N, Mosfet de potencia, especificaciones, ver al final del documento

La visualización de los niveles de voltaje del sistema si bien es cierto no es un objetivo planteado en el proyecto, se lo tomó como una necesidad, para mayor facilidad de manejo del controlador, lo cual viene a ser un valor agregado para el cliente o el operario del sistema, al cual le resulta más fácil saber a que voltaje trabaja el sistema antes que solo saber si la batería se encuentra cargada al máximo, en la mitad o descargada. Como se especificó en un principio, el puerto C, es el encargado de realizar la visualización mediante tres displays 7 segmentos, los cuales indican decenas, unidades y décimas de voltio, y se encuentran manejados por tres decodificadores BCD a 7 segmentos, los que se van activando o desactivando según la subrutina del PIC. Esta operación se la realiza mediante multiplexación en el tiempo de tal manera que el ojo humano no percibe que en realidad solo se enciende un display a la vez, con lo cual se logra visualizar el valor en un solo instante para el operario. Esto se lo realizó de la siguiente manera. La parte alta del bus del puerto C (8 bits), es decir el primer nibble de 4 bits, se lo utiliza como bus de control, el cual se encarga de activar o desactivar cada uno de los 3 BCD 7 segmentos; y en cambio el nibble transporta el número ha ser impreso en el display, el cual ya fue transferido de binario a BCD previamente. Como es lógico de suponer la parte baja del bus de 8 bits del puerto C, se comporta como el bus de datos, ya que no se requiere más de 4 bits para representar un número BCD. El diagrama de conexiones se lo puede apreciar en la figura 3.12.

Para finalizar el puerto D, es el encargado de dar señalización del controlador, la cual se la ha dividido de la siguiente manera, según la tabla 3.9.

ACCIÓN	Pin de salida	Color del led indicador
Generación desconectada	RD0 (pin 19)	Rojo
Alarma por tensión alta/baja	RD1 (pin 20)	Rojo
Batería cargada	RD2 (pin 21)	Verde
Carga Profunda	RD3 (pin 22)	Rojo
Flotación	RD4 (pin 27)	Verde
Carga Desconectada	RD5 (pin 28)	Amarillo

**Tabla 3.9. Señalización del controlador.**



**Figura 3.12. Diagrama de conexiones para visualización del nivel de voltaje por display.**

La señalización ya se especificó anteriormente en las tablas 3.5 y 3.6. Aquí se redacta exclusivamente como se distribuyen los leds y su conexión al microcontrolador. RD0 y RD5 son leds de un solo color cada uno, los cuales están encargados de indicar el momento de estar encendidos cuando la generación (led rojo), o la carga (led amarillo) están desactivadas; si permanecen apagados es que se encuentran conectados a la batería. RD1 y RD2 en cambio indican el estado de carga del acumulador y por el hecho de realizar la misma acción pero para diferente estado, se ha utilizado un led bicolor (rojo y verde), es decir de dos entradas, el cual indica si la tensión está alta o baja (rojo) o la tensión está en niveles aceptables (verde). Por último RD3 y RD4, indican el modo de carga en el que se encuentra el controlador, siendo de color rojo cuando el controlador está en etapa de carga y verde cuando se encuentra en etapa de flotación.



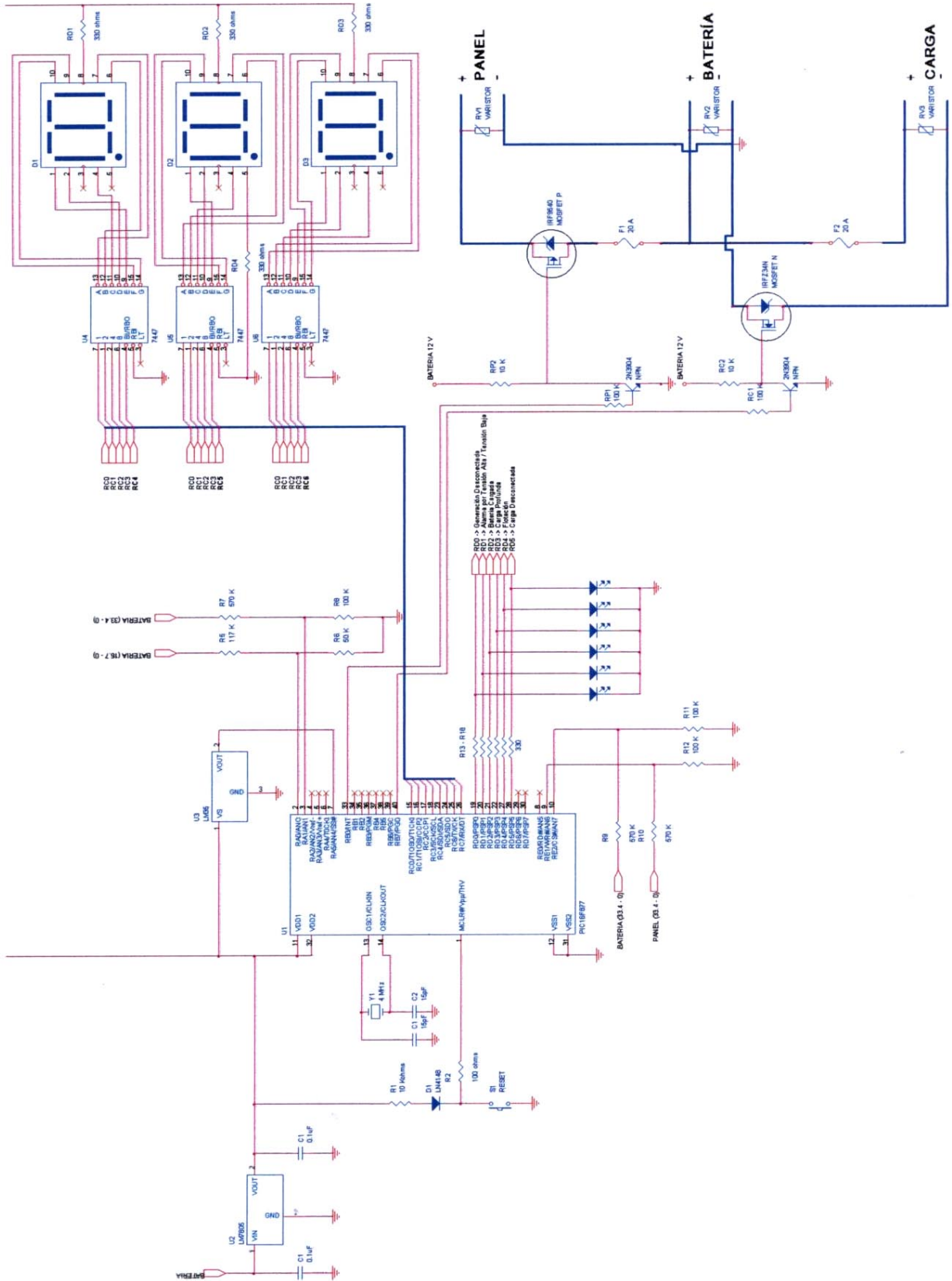


Figura 3.13. Diagrama de conexiones del controlador de carga

El diseño del controlador de carga ha implicado la observación del funcionamiento del panel solar conectado a la batería, para obtener un dispositivo lo mas fiable posible, que se encuentre en capacidad de funcionar los 365 días del año, con capacidad de ser autónomo, y no requiera conexiones manuales de carga o generación por parte de algún operario y con las protecciones necesarias, si es que se presentara algún caso de mala utilización del circuito.

**3.1.11. Programa del controlador.** El programa diseñado para el PIC se lo ha desarrollado en MPLAB v 6.1, dentro del cual se incluyen todos los procesos anteriormente descritos. Cabe acotar que en base a la rutina previamente definida en la figura 3.6, el mismo programa puede ser realizado en otro programa de lenguaje como el HT-PIC o el PIC Basic PRO, como ejemplos a nombrar. Al final el resultado va a ser el mismo ya que el micro controlador va a realizar las mismas acciones de control al final del proyecto. El programa descrito se lo detalla en el ANEXO G.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS CON EL SISTEMA

Una vez puesto en funcionamiento el controlador de carga diseñado para el presente proyecto, se realizó las respectivas conexiones al panel solar y al inversor, con lo que se pudo observar el real comportamiento de un sistema fotovoltaico autónomo.

Primero se realizaron las pruebas de carga de batería exclusivamente conectando solo el generador al acumulador. En un día soleado y sin nubosidades, el panel puede llegar a proveer de 16.6 V como máximo al acumulador según lo observado, sin embargo este voltaje es el que se obtiene mientras el panel se encuentra conectado y en régimen de carga, es decir durante el día. Las mejores horas para obtener carga en la batería es desde las 9 de la mañana hasta las 3 de la tarde, tiempo en el cual la intensidad de radiación lumínica por parte del sol es la más alta en el día, con lo cual el acumulador en un máximo de 2 horas puede ser recargado aceptablemente (15 V), para su posterior utilización. En cambio en días nublados, se requiere mas tiempo de recarga de batería, llegando inclusive a no conseguir una carga adecuada hasta en 6 horas, lo cual representa un verdadero problema si es que no se cuenta con energía de reserva.

Bajo las condiciones que se realizaron las pruebas, es decir con un panel Kyocera KC80 que provee un máximo de 80 Watts, y un inversor Tripp-Lite<sup>1</sup> de 300 Watts ambos provistos por el Ministerio de Energía y Minas para propósitos de pruebas y ensayos, mas una batería Dynasty UPS 12-170 provista por el realizador del proyecto, se concluye que el sistema es capaz de

---

<sup>1</sup> TRIPP-LITE PV 300 Power Verter Ultra Compact, ver anexo XX

funcionar bajo los siguientes condicionamientos, basados en los cálculos que se realizan en el capítulo I del presente documento:

- Potencia máxima del panel  $80 \text{ [Watts]} \times$  factor de radiación solar promedio en Ecuador  $3.5 \text{ [horas]} = 280 \text{ [Watts/hora]}$ , como máximo genera este sistema de prueba.
- Energía generada  $280 \text{ [Watts/hora]} /$  tensión del sistema  $12 \text{ [V]} = 23.33 \text{ [Ah]}$ .

Quiere decir que con una batería de  $23.33 \text{ [Ah]}$ , el sistema podría trabajar para afrontar un consumo de  $280 \text{ Watts}$  en una hora, en teoría, ya que mucho depende de las condiciones ambientales que se presenten para proveer de la suficiente energía a la batería. En el caso del presente proyecto el acumulador que está siendo utilizado es de  $50 \text{ [Ah]}$ . En la práctica y como se ha podido observar, realmente no se logra este cometido, la carga es excesiva y el nivel de voltaje desciende rápidamente produciendo que el controlador por si solo la desconecte para evitar que la batería se descargue en exceso.

Se observó diferencias en el comportamiento de diferentes tipos de cargas como por ejemplo un foco incandescente de  $60 \text{ Watts}$  conectado directamente al inversor lo cual es una carga realmente alta, ya que en estos casos es preferible conectar la iluminación directamente sin pasar por el inversor. Lo que se pudo constatar es que si bien el sistema funciona de una manera apropiada, y mantiene la luz encendida hasta el punto en el cual el acumulador baja de  $11.8 \text{ V}$  su nivel de tensión, el tiempo de duración de dicho funcionamiento difiere mucho si es que el sol se encuentra en máxima plenitud (hasta 2 horas), que cuando existe gran concentración de nubes (30 minutos). Lo cual es realmente un consumo sumamente alto para una carga de  $60 \text{ Watts}$  nada más. Por tal motivo es preferible instalar luminarias fluorescentes, lo cual reduce el consumo y por tanto incrementa el tiempo de utilización de la energía eléctrica para otras aplicaciones.

Se realizaron pruebas también con una radio - grabadora con CD -player, la cual al ser conectada al inversor produjo una carga mínima al sistema, el cual

trabajó según lo esperado, ya que a pesar de que los días en los que se realizaron las pruebas, el consumo era mínimo y permitía que mientras el sistema consumía energía, el panel era capaz de proveer de energía eléctrica al acumulador, permitiendo estar en régimen de flotación, que es el mejor para el funcionamiento de la batería. Esto quiere decir que un sistema fotovoltaico autónomo funciona mejor en aplicaciones, en las cuales el consumo de energía no sea excesivo, ya que como se mostró en el capítulo I, el momento en que se requiere de mayor cantidad de energía, el costo de la inversión aumenta, pues la cantidad de acumuladores y de generadores es mayor para poder mantener la carga en funcionamiento. Por tanto es bueno señalar que la verdadera ventaja de utilizar este sistema es cuando realmente la persona o el consumidor final que es el que va a utilizar energía solar tenga una cultura de ahorro porque en estos casos, no se la puede desperdiciar.

De lo constatado en el proyecto, el controlador de carga es mejor interpretado siempre y cuando exista un visualizador display, el cual indique en todo momento el estado real del nivel de voltaje que mantiene el acumulador, lo cual permite a cualquier persona revisar el sistema mientras está funcionando, sin necesidad de conocer al pie de la letra la señalización que se propone, y sin mayor conocimiento técnico puede decir cuando el sistema está cargado a media carga o descargado.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Finalizado el proyecto es siempre conveniente sacar las ventajas y desventajas que se ha observado del diseño de un controlador de carga y de un sistema fotovoltaico, para saber si realmente las energías alternativas son en realidad una opción para el futuro de la humanidad, y si es que realmente van a llegar a desplazar a las energías convencionales como es el caso del petróleo.

#### **5.1. CONCLUSIONES**

Los sistemas fotovoltaicos permiten generar energía sin contaminación, debido a que la utilización de celdas solares dispuestas en paneles mediante conexiones serie o paralelo, producen corriente eléctrica gracias al efecto fotovoltaico (incidencia de luz solar sobre un semiconductor). Lógicamente a mayor cantidad de celdas conectadas, mayor cantidad de corriente, lo cual permite un mayor nivel de generación y consumo de energía eléctrica. Sin embargo, dichos efectos solo se consiguen siempre y cuando la zona en la cual se encuentra el sistema FV instalado presente un nivel de radiación solar alto, para que el rendimiento de dicho sistema sea mayor. Cabe acotar que el único tipo de contaminación en tiempo real que se produce, es la que se da debido a la utilización de espacio físico para los paneles, lo cual no afecta al medio ambiente de una manera nociva.

Es un sistema de generación eléctrica pasivo, ya que no produce ruidos, como es el caso de sistemas hidroeléctricos, térmicos o inclusive eólicos, que de alguna forma van a producir contaminación auditiva, lo que lo hace uno de los sistemas menos perjudiciales para el medio ambiente, siempre y cuando la correcta utilización de acumuladores sea bien manejada tanto por un

controlador de carga eficiente para que prolongue el tiempo de vida útil de las baterías (aproximadamente 5 años), como por el apropiado manejo de dichos acumuladores una vez cumplido su ciclo de vida, ya que hay que recordar que están contruidos con metales pesados como por ejemplo el plomo, níquel, cadmio, manganeso, etc.; los cuales si son perjudiciales para el medio ambiente.

Actualmente realizar un controlador de carga digital mediante la utilización de circuitos integrados programables PICs es una solución extremadamente útil, ya que se puede observar los diferentes ciclos de funcionamiento y en base a eso cambiar la programación interna del chip sin tener que incrementar circuitos externos adicionales, si las condiciones lo requieren, lo cual reduce costos, espacio físico y se reduce la probabilidad de daños en los diferentes elementos que pudieran existir si no se utilizaría un PIC.

Las diversas etapas de carga del acumulador son necesarias, debido a que el comportamiento del panel solar como se la observado es muy cambiante, y esto se debe a su vez a las diferentes condiciones climáticas que se presentan durante un día, las cuales pueden ir desde un sol incandescente en la mañana hasta una lluvia durante la tarde, en el caso de Quito; lo cual incide mucho en el manejo de la carga de la batería, produciendo condiciones que deben estar previstas en todo momento.

Durante el proceso de pruebas y ensayos se a observado que un sistema fotovoltaico autónomo con la suficiente previsión de autonomía de funcionamiento, es decir mayor cantidad de acumuladores, es una solución excelente para equipos electrónicos de consumo moderado debido a que su consumo de potencia es bajo y permite seguir en funcionamiento durante todo el día sin percibir descarga del sistema, ya que el controlador se encarga de realizar la conexión o desconexión del panel durante la etapa de flotación que es la más recomendable para el óptimo funcionamiento de la batería.

Para que un sistema fotovoltaico autónomo funcione como generador de energía convencional para una pequeña vivienda de campo, se requiere de un correcto dimensionamiento de la carga que se va a utilizar en dicha casa, esto incluye pensar que la carga que se va a colocar en dicha casa, algún momento puede llegar a incrementarse y por tanto el sistema podría dejar de trabajar de la manera apropiada, como se ha podido observar en las pruebas realizadas con sistemas de iluminación convencionales. Cabe acotar que es mejor utilizar para estos casos luminarias fluorescentes o de bajo consumo, para de esta manera ahorrar energía y tener luz artificial por una mayor cantidad de tiempo.

La compensación realizada por temperatura, permite percibir diferencias de 0.1 V por cada 50° C de variación, lo cual en teoría está ayudando a compensar el fenómeno físico que se produce cuando la temperatura aumenta, la corriente también lo hace, sin embargo de las pruebas realizadas, se puede concluir que el efecto que dicha subrutina del programa está cumpliendo es imperceptible en lugares como Quito, ya que por más extremas que sean las condiciones de la capital, no se va a presentar una variación de temperatura tan grande como la que se propone para que el voltaje varíe en 0.1 V; y si así fuera el caso, debería encontrarse el sistema en un lugar en el cual las temperaturas varíen de una manera tan grande, en donde se podría apreciar la variación de 1 V cuando exista una diferencia de 500 °C, lo cual según el realizador del proyecto no es muy útil, y así lo demuestran otros controladores de carga domiciliarios, los cuales no poseen una compensación por temperatura.

El costo de la generación de electricidad por paneles solares es costoso como se analizó en el capítulo I, sin embargo, es alto debido a que el rendimiento que se obtiene es sumamente bajo, alrededor del 13% en el mejor de los casos, lo cual no es un buen negocio para las empresas que se dedican a la generación y comercialización de energía. Por tanto mientras la humanidad no mire más allá de los beneficios económicos, y no piense en el futuro que la contaminación va a costarle al planeta, la energía solar seguirá siendo relegada, y la investigación para mejorar el rendimiento de las celdas



solares, no tendrá el suficiente apoyo económico para desarrollar este tipo de tecnología, y por tanto mejorar la calidad de vida de las nuestras futuras generaciones.

El contar con un visualizador numérico en el controlador de carga hace más sencillo el reconocer el estado de carga de la batería, lo cual por supuesto ayuda al usuario de dicho controlador a entender de mejor manera el funcionamiento del equipo que tan solo con visualización por medio de leds indicadores, por esta razón se instaló dentro del proyecto un visualizador por display, lo que representa un gran ayuda el momento de revisar el voltaje de funcionamiento del sistema.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

En un sistema fotovoltaico autónomo, el cual va a depender exclusivamente de la luz solar, es importante que sea dimensionado con acumuladores de reserva para días nublados, durante los cuales, si bien es cierto el sistema provee energía pero no la suficiente, por lo que, contar con baterías de respaldo es algo sumamente necesario, para que no llegue a faltar energía eléctrica.

Se recomienda señalar que el momento de instalar uno de estos sistemas para generación de electricidad, la persona que va a estar disponiendo de estos beneficios debe tener una gran cultura de ahorro de energía, y utilizar estrictamente lo necesario.

Siempre antes de instalar un sistema fotovoltaico autónomo es preferible cerciorarse de que tipo de clima cuenta el lugar en el cual se requiere instalar dicho sistema, ya que la nubosidad de la zona y la presencia de lluvias influye directamente sobre la cantidad de energía que se pueda almacenar; de lo observado se puede recomendar que si se instala uno de estos sistemas en un lugar ubicado geográficamente en una zona montañosa, es preferible tener el

suficiente respaldo con acumuladores adicionales, de tal manera que no se pierda el servicio si se presenta una temporada nublada.

Se recomienda que la ubicación de los paneles solares sea en lugares altos, ya que estos, deben estar totalmente libres de sombras que puedan llegar a impedir en determinadas horas del día el paso de luz solar al sistema, lo que por supuesto influye en la carga de los acumuladores, y por lógica en la disminución del consumo en horas en que se requiere de mayor cantidad de energía.

La instalación de los paneles solares siempre debe estar con una pequeña inclinación para que el polvo o pequeños residuos que puedan encontrarse flotando por el ambiente puedan obstruir la captación de luz solar, según el manual se recomienda instalarlo con 15 ° con respecto a la horizontal de tal manera que por gravedad el polvillo vaya resbalando y no cause problemas para recibir los rayos del sol; adicionalmente a esto es recomendable de lo observado, colocar el panel en sentido este – oeste con la inclinación antes mencionada, de tal manera que por efectos de sombra del mismo panel, en ningún momento se pierda iluminación.

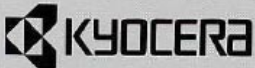
El tipo de cable para interconectar el panel con la batería y la carga esta en el rango de 10 AWG a 12 AWG según recomendaciones del fabricante del panel solar, el cual es preferible que sea polarizado o de dos colores para evitar errores el momento de la conexión. Se utiliza dicho grosor del cable para evitar que por calentamiento se pierda energía en forma de calor, lo cual es sumamente importante en este tipo de sistemas en donde el ahorro de energía es el principal precepto de funcionamiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANGULO, José M, *Microcontroladores PIC Diseño práctico de aplicaciones*, segunda parte, segunda edición, McGrawHill, España 2000, 231 páginas.
2. ROSENBLUM, Louis, *Practical Aspects of Photovoltaic Technology, Applications, and Cost*, NASA Research Center, U.S.A., 1982
3. EQUIPO TÉCNICO DE MARKETING DE GATES ENERGY PRODUCTS, *Baterías Recargables: Manual de Aplicaciones*, primera edición, Editorial Parainfo, España, 1999, 324 páginas
4. NASHELSKY, Louis, *Electrónica: Teoría de Circuitos*, sexta edición, Prentice Hall, México 1997, 949 páginas.
5. [www.isofoton.com](http://www.isofoton.com), datos técnicos del controlador de carga ISOLER 20.
6. [www.atersa.com](http://www.atersa.com), datos técnicos del controlador de carga MINO V2.
7. [www.mysolar.com](http://www.mysolar.com), información energía solar.
8. [www.menergia.gov.ec/php/biblioteca.php](http://www.menergia.gov.ec/php/biblioteca.php), Ministerio de Energía y Minas.
9. [www.conelec.gov.ec](http://www.conelec.gov.ec), CONELEC
10. [www.isa.com.co](http://www.isa.com.co), CONELEC.
11. [www.mueller-solartechnik.de/download/Solo.pdf](http://www.mueller-solartechnik.de/download/Solo.pdf), mapas de radiación solar BP SOLAREX.
12. [www.sunwize.com/globalstar.html](http://www.sunwize.com/globalstar.html), mapas de radiación solar.
13. [www.solorb.com/elect/solarcirc](http://www.solorb.com/elect/solarcirc), datos técnicos regulador de carga SCC2 10 Amp Solar Charge Controller.
14. [www.inersacontrols.com](http://www.inersacontrols.com), información sobre baterías.
15. [www.info-ab.uclm.es/labeled/Solar/Solar Fotovoltaica/componentes.htm](http://www.info-ab.uclm.es/labeled/Solar/Solar_Fotovoltaica/componentes.htm), Información sobre componentes de un sistema FV.
16. [www.solartronic.com](http://www.solartronic.com), información sobre sistemas FV.
17. <http://www.codeso.com/EnergiaSolar1.html>, Cálculos para la electrificación solar, CODESO.

**ANEXOS**

# ANEXO A: Panel Kyocera KC 80

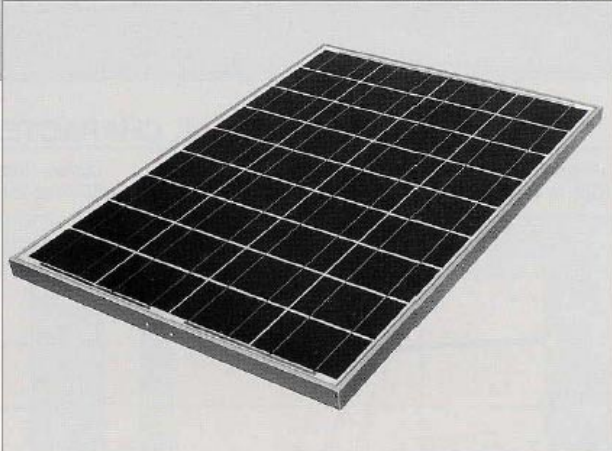


## KC80

**HIGH EFFICIENCY  
MULTICRYSTAL  
PHOTOVOLTAIC  
MODULE**

TYPICAL OUTPUT 80 Wp

**MODEL KC80**



---

### HIGHLIGHTS OF KYOCERA PHOTOVOLTAIC MODULES

Kyocera's advanced cell processing technology and automated production facilities have produced a highly efficient multicrystal photovoltaic modules. The conversion efficiency of the Kyocera solar cell is over 14%. These cells are encapsulated between a tempered glass cover and an EVA pottant with PVF back sheet to provide maximum protection from the severest environmental conditions. The entire laminate is installed in an anodized aluminum frame to provide structural strength and ease of installation.

---

### APPLICATIONS

- Microwave/Radio repeater stations
- Electrification of villages in remote areas
- Medical facilities in rural areas
- Power source for summer vacation homes
- Emergency communication systems
- Water quality and environmental data monitoring systems
- Navigation lighthouses, and ocean buoys

- Pumping systems for irrigation, rural water supplies and livestock watering
- Aviation obstruction lights
- Cathodic protection systems
- Desalination systems
- Recreational vehicles
- Railroad signals
- Sailboat charging systems

---

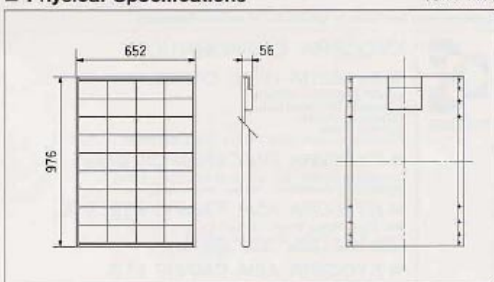
### SPECIFICATIONS

**■ Electrical Specifications**

MODEL	KC80
Maximum Power	80 Watts
Maximum Power Voltage	18.9 Volts
Maximum Power Current	4.73 Amps
Open Circuit Voltage	21.5 Volts
Short-Circuit Current	4.97 Amps
Length	976mm (38.4in.)
Width	652mm (25.7in.)
Depth	56mm (2.2in.)
Weight	8.0kg (17.7lbs.)

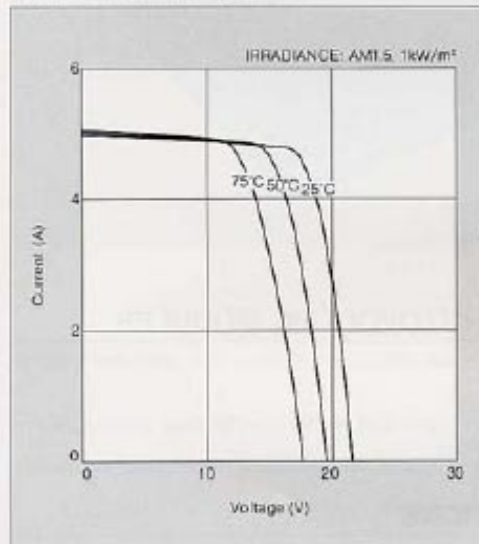
Note: The electrical specifications are under test conditions of irradiance of 1kW/m<sup>2</sup>, Spectrum of 1.5 air mass and cell temperature of 25°C  
Kyocera reserves the right to modify these specifications without notice.

**■ Physical Specifications** (Unit: mm)

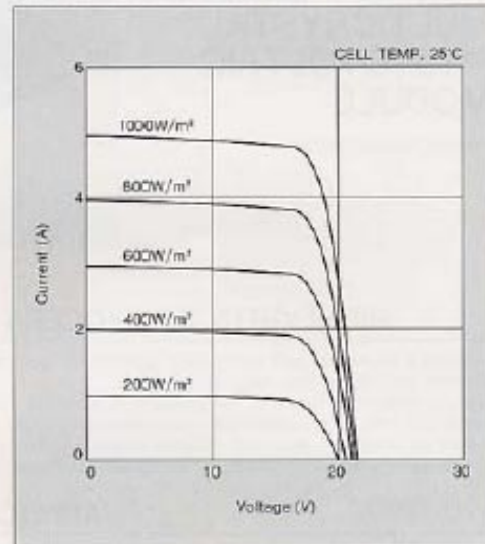


## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Current-Voltage characteristics of Photovoltaic Module KC80 at various cell temperatures



Current-Voltage characteristics of Photovoltaic Module KC80 at various irradiance levels



## QUALITY ASSURANCE

Kyocera multicrystal photovoltaic modules exceed government specifications for the following tests.

- Thermal cycling test
- Thermal shock test
- Thermal/Freezing and high humidity cycling test
- Electrical isolation test
- Hail impact test
- Mechanical, wind and twist loading test
- Salt mist test
- Light and water-exposure test
- Field exposure test

Please contact our office to obtain details without hesitation.



### KYOCERA CORPORATION

#### ■ KYOCERA HEAD OFFICE

SOLAR ENERGY DIVISION  
C. Takeda, Toyokoro-cho  
Russumaki, Kyoto  
612-8501, Japan  
Phone: (81)75-824-3476 Telefax: (81)75-824-3476

#### ● KYOCERA FINECERAMICS GmbH

Erich Müller Straße 107, D-72730 Esslingen, F.R.G.  
Phone: (49)714-6268817 Telefax: (49)714-6268450

#### ● KYOCERA ASIA PACIFIC PTE. LTD.

208 Tiong Bahru Road, #13-03/04  
Tiong Bahru Plaza, Singapore 108739  
Phone: (65)271-0000 Telefax: (65)271-0000

#### ● KYOCERA ASIA PACIFIC LTD.

Room 802, Tower 1 South Sea Centre, 75 Mody Road,  
Telok Ayer East, Rowoon Hong Kong  
Phone: (852)2-7237183 Telefax: (852)2-7344502

#### ● KYOCERA ASIA PACIFIC LTD., TAIPEI BRANCH

Suite 501, Asia Enterprise Center,  
No.142-144, Sec. 3, Min Chuan E Road Taipei, Taiwan  
Phone: (886)2-2715-3255 Telefax: (886)2-2715-3267

#### ● Kyocera Solar, Inc.

7982 East Acacia Drive  
Scottsdale, AZ 85260  
Phone: (480)846-8503 or (800)3223-8900 Telefax: (480)463-6443

#### ● Kyocera Solar, Inc. -Sunelco Division

100 Shields Street  
P.O. Box 781  
Harrison, ME 05640  
Phone: (405)243-0924 or (800)330-5844 Telefax: (405)243-6045

#### ● Kyocera Solar Pty. Ltd.

26 Windsor Street, Unit 6  
Stanton 4203  
Geelong, Australia  
Phone: (61)7-3255-5330 Telefax: (61)7-3255-5443

#### ● Kyocera Solar Argentina S.A.

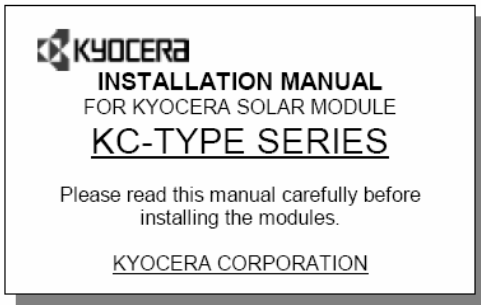
Melco 2145, 0540 Martínez  
Provincia de Buenos Aires  
Argentina  
Phone: (54)1-4835-1040 Telefax: (54)1-4236-1381

#### ● Kyocera Solar do Brazil Ltda.

Empresia Renovavel LTDA  
Rua Marquês de Caxias, 65  
22760-030, Rio de Janeiro, Brazil  
Phone: (55)21-2537-8526 Telefax: (55)21-2437-2336

The contents of this catalog are subject to change without prior notice for further improvement.

(Recycled Paper)



**1. INTRODUCTION**

As the world leader in high technology ceramic/silica applications, Kyocera has stepped into the forefront in development of multicrystalline solar modules. Kyocera began researching photovoltaics in 1975 and has supplied many thousands of modules throughout the world since 1978. Its years of experience and state-of-the-art technology have produced quality solar modules in a range of sizes to meet the energy needs of the growing solar market.

**2. POWER MODULES**

Kyocera "KC" series modules come in various sizes to satisfy a full range of applications. Each module is made of multi-crystalline cells manufactured by the "casting" method. These cells cover nearly 100% of the module's surface. To protect the cells from the most severe environmental conditions, they are encapsulated between a tempered glass cover and an EVA pottant with PVF back sheet. The entire laminate is installed in an anodized aluminum frame for structural strength and ease of installation.

**3. APPLICATIONS**

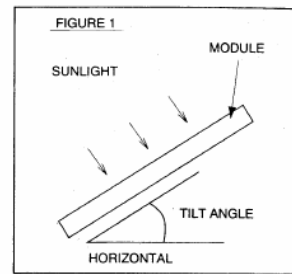
Kyocera modules are a reliable, virtually maintenance free power supply, designed to operate efficiently in sunlight. Kyocera solar modules are ideal for charging storage batteries used to power remote homes, recreational vehicles, boats, telecommunication systems and other electric generation application.

**4. MOUNTING SITE SELECTION**

The solar modules should be mounted in a location where they will receive maximum sunlight throughout the year. In the Northern Hemisphere, the modules should face south, and in the Southern Hemisphere, the modules should face north. Modules facing 30 degrees away from true South (or North) will lose approximately 10 to 15 per cent of their power output. If the module faces 60 degrees away from true South (or North), the power loss will be 20 to 30 per cent. When choosing a site, avoid trees, buildings or obstructions which could cast shadows on the solar modules especially during the winter months when the arc of the sun is lowest over the horizon.

**5. MODULE TILT ANGLE**

Solar modules produce the most power when they are pointed directly at the sun. For installations where the solar modules are mounted to a permanent structure, the solar modules should be tilted for optimum winter performance. As a rule, if the system power production is adequate in the winter, it will be satisfactory during the rest of the year. The module tilt angle is measured between the solar modules and the ground (Figure 1).



RECOMENDED TILT ANGLES FOR A FIXED SYSTEM	
SITE LATITUDE IN DEGREES	FIXED TILT ANGLE
0° TO 15°	15°
15° TO 25°	SAME AS LATITUDE
25° TO 30°	LATITUDE + 5°
30° TO 35°	LATITUDE + 10°
35° TO 40°	LATITUDE + 15°
40° +	LATITUDE + 20°

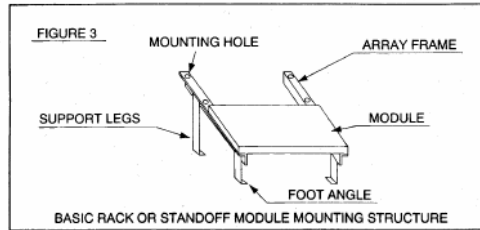
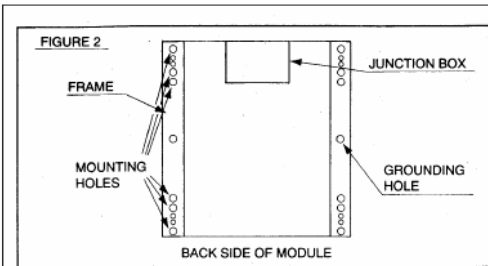
**6. MOUNTING THE MODULE**

The frame of each module has fourteen 7 mm ø diameter mounting holes (Figure 2). These are used to secure the modules to the supporting structure. The example of a ground mounted structure is shown in Figure 3. The four holes close to the corners of the module are most often used for mounting. Clearance between the module frame and the mounting surface may be required to prevent the junction box from touching the surface, and to circulate cooling air around the back of the module. In case the modules will be mounted on the roof or wall of a building, the standoff method or the rack method are recommended.

**STANDOFF:** The modules are supported parallel to the surface of the building wall or roof. Clearance between the module frames and surface of the wall or roof is required to pre- vent wiring damage and to allow air to circulate behind the module.

The recommended standoff height is 4.5 in. (about 115 mm) If other mounting means are employed, this may affect the Listing For Fire Class Ratings.

**RACK:** The supporting frame is used to mount modules at correct tilt angles. The modules are not designed for integral mounting as part of a roof or wall. The mounting design may have an impact on the fire resistance.

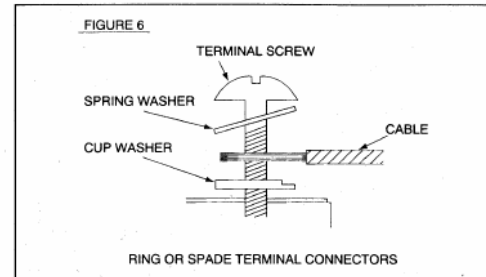
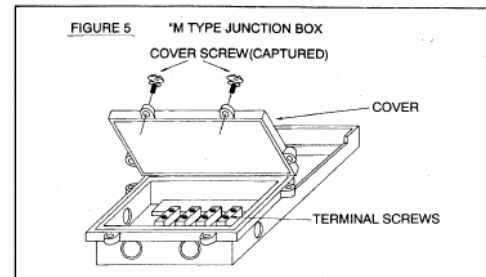
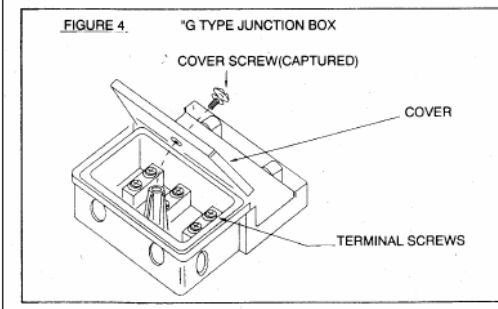


**7. WIRING**

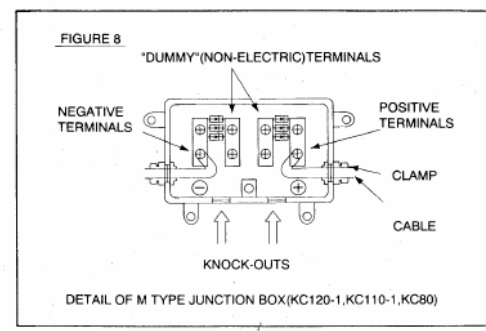
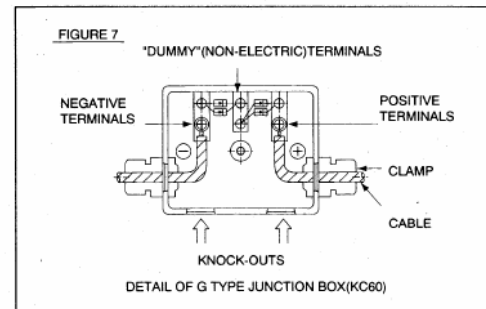
Most of the larger KYOCERA POWER MODULES use the "G" or "M" type junction box. This box, on the back side of the module, is weatherproof and is designed to be used with standard wiring or conduit connections. Wiring methods should be in accordance to the NEC (National Electrical Code). Bypass diodes and cable clamps are included with each module when shipped from the factory.

A. Open the "G" or "M" box cover by loosening the screws in the cover. (Figure 4 and 5)

B. The wire typically used to interconnect the solar modules should be single or two conductor, from 10 AWG(5.26 mm<sup>2</sup>) up to 14 AWG(2.08 mm<sup>2</sup>) gauge stranded copper wire, in a "SUNLIGHT RESISTANT" jacket UF cable. This cable is suitable for applications where wiring is exposed to the direct rays of the sun. The maximum and minimum diameter of the cable that may be used with the cable connector are 8 mm and 6 mm respectively. (Figure 6)

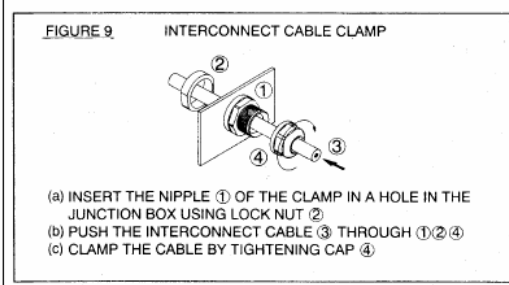


C. Using a flat blade screwdriver, remove only the appropriate "KNOCK-OUTS" from the sides of the "G" or "M" box. (Figure 7 and 8)





D. Read the enclosed instructions for routing wires through the knock-outs and clamps. (Figure 9)

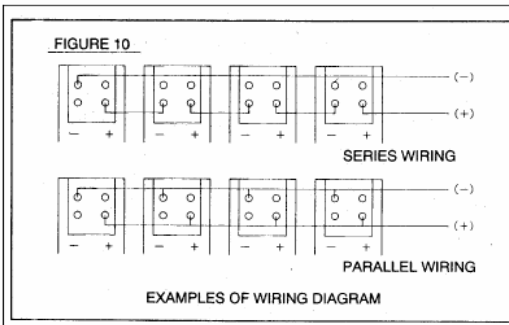


E. Remove approximately 1/2" of insulation on the ends of the wires and insert them under the appropriate "POSITIVE" or "NEGATIVE" terminal screws in the junction box. The wires should be installed with some slack; excess wire should be cut off. (Figure 7 and 8)

Install cable with appropriate hardware in accordance with NEC Article 250 or national and international rules.

F. Gently tighten the terminal screws. Do not overtighten, as the terminal can be damaged.

G. The output wiring from the final module is generally run to a separate array junction box. In commercial system, this wiring from the array box to the next component (i.e. fuse box, or charge regulator, etc.) is generally run in conduit. The maximum electrical rating of an acceptable series fuse is 4 ~ 12 amperes.



H. After completing the wiring between all boxes, Close and secure all the junction boxes.

**8. GROUNDING**

We recommend you attach all module frames to an earth ground. Attach a separate ground wire to one of the extra mounting holes on the module frame with a self-tapping screw. The racks must also be grounded unless they are mechanically connected by nuts and bolts to the grounded modules.

Grounding is achieved by securing the array frame for both roof and field mounted applications. Additionally, the array frame shall be installed in accordance with NEC Art 250.

**9. BLOCKING DIODES**

Blocking diodes can prevent nighttime battery discharging caused and prevent modules from loss of array output and being damaged or destroyed by reverse current flow.

KYOCERA modules do not contain a blocking diode when shipped from the factory, however most battery charging regulators do have this feature.

**10. BYPASS DIODES**

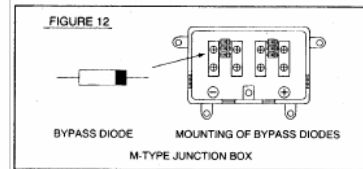
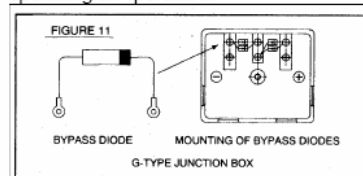
Partial shading of an individual module in a 12 volt or higher "series" string (i.e. two or more modules) can cause a reverse voltage across the shaded module. Current is then forced through the shaded area by the other modules in series.

By having a bypass diode, the forced current will bypass the shaded module in a series circuit, thereby minimizing module heating and array current losses.

For 12-volt systems and higher: Each solar module junction box has a diagram illustrating the proper direction for the by- pass diode to be installed between two of the terminal screws (Figure 11, Figure 12). When the solar modules are connected as individual series strings first, and then these strings are connected in parallel, bypass diodes should be used in each junction box. This is the simplest wiring arrangement for most installations.

At a minimum the bypass diodes must have the following electrical characteristics:

- Rated Average Forward Current [I<sub>F(AV)</sub>] Above maximum system current at highest operating temperature.
- Rated Repetitive Peak Reverse Voltage [V<sub>rrm</sub>] Above maximum system voltage at lowest operating temperature.



**11. MAINTENANCE**

Solar modules require very little maintenance. It is not un- common for a remote site to be checked but once per year. Under most conditions, normal rainfall is sufficient to keep the module glass clean. If dirt build-up becomes excessive, clean the glass with a soft cloth using mild detergent and water. Modules that are mounted, flat (0° tilt angle) should be cleaned more often, as they will not "self clean" as effectively as modules mounted at a 15° tilt or greater. Once a year,

check the tightness of terminal screws and the general condition of the wiring. Also, check to be sure that mounting hardware is tight. Loose bolts could result in a damaged module or array.

**12. WARNINGS**

Solar modules are live electrical power sources when exposed to light. Arrays of many modules can cause lethal shock and burn hazards. Solar modules should be covered with an opaque material during installation to avoid shocks or burns. Do not touch live terminals with bare hands. Use insulated tools for electrical connections.

**PERMIT**

- Before installing your solar system, contact local authorities to determine the necessary permit, installation and inspection requirements.

**INSTALLATION AND OPERATION**

- Systems should be installed by qualified personnel only. The system involves electricity, and can be dangerous if the personnel are not familiar with the appropriate safety procedures.
- Do not step on the module.
- Although KYOCERA modules are quite rugged, the glass can be broken (and the module will no longer work properly) if it is dropped or hit by tools or other objects.
- Sunlight shall not be concentrated on the module.
- The module frames is made of anodized aluminum, and therefore corrosion can occur if the module is subject to a salt water environment with contact to a rack of another type of metal. (Electrolytic Corrosion)

**GROUNDING**

- All module frames and mounting racks must be properly grounded in accordance with the appropriate electrical codes.

**INSPECTION**

- Follow the requirements of applicable National and local electrical safety Codes.

**BATTERY**

- When solar modules are used to charge batteries, the battery must be installed in a manner which will protect the performance of the system and the safety of its users. The battery should be away from the main flow of people and animal traffic. Select a battery site that is protected from sunlight, rain, snow, debris, and is well ventilated. Most batteries generate hydrogen gas when charging, which is explosive. Do not light matches or create sparks near the battery bank. When a battery is installed outdoors, it should be placed in an

insulated and ventilated battery case specifically designed for the purpose.

Module	KC60	KC80	KC110-1	KC120-1
Irradiance (kW/m <sup>2</sup> ) at AM1.5	1	1	1	1
Cell temperature (°C)	25	25	25	25
Maximum power : Pmax(W)	60	80	110	120
Operating voltage : Vpmax(V)	16.9	16.9	16.5	16.9
Current at rated operating voltage : Ipmax(A)	3.55	4.73	6.67	7.10
Open circuit voltage : Voc(V)	21.5	21.5	21.1	21.5
Short circuit current : Isc(A)	3.73	4.97	7.25	7.45
Weight(kg)	6	8	11.9	11.9
Maximum system voltage(V)	600	600	600	600
Series fuse(A)	6	7	11	11
Field wiring	Stranded copper only 10 AWG (5.26mm <sup>2</sup> ) ~14 AWG (2.08mm <sup>2</sup> )			

NOTES The electrical characteristics are within ±10 percent of indicated values of Isc, Voc, and Pmax under standard test conditions (irradiance of 1KW/m<sup>2</sup>, AM 1.5 spectrum, and cell temperature of 25°C). Under conditions, a photovoltaic module is likely to produce more current and / or voltage than reported at standard test conditions. Accordingly, the values of Isc and Voc marked on this module should be multiplied by a factor of 1.25 when determining component voltage ratings, conductor ampacities, fuse sizes, and sizes of regulators which are connected to the PV output. Refer to Section 690-8 of the National Electrical Code for an additional multiplying factor of 125 (80 per cent derating), which may also be applicable.

<p><b>Manufactured by: Kyocera Corporation</b> <b>Made in Japan</b></p> <p><b>Kyocera Solar, Inc.</b> 7812 East Acoma Dr. Scottsdale, AZ 85260 Phone: 800-223-9580 480-948-8003 Fax: 480-483-2986 Email: <a href="mailto:info@kyocerasolar.com">info@kyocerasolar.com</a> Web site: <a href="http://www.kyocerasolar.com">www.kyocerasolar.com</a></p>
--

## ANEXO B: Regulador de carga ISOLER 20

## ISOLER

## Regulador Doméstico

## Físicas

## Físicas

CARACTERÍSTICAS	ISOLER 10	ISOLER 20	ISOLER 30
<i>Dimensiones</i>	172 x 105 x 24 mm		
<i>Peso</i>	600 gr		

## Eléctricas

## Eléctricas

CARACTERÍSTICAS	ISOLER 10	ISOLER 20	ISOLER 30
<i>Tensión nominal</i>	Bitensión: selección automática 12 / 24 V		
<i>Intensidad máxima de generación</i>	10 A	20 A	30 A
<i>Intensidad máxima de consumo</i>	10 A	20 A	30 A
<i>Sobrecarga admisible</i>	25 %		
<i>Autoconsumo</i>	-25 mA		
<i>Pérdida máxima generación / consumo</i>	< 1 W / 1 W	< 2 W / 2 W	< 3 W / 3 W



## Constructivas

## Constructivas

CARACTERÍSTICAS	ISOLER 10	ISOLER 20	ISOLER 30
<i>Tipo de regulación</i>	Serie, controlado por microprocesador con relé de estado sólido.		
<i>Selección de batería</i>	SLI modificada / abierta tubular / gel tubular.		
<i>Sistema de regulación</i>	Carga profunda / flotación / igualación <sup>(1)</sup> .		
<i>Visualización del modo de carga</i>	Profunda, flotación e igualación mediante LED.		
<i>Compensación por temperatura</i>	Sí, -2mV / °C / V (mediante sonda externa).		
<i>Desconexión del consumo por baja tensión</i>	Sí (con rearme automático).		
<i>Alarmas locales</i>	Alta y baja tensión de batería, sobrecarga y cortocircuito mediante LEDs.		
<i>Indicadores de estado de carga</i>	Batería llena, media y vacía.		
<i>Protección contra corriente inversa de batería</i>	Opcional, mediante diodo inteligente de bajas pérdidas (MOSFET) (modelos ISOLER 10 C, ISOLER 20 C, ISOLER 30 C).		

(1) La igualación está desactivada para baterías de electrolito gelificado.

Continúa al dorso. ➤



## Constructivas

CARACTERÍSTICAS	ISOLER 10	ISOLER 20	ISOLER 30
<i>Protección contra polaridad inversa</i>	Sí (líneas generación, batería y consumo).		
<i>Protección contra sobrecarga</i>	Sí, temporizada (línea consumo).		
<i>Protección contra cortocircuito</i>	Sí, instantánea (línea consumo).		
<i>Protección contra sobretensiones</i>	Sí, mediante varistores (líneas generación, batería y consumo).		
<i>Protección contra desconexión de batería</i>	Sí.		
<i>Relé crepuscular</i>	Opcional (modelos ISOLER 10 C, ISOLER 20 C, ISOLER 30 C).		
<i>Tropicalización de los circuitos</i>	Sí.		
<i>Rango de temperatura de funcionamiento</i>	0 – 50° C.		
<i>Rearme desconexión cortocircuito / sobrecarga</i>	Reset manual.		
<i>Caja</i>	Chapa de acero galvanizado.		
<i>Pintura</i>	Epoxi al horno.		
<i>Grado de estanqueidad</i>	IP 32.		

Nota: ISOFOTÓN, S.A., se reserva el derecho a introducir cambios en este folleto, sin previo aviso.



C/ Meorsalbán, 9 • 28014 Madrid (España)  
 Tel.: +34 91 531 26 25 - Fax: +34 91 531 10 07  
 isofoton@isofoton.com  
 www.isofoton.com

# ANEXO C: Regulador de carga MINO V2



## MINO V2

### INSTRUCCIONES DE FUNCIONAMIENTO

#### 1.- INFORMACIÓN DE SEGURIDAD

- > Trabajar con baterías es peligroso. Utilice protección en los ojos. Tenga a mano agua limpia para limpiar cualquier contacto con el ácido.
- > Durante la carga de las baterías pueden producirse gases inflamables. No fume y no encienda cerillas o cigarrillos durante la carga. La ventilación debe funcionar correctamente para eliminarlos.
- > Utilice herramientas debidamente aisladas. Evite que corra de las baterías hacia adentro del MINO o que al caer puedan hacer contacto.
- > Los paneles solares generan tensión constantemente al recibir la luz solar. Utilice herramientas aisladas durante su conexión o desconexión para evitar cualquier riesgo de lesión.
- > No instalar ni manipular componentes eléctricos en locales con posibilidad de gases inflamables por la presencia de plomo, benceno, disulfuro, etc.
- > No almacenar materiales inflamables cerca de las baterías ni del regulador.
- > La intensidad de conducción de una batería tiene valores muy elevados capaces de provocar incendios y hasta hacer explotar la batería.
- > No trabajar con pulseras, cadenas u otros elementos de joyería que no sean capaces de provocar accidentalmente cortocircuitos en cables y/o aparatos.
- > No trabajar solo. Tenga cerca alguien que pueda ayudarle en caso de necesidad.
- > Aislamiento estricto con cables de una batería.
- > Evitar que las baterías se vuelquen.

#### 2.- DESCRIPCIÓN

Los reguladores de la serie MINO proporcionan el control necesario del cargador y el control de consumo en un sistema fotovoltaico. El diseño de esta serie de regulación responde a sistemas de pequeña potencia en los que no es necesaria instrumentación adicional y se puede implementar un completo sistema de regulación en un espacio reducido. El regulador dispone de una interfaz de comunicación RS485 y 2x LEDs.

Este sistema de control compatible con los módulos SMD, utiliza un algoritmo de carga por etapas en función del tipo de batería, que permite una sofisticada carga del acumulador con compensación por temperatura.

Utiliza un relé de potencia para la regulación de carga para controlar las líneas de carga y de consumo, con relés de salida solas, lo que proporciona una fiabilidad de funcionamiento y una duración muy superior a los sistemas electrónicos totales.

#### 2.1.- Indicadores Lumínicos



#### 2.2.- Dimensiones.

El MINO V2 se presenta con una carcasa de material autoextinguible con protección frente a rayos UV y con una base cuadrada con tratamiento anticorrosión en su parte posterior.



#### 2.3.- Funciones

- El MINO V2 posee dos modos de funcionamiento:
- > Modo 1: Batería de Plomo-Ácido (batería).
  - > Modo 2: Batería de Gel.

Para saber el modo de trabajo configurado seguir los siguientes pasos:

- > Desconectar, desde el Panel, Línea de Consumo y Línea de Batería.
- > Conectar sólo la Batería.
- > Contar el número de veces que brinca el LED de batería (centro), para saber el modo de trabajo seleccionado.
  - > 1 destello = modo 1 = Batería de Plomo-Ácido
  - > 2 destellos = modo 2 = Batería de Gel
- > El mensaje brinca cuando se oye el LED de Panel (arriba).
- > Si el panel está conectado y se oye el relé, no hay mensaje de destellos.



#### 3.- INSTRUCCIONES DE INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA

##### 3.1.- Normas generales

Para garantizar un funcionamiento correcto y prolongado del equipo es importante seguir detalladamente las instrucciones de instalación.

##### 3.2.- Ubicación

- El emplazamiento adecuado para la instalación debe cumplir las siguientes requisitos:
- > Temp en un ambiente máximo menor de 50°C.
  - > Lugar seco, libre de otras o posibles situaciones ambientales y protegido de la intemperie.
  - > Proteger a los acumuladores, pero libre de la entrada de gases.
  - > Fuera del alcance de los niños y fuera del contacto.

##### 3.3.- Pasos a Seguir

Selección de conexiones

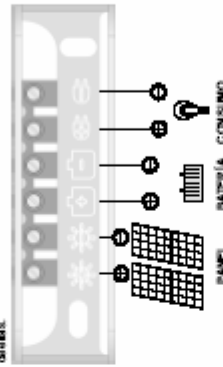
La sección de los conductores es importante para evitar posibles caídas de tensión, que pueden provocar un mal funcionamiento del sistema. Como referencia, no se debe admitir una caída superior al 3% de la tensión nominal en condiciones de máxima potencia. Para calcular la sección necesaria se puede utilizar la siguiente expresión:

$$Sección(mm^2) = \frac{2 \cdot L \cdot I_c}{56 \cdot N}$$

donde: L es la longitud de la línea en metros, "N" es la intensidad máxima en Amperios y "I<sub>c</sub>" es la máxima caída de tensión permitida en voltios.

##### Identificación de bornas

El regulador dispone de una regulación automática en su panel de control, se puede realizar la carga de las baterías con los sensores de temperatura, identificando con los símbolos de cada línea: Panel, Batería y Consumo respectivamente, con la potencia indicada en cada una de ellas.



##### Conexión a tierra

Antes de conectar, asegurese de la polaridad de las celdas. Se aconseja conectar primero la batería, después la salida de consumo y por último el panel.

En los bornas de conexión se pueden utilizar cables de hasta 10mm<sup>2</sup> de sección de conductores tipo AWG n.º 12.

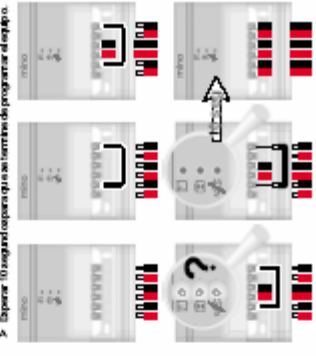
##### Conexión a tierra

La instalación puede funcionar perfectamente sin ninguna conexión a tierra. Si por alguna circunstancia fuera necesario hacer una conexión del sistema tiene que ser SÓLO un punto, bien sea al positivo o al negativo, pero no a ambos.

#### 3.4.- Configuración

El regulador MINO V2 por defecto se encuentra configurado en modo 1 (Baterías de Plomo-Ácido). Si se desea cambiar al modo de trabajo se deben seguir los siguientes pasos:

- > Desconectar todos los cables de conexión.
- > Hacer un puente físico de desconectar entre el regulador de consumo y el panel de panel.
- > Conectar la batería.
- > Los 3 LEDs se iluminan de forma intermitente.
- > Quitar el puente después del primer destello para configurar modo 1 (Baterías de Plomo-Ácido).
- > Quitar el puente después del segundo destello para configurar modo 2 (Baterías de Gel).
- > Esperar 10 segundos para que se vean los destellos de programación del equipo.





## ANEXO D: Batería Dynasty UPS 12-170

# HIGH RATE SERIES



## UPS12-170

**VALVE REGULATED  
LEAD ACID BATTERY  
FOR UPS STANDBY  
POWER APPLICATIONS  
12V 50 AH @ 20 HR RATE,  
12V 170 WATTS/CELL @  
15 MIN RATE**

### FEATURES

- Flame-arresting one-way pressure-relief vent for safety and long life.
- Thermally welded case-to-cover bond to eliminate leakage.
- Absorbent Glass Mat (AGM) technology for efficient gas recombination of up to 95% and freedom from electrolyte maintenance.
- Computer-generated grid design optimized for high power density.
- UL-recognized component.
- Multi-cell design for economy of installation and maintenance.
- Can be used in any orientation. Upright, side, or end mounting recommended.
- Not restricted for air transport – Complies with IATA/ICAO Special Provision A67.
- Not restricted for surface transport – classified as non-hazardous material as related to DOT-CFR Title 49 parts 171-189.
- Not restricted for water transport – classified as non-hazardous material per IMDG Amendment 27.
- Computer designed lead, low calcium alloy grid for minimal gassing and ease of recycling.
- Case and cover available in both standard and flame retardant polypropylene.
- Flame retardant polypropylene case and cover compliant with UL 1778 (optional).

**12 Volts – 170 Watts Per Cell** For 15 Minutes to 1.67 Volts per Cell

Constant Power Discharge Ratings – Watts Per Cell @ 77°F (25°C)

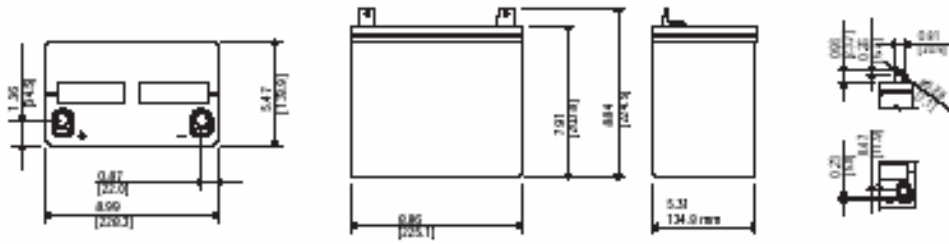
End Point Volts/Cell	Operating Time to End Point Voltage (in minutes)									
	5	10	15	20	30	40	45	50	60	90
1.67	280	210	170	140	107	88.1	81.5	75.2	65.5	47.3

C&D Technologies, Inc.  
DYNASTY Division  
900 East Kiefe Avenue  
Milwaukee, WI 53212  
Phone: 800-396-2789  
Fax: 414-961-6506

Form 07-020 (Rev. 04/02) Printed in the U.S.A.



# UPS12-170



## UPS12-170 - Specifications

\*All dimensions in inches and (millimeter). All dimensions are for reference only. Contact a CAD Representative for complex dimensional information.

Cells Per Unit	Voltage Per Unit	Weight	Electrolyte	Maximum Discharge Current	Short-Circuit Current	Ohms/Imped. 60 Hz (Ω)
6	12.84	40 lbs. 18 kg	Absorbed H <sub>2</sub> O, SG = 1.300	600 Amps	2900 Amps @ 0.1 sec.	0.0060 Ohms
<b>Capacity</b>	170 watts per cell at the 15 minute rate to 1.67 volts per cell at 77° F (25° C). 50 Ah @ 20 hr. rate to 1.75 volts per cell @ 77° F (25° C). 44.9 Ah @ 10 hr rate to 1.80 volts per cell @ 20° C (68° F)					
<b>Operating Temperature Range</b>	Discharge: -40° F (-40° C) to +100° F (71° C). Charge: -10° F (-23° C) to +140° F (60° C) (with temperature compensation)					
<b>Nominal Operating Temperature Range</b>	+74° F (23° C) to +80° F (27° C)					
<b>Float Charging Voltage</b>	13.5 to 13.8 VDC/Unit Average at 77° F (25° C).					
<b>Recommended Maximum Charging Current Limit</b>	C/5 amperes (0.0 amperes @ 100% depth of discharge) @ 20 hour rate					
<b>Equalization and Cycle Service Charging Voltage</b>	14.4 to 14.8 VDC/Unit Average at 77° F (25° C).					
<b>Maximum AC Ripple (Charger)</b>	0.5% RMS or 1.5% P-P of float charge voltage recommended for best results. Maximum voltage allowed = 1.4% RMS (2% P-P) Maximum current allowed = 2.5 amperes RMS (C/20)					
<b>Self Discharge</b>	Dynasty UPS batteries may be stored for up to 6 months at 77° F (25° C) and then a freshening charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.					
<b>Accessories</b>	Inter unit connectors, racks and cabinet systems are available.					
<b>Terminal</b>	"L" terminal with 0.20" clearance hole to accept 0.25" (6mm) bolt.					
<b>Terminal Hardware Initial Torque</b>	40 in.-lbs. (4.5 N-m).					
<b>Terminal Hardware Annual Retorque</b>	32 in.-lbs. (3.49N-m).					

### Constant Power Discharge Ratings – Watts Per Cell @ 77° F (25° C)

End Point Volts/Cell	Operating Time to End Point Voltage (In minutes)									
	5	10	15	20	30	40	45	50	60	90
1.75	250	190	155	130	100	83	77	71	62	45
1.70	272	204	165	136	105	87	80	74	65	47
1.67	280	210	170	140	107	88	82	75	66	47
1.65	284	213	173	142	108	89	82	76	66	48
1.60	290	215	174	143	109	89	83	76	67	48

### Constant Current Discharge Ratings – Amperes @ 77° F (25° C)

End Point Volts/Cell	Operating Time to End Point Voltage (In hours)														
	.083	.25	.50	.75	1	2	3	5	8	10	12	20	24	72	100
1.90	73.0	53.6	38.0	31.7	25.2	16.0	11.8	7.80	5.15	4.25	3.58	2.17	1.83	0.63	0.46
1.85	107	69.2	45.6	37.3	29.0	17.5	12.7	8.26	5.45	4.43	3.75	2.33	1.96	0.68	0.50
1.80	120	75.6	49.2	39.8	30.4	18.2	13.0	8.48	5.60	4.57	3.88	2.45	2.06	0.71	0.51
1.75	134	81.6	52.6	42.3	32.0	18.6	13.3	8.66	5.75	4.69	3.98	2.50	2.10	0.72	0.52

Note: Batteries to be mounted with 0.5 in (12.5 cm) spacing minimum and free air ventilation. Specifications subject to change without notification.



## ANEXO E: Inversor TRIPP-LITE PV 300



## POWERVERTER®

Ultra Compact DC-to-AC Inverters



*Reliable Power For  
Business Travellers*

## Standard Features:

- Low battery alarm alerts you to low voltage in your vehicle's battery
- Low battery shutdown automatically shuts itself down to conserve battery voltage
- Electronic circuit protection automatically protects connected equipment in the event of a system overload
- Cigarette lighter plug-in on PV 140 and PV 300 models allows convenient dashboard connection to your vehicle's battery power
- Metal housing stands up to rough traveling conditions
- PV 300 and PV 500 models feature a built-in cooling fan for more extended use
- PV 500 model features battery clips for quick and easy connection to a battery's terminals

Take Your Office  
On The Road

Designed with the needs of the mobile executive in mind, Tripp Lite's PowerVerter Ultra Compact DC-to-AC Inverters give you access to AC power wherever and whenever you need it. They convert Direct Current (DC) electricity from a battery to Alternating Current (AC) electricity, which is the standard utility power you find at your home or office. Harnessing the battery power of your automobile, RV or service truck, PowerVerter Inverters let you use household appliances or office equipment on the road.

## Safe, Efficient Power

Sensitive computers and electronics demand consistent power to avoid degradation. PowerVerter's provide continuous computer-grade 120V power to ensure your equipment performs at its peak.

## Sleek, Convenient Design

PowerVerter Ultra Compact's advanced design and production technology pack the power of standard inverters into a lighter,

low-profile metal case. PowerVerter's store easily in any briefcase or glove box.

## Low Battery Protection

You'll never run out of battery power unexpectedly with PowerVerter Ultra Compact Inverters. PowerVerter's Low Battery Alarm alerts you to low voltage in your vehicle's battery. The PowerVerter gives you adequate time to safely shut down your connected equipment and the inverter before restarting your vehicle's engine to recharge your battery. If you're not present when the alarm sounds, the PowerVerter will automatically shut itself down, preserving your battery.



*The Ultra Compact PowerVerter is small enough to travel with you anywhere. It fits in any briefcase or glove box.*

## SPECIFICATIONS

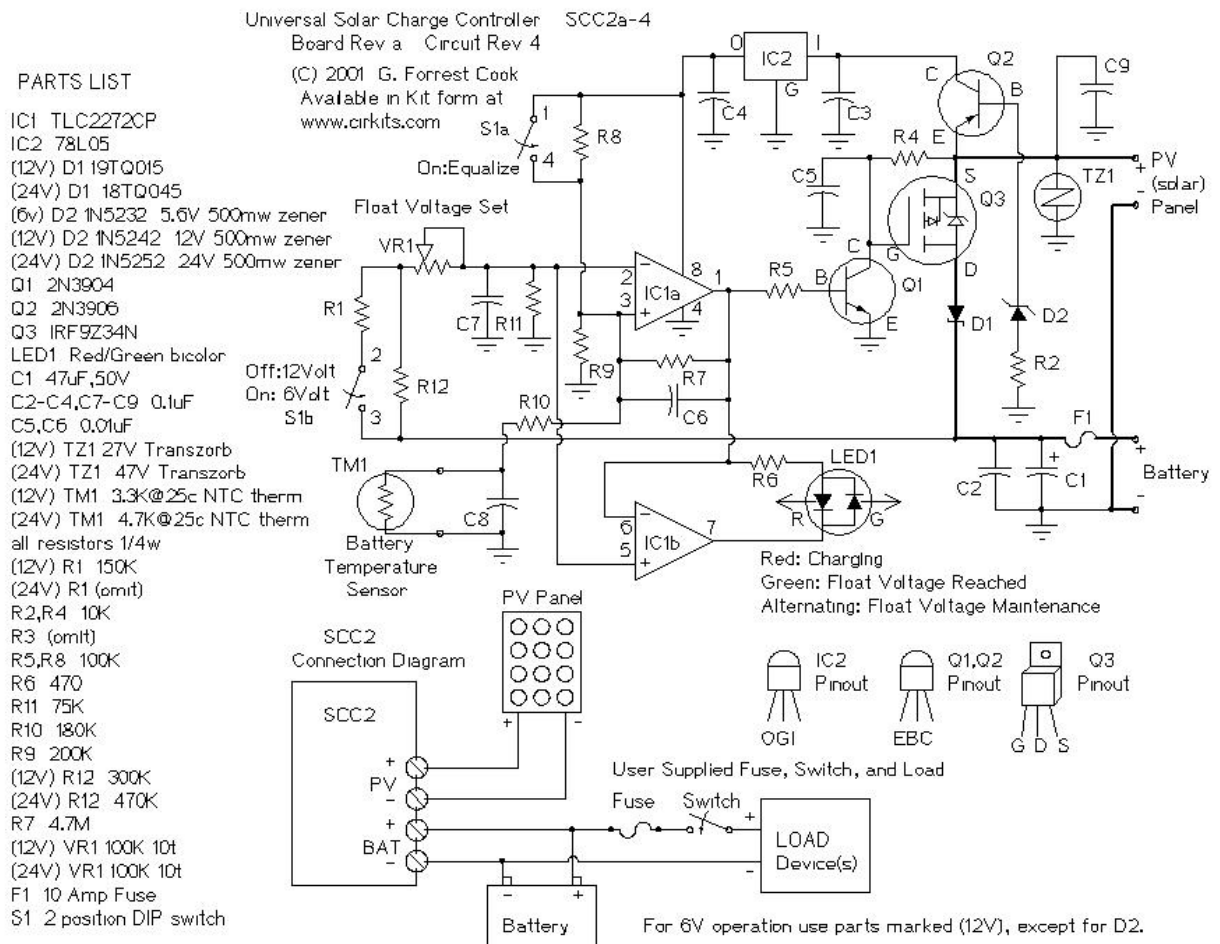
Model Number	AC Outlets	Input Voltage (DC)	Output Voltage (AC)	Continuous Output Power	Peak Output Power	Size H x W x D (in.)	Weight	UL US
PV140	1	12 volts	120 volts	140 watts	200 watts	1¾ x 3 x 6	1½ lb.	
PV300	2	12 volts	120 volts	300 watts	500 watts	2 x 4½ x 6	2 lb.	
PV500	3	12 volts	120 volts	500 watts	800 watts	2½ x 5 x 8	2½ lb.	

FOR MORE INFORMATION ABOUT TRIPP LITE PRODUCTS, VISIT OUR WEBSITE:

[www.tripplite.com](http://www.tripplite.com) • 1111 W. 35th Street, Chicago, IL 60609 • Phone: (773) 869-1234

200010117 95-2095

## ANEXO F: Controlador de carga SCC2 10



### SCC2 10 Amp Solar Charge Controller

(C) G. Forrest Cook February 18, 2004

#### Introduction

The SCC2 is a solar charge controller, its function is to regulate the power flowing from a photovoltaic panel into a rechargeable battery. It features easy setup with one potentiometer for the float voltage adjustment, an equalize function for periodic overcharging, and automatic temperature compensation for better charging over a range of temperatures.

The goal of the circuit design was to make a charge controller with analog simplicity, high efficiency, and reliability. A medium power solar system can be built with a 12V solar panel up to 10 amps, the SCC2, and a lead acid or other rechargeable up to a few hundred amp hour capacity. The SCC2 can be operated at battery voltages other than 12V, it can work at 6V by closing switch S1b, and 24 Volts with a few parts changes.

#### Specifications

Maximum solar panel current: 10 Amps  
Night time battery drain current: approximately 1ma  
Nominal battery voltage: 6V, 12V or 24V.

See the full SCC2 kit specifications for a more detailed list.

## Theory

The SCC2 acts as a medium power DC current switch between the + terminals of the PV and battery. Diode D1 prevents reverse night time current flow from the battery back to the PV panel.

When the PV voltage is high enough to charge the battery, zener diode D2 conducts and turns on transistor Q2. Q2 switches the power for the rest of the circuit on. The circuit is switched off at night. IC2 provides a 5 volt regulated voltage to power the comparator circuits, it also provides a reference voltage for comparator IC1a.

When the battery voltage is below the desired full voltage and needs charging, comparator IC1a turns on and activates Q1 and Q3, this allows the solar charging current to flow into the battery. Note that Q3 is a P-channel mosfet, this allows the circuit to be wired with a common ground for the solar panel and battery. The solar current loop is drawn in heavy lines on the schematic.

When the battery reaches the full charge point, IC1a operates as a comparator based schmidt trigger oscillator, it switches the solar current off and on. The switching causes the battery voltage to oscillate a few tens of millivolts above and below the desired set point. A rail-to-rail op-amp is required for proper operation, 741 style op-amps will not work in this circuit.

The red/green charging/full LED is driven between the output of IC1a and IC1b. IC1b has an inverted version of the IC1a signal. Pin 5 of IC1b only needs an approximate center point to work as an on-off comparator, it is connected to the varying IC1a pin 2 so that it does not require another reference divider circuit.

The resistors and thermistor on the input side of IC1a form a resistive bridge circuit that is used to compare the battery voltage to a reference voltage coming from IC2/R8/R9. The potentiometer adjusts the voltage point around which the circuit will oscillate on full charge. Resistor R7 adds positive feedback to IC1a for a schmidt trigger characteristic. The thermistor provides thermal compensation, as the temperature goes down, the full voltage goes up.

The equalize switch, S1, forces the circuit on for intentional overcharging.

## Alignment

[]Start with a charged battery, connect the solar panel directly to the battery until the battery voltage is at or above the desired full setting, this also that the panel is capable of charging the battery.

[]While measuring the battery voltage, adjust VR1 clockwise to align the float voltage set point. If the LED turns red before it reaches the desired float voltage, the battery will need to charge for a while.

[]When the battery is fully charged, it should be at the float voltage and the led should show alternating colors.

[]The float voltage should be set when the board and battery are at room temperature. Typical 12V set points are 13.8V for a gell cell and 14.5V for a wet cell. For 6V, divide

those by two, for 24V, multiply by 2. Follow your battery manufacturer's recommendations for the best settings.

[]Readjust the float voltage after the battery has reached a full charge.

[]The float voltage should be set when the circuit is at room temperature.

### **Use**

Connect the solar panel to the SCC2 solar panel input connectors, connect the battery to the SCC2 output connectors. Put the solar panel in the sun, and watch the battery charge up. Systems where the battery is frequently discharged way down should occasionally be run in equalize mode for a few hours or a full day. It is best to monitor the battery voltage during this operation, disable equalization if the battery voltage goes above 16V (12V version).

## ANEXO G: Programa del Controlador

```

LIST                P=16F877

RADIX              HEX

INCLUDE            <P16F877.INC>

VBATL              EQU                0x25
CVBATL             EQU                0x26
VBATH              EQU                0x27
CVBATH             EQU                0x28
VPANL              EQU                0x29
CVPANL             EQU                0x2A
VPANH              EQU                0x2B
CVPANH             EQU                0x2C

VTEMPL            EQU                0x2D
VTEMPH            EQU                0x2E
VVAR              EQU                0x2F
VFLOT             EQU                0x30
VVARB             EQU                0x31
VVARP             EQU                0x32
ADCACT           EQU                0x33

CVTEMPH           EQU                0x34
CVTEMPL           EQU                0x35
VWART             EQU                0x36
AUXADDL           EQU                0x37
AUXADDH           EQU                0x38
AUXSUBL           EQU                0x39
AUXSUBH           EQU                0x3A

SUMACT            EQU                0x3B

KDELAY            EQU                0x3C
MINDELAY           EQU                0x3D
TRESMIN           EQU                0x3E
VDISP             EQU                0x3F
DISPDELAY         EQU                0x40
DMNUMBCD          EQU                0x41           ; BCD decimal
UNNUMBCD          EQU                0x42           ; BCD unidades
DCNUMBCD          EQU                0x43           ; BCD decenas
CDMBCD           EQU                0x44
CUNBCD           EQU                0x45
CDCBCD           EQU                0x46
VVARBCD          EQU                0x47
BCVBATL          EQU                0x48
BCVBATH          EQU                0x49
BCCVBATH         EQU                0x4A
KPDELAY           EQU                0x4B

ORG               0x00

goto              START

ORG               0x05

;----- SUBROUTINA 01 retardo de 1 segundo -----

DELAY:            movlw                .20
                  movwf                KDELAY
DELAY_1:          movlw                ~.195
                  movwf                TMR0
                  bcf                  INTCON,T0IF
DELAY_2:          clrwdt
                  btfss                INTCON,T0IF
                  goto                 DELAY_2
                  decfsz                KDELAY,F
                  goto                 DELAY_1
                  return

```

----- SUBROUTINA 02 retardo para impresión -----

```

DELAYIMP:      movlw      .20
               movwf     KPDELAY
DELAYIMP_1:    movlw      ~.80
               movwf     TMR0
               bcf       INTCON,T0IF

DELAYIMP_2:    movf      ADCACT,W
               movwf     ADCON0      ;
               bcf       PIR1,ADIF   ; reset del flag del conversor
               bsf       ADCON0,GO   ; inicio de conversión

ADCWAITCH3:   btfss     PIR1,ADIF   ; bloque de decisión si terminó salta la siguiente línea
               goto     ADCWAITCH3

               bsf       STATUS,RP0  ; seteo al banco 1
               bcf       STATUS,RP1

               movf     ADRESL,W
               bcf     STATUS,RP0
               movwf   VBATL         ; dato de voltaje guardado temporalmente en VBATL
               comf    VBATL,W       ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATL
               movwf   CVBATL        ; valor complementado de VBATL almacenado en CVBATL

               bcf     STATUS,RP0    ; regreso al banco 0
               movf    ADRESH,W
               movwf   VBATH         ; dato de voltaje guardado temporalmente en VBATH
               comf    VBATH,W       ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATH
               movwf   CVBATH        ; valor complementado de VBATH almacenado en CVBATH

               ;call    LM35
               call    IMPREDOCE

               clrwdt
               btfss   INTCON,T0IF
               goto    DELAYIMP_2
               decfsz  KPDELAY,F
               goto    DELAYIMP_1
               return

```

----- SUBROUTINA 03 retardo de 0.36 seg -----

```

MDELAY:      movlw      b'00111100'
               movwf     MINDELAY

MINCYCLE:    call      DELAYIMP
               movf     MINDELAY,W
               andlw    b'11111111'
               btfss   STATUS,Z
               goto     DECMIN
               return

DECMIN:     decf      MINDELAY,W
               movwf   MINDELAY
               goto    MINCYCLE

```

----- SUBROUTINA 04 retardo de impresión a DISPLAY -----

```

DELAYDISP:   movlw      .1
               movwf     DISPDELAY
DSPDELAY_1:  movlw      ~.20
               movwf     TMR0
               bcf       INTCON,T0IF

DSPDELAY_2:  clrwdt
               btfss   INTCON,T0IF
               goto    DSPDELAY_2
               decfsz  DISPDELAY,F
               goto    DSPDELAY_1
               return

```

----- SUBROUTINA 06 para CONTROL EN BANDA DE TENSION ALTA -----

```

CONTROL_AT:  movlw      b'00000001'    ; carga ON panel off
              movwf     PORTB
              movlw     b'00000011'    ; activación de RD1 y RD0
              movwf     PORTD
              return

;----- SUBROUTINA 07 para CONTROL EN BANDA DE BATERIA CARGADA -----

CONTROL_BC:  movlw      b'00000001'    ; carga ON panel off
              movwf     PORTB
              movlw     b'00000101'    ; activación de señal de batería cargada por RD2
              movwf     PORTD
              return

;----- SUBROUTINA 08 para CONTROL EN BANDA DE ABSORCIÓN -----

CONTROL_AB:  movlw      b'00000001'    ; carga ON panel off
              movwf     PORTB
              movlw     b'00010001'    ; activación de señal de FL (estado de absorción) por RD4
              movwf     PORTD
              call      DELAYIMP
              call      DELAYIMP
              call      DELAYIMP
              movlw     b'00000001'    ; desactivación de señal de FL(estado de absorción) RD4
              movwf     PORTD
              call      DELAYIMP
              call      DELAYIMP
              call      DELAYIMP
              return

;----- SUBROUTINA 10 para CONTROL EN BANDA DE FLOTACION -----

CONTROL_FL:  movlw      b'00111100'    ; valor mínimo que puede tener ADRESL -> 13.5 [V]
              movwf     VFLOT
              movf      VFLOT,W        ; se guarda el valor de W en VVAR
              andwf    CVBATL,W       ; and con el complemento ADRESL obtenido del ADC
              btfss   STATUS,Z        ;
              goto     FLOTAOFF       ; condición no Z = 0
              goto     FLOTAON        ; condición si Z = 1

FLOTAON:     movlw      b'00000000'    ; carga ON panel ON
              movwf     PORTB
              movlw     b'00010000'    ; activación de señal de flotación por RD4
              movwf     PORTD
              call      DELAYIMP
              movlw     b'01001101'    ; valor máximo que puede tener ADRESL -> 13.8 [V]
              movwf     VFLOT
              movf      VFLOT,W        ; se guarda el valor de W en VVAR
              andwf    CVBATL,W       ; and con el complemento de ADRESL obtenido del ADC
              btfss   STATUS,Z        ;
              goto     CHKMINFL       ;
              goto     FLOTAOFF

CHKMINFL:    movlw      b'00111011'    ; valor mínimo que puede tener ADRESL -> 13.49 [V]
              movwf     VFLOT
              movf      VFLOT,W        ; se guarda el valor de W en VVAR
              andwf    CVBATL,W       ; and con el complemento de ADRESL obtenido del ADC
              btfss   STATUS,Z        ;
              goto     FLOTAON        ; condición no Z = 0
              return                 ; condición si Z = 1

```

```

FLOTAOFF:    movlw      b'01001101'    ; valor mínimo que puede tener ADRESL -> 13.8 [V]
             movwf     VFLOT          ; se guarda el valor de W en VVAR
             movf      VFLOT,W
             andwf    CVBATL,W        ; and con el complemento de ADRESL obtenido del ADC
             btfss   STATUS,Z        ;
             goto     NOFLOFF
             goto     SIFLOFF

NOFLOFF:    call     DELAYIMP
            goto     FLOTAON

SIFLOFF:    movlw     b'00000001'    ; carga ON panel off
            movwf    PORTB
            movlw    b'00010000'    ; activación de señal de flotación por RD4
            movwf    PORTD
            call     DELAYIMP

            return

```

;----- SUBROUTINA 11 para CONTROL EN BANDA DE BAJA TENSION -----

```

CONTROL_BT:  movlw     b'00000000'    ; carga ON panel ON
            movwf    PORTB
            movlw    b'00001000'    ; activación de señal de carga profunda por RD3
            movwf    PORTD
            call     DELAYIMP
            return

```

;----- SUBROUTINA 12 para CONTROL EN BANDA DE BATERIA DESCARGADA -----

```

CONTROL_BD:  movlw     b'00000000'    ; carga ON panel ON
            movwf    PORTB
            movlw    b'00000010'    ; activación de señal de tensión baja por RD1
            movwf    PORTD
            return

```

;----- SUBROUTINA 13 para CONTROL DE ECUALIZACIÓN -----

```

CTRL_EQU:   movlw     b'00000000'
            movwf    SUMACT
            movf     VVAR,W
            andlw   b'10001100'    ; valor mínimo de voltaje 14.4
            btfss  STATUS,Z
            return
            goto    THREEMIN

THREEMIN:   movlw     b'10000001'    ; carga OFF panel OFF
            movwf    PORTB
            movlw    b'00100001'
            movwf    PORTD

TMINCYCLE:  movlw     b'00000001'
            addwf   SUMACT,W
            movwf   SUMACT
            call    MDELAY
            call    MDELAY
            call    MDELAY

COMP_CYCLE: movf      CVBATL,W
            andlw   b'10011111'    ; 15.1 V
            btfss  STATUS,Z

NODCNX:     goto     EQU1_CYCLE

SIDCNX:     return

EQU1_CYCLE: movlw     b'10000000'    ; conexión del panel

```



```

movwf      PORTB

movlw     b'00101100'    ; activación de señal de ecualización por RD2
movwf     PORTD
call     MDELAY
call     MDELAY
call     MDELAY
call     MDELAY
call     MDELAY
call     MDELAY
call     MDELAY
call     MDELAY
call     MDELAY
call     MDELAY
call     MDELAY

movlw     b'10000001'    ; carga OFF panel OFF
movwf     PORTB

movlw     b'00101000'    ; activación de señal de ecualización por RD2
movwf     PORTD

movf      SUMACT,W      ; 0001 1000
xorlw    b'00011000'    ; 0001 1000
btfss   STATUS,Z

goto     TMINCYCLE

movlw     b'00000000'
movwf     SUMACT
return

```

;----- SUBROUTINA 13 para COMPENSACION POR TEMPERATURA ENTRE 50 - 44.5°C -----

```

SUMA3:    movlw     b'00000011'
          subwf    VBATL,W
          movwf    AUXSUBL

          btfsc   STATUS,C
          goto    NOCARRY3
          goto    CARRY3

NOCARRY3: movf     AUXSUBL,W
          movwf   VBATL
          comf    VBATL,W    ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATL
          movwf   CVBATL    ; valor complementado de VBATL almacenado en CVBATL
          return

CARRY3:   movlw     b'00000001'
          subwf   VBATH,W
          movwf   AUXSUBH
          movf    AUXSUBH,W
          movwf   VBATH
          comf    VBATH,W    ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATH
          movwf   CVBATH    ; valor complementado de VBATH almacenado en CVBATH

TEST32:   movlw     b'00000010'
          andwf   CVBATL,W
          btfss  STATUS,Z

          goto    TEST31
          goto    CSUM32

TEST31:   movlw     b'00000001'
          andwf   CVBATL,W
          btfss  STATUS,Z

          goto    TEST30
          goto    CSUM31

TEST30:   movlw     b'11111111'
          andwf   VBATL,W
          btfss  STATUS,Z

```

```

return
goto          CSUM30

CSUM32:      movlw          b'11111111'
              movwf        VBATL
              comf         VBATL,W
              movwf        CVBATL
              return

CSUM31:      movlw          b'11111110'
              movwf        VBATL
              comf         VBATL,W
              movwf        CVBATL
              return

CSUM30:      movlw          b'11111110'
              movwf        VBATL
              comf         VBATL,W
              movwf        CVBATL
              return

;----- SUBROUTINA 14 para COMPENSACION POR TEMPERATURA ENTRE 44.5 - 38°C -----

SUMA2:      movlw          b'00000010'
              subwf        VBATL,W
              movwf        AUXSUBL

              btfsc        STATUS,C
              goto         NOCARRY2
              goto         CARRY2

NOCARRY2:   movf          AUXSUBL,W
              movwf        VBATL
              comf         VBATL,W      ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATL
              movwf        CVBATL      ; valor complementado de VBATL almacenado en CVBATL
              return

CARRY2:     movlw          b'00000001'
              subwf        VBATH,W
              movwf        AUXSUBH
              movf         AUXSUBH,W
              movwf        VBATH
              comf         VBATH,W      ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATH
              movwf        CVBATH      ; valor complementado de VBATH almacenado en CVBATH

TEST21:     movlw          b'00000001'
              andwf        CVBATL,W
              btfss        STATUS,Z

              goto         TEST20
              goto         CSUM21

TEST20:     movlw          b'11111111'
              andwf        VBATL,W
              btfss        STATUS,Z
              return
              goto         CSUM20

CSUM21:     movlw          b'11111111'
              movwf        VBATL
              comf         VBATL,W
              movwf        CVBATL
              return

CSUM20:     movlw          b'11111110'
              movwf        VBATL
              comf         VBATL,W
              movwf        CVBATL
              return

;----- SUBROUTINA 15 para COMPENSACION POR TEMPERATURA ENTRE 38 - 31.5°C -----

SUMA1:      movlw          b'00000001'
              subwf        VBATL,W

```

```

movwf      AUXSUBL

btfsc     STATUS,C
goto      NOCARRY1
goto      CARRY1

NOCARRY1:  movf      AUXSUBL,W
movwf     VBATL
comf     VBATL,W      ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATL
movwf     CVBATL     ; valor complementado de VBATL almacenado en CVBATL
return

CARRY1:   movlw     b'00000001'
subwf    VBATH,W
movwf    AUXSUBH
movf     AUXSUBH,W
movwf    VBATH
comf     VBATH,W      ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATH
movwf    CVBATH     ; valor complementado de VBATH almacenado en CVBATH

TEST10:   movlw     b'11111111'
andwf    VBATL,W
btfss   STATUS,Z
return
goto     CSUM10

CSUM10:   movlw     b'11111111'
movwf    VBATL
comf     VBATL,W
movwf    CVBATL
return

```

;----- SUBROUTINA 16 para COMPENSACION POR TEMPERATURA ENTRE 25°C - 18.5°C -----

```

RESTA1:   movlw     b'00000001'
addwf    VBATL,W
movwf    AUXADDL
btfss   STATUS,C
goto     NOCARRY11
goto     CARRY11

NOCARRY11: movf     AUXADDL,W
movwf    VBATL
comf     VBATL,W      ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATL
movwf    CVBATL     ; valor complementado de VBATL almacenado en CVBATL
return

CARRY11:  movlw     b'00000001'
addwf    VBATH,W
movwf    AUXADDH
movf     AUXADDH,W
movwf    VBATH
comf     VBATH,W      ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATH
movwf    CVBATH     ; valor complementado de VBATH almacenado en CVBATH

RTEST10:  movlw     b'11111111'
andwf    VBATL,W
btfss   STATUS,Z
return
goto     CRES10

CRES10:   movlw     b'00000000'
movwf    VBATL
comf     VBATL,W
movwf    CVBATL
return

```

;----- SUBROUTINA 17 para COMPENSACION POR TEMPERATURA ENTRE 18.5°C - 12°C -----

```

RESTA2:   movlw     b'00000010'
addwf    VBATL,W
movwf    AUXADDL
btfss   STATUS,C
goto     NOCARRY22
goto     CARRY22

```

```

NOCARRY22:  movf      AUXADDL,W
             movwf     VBATL
             comf      VBATL,W      ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATL
             movwf     CVBATL      ; valor complementado de VBATL almacenado en CVBATL
             return

CARRY22:    movlw     b'00000001'
             addwf     VBATH,W
             movwf     AUXADDH
             movf      AUXADDH,W
             movwf     VBATH
             comf      VBATH,W      ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATH
             movwf     CVBATH      ; valor complementado de VBATH almacenado en CVBATH

RTEST21:    movlw     b'11111110'
             andwf     VBATL,W
             btfss    STATUS,Z
             goto      RTEST20
             goto      CRES21

RTEST20:    movlw     b'11111111'
             andwf     VBATL,W
             btfss    STATUS,Z
             return
             goto      CRES20

CRES21:     movlw     b'00000000'
             movwf     VBATL
             comf      VBATL,W
             movwf     CVBATL
             return

CRES20:     movlw     b'00000001'
             movwf     VBATL
             comf      VBATL,W
             movwf     CVBATL
             return

```

;----- SUBROUTINA 18 para COMPENSACION POR TEMPERATURA ENTRE 12°C - 5.5°C -----

```

RESTA3:     movlw     b'00000001'
             addwf     VBATL,W
             movwf     AUXADDL
             btfss    STATUS,C
             goto      NOCARRY33
             goto      CARRY33

NOCARRY33:  movf      AUXADDL,W
             movwf     VBATL
             comf      VBATL,W      ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATL
             movwf     CVBATL      ; valor complementado VBATL almacenado en CVBATL
             return

CARRY33:    movlw     b'00000001'
             addwf     VBATH,W
             movwf     AUXADDH
             movf      AUXADDH,W
             movwf     VBATH
             comf      VBATH,W      ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATH
             movwf     CVBATH      ; valor complementado de VBATH almacenado en CVBATH

RTEST32:    movlw     b'11111101'
             andwf     VBATL,W
             btfss    STATUS,Z
             goto      RTEST31
             goto      CRES32

RTEST31:    movlw     b'11111110'
             andwf     VBATL,W
             btfss    STATUS,Z
             goto      RTEST30
             goto      CRES31

RTEST30:    movlw     b'11111111'

```

```

                                andwf      VBATL,W
                                btfss     STATUS,Z
                                return
                                goto      CRES30

CRES32:  movlw      b'00000000'
                                movwf    VBATL
                                comf     VBATL,W
                                movwf    CVBATL
                                return

CRES31:  movlw      b'00000001'
                                movwf    VBATL
                                comf     VBATL,W
                                movwf    CVBATL
                                return

CRES30:  movlw      b'00000010'
                                movwf    VBATL
                                comf     VBATL,W
                                movwf    CVBATL
                                return

;----- SUBROUTINA 19 para COMPENSACION POR TEMPERATURA ENTRE 5.5°C - 0°C -----

RESTA4:  movlw      b'00000001'
                                addwf   VBATL,W
                                movwf   AUXADDL
                                btfss   STATUS,C
                                goto    NOCARRY44
                                goto    CARRY44

NOCARRY44:  movf     AUXADDL,W
                                movwf   VBATL
                                comf    VBATL,W      ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATL
                                movwf   CVBATL      ; valor complementado de VBATL almacenado en CVBATL
                                return

CARRY44:  movlw      b'00000001'
                                addwf   VBATH,W
                                movwf   AUXADDH
                                movf    AUXADDH,W
                                movwf   VBATH
                                comf    VBATH,W      ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATH
                                movwf   CVBATH      ; valor complementado de VBATH almacenado en CVBATH

RTEST43:  movlw      b'11111100'
                                andwf   VBATL,W
                                btfss   STATUS,Z
                                goto    RTEST42
                                goto    CRES43

RTEST42:  movlw      b'11111101'
                                andwf   VBATL,W
                                btfss   STATUS,Z
                                goto    RTEST41
                                goto    CRES42

RTEST41:  movlw      b'11111110'
                                andwf   VBATL,W
                                btfss   STATUS,Z
                                goto    RTEST40
                                goto    CRES41

RTEST40:  movlw      b'11111111'
                                andwf   VBATL,W
                                btfss   STATUS,Z
                                return
                                goto    CRES40

CRES43:  movlw      b'00000000'
                                movwf    VBATL
                                comf     VBATL,W
                                movwf    CVBATL
                                return

```

```

CRES42:    movlw    b'00000001'
           movwf    VBATL
           comf     VBATL,W
           movwf    CVBATL
           return

CRES41:    movlw    b'00000010'
           movwf    VBATL
           comf     VBATL,W
           movwf    CVBATL
           return

CRES40:    movlw    b'00000011'
           movwf    VBATL
           comf     VBATL,W
           movwf    CVBATL
           return

```

;----- SUBROUTINA 20 para impresión a display del nivel de voltaje con un punto flotante -----

```

IMPEDOCE:  clrf     DMNUMBCD

           clrf     UNNUMBCD
           clrf     DCNUMBCD

           movf    CVBATH,W
           movwf   BCCVBATH
           movf    VBATH,W
           movwf   BCBVATH
           movf    VBATL,W
           movwf   BCBATL

BUCLEBCD:  movlw    b'00000110'
           subwf   BCBATL,W
           movwf   BCBATL
           btfsc  STATUS,C

           goto    CEROBBCD
           goto    CHECKBCD

CEROBBCD:  btfss   STATUS,Z

           goto    ACUMULBCD
           goto    CHECKBCD

ACUMULBCD:  incf    DMNUMBCD,W
           movwf   DMNUMBCD
           comf    DMNUMBCD,W
           movwf   CDMBCD

           movlw   b'00001010'    ; diez
           andwf   CDMBCD,W

           btfss  STATUS,Z

           goto    BUCLEBCD
           goto    INCUNIBCD

INCUNIBCD:  clrf    DMNUMBCD
           incf   UNNUMBCD,W
           movwf  UNNUMBCD
           comf   UNNUMBCD,W
           movwf  CUNBCD

           movlw  b'00001010'    ; diez
           andwf  CUNBCD,W

           btfss  STATUS,Z

           goto    BUCLEBCD
           goto    INCDECBCD

INCDECBCD:  clrf    UNNUMBCD
           incf   DCNUMBCD,W
           movwf  DCNUMBCD

```

```

      comf          DCNUMBCD,W
      movwf        CDCBCD

      movlw        b'00000100'
      andwf        CDCBCD,W

      btfss        STATUS,Z

      goto         BUCLEBCD
      goto         CHECKBCD

CHECKBCD:  movlw        b'00000011'
          andwf        BCCVBATH,W
          btfss        STATUS,Z

          goto         CHECKBCD0
          goto         CHECKBCD2

CHECKBCD0:  movlw        b'00000001'      ;11111110 00000011
          andwf        BCCVBATH,W
          btfss        STATUS,Z

          goto         CHECKBCD1

          movlw        b'11111111'
          movwf        VBATL
          movwf        BCCVBATH
          goto         BUCLEBCD

CHECKBCD1:  movlw        b'00000010'      ;11111101
          andwf        BCCVBATH,W
          btfss        STATUS,Z

          goto         CHECKBCD2

          movlw        b'11111111'
          movwf        BCBATL

          movlw        b'11111110'
          movwf        BCCVBATH
          goto         BUCLEBCD

CHECKBCD2:  movlw        b'00000011'
          andwf        BCCVBATH,W
          btfss        STATUS,Z

          goto         VERBCD

          movlw        b'11111111'
          movwf        BCBATL

          movlw        b'11111101'
          movwf        BCCVBATH
          goto         BUCLEBCD

VERBCD:    ;----- DECENAS -----
          movlw        b'00010000'
          movwf        VVARBCD
          movf        DCNUMBCD,W
          addwf        VVARBCD,W
          movwf        PORTC
          call         DELAYDISP

          ;----- UNIDADES -----

          movlw        b'00100000'
          movwf        VVARBCD
          movf        UNNUMBCD,W
          addwf        VVARBCD,W
          movwf        PORTC
          call         DELAYDISP

          ;----- DECIMALES -----

          movlw        b'01000000'

```

```

movwf VVARBCD
movf  DMNUMBCD,W
addwf VVARBCD,W
movwf PORTC
call  DELAYDISP

return

```

;----- lectura del nivel de voltaje del sensor de temperatura -----

```

LM35:    bcf          STATUS,RP0      ; seteo al banco 0

        movlw       b'10100001'     ; justificación a la derecha del registro
        movwf      ADCON0           ; Todas entradas analógicas y RA3
        bcf        PIR1,ADIF        ; reset del flag del conversor
        bsf        ADCON0,GO        ; inicio de conversión

ADC_WAIT3: btfss       PIR1,ADIF       ; bloque de decisión si terminó salta la siguiente línea
        goto      ADC_WAIT3
        bsf        STATUS,RP0       ; seteo al banco 1
        bcf        STATUS,RP1

        movf       ADRESL,W
        bcf        STATUS,RP0
        movwf     VTEMPL            ; dato de voltaje guardado temporalmente en VTEMPL
        comf      VTEMPL,W         ; complemento a 1 del valor del nivel de VTEMPL
        movwf     CVTEMPL          ; valor complemento de VTEMPL almacenado en CVTEMPL
        bcf        STATUS,RP0       ; regreso al banco 0
        movf      ADRESH,W
        movwf     VTEMPH           ; dato de voltaje guardado temporalmente en VTEMPH
        comf      VTEMPH,W         ; complemento a 1 del valor del nivel de VTEMPH
        movwf     CVTEMPH          ; valor complemento de VTEMPH almacenado CVTEMPH

```

;temperatura de referencia 00 0010 1000 ->18

;----- COMPARACION DE NIVELES DE VOLTAJE EN EL SENSOR DE TEMPERATURA PARA COMPENSACION -----

;----- T = 50 A 44.5°C -----

```

VCTERM:  movlw       b'00000011'     ; valor correspondiente a 50°C
        movwf     VVART              ; se guarda en VVAR el valor anterior
T50LOOPH: movf       VVART,W
        andwf     CVTEMPH,W         ; complemento a 1 del ADC para que
        ; se obtenga en STATUS, Z=1
        ; si dicho producto da cero, lo que
        ; solo se produce cuando es el complemento del otro.
        btfss    STATUS,Z           ; si Z=1 para saber si ADRESH es igual al valor de 50°C , si
        ; Z=1 salta a comprobar T50LL sino a baja tensión
        goto     VCTERM1            ; condición no salto a comprobación en la banda de 44.5°C
        goto     T50LL              ; condición si -> salto a verificar ADRESL del ADC

T50LL:   movlw       b'11111111'     ; valor máximo que puede tener ADRESL -> 50°C

T50LOOPL: movwf     VVART            ; se guarda el valor de W en VVART
        movf      VVART,W
        andwf     CVTEMPL,W         ; and con complemento de ADRESL obtenido del ADC
        btfss    STATUS,Z           ; si Z = 1 SUMA 3, si es 0 decrementa el valor
        goto     DECVAL50          ; condición no Z = 0
        call     SUMA3              ; condición si Z = 1

        return

DECVAL50: movf      VVART,W          ; se carga a W el valor de VVAR
        andlw    b'01110000'        ; 0001110000 es el complemento a 1 de 11 1000 1111b
        ; que representa el valor de 44.5 en el ADC
        ; (valor mínimo de esta banda de temperatura)
        btfss    STATUS,Z           ; si Z=1 para saber si decrementa o salta a la comprobación
        ; de la banda de igualación, si el valor ya llegó al mínimo

        goto     DEC50              ; condición no -> decrementa 1 a VVAR

```



```

                goto          VCTERM1

DEC50:         decf          VVART,W          ; decreuenta 1 a VVART
                movwf       VVART           ; valor decrementado se lo carga en W
                goto          T50LOOPL      ; regresamos al lazo de la banda de flotación bajo

;----- T = 44.5 A 38°C -----

VCTERM1:      movlw        b'00000011'    ; valor correspondiente a 44.5°C
                movwf       VVART           ; se guarda en VVAR el valor anterior
T44LOOPH:     movf         VVART,W         ;
                andwf       CVTEMPH,W     ; and con complemento a 1 del valor del ADC para que
                btfs       STATUS,Z       ; se obtenga en STATUS, Z=1
                goto        VCTERM2       ; comprueba si Z=1 ADRESH es igual al valor de 44.5°C , si
                goto        T44LL         ; Z=1 T44LL, sino salta a la banda de baja tensión
                ; condición no -> salto a comprobación en la banda de 38°C
                ; condición sí -> salto a verificar ADRESL del ADC

T44LL:        movlw        b'10001111'    ; valor máximo que puede tener ADRESL -> 44.5°C

T44LOOPL:     movwf       VVART           ; se guarda el valor de W en VVART
                movf         VVART,W         ;
                andwf       CVTEMPL,W     ; and con el complemento de ADRESL obtenido del ADC
                btfs       STATUS,Z       ; si Z = 1 SUMA 2, si es 0 decreuenta el valor
                goto        DECVAL44      ; condición no Z = 0
                call        SUMA2         ; condición si Z = 1
                return

DECVAL44:     movf         VVART,W         ; se carga a W el valor de VVAR
                andlw       b'111110101'   ; 0011110101 es complemento a 1 de 11 0000 1010b
                ; que representa el valor de 38°C en el ADC
                btfs       STATUS,Z       ; (valor mínimo de esta banda de voltaje)
                goto        DEC44         ; si Z=1 se debe decrementar o saltar a la comprobación
                ; de la banda de igualación
                goto        VCTERM2       ; condición no -> decreuenta 1 a VVAR

DEC44:        decf          VVART,W         ; decreuenta 1 a VVART
                movwf       VVART           ; valor decrementado se lo carga en W
                goto          T44LOOPL      ; regresamos al lazo de la banda de flotación bajo

;----- T = 38 A 31.5°C -----

VCTERM2:      movlw        b'00000011'    ; valor correspondiente a 38°C
                movwf       VVART           ; se guarda en VVAR el valor anterior
T38LOOPH:     movf         VVART,W         ;
                andwf       CVTEMPH,W     ; and con el complemento a 1 del valor del ADC para que
                btfs       STATUS,Z       ; se obtenga en STATUS, Z=1
                goto        VC1TERM2      ; si Z=1 para saber si ADRESH es igual a 38°C , si
                goto        T38LL         ; Z=1 T38LL, sino salta a la banda de baja tensión
                ; condición no salto a comprobación en la banda de 31.5°C
                ; condición sí -> salto a verificar ADRESL del ADC

T38LL:        movlw        b'00001010'    ; valor máximo que puede tener ADRESL -> 38°C

T38LOOPL:     movwf       VVART           ; se guarda el valor de W en VVART
                movf         VVART,W         ;
                andwf       CVTEMPL,W     ; and con el complemento de ADRESL obtenido del ADC
                btfs       STATUS,Z       ; si Z = 1 SUMA 1, si es 0 decreuenta el valor
                goto        DECVAL38      ; condición no Z = 0
                call        SUMA1         ; condición si Z = 1
                return

DECVAL38:     movf         VVART,W         ; se carga a W el valor de VVAR
                andlw       b'11111111'   ;
                btfs       STATUS,Z       ;
                goto        DEC38         ;
                goto        PROBETL      ;

```

```

PROBETL:      movf      VVART,W
               andwf    CVTEMPL,W

               btfss    STATUS,Z      ; si Z=1 para saber si se decrementa
               goto    VC1TERM2
               call    SUMA1

               return

DEC38:        decf      VVART,W      ; decrementa 1 a VVART
               movwf    VVART        ; valor decrementado se lo carga en W
               goto    T38LOOPL     ; regresamos al lazo de la banda de flotación bajo

VC1TERM2:    movlw    b'00000010'
T381LOOPH:    movwf    VVART
               movf      VVART,W
               andwf    CVTEMPH,W

               btfss    STATUS,Z

               goto    PROBETH
               goto    T38LL1

PROBETH:     movf      CVTEMPH,W
               andlw    b'00000011'
               btfss    STATUS,Z
               goto    VCTERM3

               return

T38LL1:      movlw    b'11111111'      ; valor máximo que puede tener ADRESL -> 38°C

T381LOOPL:   movwf    VVART            ; se guarda el valor de W en VVART
               movf      VVART,W
               andwf    CVTEMPL,W     ; and con el complemento de ADRESL obtenido del ADC
               btfss    STATUS,Z       ; si Z = 1 SUMA 1, si es 0 decrementa el valor
               goto    DEC1VAL38      ; condición no Z = 0

               call    SUMA1          ; condición si Z = 1
               return

DEC1VAL38:   movf      VVART,W        ; se carga a W el valor de VVAR
               andlw    b'01111010'  ; 01 0111 1010 es el complemento a 1 de 1010000101b
               ; que representa el valor de 31.5 en el ADC
               ; (valor mínimo de esta banda de voltaje)

               btfss    STATUS,Z
               goto    DEC138
               goto    VCTERM3

DEC138:      decf      VVART,W        ; decrementa 1 a VVART
               movwf    VVART        ; valor decrementado se lo carga en W
               goto    T381LOOPL     ; regresamos al lazo de la banda de flotación bajo

```

----- T = 31.5 A 25°C -----

```

VCTERM3:     movlw    b'00000010'      ; valor correspondiente a 31.5°C
T31LOOPH:    movwf    VVART            ; se guarda en VVAR el valor anterior
               movf      VVART,W
               andwf    CVTEMPH,W     ; and con el complemento a 1 del valor del ADC para que
               ; se obtenga STATUS, Z=1
               btfss    STATUS,Z       ; si Z=1 para saber si ADRESH es igual a 31.5°C , si
               ; Z=1 T44LL, sino salta a la banda de baja tensión
               goto    VCTERM4        ; condición no salto a comprobación en la banda de 25°C
               goto    T31LL         ; condición si -> salto a verificar ADRESL del ADC

T31LL:       movlw    b'10000101'      ; valor máximo que puede tener ADRESL -> 31.5°C

T31LOOPL:    movwf    VVART            ; se guarda el valor de W en VVART
               movf      VVART,W
               andwf    CVTEMPL,W     ; and con el complemento de ADRESL obtenido del ADC
               btfss    STATUS,Z       ; si Z = 1 SUMA 0 y va a ATBAT, si es 0 decrementa
               goto    DECVAL31      ; condición no Z = 0

```

```

return
DECVAL31:  movf      VVART,W      ; se carga a W el valor de VVAR
           andlw    b'11111111' ; 01 1111 1111 es el complemento a 1 de 1000000000b
           ; que representa el valor de 25°C en el ADC
           ; (valor mínimo de esta banda de voltaje)
           btfss   STATUS,Z      ; si Z=1 para saber si se decremента
           goto    DEC31         ; condición no -> decremента 1 a VVAR

           call    RESTA1
           goto    VCTERM4

DEC31:    decf      VVART,W      ; decremента 1 a VVART
           movwf   VVART        ; valor decremंतado se lo carga en W
           goto    T31LOOPL     ; regresamos al lazo de la banda de flotación bajo

```

----- T = 25 A 18.5°C -----

```

VCTERM4:  movlw    b'00000001' ; valor correspondiente a 25°C
           movwf   VVART        ; se guarda en VVAR el valor anterior
T25LOOPH: movf      VVART,W      ; and con el complemento a 1 del valor del ADC
           andwf   CVTEMPH,W    ; si Z=1 ADRESH es igual al valor de 25°C , si
           btfss   STATUS,Z      ; Z=1 salta a comprobar T25LL
           goto    VCTERM5      ; condición no salto a comprobación en la banda de 18.5°C
           goto    T25LL        ; condición si -> salto a verificar ADRESL del ADC

T25LL:    movlw    b'11111111' ; valor máximo que puede tener ADRESL -> 25°C

T25LOOPL: movwf   VVART        ; se guarda el valor de W en VVART
           movf    VVART,W      ; and con el complemento de ADRESL obtenido del ADC
           andwf   CVTEMPL,W    ; si Z = 1 SUMA 1, si es 0 decremента el valor
           btfss   STATUS,Z      ; condición no Z = 0
           goto    DECVAL25     ; condición si Z = 1
           call    RESTA1

           return

DECVAL25: movf      VVART,W      ; se carga a W el valor de VVAR
           andlw    b'10000100' ; 1010000100 es el complemento a 1 de 0101111011b
           ; que representa el valor de 18.5 en el ADC
           ; (valor mínimo de esta banda de voltaje)
           btfss   STATUS,Z      ; si Z=1 se debe decremंतरar o saltar a la comprobación
           goto    DEC25        ; de la banda de igualación,
           ; condición no -> decremंतरa 1 a VVAR
           goto    VCTERM5

DEC25:    decf      VVART,W      ; decremंतरa 1 a VVART
           movwf   VVART        ; valor decremंतरado se lo carga en W
           goto    T25LOOPL     ; regresamos al lazo de la banda de flotación bajo

```

----- T = 18.5 A 12°C -----

```

VCTERM5:  movlw    b'00000001' ; valor correspondiente a 18.5°C
           movwf   VVART        ; se guarda en VVAR el valor anterior
T18LOOPH: movf      VVART,W      ; and con el complemento a 1 del valor del ADC para que
           andwf   CVTEMPH,W    ; se obtenga en STATUS, Z=1
           btfss   STATUS,Z      ; si Z=1 para saber si ADRESH es igual al valor de 12°C
           ; si Z=1 T25LL, sino salta a la banda de baja tensión
           goto    VC1TERM5     ; condición no salto a comprobación en la banda de 12°C
           goto    T18LL        ; condición si -> salto a verificar ADRESL del ADC

T18LL:    movlw    b'01111011' ; valor máximo que puede tener ADRESL -> 18.5°C

T18LOOPL: movwf   VVART        ; se guarda el valor de W en VVART
           movf    VVART,W      ; and con el complemento de ADRESL obtenido del ADC
           andwf   CVTEMPL,W    ; si Z = 1 SUMA 1, si es 0 decremंतरa el valor
           btfss   STATUS,Z      ; condición no Z = 0
           goto    DECVAL18

```

```

call          RESTA2          ; condición si Z = 1
return

DECVAL18:    movf             VVART,W          ; se carga a W el valor de VVAR
andlw        b'11111111'      ;1100001001 es el complemento a 1 de 0011110110b

btfss       STATUS,Z
goto        DEC18            ; condición no -> decrementa 1 a VVAR

goto        PROBETL18

PROBETL18:   movf             VVART,W
andwf        CVTEMPL,W

btfss       STATUS,Z
goto        VC1TERM5
call        SUMA1

return

DEC18:       decf             VVART,W          ; decrementa 1 a VVART
movwf       VVART            ; valor decrementado se lo carga en W
goto        T18LOOPL        ; regresamos al lazo de la banda de flotación bajo

VC1TERM5:   movlw            b'00000000'      ; valor correspondiente a 18.5°C
movwf       VVART            ; se guarda en VVAR el valor anterior
T18LOOPH1:  movf             VVART,W
andwf        CVTEMPH,W      ; and con el complemento a 1 del valor del ADC para que
                                ; se obtenga en STATUS, Z=1

btfss       STATUS,Z
goto        PROBETH18        ; condición no salto a comprobación en la banda de 12°C
goto        T18LL1          ; condición si -> salto a verificar ADRESL del ADC

PROBETH18:  movf             CVTEMPH,W
andlw        b'00000001'
btfss       STATUS,Z
goto        VCTERM6

return

T18LL1:     movlw            b'11111111'      ; valor máximo que puede tener ADRESL -> 18.5°C

T18LOOPL1:  movwf             VVART            ; se guarda el valor de W en VVART
movf         VVART,W
andwf        CVTEMPL,W      ; and con el complemento de ADRESL obtenido del ADC

btfss       STATUS,Z          ; si Z = 1 SUMA 1, si es 0 decrementa el valor
goto        DECVAL181        ; condición no Z = 0
call        RESTA2          ; condición si Z = 1

return

DECVAL181:  movf             VVART,W          ; se carga a W el valor de VVAR
andlw        b'00001001'      ;1100001001 es el complemento a 1 de 0011110110b
                                ; que representa el valor de 12°C en el ADC
                                ; (valor mínimo de esta banda de voltaje)

btfss       STATUS,Z
goto        DEC181          ; condición no -> decrementa 1 a VVAR

goto        PROBETH18

DEC181:     decf             VVART,W          ; decrementa 1 a VVART
movwf       VVART            ; valor decrementado se lo carga en W
goto        T18LOOPL1       ; regresamos al lazo de la banda de flotación bajo

;----- T = 12.0 A 5.5°C -----

VCTERM6:   movlw            b'00000000'      ; valor correspondiente a 12.0°C
movwf       VVART            ; se guarda en VVAR el valor anterior

```

```

T12LOOPH:    movf      VVART,W
              andwf    CVTEMPH,W      ; and con el complemento a 1 del valor del ADC para que
              ; se obtenga en STATUS, Z=1
              btfs    STATUS,Z        ; comprueba si Z=1, ADRESH es igual a 12.0°C , si
              goto    VCTERM7        ; condición no salto a comprobación en la banda de 5.5°C
              goto    T12LL         ; condición si -> salto a verificar ADRESL del ADC

T12LL:       movlw    b'11110110'    ; valor máximo que puede tener ADRESL -> 12.0°C

T12LOOPL:    movwf    VVART          ; se guarda el valor de W en VVART
              movf    VVART,W
              andwf    CVTEMPL,W      ; and con el complemento de ADRESL obtenido del ADC
              btfs    STATUS,Z        ; condición no Z = 0
              goto    DECVAL12
              call    RESTA3
              return

DECVAL12:    movf    VVART,W          ; se carga a W el valor de VVAR
              andlw   b'10001110'    ; 1110001110 es el valor a 1 de 0001110001b
              ; que representa el valor de 5.5°C en el ADC
              ; (valor mínimo de esta banda de voltaje)
              btfs    STATUS,Z
              goto    DEC12          ; condición no -> decrementa 1 a VVAR
              goto    VCTERM7

DEC12:       decf    VVART,W          ; decrementa 1 a VVART
              movwf   VVART          ; valor decrementado se lo carga en W
              goto    T12LOOPL      ; regresamos al lazo de la banda de flotación bajo

```

----- T = 5.5 A 0°C -----

```

VCTERM7:    movlw    b'00000000'    ; valor correspondiente a 5.5°C
              movwf   VVART          ; se guarda en VVAR el valor anterior

T5LOOPH:    movf    VVART,W
              andwf    CVTEMPH,W
              btfs    STATUS,Z        ; si Z=1, ADRESH es igual al valor de 5.5°C
              goto    DECONEX       ; condición no -> salto a DESCONEX
              goto    T5LL         ; condición si -> salto a verificar ADRESL del ADC

T5LL:       movlw    b'01110001'    ; valor máximo que puede tener ADRESL -> 5.5°C

T5LOOPL:    movwf    VVART          ; se guarda el valor de W en VVART
              movf    VVART,W
              andwf    CVTEMPL,W
              btfs    STATUS,Z        ; condición no Z = 0
              goto    DECVAL5
              call    RESTA4
              return

DECVAL5:    movf    VVART,W          ; se carga a W el valor de VVAR
              andlw   b'11111111'    ; 1111111111 es el complemento a 1 de 0000000000b
              ; que representa el valor de 5.5°C en el ADC
              ; (valor mínimo de esta banda de voltaje)
              btfs    STATUS,Z
              goto    DEC5          ; condición no -> decrementa 1 a VVAR
              goto    DECONEX

DEC5:       decf    VVART,W          ; decrementa 1 a VVART
              movwf   VVART          ; valor decrementado se lo carga en W
              goto    T5LOOPL      ; regresamos al lazo de la banda de flotación bajo

```

;

=====

```

DECONEX:    movlw    b'10000000'
              movwf   PORTB

```

```

        movlw      b'00000001'
        movwf     PORTD
        return

;----- INICIO DEL PROGRAMA DEL CONTROLADOR -----

START:   clrf      PORTA
        movlw     b'10000001'
        movwf    PORTB
        clrf     PORTC
        clrf     PORTD
        clrf     PORTE

        bsf      STATUS,RP0      ; seteo al banco 1
        bcf      STATUS,RP1

;----- seteo para que RA0, RA1, RA2, RA3 y RA5 sean entradas analógicas -----

        movlw     b'00101111'    ; RA0 -> sensor de voltaje de la bateria 0 - 16.7
                                   ; RA1 -> sensor de voltaje de la bateria 0 - 33.4
                                   ; RA2 -> sensor de voltaje del panel 0 - 16.7
                                   ; RA3 -> sensor de voltaje del panel 0 - 33.4
                                   ; RA5 -> sensor de temperatura LM35
        movwf    TRISA

        movlw     b'00000110'    ; RE1 -> sensor de voltaje del panel 0 - 33.4
                                   ; RE2 -> sensor de voltaje de la bateria 0 - 33.4
        movwf    TRISE

        clrf     TRISB          ; Puerto B como salida
        clrf     TRISC          ; Puerto C como salida
        clrf     TRISD          ; Puerto D como salida

;----- Seteo del TMR0 -----

        movlw     b'11000111'
        movwf    OPTION_REG

;----- Seteo del ADC -----

INITBUCL: bcf      STATUS,RP0      ; reseteo al banco 0
        bsf      INTCON,PEIE
        bsf      STATUS,RP0      ; seteo al banco 1
        bcf      STATUS,RP1
        bsf      PIE1,ADIE
        movlw     b'10000000'    ; justificación a la derecha del registro
        movwf    ADCON1          ; Todas entradas analógicas

;----- exploración del nivel de voltaje en la bateria -----

        bcf      STATUS,RP0      ; vuelta al banco 0
        movlw     b'10110001'    ; Activación del conversor, fosc/32
        movwf    ADCON0          ; activado el canal RE2 sensor de la bateria 33.4 a 0.0 [V]
        bcf      PIR1,ADIF        ; reset del flag del conversor
        bsf      ADCON0,GO        ; inicio de conversión

ADCWAIT: btfss    PIR1,ADIF        ; bloque de decisión si terminó salta la siguiente línea
        goto     ADCWAIT
        bsf      STATUS,RP0      ; seteo al banco 1
        bcf      STATUS,RP1

        movf     ADRESL,W
        bcf      STATUS,RP0
        movwf    VBATL          ; dato de voltaje guardado en el registro VBATL
        comf    VBATL,W          ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATL
        movwf    CVBATL         ; valor complementado de VBATL almacenado en CVBATL

        bcf      STATUS,RP0      ; regreso al banco 0

```

```

movf      ADRESH,W
movwf    VBATH      ; dato de voltaje guardado temporalmente en VBATH
comf     VBATH,W    ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATH
movwf    CVBATH     ; valor complementado deVBATH almacenado en CVBATH

;----- exploración del nivel de voltaje en el panel -----

bcf      STATUS,RP0 ; vuelta al banco 0
movlw   b'10111001' ; Activación del convertor, fosc/32
movwf   ADCON0      ; activado el canal RE1 sensor del panel 33.4 a 0.0 [V]
bcf     PIR1,ADIF   ; reset del flag del convertor
bsf     ADCON0,GO   ; inicio de conversión

ADCWAITPA: btfss   PIR1,ADIF ; bloque de decisión si terminó salta la siguiente línea
goto    ADCWAITPA
bsf     STATUS,RP0 ; seteo al banco 1
bcf     STATUS,RP1
movf    ADRESL,W
bcf     STATUS,RP0
movwf   VPANL      ; dato de voltaje guardado temporalmente en VBATL
comf    VPANL,W    ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATL
movwf   CVPANL     ; valor complementado de VBATL almacenado en CVBATL

bcf     STATUS,RP0 ; regreso al banco 0
movf    ADRESH,W
movwf   VPANH      ; dato de voltaje guardado temporalmente en VBATH
comf    VPANH,W    ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATH
movwf   CVPANH     ; valor complementado de VBATH almacenado en CVBATH

;----- selección del nivel de voltaje para la batería -----

NBBAT:   movlw   b'00000011' ; ADRESH para 33.4 [V]
movwf   VVARB      ; se guarda en VVAR el valor de 33.4 de ADRESH
NBLOOPH: movf    VVARB,W
andwf   CVBATH,W  ; and con el complemento a 1 del valor del ADC para que
; se obtenga en el registro STATUS, Z=1

btfss   STATUS,Z
goto    DECVALBHNB ; condición no -> salto a comprobación de 00000010
goto    ADCUNO     ; condición si -> salto a verificar panel de 24 [V]

DECVALBHNB: movlw   b'00000010'
movwf   VVARB
movf    VVARB,W
andwf   CVBATH,W
btfss   STATUS,Z
;

goto    ADCDOS     ; condición si Z = 0 salto a verificar panel de 12 [V]
goto    NBLOOPL

NBLOOPL: movf    VBATL,W
andlw   b'11111111' ; complemento de ADRESL para 16.7 [V]
btfss   STATUS,Z
goto    ADCUNO     ; condición no Z = 0 salto a verificar panel de 24 [V]
goto    ADCDOS     ; condición si Z = 1 salto a verificar panel de 12 [V]

;----- selección del nivel de voltaje del panel para batería de 24 [V] -----

ADCUNO:   movlw   b'00000011' ; ADRESH para 33.4 [V]
movwf   VVARP      ; se guarda en VVAR 33.4 de ADRESH del ADC
NPLOOPH: movf    VVARP,W
andwf   CVPANH,W  ; and con el complemento a 1
btfss   STATUS,Z  ; comprueba si Z=1 para saber si ADRESH es igual a 33.4
goto    DECVALP1NB ; condición no -> salto a comprobación de 00000010
goto    ADCUNOON  ; condición si -> salto a verificar ADRESL del ADC

DECVALP1NB: movlw   b'00000010'
movwf   VVARP
movf    VVARP,W
andwf   CVPANH,W  ; and con el complemento a 1

btfss   STATUS,Z  ; comprobación del valor mínimo que puede tener ADRESH
; de voltaje
goto    NOPANEL   ; condición no -> salto a utilizar el ADC de 16.7 a 0 [V]

```

```

                goto          NPLOOPL          ; condición si -> salto a verificar ADRESL del ADC canal 7
NPLOOPL:      movf          VPANL,W
                andlw       b'11111111'      ; complemento de ADRESL para 16.7 [V]

                btfss      STATUS,Z          ; comprobación del valor mínimo que puede tener ADRESH
                goto       ADCUNOON         ; condición no Z = 0
                goto       NOPANEL         ; condición si Z = 1

```

----- selección del nivel de voltaje del panel para batería de 12 [V] -----

```

ADCDOS:      movlw        b'00000011'      ; ADRESH para 33.4 [V]
                movwf     VVARP            ; se guarda en VVARP 33.4 de ADRESH del ADC
NP2LOOPH:    movf        VVARP,W
                andwf     CVPANH,W        ; and con el complemento a 1
                btfss    STATUS,Z          ; comprueba si Z=1 para saber si ADRESH es igual a 33.4
                goto     DECVALP2NB       ; condición no -> salto a comprobación de 00000010
                goto     NOPANEL         ; condición si -> salto a verificar ADRESL del ADC

DECVALP2NB:  movlw        b'00000010'
                movwf     VVARP
                movf      VVARP,W
                andwf     CVPANH,W        ; and con el complemento a 1
                btfss    STATUS,Z          ; comprobación del valor mínimo que puede tener ADRESH
                goto     ADCDOSON         ; condición no -> salto a utilizar el ADC de 16.7 a 0 [V]
                goto     NP2LOOPL        ; condición si -> salto a verificar ADRESL del ADC canal 7

NP2LOOPL:    movf        VPANL,W
                andlw     b'11111111'      ; complemento de ADRESL para 16.7 [V]

                btfss    STATUS,Z          ; si Z = 1 V= 16.7, pasa al rango de baterías de 12 V
                goto     NOPANEL         ; condición no Z = 0
                goto     ADCDOSON        ; condición si Z = 1

```

----- Desonexión del panel por no tener igual voltaje con la batería -----

```

NOPANEL:     movlw        b'10000001'      ; carga OFF panel OFF
                movwf     PORTB
                goto     INITBUCLE        ; en ciclo hasta que el panel y batería sea adecuada

ADCUNOON:    movlw        b'10001001'
                movwf     ADCACT
                goto     BUCLE

ADCDOSON:    movlw        b'10000001'
                movwf     ADCACT
                goto     BUCLE

```

----- INICIO DE CICLO PRINCIPAL DE CONTROL DE CARGA DE BATERIA -----

```

BUCLE:       bcf          STATUS,RP0        ; vuelta al banco 0

                movf      ADCACT,W
                movwf     ADCON0            ; canal RE2 sensor de voltaje de la batería 33.4 a 0.0 [V]
                bcf      PIR1,ADIF         ; reset del flag del conversor
                bsf      ADCON0,GO         ; inicio de conversión

ADCWAIT24:   btfss      PIR1,ADIF         ; bloque de decisión si terminó salta la siguiente línea
                goto     ADCWAIT24
                bsf      STATUS,RP0        ; seteo al banco 1
                bcf      STATUS,RP1

                movf      ADRESL,W
                bcf      STATUS,RP0
                movwf     VBATL            ; dato de voltaje guardado temporalmente en VBATL
                comf     VBATL,W          ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATL
                movwf     CVBATL         ; valor complementado de VBATL almacenado en CVBATL

                bcf      STATUS,RP0        ; regreso al banco 0
                movf     ADRESH,W

```



```

movwf VBATH ; dato de voltaje guardado temporalmente en VBATH
comf VBATH,W ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATH
movwf CVBATH ; valor complementado de VBATH almacenado en CVBATH

call LM35

;----- COMPARACION DE NIVELES DE VOLTAJE PARA SELECCION DE MODO DE CARGA -----
MCBAT: movlw b'00000011' ; valor máximo de ADRESH
movwf VVAR ; se guarda el valor de W en VVAR
MCLOOPH: movf VVAR,W
andwf CVBATH,W ; comprueba si el valor de ADRESH obtenido del conversor
; pertenece a esta banda de voltaje

btfs STATUS,Z
goto BOOSTCH ; NO, entonces entra en modo de carga profunda
goto MCL ; SI, entonces comprueba el valor de ADRESL
; pertenece a esta banda de voltaje

MCL: movlw b'11111111' ; valor máximo de ADRESL para esta banda de voltaje

MCLOOPL: movwf VVAR ; se guarda el valor de W en VVAR
movf VVAR,W
andwf CVBATL,W ; comprueba si el valor de ADRESL obtenido del conversor
; pertenece a esta banda de voltaje

btfs STATUS,Z
goto DECVLBLMC ;
goto FLOATCH ; SI, entonces realiza la acción de control correspondiente

DECVLBLMC: movf VVAR,W
andlw b'10110001' ; 00 1011 0001 es el complemento a 1 de 11 0100 1110
; que representa el valor de 13.8 en el ADC
; (valor mínimo de esta banda de voltaje)

btfs STATUS,Z
goto DECVVARCH1 ; condición no -> decrementa 1 a VVAR
goto BOOSTCH ; SI -> límite mínimo de la banda de tensión alta

DECVVARCH1: decf VVAR,W ; decrementa 1 a VVAR
movwf VVAR
goto MCLOOPL ; regresamos al lazo de la banda de tensión alta bajo

;----- MODO DE CARGA PROFUNDA -----
BOOSTCH: bsf STATUS,RP0
bcf STATUS,RP1
movlw b'10000000' ; justificación a la derecha del registro
movwf ADCON1 ; Todas entradas analógicas
bcf STATUS,RP0 ; vuelta al banco 0

movf ADCACT,W
movwf ADCON0 ;
bcf PIR1,ADIF ; reset del flag del conversor
bsf ADCON0,GO ; inicio de conversión

ADCWAITCH: btfs PIR1,ADIF ; bloque de decisión si terminó salta la siguiente línea
goto ADCWAITCH

bsf STATUS,RP0 ; seteo al banco 1
bcf STATUS,RP1

movf ADRESL,W
bcf STATUS,RP0
movwf VBATL ; dato de voltaje guardado temporalmente en VBATL
comf VBATL,W ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATL
movwf CVBATL ; valor complementado de VBATL almacenado en CVBATL

bcf STATUS,RP0 ; regreso al banco 0
movf ADRESH,W
movwf VBATH ; dato de voltaje guardado temporalmente en VBATH
comf VBATH,W ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATH
movwf CVBATH ; valor complementado de VBATH almacenado en CVBATH

```

```

                call                IMPREDOCE

;----- comprobación del nivel de voltaje de 15 mientras la batería no tenga ese valor
;----- o un mayor valor la carga no se conecta

BCHH1:         movlw                b'00000011'    ; ADRESH para 15 [V]
               movwf               VVAR           ; se guarda en VVAR el valor de 15 de ADRESH del ADC
BCHLOOPH1:    movf                  VVAR,W
               andwf                CVBATH,W      ; and con el complemento a 1 del valor del ADC
               btfss               STATUS,Z      ; comprueba si Z=1 para saber si ADRESH es igual a 15
               goto                 BSTCYCLE      ; condición no -> continua en carga profunda
               goto                 BCHL1         ; condición si -> salto a verificar ADRESL del ADC

BCHL1:         movlw                b'10010111'    ; valor máximo que puede tener ADRESL -> 15 [V]

BCHLOOPL1:    movwf               VVAR           ; se guarda el valor de W en VVAR
               movf                  VVAR,W
               andwf                CVBATL,W     ; and con el complemento de ADRESL obtenido del ADC
               btfss               STATUS,Z      ; si Z = 1 PANELFL, si es 0 decreenta el valor

               goto                 DECVALBCHL1   ; condición no Z = 0

               call                 CTRL_EQU

               goto                 MAXVEQ

;----- comprobación de valor maximo de carga 15 V -----

MAXVEQ:       call                 MDELAY

MAXTBAT:      movlw                b'00000011'    ; valor máximo de ADRESH para esta banda de voltaje
               movwf               VVAR           ; se guarda el valor de W en VVAR
MAXTLOOPH:    movf                  VVAR,W
               andwf                CVBATH,W     ; si el valor de ADRESH obtenido del conversor pertenece
               ; a esta banda de voltaje

               btfss               STATUS,Z
               goto                 BOOSTCH      ; NO, entonces busca en la banda de menos voltaje
               goto                 MAXTL        ; SI, entonces comprueba ADRESL obtenido del conversor
               ; pertenezca a esta banda de voltaje

MAXTL:        movlw                b'11111111'    ; valor máximo de ADRESL para esta banda de voltaje

MAXTLOOPL:    movwf               VVAR           ; se guarda el valor de W en VVAR
               movf                  VVAR,W
               andwf                CVBATL,W     ; si el valor de ADRESL obtenido del conversor pertenece
               ; a esta banda de voltaje

               btfss               STATUS,Z
               goto                 DECVALMAXT   ; NO entonces comprueba si el valor obtenido del conversor
               goto                 FLOATCH      ; da inicio para el ciclo de control normal

DECVALMAXT:   movf                  VVAR,W
               andlw                b'01101000'   ; 00 0110 1000 es el complemento a 1 de 11 1001 0111
               ; que representa el valor de 15.0 en el ADC
               ; (valor mínimo de esta banda de voltaje)

               btfss               STATUS,Z
               goto                 DECVVARMAX   ; condición no -> decreenta 1 a VVAR
               goto                 BOOSTCH      ; SI -> límite mínimo de la banda de tensión alta

DECVVARMAX:   decf                  VVAR,W        ; decreenta 1 a VVAR
               movwf               VVAR
               goto                 MAXTLOOPL    ; regresamos al lazo de la banda de tensión alta bajo

;-----

DECVALBCHL1:  movf                  VVAR,W
               andlw                b'10001100'   ; valor mínimo de voltaje 14.4
               btfss               STATUS,Z
               goto                 DECVVAREC
               goto                 BSTCYCLE

```

```

DECVVAREC:    decf          VVAR,W
               movwf       VVAR
               goto        BCHLOOP1

BSTCYCLE:     movlw       b'10000000'    ; carga OFF panel ON
               movwf      PORTB

               movlw       b'00101000'    ;
               movwf      PORTD
               goto        BOOSTCH

;----- MODO DE TRABAJO NORMAL -----
;----- banda de voltaje para determinar tensión alta: 16.7 - 15.0 [V] -----
;----- palabra digital correspondiente en ADRESH y ADRESL   a 16.7 [V] -> 5.000 [V] ->00000011 11111111
;
;               a 15.0048 [V] -> 4.495 [V] ->00000011 10011000

FLOATCH:     bcf          STATUS,RP0    ; reseteo al banco 0
               bsf          INTCON,PEIE
               bsf          STATUS,RP0    ; seteo al banco 1
               bcf          STATUS,RP1
               bsf          PIE1,ADIE
               movlw       b'10000000'    ; justificación a la derecha del registro
               movwf      ADCON1          ; Todas entradas analógicas

;----- exploración del nivel de voltaje en la batería -----
;
;               bcf          STATUS,RP0    ; vuelta al banco 0
;               movlw       b'10000001'    ; Activación del convertor, fosc/32
;
;               movf        ADCACT,W
;               movwf      ADCON0          ; activado el canal RA1 sensor de la batería 16.7 a 0.0 [V]
;               bcf        PIR1,ADIF      ; reset del flag del convertor
;               bsf        ADCON0,GO      ; inicio de conversión

ADCWAITF:    btfss       PIR1,ADIF      ; bloque de decisión si terminó salta la siguiente línea
               goto        ADCWAITF
               bsf        STATUS,RP0      ; seteo al banco 1
               bcf        STATUS,RP1

               movf        ADRESL,W
               bcf        STATUS,RP0
               movwf      VBATL           ; dato de voltaje guardado temporalmente en VBATL
               comf       VBATL,W         ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATL
               movwf      CVBATL         ; valor complementado del nivel de VBATL almacenado en

CVBATL
               bcf        STATUS,RP0      ; regreso al banco 0
               movf        ADRESH,W
               movwf      VBATH          ; dato de voltaje guardado temporalmente en VBATH
               comf       VBATH,W         ; complemento a 1 del valor del nivel de VBATH
               movwf      CVBATH         ; valor complementado de VBATH almacenado en CVBATH

               call       IMPREDOCE

;----- banda de voltaje para determinar tensión alta: 16.7 - 15.2 [V] -----

ATBAT:       movlw       b'00000011'    ; valor máximo de ADRESH para esta banda de voltaje
               movwf      VVAR           ; se guarda el valor de W en VVAR
ATLOOPH:     movf        VVAR,W
               andwf      CVBATH,W       ; comprueba si el valor de ADRESH obtenido del convertor
;
;               btfss       STATUS,Z
               goto        BCBAT         ; NO, entonces busca en la banda de menos voltaje

```

```

goto ATL ; SI
ATL: movlw b'11111111' ; valor máximo de ADRESL para esta banda de voltaje
ATLOOPL: movwf VVAR ; se guarda el valor de W en VVAR
movf VVAR,W
andwf CVBATL,W ; comprueba si el valor de ADRESL obtenido del conversor
; pertenece a esta banda de voltaje
btfss STATUS,Z
goto DECVLALBLAT ; NO, entonces comprueba si el valor obtenido del
; conversor es igual al mínimo de esta banda de voltaje
call CONTROL_AT ; SI,
call DELAYIMP
goto FLOATCH ; luego de lo cual regresa al inicio para otro ciclo de control
DECVLALBLAT: movf VVAR,W
andlw b'01101000' ; 00 0101 0111 es el complemento a 1 de 11 1010 1000
; que representa el valor de 15.2 en el ADC
; (valor mínimo de esta banda de voltaje)
btfss STATUS,Z
goto DECVVAR1 ; condición no -> decreuenta 1 a VVAR
goto BCBAT ; SI -> límite mínimo de la banda de tensión alta
DECVVAR1: decf VVAR,W ; decreuenta 1 a VVAR
movwf VVAR
goto ATLOOPL ; regresamos al lazo de la banda de tensión alta bajo

```

```

;----- banda de voltaje para determinar batería cargada: 15.2 - 14.8 [V] -----
;----- palabra digital correspondiente en ADRESH y ADRESL a 15.2 [V] -> 4.550 [V] ->00000011 10101000

```

```

; a 14.8 [V] -> 4.427 [V] ->00000011 10001100
BCBAT: movlw b'00000011' ; valor máximo de ADRESH para esta banda de voltaje
movwf VVAR ; se guarda el valor de W en VVAR
BCLOOPH: movf VVAR,W
andwf CVBATH,W ; comprueba si el valor de ADRESH obtenido del conversor
; pertenece a esta banda de voltaje
btfss STATUS,Z
goto ABSBAT ; NO, entonces busca en la banda de menos voltaje
goto BCL ; SI, entonces comprueba ADRESH obtenido del conversor
; pertenezca a esta banda de voltaje
BCL: movlw b'10101000' ; valor máximo de ADRESL para esta banda de voltaje
BCLOOPL: movwf VVAR ; se guarda el valor de W en VVAR
movf VVAR,W
andwf CVBATL,W ; comprueba si el valor de ADRESL obtenido del conversor
; pertenece a esta banda de voltaje
btfss STATUS,Z
goto DECVLALBLC ; NO, entonces comprueba si el valor obtenido del conversor
; es igual al valor mínimo de esta banda de voltaje
call CONTROL_BC ; SI
call DELAYIMP
goto FLOATCH ; luego de lo cual regresa al inicio para otro ciclo de control
DECVLALBLC: movf VVAR,W
andlw b'01110011' ; 00 0111 0011 es el complemento a 1 de 11 1000 1100
; que representa el valor de 14.8 en el ADC
; (valor mínimo de esta banda de voltaje)
btfss STATUS,Z
goto DECVVAR2 ; condición no -> decreuenta 1 a VVAR
goto ABSBAT ; SI -> límite mínimo de la banda de tensión alta
DECVVAR2: decf VVAR,W ; decreuenta 1 a VVAR
movwf VVAR
goto BCLOOPL ; regresamos al lazo de la banda de tensión alta bajo

```

```

;----- banda de absorción 14.8 - 13.8 [V] -----
;----- palabra digital correspondiente en ADRESH y ADRESL a 14.8 [V] -> 4.491 [V] ->00000011 10001100

```

```

; a 14.4 [V] -> 4.309 [V] ->00000011 01110011
ABS BAT:    movlw    b'00000011'    ; valor máximo de ADRESH para esta banda de voltaje
            movwf   VVAR            ; se guarda el valor de W en VVAR
ABS LOOPH:  movf    VVAR,W          ;
            andwf   CVBATH,W       ; comprueba si ADRESH obtenido del conversor pertenece
            ; a esta banda de voltaje

            btfss   STATUS,Z       ;
            goto    FLBAT          ; NO, entonces busca en la banda de menos voltaje
            goto    ABSL           ; SI, entonces comprueba si ADRESL obtenido del
            ; conversor pertenezca a esta banda de voltaje

ABS L:      movlw    b'10001100'    ; valor máximo de ADRESL para esta banda de voltaje

ABS LOOPL:  movwf   VVAR            ; se guarda el valor de W en VVAR
            movf    VVAR,W          ;
            andwf   CVBATL,W       ; comprueba si ADRESL obtenido del conversor pertenece
            ; a esta banda de voltaje

            btfss   STATUS,Z       ;
            goto    DECVALBLAB     ; NO, entonces comprueba si el valor obtenido del conversor
            ; es igual al valor mínimo de esta banda de voltaje
            call    CONTROL_AB     ; SI
            goto    FLOATCH        ; luego de lo cual regresa al inicio para otro ciclo de control

DECVALBLAB: movf    VVAR,W          ;
            andlw   b'10110001'    ; 00 1000 1100 es el complemento a 1 de 11 0100 1110
            ; que representa el valor de 13.8 en el ADC
            ; (valor mínimo de esta banda de voltaje)

            btfss   STATUS,Z       ;
            goto    DEC VVAR3      ; condición no -> decrementa 1 a VVAR
            goto    FLBAT          ; SI -> límite mínimo de la banda de tensión alta

DEC VVAR3:  decf    VVAR,W          ; decrementa 1 a VVAR
            movwf   VVAR            ;
            goto    ABS LOOPL      ; regresamos al lazo de la banda de tensión alta bajo

;----- banda de flotación: 13.8 - 13.5 [V] -----
;----- palabra digital correspondiente en ADRESH y ADRESL a 13.8 [V] -> 4.131 [V] ->00000011 01001110
;
; a 13.5 [V] -> 4.041 [V] ->00000011 00111100

;----- Control en banda de flotación -----

FLBAT:     movlw    b'00000011'    ; valor máximo de ADRESH para esta banda de voltaje
            movwf   VVAR            ; se guarda el valor de W en VVAR
FL LOOPH:  movf    VVAR,W          ;
            andwf   CVBATH,W       ; comprueba si ADRESH obtenido del conversor pertenece
            ; a esta banda de voltaje

            btfss   STATUS,Z       ;
            goto    BTBAT          ; NO, entonces busca en la banda de menos voltaje
            goto    FLL           ; SI, entonces comprueba si el valor de ADRESL obtenido
            ; del conversor pertenezca a esta banda de voltaje

FLL:       movlw    b'01001101'    ; valor máximo de ADRESL para esta banda de voltaje

FL LOOPL:  movwf   VVAR            ; se guarda el valor de W en VVAR
            movf    VVAR,W          ;
            andwf   CVBATL,W       ; comprueba si ADRESL obtenido del conversor pertenece
            ; a esta banda de voltaje

            btfss   STATUS,Z       ;
            goto    DECVALBLFL     ; NO, entonces comprueba si el valor obtenido del
            ; conversor es igual al mínimo de esta banda de voltaje
            call    CONTROL_FL     ; SI
            goto    FLOATCH        ; luego de lo cual regresa al inicio para otro ciclo de control

DECVALBLFL: movf    VVAR,W          ;
            andlw   b'11000011'    ; 00 1100 0011 es el complemento a 1 de 11 0011 1100
            ; que representa el valor de 13.5 en el ADC
            ; (valor mínimo de esta banda de voltaje)

            btfss   STATUS,Z       ;
            goto    DEC VVAR5      ; condición no -> decrementa 1 a VVAR

```

```

                goto          BTBAT          ; SI -> límite mínimo de la banda de tensión alta

DECVVAR5:      decf          VVAR,W         ; decreuenta 1 a VVAR
                movwf       VVAR
                goto        FLLOOPL        ; regresamos al lazo de la banda de tensión alta bajo

;----- banda de baja tensión: 13.5 - 12.0 [V] -----
;----- palabra digital correspondiente en ADRESH y ADRESL a 13.5 [V] -> 4.041 [V] ->00000011 00111100
;
;                a 12.0 [V] -> 3.592 [V] ->00000010 11100000

BTBAT:        movlw        b'00000011'    ; ADRESH para 13.5 [V]
                movwf       VVAR
BTLOOPH:      movf         VVAR,W
                andwf       CVBATH,W

                btfs       STATUS,Z

                goto        BT1BAT
                goto        BTL

BTL:          movlw        b'00111100'    ; valor máximo de ADRESL para esta banda de voltaje

BTLOOPL:      movwf       VVAR            ; se guarda el valor de W en VVAR
                movf         VVAR,W
                andwf       CVBATL,W      ; comprueba si el valor de ADRESL obtenido del conversor
;                                           ; pertenece a esta banda de voltaje

                btfs       STATUS,Z
                goto        DECVALBLBT    ;NO, entonces comprueba si el valor obtenido del conversor
;                                           ; es igual al valor mínimo de esta banda de voltaje

                call        CONTROL_BT    ; SI
                goto        FLOATCH      ; luego de lo cual regresa al inicio para otro ciclo de control

DECVALBLBT:   movf         VVAR,W
                andlw       b'11111111'    ; 00 1111 1111 es complemento a 1 de 11 0000 0000
;                                           ; (valor mínimo de esta banda de voltaje)

                btfs       STATUS,Z
                goto        DECVVAR6     ; condición no -> decreuenta 1 a VVAR
                goto        PROOBBTL     ; SI -> límite mínimo de la banda de tensión alta

PROOBBTL:     movf         VVAR,W
                andwf       CVBATL,W
                btfs       STATUS,Z
                goto        BT1BAT
                call        CONTROL_BT

                goto        FLOATCH

DECVVAR6:     decf          VVAR,W         ; decreuenta 1 a VVAR
                movwf       VVAR
                goto        BTLOOPL      ; regresamos al lazo de la banda de tensión alta bajo

BT1BAT:       movlw        b'00000010'    ; ADRESH [V]
                movwf       VVAR
BT1LOOPH:     movf         VVAR,W
                andwf       CVBATH,W

                btfs       STATUS,Z

                goto        PROOBBTH1
                goto        BTL1

PROOBBTH1:    movf         CVBATH,W
                andlw       b'00000011'
                btfs       STATUS,Z
                goto        LOWBAT
                goto        FLOATCH

BTL1:         movlw        b'11111111'    ; valor máximo de ADRESL para esta banda de voltaje

BT1LOOPL:     movwf       VVAR            ; se guarda el valor de W en VVAR
                movf         VVAR,W

```

```

    andwf      CVBATL,W      ; comprueba si ADRESL obtenido del conversor pertenece
    btfs      STATUS,Z      ; a esta banda de voltaje
    goto      DECVALBLBT1
    call      CONTROL_BT
    goto      FLOATCH      ; SI
    ; luego de lo cual regresa al inicio para otro ciclo de control

DECVALBLBT1:  movf      VVAR,W
    andlw     b'00011111'    ; 01 0001 1111 es el complemento a 1 de 10 1110 0000
    ; que representa el valor de 12.0 en el ADC
    ; (valor mínimo de esta banda de voltaje)
    btfs      STATUS,Z
    goto      DECVVAR7      ; condición no -> decreuenta 1 a VVAR
    ; SI -> límite mínimo de la banda de tensión alta

DECVVAR7:    decf      VVAR,W      ; decreuenta 1 a VVAR
    movwf     VVAR
    goto      BT1LOOPL      ; regresamos al lazo de la banda de tensión alta bajo

;----- banda de batería descargada: 12.0 - 11.8 [V] -----
;----- palabra digital correspondiente en ADRESH y ADRESL a 12.0 [V] -> 3.592 [V] ->00000010 11100000
;
; a 11.8 [V] -> 3.532 [V] ->00000010 11010100

LOWBAT:      movlw     b'00000010' ; valor máximo de ADRESH para esta banda de voltaje
    movwf     VVAR              ; se guarda el valor de W en VVAR
BDLOOPH:    movf      VVAR,W
    andwf     CVBATH,W          ; comprueba si ADRESH obtenido del conversor pertenece
    ; a esta banda de voltaje
    btfs      STATUS,Z
    goto      LOADOFF          ; NO, entonces busca en la banda de menos voltaje
    ; SI, entonces comprueba si ADRESL obtenido del
    ; conversor pertenezca a esta banda de voltaje

LBMAYOR:    movlw     b'00000011'
    movwf     VVAR
    movf      VVAR,W
    andwf     CVBATH,W
    btfs      STATUS,Z
    goto      LOADOFF
    goto      FLOATCH

BDL:        movlw     b'11100000' ; valor máximo de ADRESL para esta banda de voltaje

BDLOOPL:    movwf     VVAR              ; se guarda el valor de W en VVAR
    movf      VVAR,W
    andwf     CVBATL,W          ; comprueba si ADRESL obtenido del conversor pertenece
    ; a esta banda de voltaje
    btfs      STATUS,Z
    goto      DECVALBLLB      ;NO, entonces comprueba si el valor obtenido del conversor
    ; es igual al valor mínimo de esta banda de voltaje
    ; SI
    call      CONTROL_BD
    goto      FLOATCH          ; luego de lo cual regresa al inicio para otro ciclo de control

DECVALBLLB:  movf      VVAR,W
    andlw     b'00101011'    ; 01 0010 1011 es el complemento a 1 de 10 1101 0100
    ; que representa el valor de 11.8 en el ADC
    ; (valor mínimo de esta banda de voltaje)
    btfs      STATUS,Z
    goto      DECVVAR8      ; condición no -> decreuenta 1 a VVAR
    ; SI -> límite mínimo de la banda de tensión alta

DECVVAR8:    decf      VVAR,W      ; decreuenta 1 a VVAR
    movwf     VVAR
    goto      BDLOOPL          ; regresamos al lazo de la banda de tensión alta bajo

```

```
;----- banda de desconexión de carga: 11.8 - 0.0 [V] -----  
;----- palabra digital correspondiente en ADRESH y ADRESL a 11.8 [V] -> 3.532 [V] ->00000010 11010100  
  
; a 0.0 [V] -> 0.0 [V] ->00000000 00000000  
  
LOADOFF:    movlw    b'10000000'    ; carga OFF panel ON  
            movwf   PORTB  
            goto    BOOSTCH  
  
            end
```



## ÍNDICE DE FIGURAS

• Figura 1.1: Tarifas promedio de electricidad en América Latina.	3
• Figura 1.2: Precios de corto plazo.	4
• Figura 1.3: Comunidad de Chiwias.	10
• Figura 1.4: Paneles ISOFOTON instalados por CODESO en la comunidad de Chiwias.	11
• Figura 1.5: Radiación solar sobre el planeta Tierra.	14
• Figura 1.6: Radiación solar promedio al año sobre el planeta.	14
• Figura 1.7: Radiación solar el norte de Sudamérica.	15
• Figura 1.8: Valores de radiación solar.	16
• Figura 1.9: Esquema de un sistema fotovoltaico domiciliario.	18
• Figura 2.1: El principio de la electricidad solar.	27
• Figura 2.2: Celda solar de silicio monocristalino.	28
• Figura 2.3: Celda solar de silicio policristalino.	29
• Figura 2.4: Celda solar de silicio amorfo.	29
• Figura 2.5: Módulo fotovoltaico portátil.	30
• Figura 2.6: Panel Solar Kyocera KC-TYPE KC80.	31
• Figura 2.7: Placa posterior del Panel Solar Kyocera KC80 utilizado para el presente proyecto.	32
• Figura 2.8: Controlador de carga ISOLER 20.	34
• Figura 2.9: Controlador de carga MINO V2.	34
• Figura 2.10: Varios tipos de inversores de corriente.	35
• Figura 2.11: Módulo de corriente alterna.	36
• Figura 2.12: Baterías para descarga profunda	38
• Figura 2.13: Batería Dynasty para UPS utilizada en el presente proyecto.	39
• Figura 3.1: Diagrama de bloques conceptual de las funciones de un controlador de carga.	42
• Figura 3.2: Ciclo de carga del regulador MINO V2.	50
• Figura 3.3: Especificaciones de la batería UPS 12-170 de Dynasty Division.	51
• Figura 3.4: Gráfica tensión vs. Tiempo de carga del controlador sobre la batería.	52

- Figura 3.5: Diagrama de bloques del controlador de carga. 56
- Figura 3.6: Organigrama del programa del controlador en ejecución. 60
- Figura 3.7: Fuente de 5 V para el controlador. 66
- Figura 3.8: Circuito de reset. 67
- Figura 3.9: Oscilador a cristal de 4 MHz. 67
- Figura 3.10: Conexión del sensor de temperatura LM35D. 68
- Figura 3.11: Diagrama de conexiones para el manejo de la carga y el generador. 70
- Figura 3.12: Diagrama de conexiones para visualización del nivel de voltaje por display. 72
- Figura 3.13: Diagrama de conexiones del controlador de carga. 73

## ÍNDICE DE TABLAS

• Tabla 1.1: Carga a ser alimentada por el SDF caso 1.	19
• Tabla 1.2: Costo de los componentes del SFD, caso 1	20
• Tabla 1.3: Carga a ser alimentada por el SDF caso 2	21
• Tabla 1.4: Costo de los componentes del SFD, caso 2	22
• Tabla 3.1: Especificaciones eléctricas base.	43
• Tabla 3.2: Especificaciones constructivas base.	43
• Tabla 3.3: Valores de maniobra del regulador MINO V2.	50
• Tabla 3.4: Valores de maniobra del controlador para el presente proyecto.	53
• Tabla 3.5: Acciones de control y señalización en ciclo de carga profunda.	54
• Tabla 3.6: Acciones de control y señalización en ciclo de trabajo normal.	55
• Tabla 3.7: Relaciones lineales entre diferentes escalas de voltaje y temperatura.	63
• Tabla 3.8: Compensación de la palabra digital con respecto a la temperatura.	64
• Tabla 3.9: Señalización del controlador.	71

## GLOSARIO

<b>acumulador:</b>	Dispositivo que acumula energía.
<b>amperio hora (ah) :</b>	Intensidad de corriente medida en amperios y multiplicada por el tiempo (horas) durante el cual la corriente se puede tomar desde la batería.
<b>ánodo:</b>	Polo o electrodo positivo de un generador o de un acumulador de electricidad.
<b>BCD:</b>	Código decimal codificado en binario.
<b>carga profunda:</b>	Ciclo de caga de la batería en el cual se busca el máximo estado de disociación del electrolito.
<b>cátodo:</b>	Polo negativo de un generador o de un acumulador de electricidad.
<b>ciclo</b>	Una carga y descarga.
<b>display:</b>	Circuito integrado conformado por ocho diodos emisores de luz que es capaz de mostrar números decimales
<b>ecualización:</b>	Ciclo de carga de la batería que pretende realizar una carga a menor intensidad hasta llegar al nivel máximo de voltaje.
<b>electrolito:</b>	Conductor que, al ser atravesado por la corriente eléctrica, da lugar a un transporte mensurable de materia y a fenómenos químicos en los electrodos.
<b>flotación:</b>	Ciclo de carga y descarga de la batería en el cual se trata de mantener en un nivel predeterminado el voltaje de funcionamiento del sistema, mediante la conexión o desconexión del generador.
<b>fotovoltaico:</b>	Efecto fotoeléctrico que se manifiesta como una variación en la fuerza electromotriz de algunas pilas voltaicas cuando es iluminada una de las superficies de contacto entre un material tipo N y uno tipo P

<b>generador:</b>	Circuito que produce señales de tensión o de corriente de forma, amplitud y frecuencia determinada y estable.
<b>igualación:</b>	Ver ecualización.
<b>inversor:</b>	Dispositivo que permite el cambio de corriente directa a corriente alterna.
<b>libre mantenimiento:</b>	Esto significa que no hay nunca necesidad de rellenar la batería con agua y que los electrodos no están sujetos a corrosión.
<b>PIC:</b>	Microcontrolador, circuito integrado programable
<b>plomo – ácido:</b>	Generador de fuerza electromotriz constituido por un ánodo de bióxido de plomo (electrodo positivo), un cátodo de plomo (polo negativo) y un electrolito de ácido sulfúrico diluido en agua.
<b>SFV:</b>	Sistema fotovoltaico autónomo.
<b>sobre-tensión:</b>	Exceso de tensión sobre el sistema.
<b>sobrecarga:</b>	Se denomina así al hecho de seguir cargando la batería después de estar ésta completamente cargada, lo cual acorta su durabilidad.
<b>UPS:</b>	(Uninterrupted power supply). Fuente de alimentación ininterrumpida.

## ÍNDICE DE DATA SHEETS

• PIC16F877.	135
• Regulador de voltaje LM7805.	151
• Sensor de temperatura LM35.	157
• MOSFET de potencia IRFZ34N.	164
• BCD 7 segmentos 74LS47.	172
• Transistor BJT 2N3904	176
• MOSFET de potencia IRF9540.	178



**MICROCHIP**

---

**PIC16F87X**  
**Data Sheet**

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH  
Microcontrollers



# PIC16F87X

## 28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

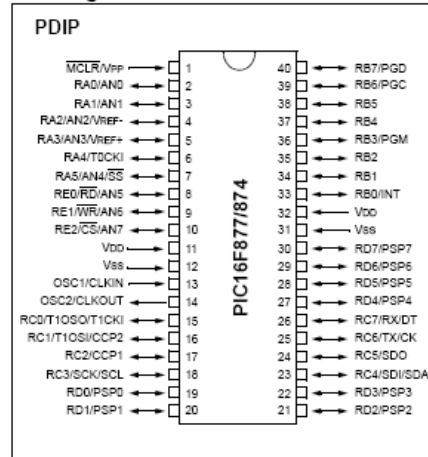
### Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F874
- PIC16F876
- PIC16F877

### Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input  
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,  
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)  
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and  
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC  
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM  
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two  
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature  
ranges
- Low-power consumption:
  - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
  - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
  - < 1 µA typical standby current

### Pin Diagram



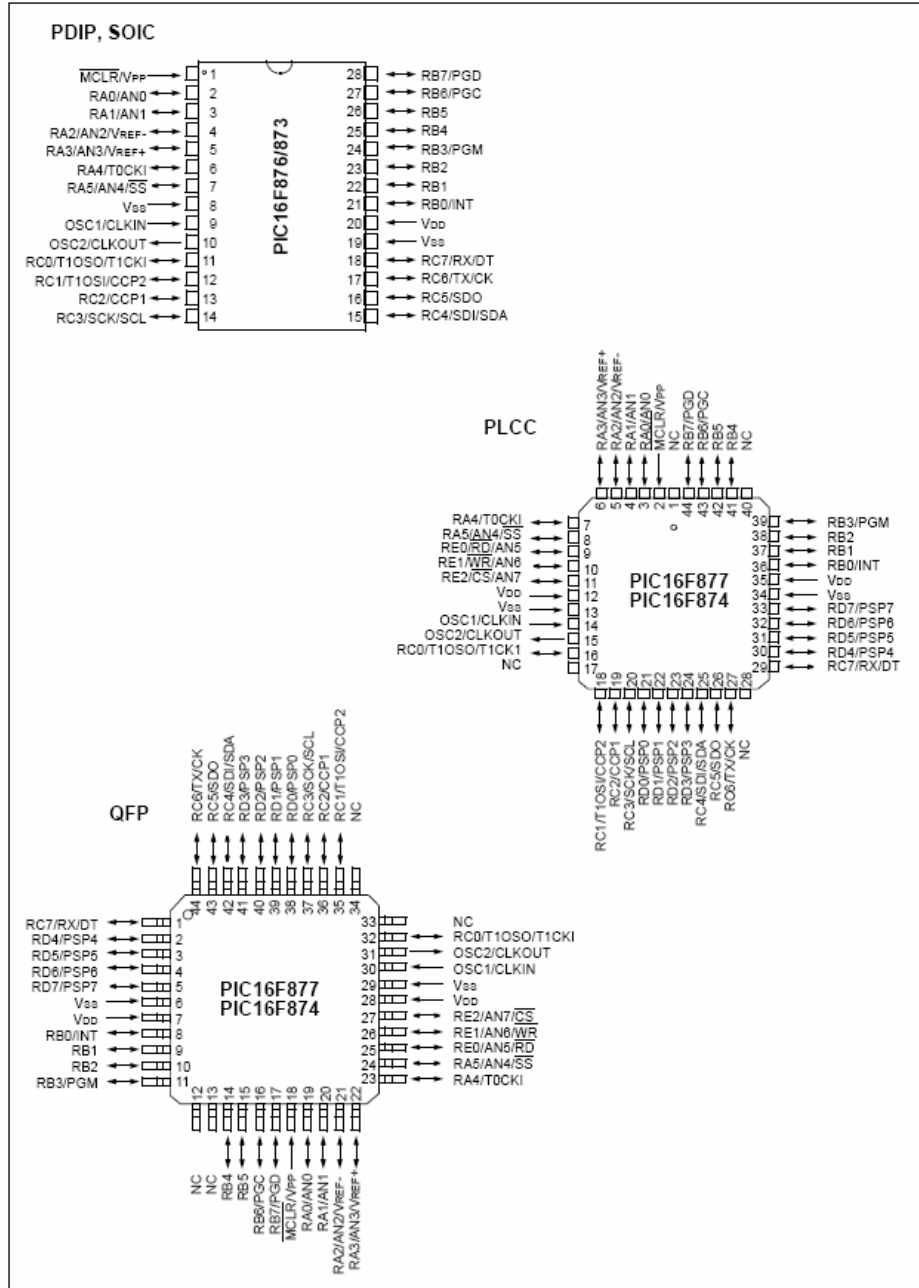
### Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,  
can be incremented during SLEEP via external  
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period  
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master  
mode) and I<sup>2</sup>C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver  
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address  
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with  
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for  
Brown-out Reset (BOR)



# PIC16F87X

## Pin Diagrams



## PIC16F87X

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz
RESETS (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 instructions	35 instructions	35 instructions	35 instructions

## PIC16F87X

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	13	14	30	I	ST/CMOS <sup>(4)</sup>	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	14	15	31	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP	1	2	18	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device.
RA0/AN0	2	3	19	I/O	TTL	PORTA is a bi-directional I/O port. RA0 can also be analog input0. RA1 can also be analog input1. RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage. RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage. RA4 can also be the clock input to the Timer0 timer/counter. Output is open drain type. RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.
RA1/AN1	3	4	20	I/O	TTL	
RA2/AN2/VREF-	4	5	21	I/O	TTL	
RA3/AN3/VREF+	5	6	22	I/O	TTL	
RA4/T0CKI	6	7	23	I/O	ST	
RA5/SS/AN4	7	8	24	I/O	TTL	
RB0/INT	33	36	8	I/O	TTL/ST <sup>(1)</sup>	PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. RB0 can also be the external interrupt pin.  RB3 can also be the low voltage programming input. Interrupt-on-change pin. Interrupt-on-change pin. Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock. Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.
RB1	34	37	9	I/O	TTL	
RB2	35	38	10	I/O	TTL	
RB3/PGM	36	39	11	I/O	TTL	
RB4	37	41	14	I/O	TTL	
RB5	38	42	15	I/O	TTL	
RB6/PGC	39	43	16	I/O	TTL/ST <sup>(2)</sup>	
RB7/PGD	40	44	17	I/O	TTL/ST <sup>(2)</sup>	

Legend: I = input    O = output    I/O = input/output    P = power  
 — = Not used    TTL = TTL input    ST = Schmitt Trigger input

- Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.  
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).  
 4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

## PIC16F87X

**TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)**

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RC0/T1OSO/T1CKI	15	16	32	I/O	ST	PORTC is a bi-directional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or a Timer1 clock input.
RC1/T1OSI/CCP2	16	18	35	I/O	ST	RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output.
RC2/CCP1	17	19	36	I/O	ST	RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.
RC3/SCK/SCL	18	20	37	I/O	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I <sup>2</sup> C modes.
RC4/SDI/SDA	23	25	42	I/O	ST	RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I <sup>2</sup> C mode).
RC5/SDO	24	26	43	I/O	ST	RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode).
RC6/TX/CK	25	27	44	I/O	ST	RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock.
RC7/RX/DT	26	29	1	I/O	ST	RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.
RD0/PSP0	19	21	38	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	PORTD is a bi-directional I/O port or parallel slave port when interfacing to a microprocessor bus.
RD1/PSP1	20	22	39	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RD2/PSP2	21	23	40	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RD3/PSP3	22	24	41	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RD4/PSP4	27	30	2	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RD5/PSP5	28	31	3	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RD6/PSP6	29	32	4	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RD7/PSP7	30	33	5	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	
RE0/ $\overline{\text{RD}}$ /AN5	8	9	25	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	PORTE is a bi-directional I/O port. RE0 can also be read control for the parallel slave port, or analog input5.
RE1/ $\overline{\text{WR}}$ /AN6	9	10	26	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	RE1 can also be write control for the parallel slave port, or analog input6.
RE2/ $\overline{\text{CS}}$ /AN7	10	11	27	I/O	ST/TTL <sup>(3)</sup>	RE2 can also be select control for the parallel slave port, or analog input7.
V <sub>ss</sub>	12,31	13,34	6,29	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
V <sub>DD</sub>	11,32	12,35	7,28	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	1,17,28,40	12,13,33,34	—	—	These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected.

Legend: I = input    O = output    I/O = input/output    P = power  
 — = Not used    TTL = TTL input    ST = Schmitt Trigger input

- Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.  
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).  
 4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

# PIC16F87X

## 5.0 TIMER0 MODULE

The Timer0 module timer/counter has the following features:

- 8-bit timer/counter
- Readable and writable
- 8-bit software programmable prescaler
- Internal or external clock select
- Interrupt on overflow from FFh to 00h
- Edge select for external clock

Figure 5-1 is a block diagram of the Timer0 module and the prescaler shared with the WDT.

Additional information on the Timer0 module is available in the PICmicro™ Mid-Range MCU Family Reference Manual (DS33023).

Timer mode is selected by clearing bit T0CS (OPTION\_REG<5>). In Timer mode, the Timer0 module will increment every instruction cycle (without prescaler). If the TMR0 register is written, the increment is inhibited for the following two instruction cycles. The user can work around this by writing an adjusted value to the TMR0 register.

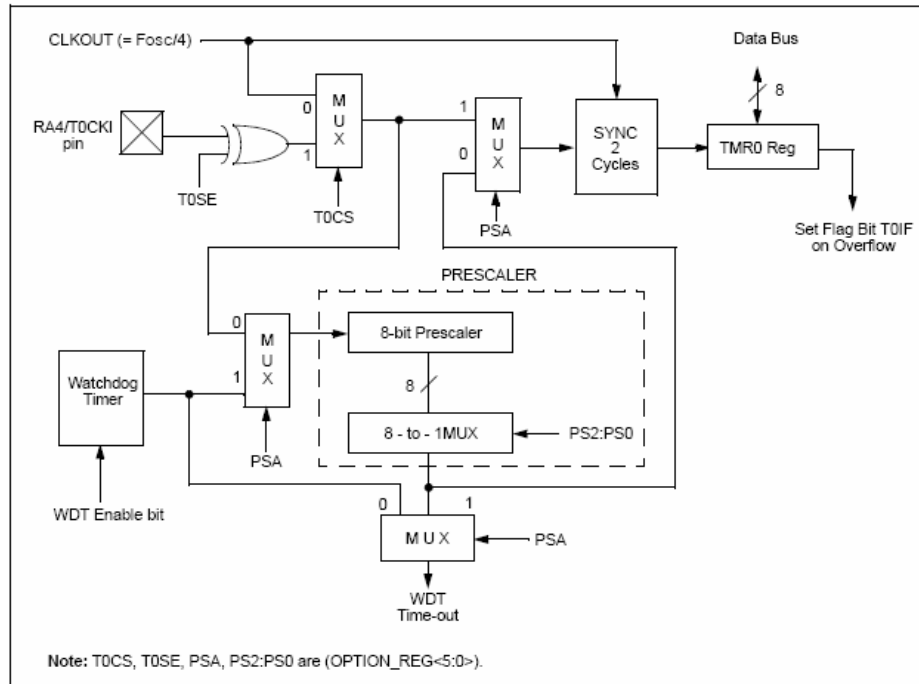
Counter mode is selected by setting bit T0CS (OPTION\_REG<5>). In Counter mode, Timer0 will increment either on every rising, or falling edge of pin RA4/T0CKI. The incrementing edge is determined by the Timer0 Source Edge Select bit, T0SE (OPTION\_REG<4>). Clearing bit T0SE selects the rising edge. Restrictions on the external clock input are discussed in detail in Section 5.2.

The prescaler is mutually exclusively shared between the Timer0 module and the Watchdog Timer. The prescaler is not readable or writable. Section 5.3 details the operation of the prescaler.

### 5.1 Timer0 Interrupt

The TMR0 interrupt is generated when the TMR0 register overflows from FFh to 00h. This overflow sets bit T0IF (INTCON<2>). The interrupt can be masked by clearing bit T0IE (INTCON<5>). Bit T0IF must be cleared in software by the Timer0 module Interrupt Service Routine before re-enabling this interrupt. The TMR0 interrupt cannot awaken the processor from SLEEP, since the timer is shut-off during SLEEP.

FIGURE 5-1: BLOCK DIAGRAM OF THE TIMER0/WDT PRESCALER



# PIC16F87X

## 5.2 Using Timer0 with an External Clock

When no prescaler is used, the external clock input is the same as the prescaler output. The synchronization of T0CKI with the internal phase clocks is accomplished by sampling the prescaler output on the Q2 and Q4 cycles of the internal phase clocks. Therefore, it is necessary for T0CKI to be high for at least 2Tosc (and a small RC delay of 20 ns) and low for at least 2Tosc (and a small RC delay of 20 ns). Refer to the electrical specification of the desired device.

Timer0 module means that there is no prescaler for the Watchdog Timer, and vice-versa. This prescaler is not readable or writable (see Figure 5-1).

The PSA and PS2:PS0 bits (OPTION\_REG<3:0>) determine the prescaler assignment and prescale ratio.

When assigned to the Timer0 module, all instructions writing to the TMR0 register (e.g. CLRF 1, MOVWF 1, BSF 1, x...etc.) will clear the prescaler. When assigned to WDT, a CLRWDT instruction will clear the prescaler along with the Watchdog Timer. The prescaler is not readable or writable.

## 5.3 Prescaler

There is only one prescaler available, which is mutually exclusively shared between the Timer0 module and the Watchdog Timer. A prescaler assignment for the

**Note:** Writing to TMR0, when the prescaler is assigned to Timer0, will clear the prescaler count, but will not change the prescaler assignment.

REGISTER 5-1: OPTION\_REG REGISTER

	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
	RBP	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
bit 7								bit 0
bit 7	<b>RBP</b>							
bit 6	<b>INTEDG</b>							
bit 5	<b>T0CS:</b> TMR0 Clock Source Select bit 1 = Transition on T0CKI pin 0 = Internal instruction cycle clock (CLKOUT)							
bit 4	<b>T0SE:</b> TMR0 Source Edge Select bit 1 = Increment on high-to-low transition on T0CKI pin 0 = Increment on low-to-high transition on T0CKI pin							
bit 3	<b>PSA:</b> Prescaler Assignment bit 1 = Prescaler is assigned to the WDT 0 = Prescaler is assigned to the Timer0 module							
bit 2-0	<b>PS2:PS0:</b> Prescaler Rate Select bits							
	Bit Value	TMR0 Rate	WDT Rate					
	000	1 : 2	1 : 1					
	001	1 : 4	1 : 2					
	010	1 : 8	1 : 4					
	011	1 : 16	1 : 8					
	100	1 : 32	1 : 16					
	101	1 : 64	1 : 32					
	110	1 : 128	1 : 64					
	111	1 : 256	1 : 128					

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

**Note:** To avoid an unintended device RESET, the instruction sequence shown in the PICmicro™ Mid-Range MCU Family Reference Manual (DS33023) must be executed when changing the prescaler assignment from Timer0 to the WDT. This sequence must be followed even if the WDT is disabled.

## PIC16F87X

TABLE 5-1: REGISTERS ASSOCIATED WITH TIMER0

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other RESETS
01h,101h	TMR0	Timer0 Module's Register								xxxx xxxx	uuuu uuuu
0Bh,8Bh, 10Bh,18Bh	INTCON	GIE	PEIE	T0IE	INTE	RBIE	T0IF	INTF	RBIF	0000 000x	0000 000u
81h,181h	OPTION_REG	RBPU	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0	1111 1111	1111 1111

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented locations read as '0'.  
Shaded cells are not used by Timer0.

# PIC16F87X

## 11.0 ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER (A/D) MODULE

The Analog-to-Digital (A/D) Converter module has five inputs for the 28-pin devices and eight for the other devices.

The analog input charges a sample and hold capacitor. The output of the sample and hold capacitor is the input into the converter. The converter then generates a digital result of this analog level via successive approximation. The A/D conversion of the analog input signal results in a corresponding 10-bit digital number. The A/D module has high and low voltage reference input that is software selectable to some combination of V<sub>DD</sub>, V<sub>SS</sub>, RA2, or RA3.

The A/D converter has a unique feature of being able to operate while the device is in SLEEP mode. To operate in SLEEP, the A/D clock must be derived from the A/D's internal RC oscillator.

The A/D module has four registers. These registers are:

- A/D Result High Register (ADRESH)
- A/D Result Low Register (ADRESL)
- A/D Control Register0 (ADCON0)
- A/D Control Register1 (ADCON1)

The ADCON0 register, shown in Register 11-1, controls the operation of the A/D module. The ADCON1 register, shown in Register 11-2, configures the functions of the port pins. The port pins can be configured as analog inputs (RA3 can also be the voltage reference), or as digital I/O.

Additional information on using the A/D module can be found in the PICmicro™ Mid-Range MCU Family Reference Manual (DS33023).

REGISTER 11-1: ADCON0 REGISTER (ADDRESS: 1Fh)

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON
bit 7							bit 0

- bit 7-6 **ADCS1:ADCS0:** A/D Conversion Clock Select bits  
 00 = FOSC/2  
 01 = FOSC/8  
 10 = FOSC/32  
 11 = FRC (clock derived from the internal A/D module RC oscillator)
- bit 5-3 **CHS2:CHS0:** Analog Channel Select bits  
 000 = channel 0, (RA0/AN0)  
 001 = channel 1, (RA1/AN1)  
 010 = channel 2, (RA2/AN2)  
 011 = channel 3, (RA3/AN3)  
 100 = channel 4, (RA5/AN4)  
 101 = channel 5, (RE0/AN5)<sup>(1)</sup>  
 110 = channel 6, (RE1/AN6)<sup>(1)</sup>  
 111 = channel 7, (RE2/AN7)<sup>(1)</sup>
- bit 2 **GO/DONE:** A/D Conversion Status bit  
 If **ADON = 1:**  
 1 = A/D conversion in progress (setting this bit starts the A/D conversion)  
 0 = A/D conversion not in progress (this bit is automatically cleared by hardware when the A/D conversion is complete)
- bit 1 **Unimplemented:** Read as '0'
- bit 0 **ADON:** A/D On bit  
 1 = A/D converter module is operating  
 0 = A/D converter module is shut-off and consumes no operating current

Note 1: These channels are not available on PIC16F873/876 devices.

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



# PIC16F87X

## REGISTER 11-2: ADCON1 REGISTER (ADDRESS 9Fh)

U-0	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7				bit 0			

- bit 7 **ADFM:** A/D Result Format Select bit  
1 = Right justified. 6 Most Significant bits of ADRESH are read as '0'.  
0 = Left justified. 6 Least Significant bits of ADRESL are read as '0'.
- bit 6-4 **Unimplemented:** Read as '0'
- bit 3-0 **PCFG3:PCFG0:** A/D Port Configuration Control bits:

PCFG3: PCFG0	AN7 <sup>(1)</sup> RE2	AN6 <sup>(1)</sup> RE1	AN5 <sup>(1)</sup> RE0	AN4 RA5	AN3 RA3	AN2 RA2	AN1 RA1	AN0 RA0	VREF+	VREF-	CHAN/ Refs <sup>(2)</sup>
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	8/0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	VDD	VSS	5/0
0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	VDD	VSS	3/0
0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	RA3	VSS	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	VDD	VSS	0/0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	6/0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	5/1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	4/2
1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	3/2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	VDD	VSS	1/0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	RA3	RA2	1/2

A = Analog input    D = Digital I/O

- Note 1:** These channels are not available on PIC16F873/876 devices.
- 2:** This column indicates the number of analog channels available as A/D inputs and the number of analog channels used as voltage reference inputs.

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

The ADRESH:ADRESL registers contain the 10-bit result of the A/D conversion. When the A/D conversion is complete, the result is loaded into this A/D result register pair, the GO/DONE bit (ADCON0<2>) is cleared and the A/D interrupt flag bit ADIF is set. The block diagram of the A/D module is shown in Figure 11-1.

After the A/D module has been configured as desired, the selected channel must be acquired before the conversion is started. The analog input channels must have their corresponding TRIS bits selected as inputs.

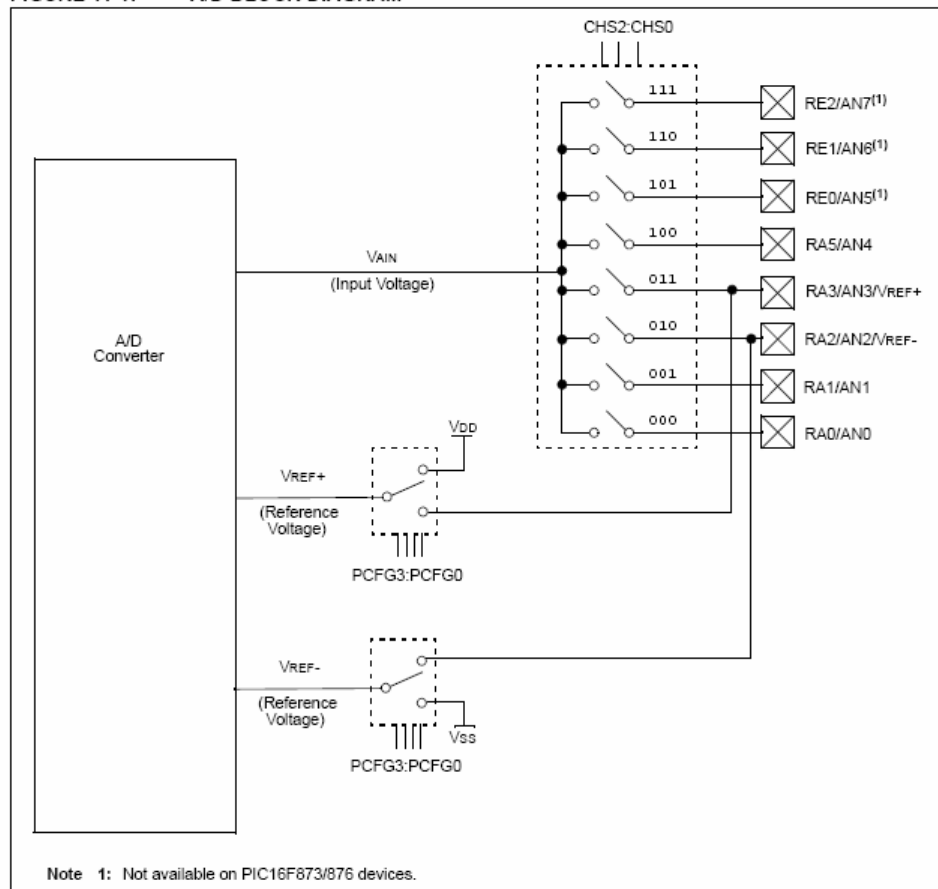
To determine sample time, see Section 11.1. After this acquisition time has elapsed, the A/D conversion can be started.

# PIC16F87X

These steps should be followed for doing an A/D Conversion:

1. Configure the A/D module:
  - Configure analog pins/voltage reference and digital I/O (ADCON1)
  - Select A/D input channel (ADCON0)
  - Select A/D conversion clock (ADCON0)
  - Turn on A/D module (ADCON0)
2. Configure A/D interrupt (if desired):
  - Clear ADIF bit
  - Set ADIE bit
  - Set PEIE bit
  - Set GIE bit
3. Wait the required acquisition time.
4. Start conversion:
  - Set GO/DONE bit (ADCON0)
5. Wait for A/D conversion to complete, by either:
  - Polling for the GO/DONE bit to be cleared (with interrupts enabled); OR
  - Waiting for the A/D interrupt
6. Read A/D result register pair (ADRESH:ADRESL), clear bit ADIF if required.
7. For the next conversion, go to step 1 or step 2, as required. The A/D conversion time per bit is defined as  $T_{AD}$ . A minimum wait of  $2T_{AD}$  is required before the next acquisition starts.

FIGURE 11-1: A/D BLOCK DIAGRAM



# PIC16F87X

## 11.1 A/D Acquisition Requirements

For the A/D converter to meet its specified accuracy, the charge holding capacitor (CHOLD) must be allowed to fully charge to the input channel voltage level. The analog input model is shown in Figure 11-2. The source impedance (Rs) and the internal sampling switch (Rss) impedance directly affect the time required to charge the capacitor CHOLD. The sampling switch (Rss) impedance varies over the device voltage (VDD), see Figure 11-2. The maximum recommended impedance for analog sources is 10 kΩ. As the impedance is decreased, the acquisition time may be decreased.

After the analog input channel is selected (changed), this acquisition must be done before the conversion can be started.

To calculate the minimum acquisition time, Equation 11-1 may be used. This equation assumes that 1/2 LSB error is used (1024 steps for the A/D). The 1/2 LSB error is the maximum error allowed for the A/D to meet its specified resolution.

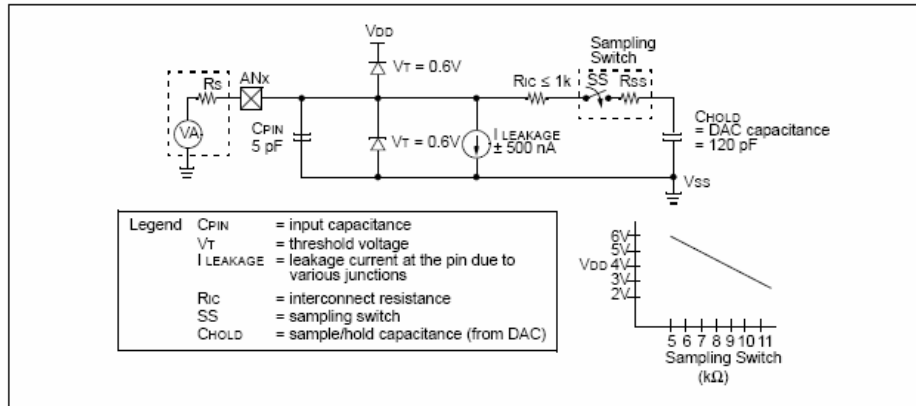
To calculate the minimum acquisition time, TACQ, see the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023).

### EQUATION 11-1: ACQUISITION TIME

TACQ	= Amplifier Settling Time + Hold Capacitor Charging Time + Temperature Coefficient
	= TAMP + TC + TCOFF
	= 2μs + TC + [(Temperature - 25°C)(0.05μs/°C)]
Tc	= CHOLD (Rtc + Rss + Rs) ln(1/2047)
	= - 120pF (1kΩ + 7kΩ + 10kΩ) ln(0.0004885)
	= 16.47μs
TACQ	= 2μs + 16.47μs + [(50°C - 25°C)(0.05μs/°C)]
	= 19.72μs

- Note 1:** The reference voltage (VREF) has no effect on the equation, since it cancels itself out.
- Note 2:** The charge holding capacitor (CHOLD) is not discharged after each conversion.
- Note 3:** The maximum recommended impedance for analog sources is 10 kΩ. This is required to meet the pin leakage specification.
- Note 4:** After a conversion has completed, a 2.0TAD delay must complete before acquisition can begin again. During this time, the holding capacitor is not connected to the selected A/D input channel.

FIGURE 11-2: ANALOG INPUT MODEL



## PIC16F87X

### 11.2 Selecting the A/D Conversion Clock

The A/D conversion time per bit is defined as  $T_{AD}$ . The A/D conversion requires a minimum  $12T_{AD}$  per 10-bit conversion. The source of the A/D conversion clock is software selected. The four possible options for  $T_{AD}$  are:

- $2T_{osc}$
- $8T_{osc}$
- $32T_{osc}$
- Internal A/D module RC oscillator (2-6  $\mu$ s)

For correct A/D conversions, the A/D conversion clock ( $T_{AD}$ ) must be selected to ensure a minimum  $T_{AD}$  time of 1.6  $\mu$ s.

Table 11-1 shows the resultant  $T_{AD}$  times derived from the device operating frequencies and the A/D clock source selected.

TABLE 11-1:  $T_{AD}$  vs. MAXIMUM DEVICE OPERATING FREQUENCIES (STANDARD DEVICES (C))

AD Clock Source ( $T_{AD}$ )		Maximum Device Frequency
Operation	ADCS1:ADCS0	Max.
$2T_{osc}$	00	1.25 MHz
$8T_{osc}$	01	5 MHz
$32T_{osc}$	10	20 MHz
RC <sup>(1, 2, 3)</sup>	11	(Note 1)

**Note 1:** The RC source has a typical  $T_{AD}$  time of 4  $\mu$ s, but can vary between 2-6  $\mu$ s.

**2:** When the device frequencies are greater than 1 MHz, the RC A/D conversion clock source is only recommended for SLEEP operation.

**3:** For extended voltage devices (LC), please refer to the Electrical Characteristics (Sections 15.1 and 15.2).

### 11.3 Configuring Analog Port Pins

The ADCON1 and TRIS registers control the operation of the A/D port pins. The port pins that are desired as analog inputs must have their corresponding TRIS bits set (input). If the TRIS bit is cleared (output), the digital output level ( $V_{OH}$  or  $V_{OL}$ ) will be converted.

The A/D operation is independent of the state of the CHS2:CHS0 bits and the TRIS bits.

**Note 1:** When reading the port register, any pin configured as an analog input channel will read as cleared (a low level). Pins configured as digital inputs will convert an analog input. Analog levels on a digitally configured input will not affect the conversion accuracy.

**2:** Analog levels on any pin that is defined as a digital input (including the AN7:AN0 pins), may cause the input buffer to consume current that is out of the device specifications.

# PIC16F87X

## 11.4 A/D Conversions

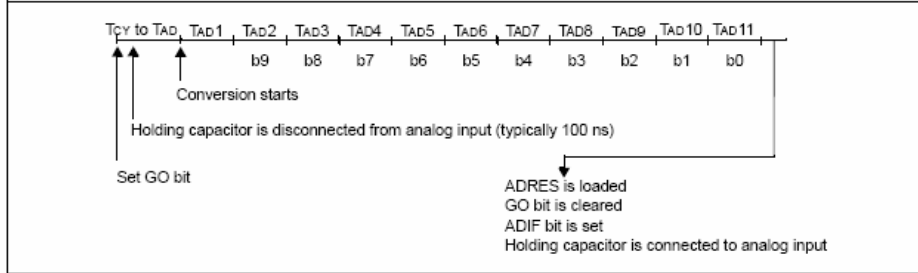
Clearing the  $\overline{\text{GO/DONE}}$  bit during a conversion will abort the current conversion. The A/D result register pair will NOT be updated with the partially completed A/D conversion sample. That is, the ADRESH:ADRESL registers will continue to contain the value of the last completed conversion (or the last value written to the ADRESH:ADRESL registers). After the A/D conversion is aborted, a  $2T_{AD}$  wait is required before the next

acquisition is started. After this  $2T_{AD}$  wait, acquisition on the selected channel is automatically started. The  $\overline{\text{GO/DONE}}$  bit can then be set to start the conversion.

In Figure 11-3, after the GO bit is set, the first time segment has a minimum of  $T_{CY}$  and a maximum of  $T_{AD}$ .

**Note:** The  $\overline{\text{GO/DONE}}$  bit should NOT be set in the same instruction that turns on the A/D.

FIGURE 11-3: A/D CONVERSION  $T_{AD}$  CYCLES

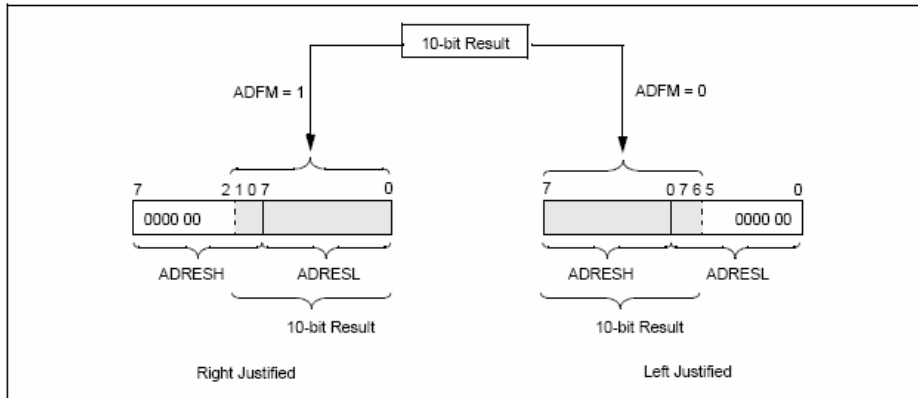


### 11.4.1 A/D RESULT REGISTERS

The ADRESH:ADRESL register pair is the location where the 10-bit A/D result is loaded at the completion of the A/D conversion. This register pair is 16-bits wide. The A/D module gives the flexibility to left or right justify the 10-bit result in the 16-bit result register. The A/D

Format Select bit (ADFM) controls this justification. Figure 11-4 shows the operation of the A/D result justification. The extra bits are loaded with '0's'. When an A/D result will not overwrite these locations (A/D disable), these registers may be used as two general purpose 8-bit registers.

FIGURE 11-4: A/D RESULT JUSTIFICATION



# PIC16F87X

## 11.5 A/D Operation During SLEEP

The A/D module can operate during SLEEP mode. This requires that the A/D clock source be set to RC (ADCS1:ADCS0 = 11). When the RC clock source is selected, the A/D module waits one instruction cycle before starting the conversion. This allows the `SLEEP` instruction to be executed, which eliminates all digital switching noise from the conversion. When the conversion is completed, the GO/DONE bit will be cleared and the result loaded into the ADRES register. If the A/D interrupt is enabled, the device will wake-up from SLEEP. If the A/D interrupt is not enabled, the A/D module will then be turned off, although the ADON bit will remain set.

When the A/D clock source is another clock option (not RC), a `SLEEP` instruction will cause the present conversion to be aborted and the A/D module to be turned off, though the ADON bit will remain set.

Turning off the A/D places the A/D module in its lowest current consumption state.

**Note:** For the A/D module to operate in SLEEP, the A/D clock source must be set to RC (ADCS1:ADCS0 = 11). To allow the conversion to occur during SLEEP, ensure the `SLEEP` instruction immediately follows the instruction that sets the GO/DONE bit.

## 11.6 Effects of a RESET

A device RESET forces all registers to their RESET state. This forces the A/D module to be turned off, and any conversion is aborted. All A/D input pins are configured as analog inputs.

The value that is in the ADRESH:ADRESL registers is not modified for a Power-on Reset. The ADRESH:ADRESL registers will contain unknown data after a Power-on Reset.

TABLE 11-2: REGISTERS/BITS ASSOCIATED WITH A/D

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on POR, BOR	Value on MCLR, WDT		
0Bh,8Bh,10Bh,18Bh	INTCON	GIE	PEIE	T0IE	INTE	RBIE	T0IF	INTF	RBIF	0000 000x	0000 000u		
0Ch	PIR1	PSPIF <sup>(1)</sup>	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 0000	0000 0000		
8Ch	PIE1	PSPIE <sup>(1)</sup>	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 0000	0000 0000		
1Eh	ADRESH	A/D Result Register High Byte								xxxx xx	uuuu uu		
9Eh	ADRESL	A/D Result Register Low Byte								xxxx xx	uuuu uu		
1Fh	ADCON0	ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON	0000 00-0	0000 00-0		
9Fh	ADCON1	ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	--0- 0000	--0- 0000		
85h	TRISA	—	—	PORTA Data Direction Register								--11 1111	--11 1111
05h	PORTA	—	—	PORTA Data Latch when written; PORTA pins when read								--0x 0000	--0u 0000
89h <sup>(1)</sup>	TRISE	IBF	OBF	IBOV	PSPMODE	—	PORTE Data Direction bits			0000 -111	0000 -111		
09h <sup>(1)</sup>	PORTE	—	—	—	—	—	RE2	RE1	RE0	---- -xxxx	---- -uuu		

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used for A/D conversion.  
**Note 1:** These registers/bits are not available on the 28-pin devices.



November 2004

LM340/LM78XX Series 3-Terminal Positive Regulators

## LM340/LM78XX Series 3-Terminal Positive Regulators

### General Description

The LM140/LM340A/LM340/LM78XXC monolithic 3-terminal positive voltage regulators employ internal current-limiting, thermal shutdown and safe-area compensation, making them essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1.0A output current. They are intended as fixed voltage regulators in a wide range of applications including local (on-card) regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. In addition to use as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents.

Considerable effort was expended to make the entire series of regulators easy to use and minimize the number of external components. It is not necessary to bypass the output, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

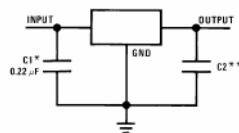
The 5V, 12V, and 15V regulator options are available in the steel TO-3 power package. The LM340A/LM340/LM78XXC series is available in the TO-220 plastic power package, and the LM340-5.0 is available in the SOT-223 package, as well as the LM340-5.0 and LM340-12 in the surface-mount TO-263 package.

### Features

- Complete specifications at 1A load
- Output voltage tolerances of  $\pm 2\%$  at  $T_j = 25^\circ\text{C}$  and  $\pm 4\%$  over the temperature range (LM340A)
- Line regulation of 0.01% of  $V_{OUT}/V$  of  $\Delta V_{IN}$  at 1A load (LM340A)
- Load regulation of 0.3% of  $V_{OUT}/A$  (LM340A)
- Internal thermal overload protection
- Internal short-circuit current limit
- Output transistor safe area protection
- P+ Product Enhancement tested

### Typical Applications

#### Fixed Output Regulator

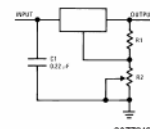


00778404

\*Required if the regulator is located far from the power supply filter.

\*\*Although no output capacitor is needed for stability, it does help transient response. (If needed, use 0.1  $\mu\text{F}$ , ceramic disc).

#### Adjustable Output Regulator

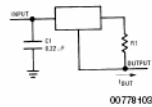


00778402

$$V_{OUT} = 5V + (5V/R1 + I_Q) R2 \quad 5V/R1 > 3 I_Q$$

load regulation ( $L_r$ ) =  $[(R1 + R2)/R1]$  ( $L_r$  of LM340-5).

#### Current Regulator

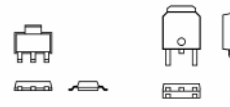


00778400

$$I_{OUT} = \frac{V_{2-3}}{R1} + I_Q$$

$\Delta I_Q = 1.3 \text{ mA}$  over line and load changes.

#### Comparison between SOT-223 and D-Pak (TO-252) Packages



SOT-223

TO-252

Scale 1:1

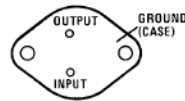
00778498

LM340/LM78XX

Ordering Information					
Package	Temperature Range	Part Number	Packaging Marking	Transport Media	NSC Drawing
3-Lead TO-3	-55°C to +125°C	LM140K-5.0	LM140K 5.0P+	50 Per Tray	K02A
		LM140K-12	LM140K 12P+	50 Per Tray	
		LM140K-15	LM140K 15P+	50 Per Tray	
	0°C to +125°C	LM340K-5.0	LM340K 5.0 7805P+	50 Per Tray	
		LM340K-12	LM340K 12 7812P+	50 Per Tray	
		LM340K-15	LM340K 15 7815P+	50 Per Tray	
3-lead TO-220	0°C to +125°C	LM340AT-5.0	LM340AT 5.0 P+	45 Units/Rail	T03B
		LM340T-5.0	LM340T5 7805 P+	45 Units/Rail	
		LM340T-12	LM340T12 7812 P+	45 Units/Rail	
		LM340T-15	LM340T15 7815 P+	45 Units/Rail	
		LM7808CT	LM7808CT	45 Units/Rail	
3-Lead TO-263	0°C to +125°C	LM340S-5.0	LM340S-5.0 P+	45 Units/Rail	TS3B
		LM340SX-5.0		500 Units Tape and Reel	
		LM340S-12	LM340S-12 P+	45 Units/Rail	
		LM340SX-12		500 Units Tape and Reel	
		LM340AS-5.0	LM340AS-5.0 P+	45 Units/Rail	
		LM340ASX-5.0		500 Units Tape and Reel	
4-Lead SOT-223	0°C to +125°C	LM340MP-5.0	N00A	1k Units Tape and Reel	MP04A
		LM340MPX-5.0		2k Units Tape and Reel	
Unpackaged Die	-55°C to 125°C	LM140KG-5 MD8		Waffle Pack or Gel Pack	DL069089
		LM140KG-12 MD8		Waffle Pack or Gel Pack	DL059093
		LM140KG-15 MD8		Waffle Pack or Gel Pack	DL059093
	0°C to +125°C	LM340-5.0 MDA		Waffle Pack or Gel Pack	DI074056
		LM7808C MDC		Waffle Pack or Gel Pack	DI074056

**Connection Diagrams**

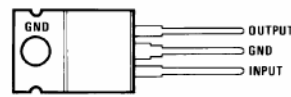
TO-3 Metal Can Package (K)



00778111

Bottom View  
See Package Number K02A

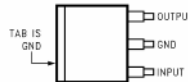
TO-220 Power Package (T)



00778112

Top View  
See Package Number T03B

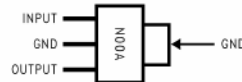
TO-263 Surface-Mount Package (S)



00778120

Top View  
See Package Number TS3B

3-Lead SOT-223



00778143

Top View  
See Package Number MP04A



**Absolute Maximum Ratings** (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

(Note 5)

DC Input Voltage	35V
Internal Power Dissipation (Note 2)	Internally Limited
Maximum Junction Temperature	150°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	
TO-3 Package (K)	300°C

TO-220 Package (T), TO-263

Package (S)

230°C

ESD Susceptibility (Note 3)

2 kV

**Operating Conditions** (Note 1)

Temperature Range (T<sub>A</sub>) (Note 2)

LM140	-55°C to +125°C
LM340A, LM340	0°C to +125°C
LM7808C	0°C to +125°C

**LM340A Electrical Characteristics**

I<sub>O</sub> = 1A, 0°C ≤ T<sub>J</sub> ≤ +125°C (LM340A) unless otherwise specified (Note 4)

Symbol	Output Voltage		5V			12V			15V			Units	
	Input Voltage (unless otherwise noted)		10V			19V			23V				
	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
V <sub>O</sub>	Output Voltage	T <sub>J</sub> = 25°C	4.9	5	5.1	11.75	12	12.25	14.7	15	15.3	V	
		P <sub>D</sub> ≤ 15W, 5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1A	4.8		5.2	11.5		12.5	14.4		15.6	V	
		V <sub>MIN</sub> ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>MAX</sub>	(7.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)			(14.8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)			(17.9 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			V	
ΔV <sub>O</sub>	Line Regulation	I <sub>O</sub> = 500 mA	10			18			22			mV	
		ΔV <sub>IN</sub>	(7.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)			(14.8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)			(17.9 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			V	
		T <sub>J</sub> = 25°C	3			10			4			22	mV
		ΔV <sub>IN</sub>	(7.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)			(14.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)			(17.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			V	
		T <sub>J</sub> = 25°C	4			9			10			mV	
ΔV <sub>O</sub>	Load Regulation	T <sub>J</sub> = 25°C	5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1.5A		10	25	12	32	12	35	mV		
			250 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 750 mA			15		19		21	mV		
		Over Temperature, 5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1A	25		60		75		mV				
I <sub>O</sub>	Quiescent Current	T <sub>J</sub> = 25°C	6			6			6			mA	
		Over Temperature	6.5			6.5			6.5			mA	
ΔI <sub>O</sub>	Quiescent Current Change	5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1A		0.5			0.5			0.5			mA
		T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>O</sub> = 1A	0.8			0.8			0.8			mA	
		V <sub>MIN</sub> ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>MAX</sub>	(7.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)			(14.8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)			(17.9 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			V	
		I <sub>O</sub> = 500 mA	0.8			0.8			0.8			mA	
V <sub>N</sub>	Output Noise Voltage	T <sub>A</sub> = 25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz		40			75			90			μV
		Ripple Rejection	T <sub>J</sub> = 25°C, f = 120 Hz, I <sub>O</sub> = 1A	68	80	61	72	60	70	dB			
or f = 120 Hz, I <sub>O</sub> = 500 mA,	68			61			60			dB			
Over Temperature, V <sub>MIN</sub> ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>MAX</sub>	(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 18)			(15 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 25)			(18.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 28.5)			V			
R <sub>O</sub>	Dropout Voltage	T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>O</sub> = 1A	2.0			2.0			2.0			V	
		f = 1 kHz	8			18			19			mΩ	
	Short-Circuit Current	T <sub>J</sub> = 25°C	2.1			1.5			1.2			A	

LM340/LM78XX

<b>LM340A Electrical Characteristics</b> (Continued)													
$I_{OUT} = 1A, 0^{\circ}C \leq T_J \leq +125^{\circ}C$ (LM340A) unless otherwise specified (Note 4)													
Symbol	Output Voltage			5V			12V			15V			Units
	Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V			
	Parameter	Conditions		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Peak Output Current	$T_J = 25^{\circ}C$		2.4			2.4			2.4			A
	Average TC of $V_O$	Min, $T_J = 0^{\circ}C, I_O = 5mA$		-0.6			-1.5			-1.8			mV/ $^{\circ}C$
$V_{IN}$	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	$T_J = 25^{\circ}C$		7.5			14.5			17.5			V
<b>LM140 Electrical Characteristics</b> (Note 4)													
$-55^{\circ}C \leq T_J \leq +150^{\circ}C$ unless otherwise specified													
Symbol	Output Voltage			5V			12V			15V			Units
	Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V			
	Parameter	Conditions		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
$V_O$	Output Voltage	$T_J = 25^{\circ}C, 5mA \leq I_O \leq 1A$		4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6	V
		$P_D \leq 15W, 5mA \leq I_O \leq 1A$		4.75		5.25	11.4		12.6	14.25		15.75	V
		$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$		(8 $\leq V_{IN} \leq 20$ )			(15.5 $\leq V_{IN} \leq 27$ )			(18.5 $\leq V_{IN} \leq 30$ )			V
$\Delta V_O$	Line Regulation	$I_O = 500mA$	$T_J = 25^{\circ}C$	3 50			4 120			4 150			mV
			$\Delta V_{IN}$	(7 $\leq V_{IN} \leq 25$ )			(14.5 $\leq V_{IN} \leq 30$ )			(17.5 $\leq V_{IN} \leq 30$ )			V
		$I_O \leq 1A$	$T_J = 25^{\circ}C$	50			120			150			mV
			$\Delta V_{IN}$	(7.5 $\leq V_{IN} \leq 20$ )			(14.6 $\leq V_{IN} \leq 27$ )			(17.7 $\leq V_{IN} \leq 30$ )			V
$\Delta V_O$	Load Regulation	$T_J = 25^{\circ}C$	$5mA \leq I_O \leq 1.5A$	10 50			12 120			12 150			mV
			$250mA \leq I_P \leq 750mA$	25			60			75			mV
		$-55^{\circ}C \leq T_J \leq +150^{\circ}C,$ $5mA \leq I_O \leq 1A$	50			120			150			mV	
$I_O$	Quiescent Current	$I_O \leq 1A$	$T_J = 25^{\circ}C$	6			6			6			mA
			$-55^{\circ}C \leq T_J \leq +150^{\circ}C$	7			7			7			mA
$\Delta I_O$	Quiescent Current Change	$5mA \leq I_O \leq 1A$		0.5			0.5			0.5			mA
		$T_J = 25^{\circ}C, I_O \leq 1A$	$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$	0.8			0.8			0.8			mA
			$I_O = 500mA, -55^{\circ}C \leq T_J \leq +150^{\circ}C$	(8 $\leq V_{IN} \leq 20$ )			(15 $\leq V_{IN} \leq 27$ )			(18.5 $\leq V_{IN} \leq 30$ )			V
$V_N$	Output Noise Voltage	$T_A = 25^{\circ}C, 10Hz \leq f \leq 100kHz$		40			75			90			$\mu V$

LM140 Electrical Characteristics (Note 4) (Continued)														
-55°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +150°C unless otherwise specified														
Symbol	Output Voltage			5V			12V			15V			Units	
	Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V				
	Parameter	Conditions		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection	f = 120 Hz	I <sub>O</sub> ≤ 1A, T <sub>J</sub> = 25°C	68	80		61	72		60	70		dB	
			or	I <sub>O</sub> ≤ 500 mA, -55°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +150°C	68			61			60			dB
			V <sub>MIN</sub> ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>MAX</sub>			(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 18)			(15 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 25)			(18.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 28.5)		V
R <sub>O</sub>	Dropout Voltage	T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>O</sub> = 1A		2.0			2.0			2.0			V	
	Output Resistance	f = 1 kHz		8			18			19			mΩ	
	Short-Circuit Current	T <sub>J</sub> = 25°C		2.1			1.5			1.2			A	
	Peak Output Current	T <sub>J</sub> = 25°C		2.4			2.4			2.4			A	
	Average TC of V <sub>OUT</sub>	0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +150°C, I <sub>O</sub> = 5 mA		-0.6			-1.5			-1.8			mV/°C	
V <sub>IN</sub>	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>O</sub> ≤ 1A		7.5			14.6			17.7			V	

LM340 Electrical Characteristics (Note 4)													
0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C unless otherwise specified													
Symbol	Output Voltage			5V			12V			15V			Units
	Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V			
	Parameter	Conditions		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V <sub>O</sub>	Output Voltage	T <sub>J</sub> = 25°C, 5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1A		4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6	V
		P <sub>D</sub> ≤ 15W, 5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1A		4.75		5.25	11.4		12.6	14.25		15.75	V
		V <sub>MIN</sub> ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>MAX</sub>		(7.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)			(14.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)			(17.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			V
ΔV <sub>O</sub>	Line Regulation	I <sub>O</sub> = 500 mA	T <sub>J</sub> = 25°C	3			4			4			mV
			ΔV <sub>IN</sub>	(7 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 25)			(14.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			(17.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			V
		I <sub>O</sub> ≤ 1A	0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C	50			120			150			mV
			ΔV <sub>IN</sub>	(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)			(15 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)			(18.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			V
			T <sub>J</sub> = 25°C	50			120			150			mV
ΔV <sub>IN</sub>	(7.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)			(14.6 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)			(17.7 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			V			
ΔV <sub>O</sub>	Load Regulation	T <sub>J</sub> = 25°C	5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1.5A	10			12			12			mV
			250 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 750 mA	25			60			75			mV
			5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1A, 0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C	50			120			150			mV
I <sub>O</sub>	Quiescent Current	I <sub>O</sub> ≤ 1A	T <sub>J</sub> = 25°C	8			8			8			mA
			0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C	8.5			8.5			8.5			mA
ΔI <sub>O</sub>	Quiescent Current Change	5 mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1A		0.5			0.5			0.5			mA
		T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>O</sub> ≤ 1A		1.0			1.0			1.0			mA

LM340/LM78XX

LM340 Electrical Characteristics (Note 4) (Continued)														
0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C unless otherwise specified														
Symbol	Output Voltage			5V			12V			15V			Units	
	Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V				
	Parameter	Conditions		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
		V <sub>MIN</sub> ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>MAX</sub>		(7.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 20)			(14.8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 27)			(17.9 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			V	
		I <sub>O</sub> ≤ 500 mA, 0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C		1.0			1.0			1.0			mA	
		V <sub>MIN</sub> ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>MAX</sub>		(7 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 25)			(14.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			(17.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 30)			V	
V <sub>N</sub>	Output Noise Voltage	T <sub>A</sub> = 25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz		40			75			90			μV	
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection	I <sub>O</sub> ≤ 1A, T <sub>J</sub> = 25°C		62	80		55	72		54	70		dB	
		f = 120 Hz		62			55			54				dB
		V <sub>MIN</sub> ≤ V <sub>IN</sub> ≤ V <sub>MAX</sub>		(8 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 18)			(15 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 25)			(18.5 ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 28.5)			V	
R <sub>O</sub>	Dropout Voltage	T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>O</sub> = 1A		2.0			2.0			2.0			V	
	Output Resistance	f = 1 kHz		8			18			19			mΩ	
	Short-Circuit Current	T <sub>J</sub> = 25°C		2.1			1.5			1.2			A	
	Peak Output Current	T <sub>J</sub> = 25°C		2.4			2.4			2.4			A	
	Average TC of V <sub>OUT</sub>	0°C ≤ T <sub>J</sub> ≤ +125°C, I <sub>O</sub> = 5 mA		-0.6			-1.5			-1.8			mV/°C	
V <sub>IN</sub>	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	T <sub>J</sub> = 25°C, I <sub>O</sub> ≤ 1A		7.5			14.6			17.7			V	

**Note 1:** Absolute Maximum Ratings are limits beyond which damage to the device may occur. Operating Conditions are conditions under which the device functions but the specifications might not be guaranteed. For guaranteed specifications and test conditions see the Electrical Characteristics.

**Note 2:** The maximum allowable power dissipation at any ambient temperature is a function of the maximum junction temperature for operation (T<sub>JMAX</sub> = 125°C or 150°C), the junction-to-ambient thermal resistance (θ<sub>JA</sub>), and the ambient temperature (T<sub>A</sub>). P<sub>DMAX</sub> = (T<sub>JMAX</sub> - T<sub>A</sub>)/θ<sub>JA</sub>. If this dissipation is exceeded, the die temperature will rise above T<sub>JMAX</sub> and the electrical specifications do not apply. If the die temperature rises above 150°C, the device will go into thermal shutdown. For the TO-3 package (K, KC), the junction-to-ambient thermal resistance (θ<sub>JA</sub>) is 39°C/W. When using a heatsink, θ<sub>JA</sub> is the sum of the 4°C/W junction-to-case thermal resistance (θ<sub>JC</sub>) of the TO-3 package and the case-to-ambient thermal resistance of the heatsink. For the TO-220 package (T), θ<sub>JA</sub> is 54°C/W and θ<sub>JC</sub> is 4°C/W. If SOT-223 is used, the junction-to-ambient thermal resistance is 174°C/W and can be reduced by a heatsink (see Applications Hints on heatsinking).

If the TO-263 package is used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area thermally connected to the package: Using 0.5 square inches of copper area, θ<sub>JA</sub> is 50°C/W; with 1 square inch of copper area, θ<sub>JA</sub> is 37°C/W; and with 1.6 or more inches of copper area, θ<sub>JA</sub> is 32°C/W.

**Note 3:** ESD rating is based on the human body model, 100 pF discharged through 1.5 kΩ.

**Note 4:** All characteristics are measured with a 0.22 μF capacitor from input to ground and a 0.1 μF capacitor from output to ground. All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques (t<sub>w</sub> ≤ 10 ms, duty cycle ≤ 5%). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

**Note 5:** Military datasheets are available upon request. At the time of printing, the military datasheet specifications for the LM140K-5.0/883, LM140K-12/883, and LM140K-15/883 complied with the min and max limits for the respective versions of the LM140. The LM140H and LM140K may also be procured as JAN devices on slash sheet JM38510/107.



November 2000

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

# LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

## General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of  $\pm 1/4^\circ\text{C}$  at room temperature and  $\pm 3/4^\circ\text{C}$  over a full  $-55$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only  $60\ \mu\text{A}$  from its supply, it has very low self-heating, less than  $0.1^\circ\text{C}$  in still air. The LM35 is rated to operate over a  $-55^\circ$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range, while the LM35C is rated for a  $-40^\circ$  to  $+110^\circ\text{C}$  range ( $-10^\circ$  with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

## Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/°C scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at +25°C)
- Rated for full  $-55^\circ$  to  $+150^\circ\text{C}$  range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than  $60\ \mu\text{A}$  current drain
- Low self-heating,  $0.08^\circ\text{C}$  in still air
- Nonlinearity only  $\pm 1/4^\circ\text{C}$  typical
- Low impedance output,  $0.1\ \Omega$  for 1 mA load

## Typical Applications

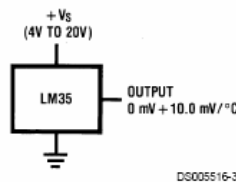
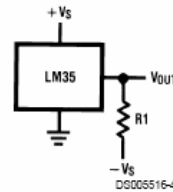


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor (+2°C to +150°C)



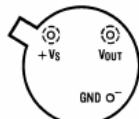
Choose  $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$   
 $V_{OUT} = +1,500\ \text{mV}$  at  $+150^\circ\text{C}$   
 $= +250\ \text{mV}$  at  $+25^\circ\text{C}$   
 $= -550\ \text{mV}$  at  $-55^\circ\text{C}$

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

LM35

### Connection Diagrams

**TO-46  
Metal Can Package\***

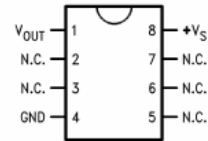


**BOTTOM VIEW**  
DS005516-1

\*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH  
See NS Package Number H03H

**SO-8  
Small Outline Molded Package**

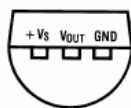


DS005516-21

N.C. = No Connection

Top View  
Order Number LM35DM  
See NS Package Number M08A

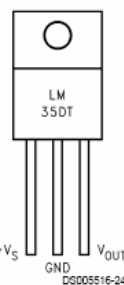
**TO-92  
Plastic Package**



**BOTTOM VIEW**  
DS005516-2

Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ  
See NS Package Number Z03A

**TO-220  
Plastic Package\***



DS005516-24

\*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

Order Number LM35DT  
See NS Package Number TA03F

<b>Absolute Maximum Ratings</b> (Note 10)		TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.			
Supply Voltage	+35V to -0.2V	SO Package (Note 12)	
Output Voltage	+6V to -1.0V	Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Output Current	10 mA	Infrared (15 seconds)	220°C
Storage Temp.:		ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
TO-46 Package,	-60°C to +180°C	Specified Operating Temperature Range: T <sub>MIN</sub> to T <sub>MAX</sub>	
TO-92 Package,	-60°C to +150°C	(Note 2)	
SO-8 Package,	-65°C to +150°C	LM35, LM35A	-55°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C	LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
		LM35D	0°C to +100°C
Lead Temp.:			
TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C		

**Electrical Characteristics**

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	T <sub>A</sub> =+25°C	±0.2	±0.5		±0.2	±0.5		°C
	T <sub>A</sub> =-10°C	±0.3			±0.3		±1.0	°C
	T <sub>A</sub> =T <sub>MAX</sub>	±0.4	±1.0		±0.4	±1.0		°C
	T <sub>A</sub> =T <sub>MIN</sub>	±0.4	±1.0		±0.4		±1.5	°C
Nonlinearity (Note 8)	T <sub>MIN</sub> ≤T <sub>A</sub> ≤T <sub>MAX</sub>	±0.18		±0.35	±0.15		±0.3	°C
Sensor Gain (Average Slope)	T <sub>MIN</sub> ≤T <sub>A</sub> ≤T <sub>MAX</sub>	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/°C
Load Regulation (Note 3) 0≤I <sub>L</sub> ≤1 mA	T <sub>A</sub> =+25°C	±0.4	±1.0		±0.4	±1.0		mV/mA
	T <sub>MIN</sub> ≤T <sub>A</sub> ≤T <sub>MAX</sub>	±0.5		±3.0	±0.5		±3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	T <sub>A</sub> =+25°C	±0.01	±0.05		±0.01	±0.05		mV/V
	4V≤V <sub>S</sub> ≤30V	±0.02		±0.1	±0.02		±0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	V <sub>S</sub> =+5V, +25°C	56	67		56	67		µA
	V <sub>S</sub> =+5V	105		131	91		114	µA
	V <sub>S</sub> =+30V, +25°C	56.2	68		56.2	68		µA
	V <sub>S</sub> =+30V	105.5		133	91.5		116	µA
Change of Quiescent Current (Note 3)	4V≤V <sub>S</sub> ≤30V, +25°C	0.2	1.0		0.2	1.0		µA
	4V≤V <sub>S</sub> ≤30V	0.5		2.0	0.5		2.0	µA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	µA/°C
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of <i>Figure 1</i> , I <sub>L</sub> =0	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	T <sub>J</sub> =T <sub>MAX</sub> , for 1000 hours	±0.08			±0.08			°C

LM35

Electrical Characteristics								
(Notes 1, 6)								
Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	±0.4	±1.0		±0.4	±1.0		°C
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	±0.5			±0.5		±1.5	°C
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	±0.8	±1.5		±0.8		±1.5	°C
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	±0.8		±1.5	±0.8		±2.0	°C
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				±0.6	±1.5		°C
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				±0.9		±2.0	°C
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				±0.9		±2.0	°C
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	<b>±0.3</b>		<b>±0.5</b>	<b>±0.2</b>		<b>±0.5</b>	°C
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	<b>+10.0</b>	<b>+9.8,</b> <b>+10.2</b>		<b>+10.0</b>		<b>+9.8,</b> <b>+10.2</b>	mV/°C
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	±0.4	±2.0		±0.4	±2.0		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	<b>±0.5</b>		<b>±5.0</b>	<b>±0.5</b>		<b>±5.0</b>	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	±0.01	±0.1		±0.01	±0.1		mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	<b>±0.02</b>		<b>±0.2</b>	<b>±0.02</b>		<b>±0.2</b>	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		µA
	$V_S = +5V$	<b>105</b>		<b>158</b>	<b>91</b>		<b>138</b>	µA
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		µA
	$V_S = +30V$	<b>105.5</b>		<b>161</b>	<b>91.5</b>		<b>141</b>	µA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		µA
	$4V \leq V_S \leq 30V$	<b>0.5</b>		<b>3.0</b>	<b>0.5</b>		<b>3.0</b>	µA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		<b>+0.39</b>		<b>+0.7</b>	<b>+0.39</b>		<b>+0.7</b>	µA/°C
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$ , for 1000 hours	±0.08			±0.08			°C

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply:  $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$  for the LM35 and LM35A;  $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$  for the LM35C and LM35CA; and  $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$  for the LM35D.  $V_S = +5\text{Vdc}$  and  $I_{\text{LOAD}} = 50 \mu\text{A}$ , in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from  $+2^\circ\text{C}$  to  $T_{\text{MAX}}$  in the circuit of Figure 1. Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is  $400^\circ\text{C/W}$ , junction to ambient, and  $24^\circ\text{C/W}$  junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is  $180^\circ\text{C/W}$  junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is  $220^\circ\text{C/W}$  junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is  $90^\circ\text{C/W}$  junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in boldface apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and  $10\text{mV}/^\circ\text{C}$  times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in °C).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

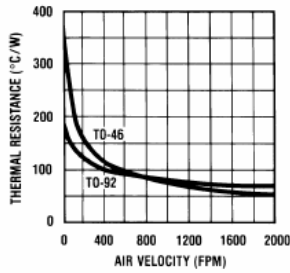
Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

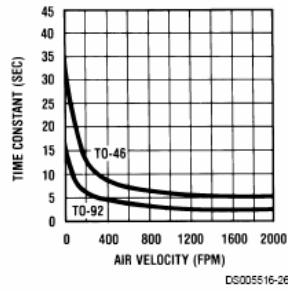


### Typical Performance Characteristics

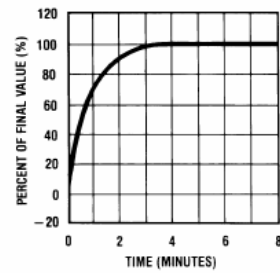
**Thermal Resistance Junction to Air**



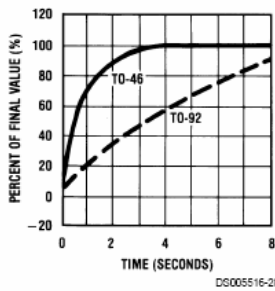
**Thermal Time Constant**



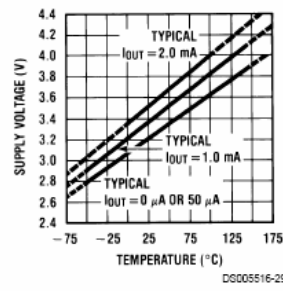
**Thermal Response in Still Air**



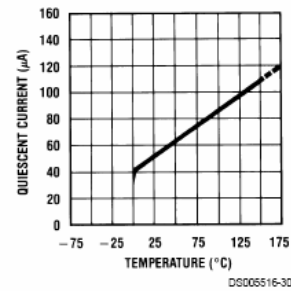
**Thermal Response in Stirred Oil Bath**



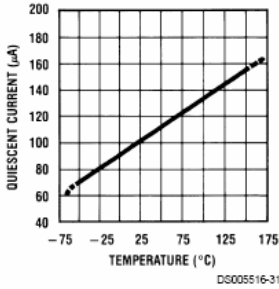
**Minimum Supply Voltage vs. Temperature**



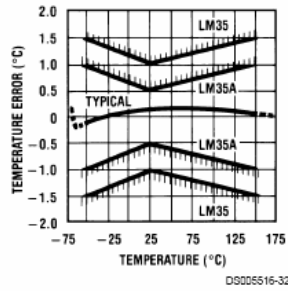
**Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of Figure 1.)**



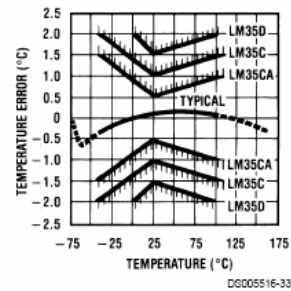
**Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of Figure 2.)**



**Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)**



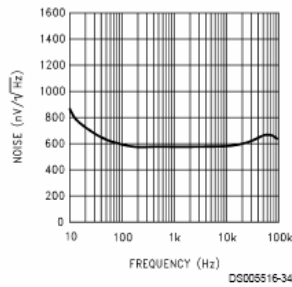
**Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)**



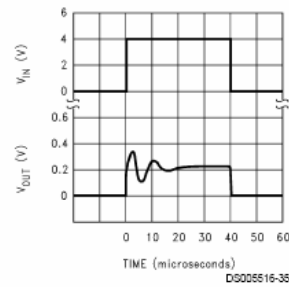
LM35

**Typical Performance Characteristics** (Continued)

**Noise Voltage**



**Start-Up Response**



**Applications**

The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01°C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature. This is especially true for the TO-92 plastic package, where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, be sure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the LM35 die's temperature will not be affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V- terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, the LM35 can be mounted inside a sealed-end metal tube, and can then be dipped into a bath or screwed into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Humiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small light-weight heat fin, to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

**Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance,  $\theta_{JA}$ )**

	TO-46, no heat sink	TO-46*, small heat fin	TO-92, no heat sink	TO-92**, small heat fin	SO-8 no heat sink	SO-8**, small heat fin	TO-220 no heat sink
Still air	400°C/W	100°C/W	180°C/W	140°C/W	220°C/W	110°C/W	90°C/W
Moving air	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	28°C/W
Still oil	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W			
Stirred oil	50°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W			
(Clamped to metal, Infinite heat sink)		(24°C/W)				(55°C/W)	

\*Wakefield type 201, or 1" disc of 0.020" sheet brass, soldered to case, or similar.

\*\*TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of 1/16" printed circuit board with 2 oz. foil or similar.

LM35

Typical Applications (Continued)

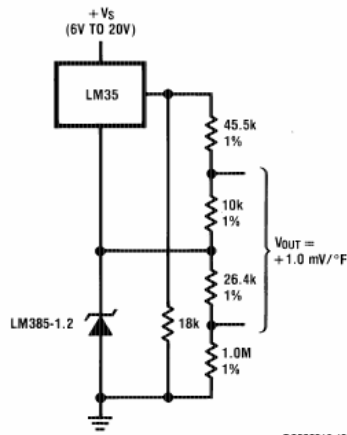


FIGURE 10. Fahrenheit Thermometer

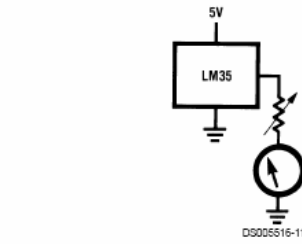


FIGURE 11. Centigrade Thermometer (Analog Meter)

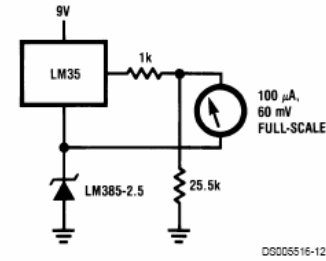


FIGURE 12. Fahrenheit Thermometer Expanded Scale Thermometer (50° to 80° Fahrenheit, for Example Shown)

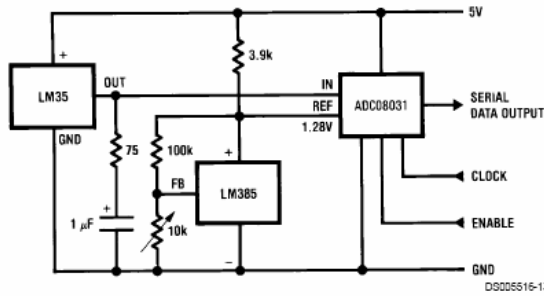


FIGURE 13. Temperature To Digital Converter (Serial Output) (+128°C Full Scale)

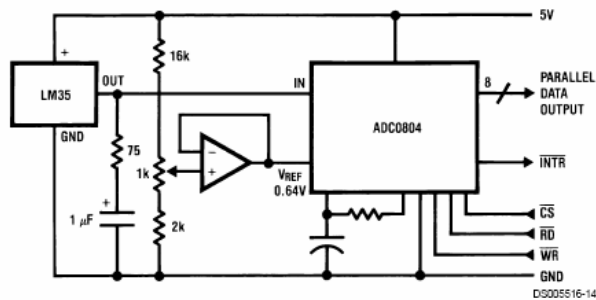


FIGURE 14. Temperature To Digital Converter (Parallel TRI-STATE™ Outputs for Standard Data Bus to µP Interface) (128°C Full Scale)

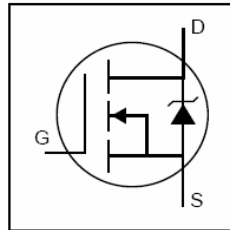
HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Ease of Paralleling

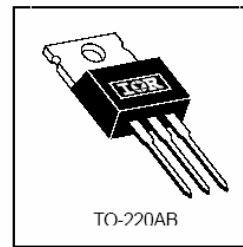
**Description**

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve the lowest possible on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



$V_{DS} = 55V$
$R_{DS(on)} = 0.040\Omega$
$I_D = 29A$



**Absolute Maximum Ratings**


	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	29	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	20	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current ①	100	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	68	W
	Linear Derating Factor	0.45	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy ②	65	mJ
$I_{AR}$	Avalanche Current ①	16	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy ①	6.8	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	5.0	V/ns
$T_J$	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case )	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)	

**Thermal Resistance**

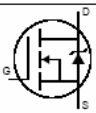
	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	—	2.2	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	—	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	—	62	

## IRFZ34N

International  
IOR Rectifier**Electrical Characteristics @  $T_J = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise specified)**

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	55	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.052	—	V/ $^\circ\text{C}$	Reference to $25^\circ\text{C}$ , $I_D = 1mA$
$R_{DS(ON)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.040	$\Omega$	$V_{GS} = 10V, I_D = 16A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
$g_{fs}$	Forward Transconductance	6.5	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 16A$
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	$\mu A$	$V_{DS} = 55V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	34	nC	$I_D = 16A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	6.8		$V_{DS} = 44V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	14		$V_{GS} = 10V$ , See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	7.0	—	ns	$V_{DD} = 28V$
$t_r$	Rise Time	—	49	—		$I_D = 16A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	31	—		$R_G = 18\Omega$
$t_f$	Fall Time	—	40	—		$R_D = 1.8\Omega$ , See Fig. 10 ④
$L_D$	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact 
$L_S$	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	700	—	pF	$V_{GS} = 0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	240	—		$V_{DS} = 25V$
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	100	—		$f = 1.0MHz$ , See Fig. 5

**Source-Drain Ratings and Characteristics**

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	29	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	100		
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	1.6	V	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $I_S = 16A$ , $V_{GS} = 0V$ ④
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	57	86	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $I_F = 16A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	130	200	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ④
$t_{on}$	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S + L_D$ )				

**Notes:**

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. ( See fig. 11 )

③  $I_{SD} \leq 16A$ ,  $di/dt \leq 420A/\mu s$ ,  $V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$ ,  $T_J \leq 175^\circ\text{C}$ ②  $V_{DD} = 25V$ , starting  $T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $L = 410\mu H$ ,  $R_G = 25\Omega$ ,  $I_{AS} = 16A$ . (See Figure 12)④ Pulse width  $\leq 300\mu s$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .

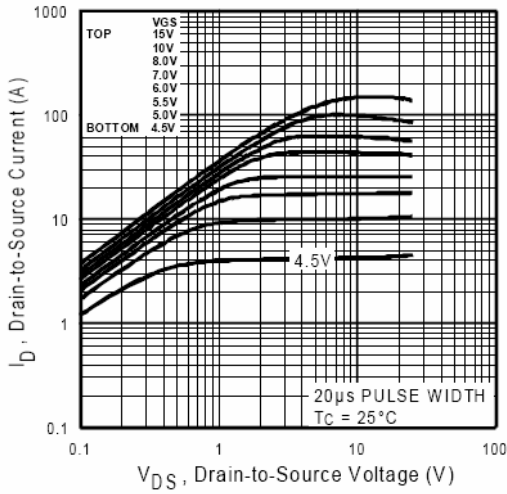


Fig 1. Typical Output Characteristics

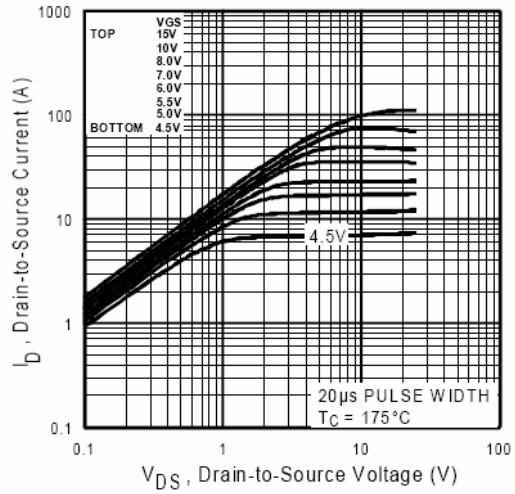


Fig 2. Typical Output Characteristics

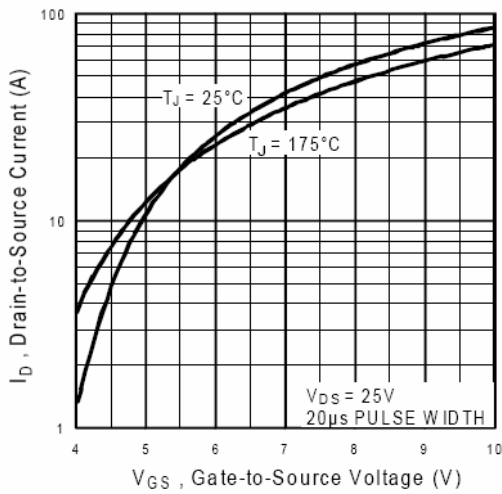


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

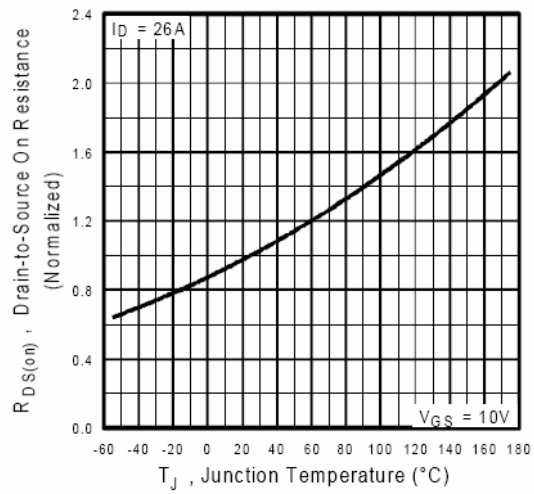
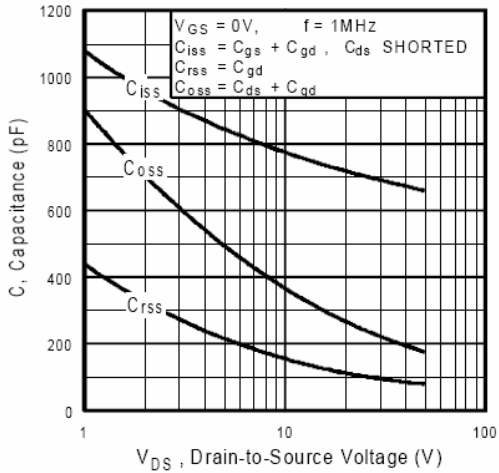


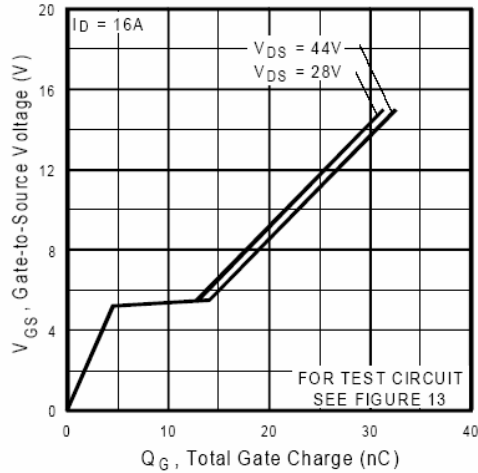
Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

# IRFZ34N

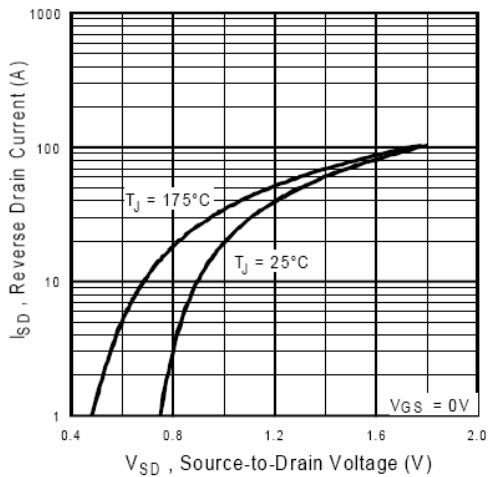
International  
**IR** Rectifier



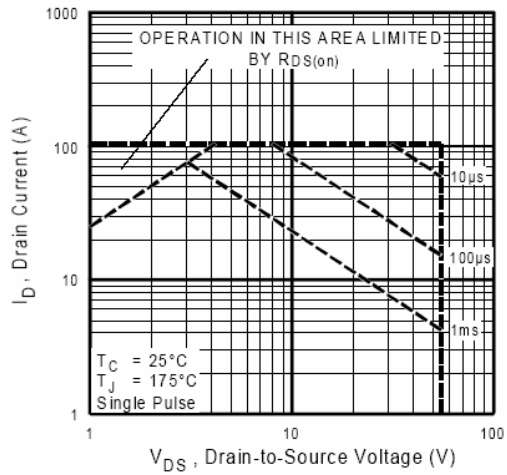
**Fig 5.** Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage



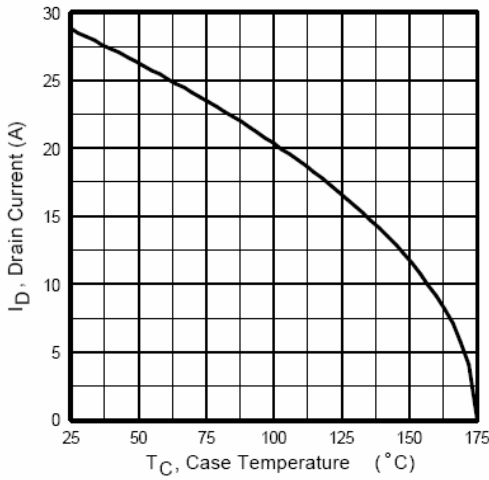
**Fig 6.** Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage



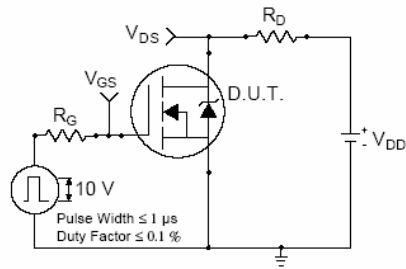
**Fig 7.** Typical Source-Drain Diode Forward Voltage



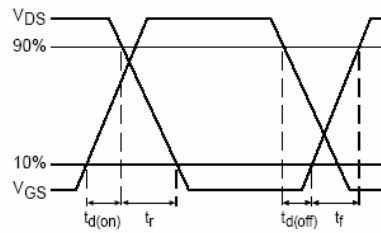
**Fig 8.** Maximum Safe Operating Area



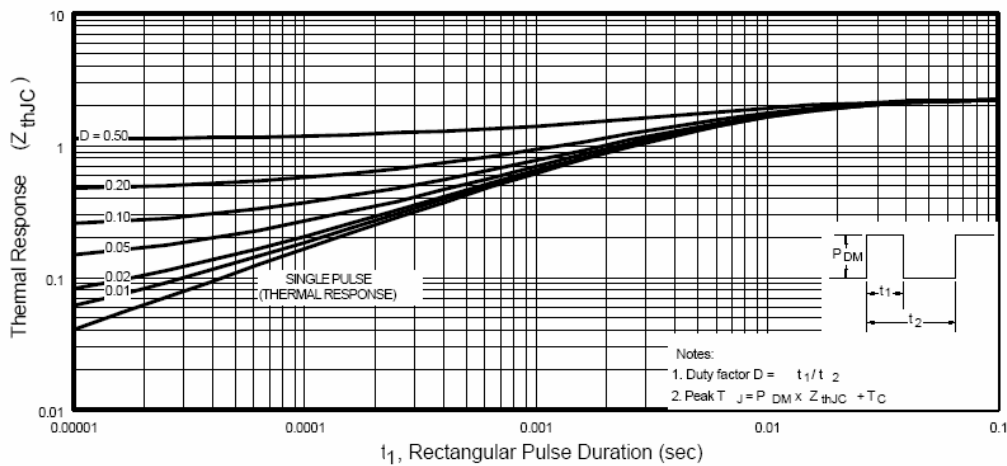
**Fig 9.** Maximum Drain Current Vs. Case Temperature



**Fig 10a.** Switching Time Test Circuit



**Fig 10b.** Switching Time Waveforms



**Fig 11.** Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case



# IRFZ34N

International  
**IOR** Rectifier

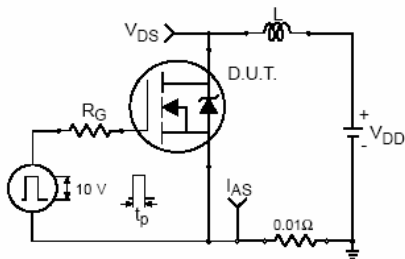


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

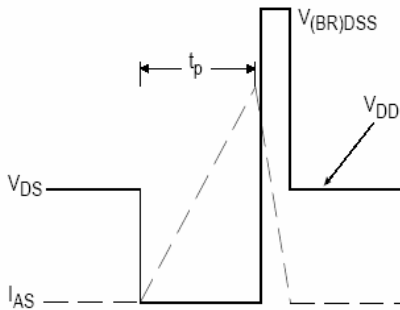


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

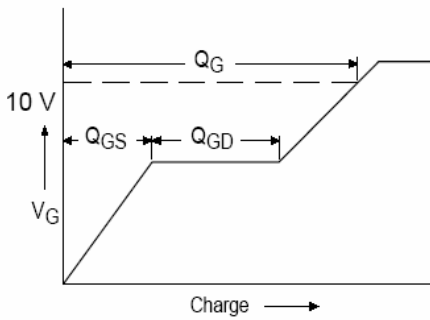


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

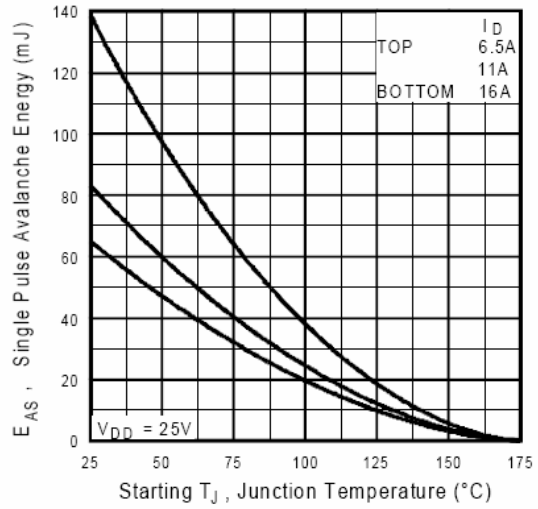


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

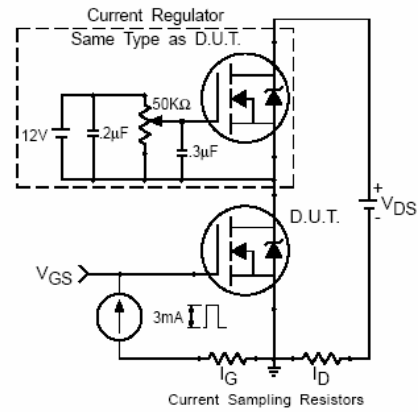
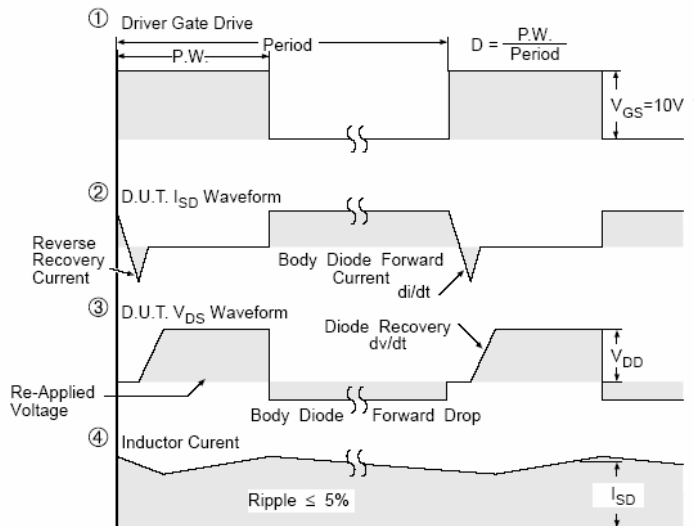
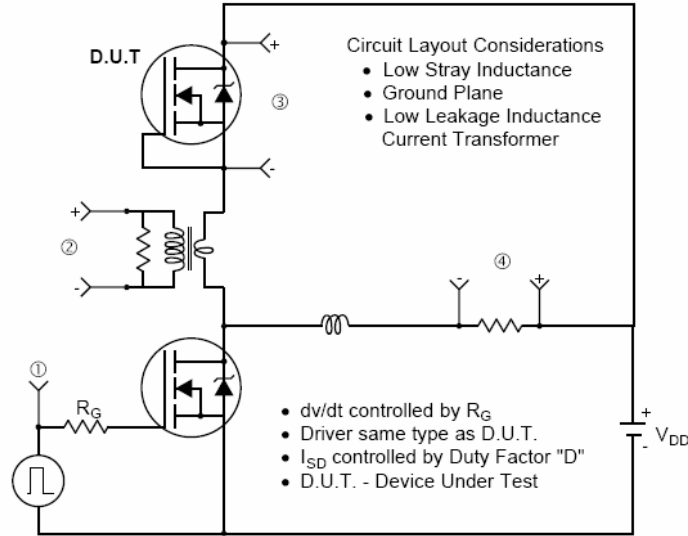


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

**Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit**



\*  $V_{GS} = 5V$  for Logic Level Devices

**Fig 14.** For N-Channel HEXFETS

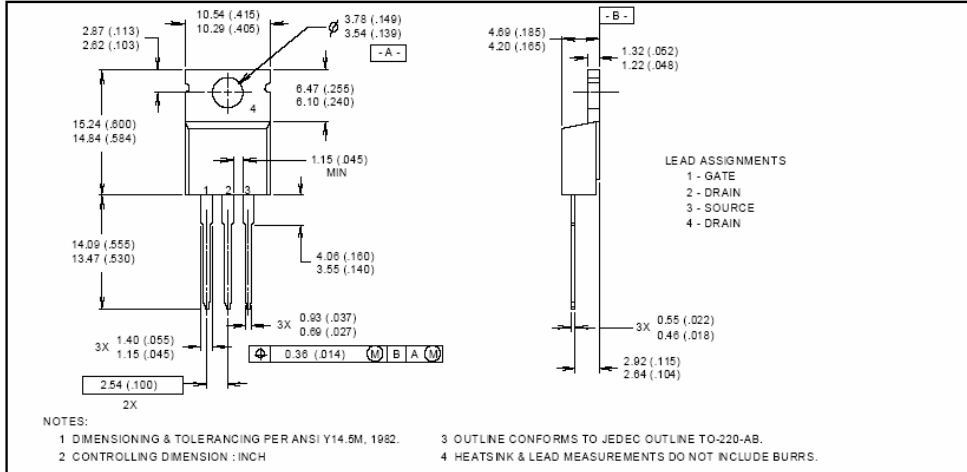
# IRFZ34N



## Package Outline

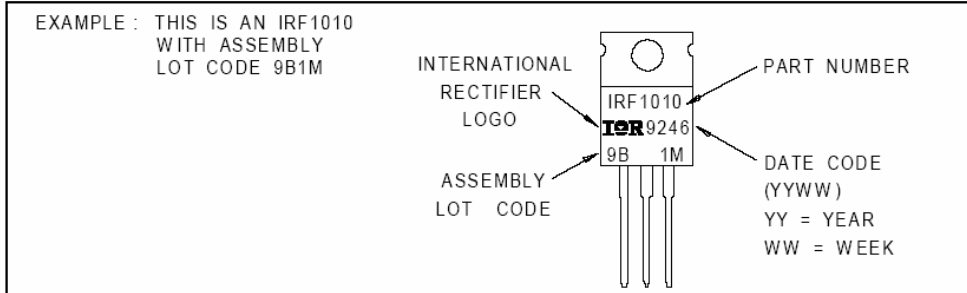
### TO-220AB Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)



## Part Marking Information

### TO-220AB



**WORLD HEADQUARTERS:** 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, Tel: (310) 322 3331  
**EUROPEAN HEADQUARTERS:** Hurst Green, Oxted, Surrey RH8 9BB, UK Tel: ++ 44 1883 732020  
**IR CANADA:** 7321 Victoria Park Ave., Suite 201, Markham, Ontario L3R 2Z8, Tel: (905) 475 1897  
**IR GERMANY:** Saalburgstrasse 157, 61350 Bad Homburg Tel: ++ 49 6172 96590  
**IR ITALY:** Via Liguria 49, 10071 Borgaro, Torino Tel: ++ 39 11 451 0111  
**IR FAR EAST:** K&H Bldg., 2F, 30-4 Nishi-Ikebukuro 3-Chome, Toshima-Ku, Tokyo Japan 171 Tel: 81 3 3983 0086  
**IR SOUTHEAST ASIA:** 315 Outram Road, #10-02 Tan Boon Liat Building, Singapore 0316 Tel: 65 221 8371  
<http://www.irf.com/> Data and specifications subject to change without notice. 8/97



October 1988  
Revised March 2000

# DM74LS47

## BCD to 7-Segment Decoder/Driver with Open-Collector Outputs

### General Description

The DM74LS47 accepts four lines of BCD (8421) input data, generates their complements internally and decodes the data with seven AND/OR gates having open-collector outputs to drive indicator segments directly. Each segment output is guaranteed to sink 24 mA in the ON (LOW) state and withstand 15V in the OFF (HIGH) state with a maximum leakage current of 250  $\mu$ A. Auxiliary inputs provided blanking, lamp test and cascadable zero-suppression functions.

### Features

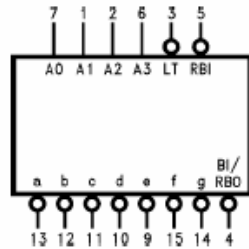
- Open-collector outputs
- Drive indicator segments directly
- Cascadable zero-suppression capability
- Lamp test input

### Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM74LS47M	M16A	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150 Narrow
DM74LS47N	N16E	16-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

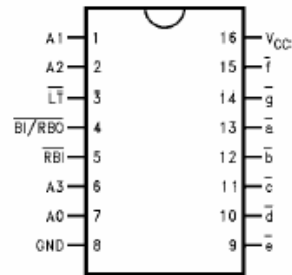
Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

### Logic Symbol



V<sub>CC</sub> = Pin 16  
GND = Pin 8

### Connection Diagram



### Pin Descriptions

Pin Names	Description
A0-A3	BCD Inputs
RBI	Ripple Blanking Input (Active LOW)
LT	Lamp Test Input (Active LOW)
BI/RBO	Blanking Input (Active LOW) or Ripple Blanking Output (Active LOW)
a-g	Segment Outputs (Active LOW) (Note 1)

Note 1: OC—Open Collector

DM74LS47 BCD to 7-Segment Decoder/Driver with Open-Collector Outputs

DM74LS47

Truth Table															
Decimal or Function	Inputs							Outputs							Note
	$\overline{LT}$	$\overline{RBI}$	A3	A2	A1	A0	$\overline{BI/RBO}$	$\overline{a}$	$\overline{b}$	$\overline{c}$	$\overline{d}$	$\overline{e}$	$\overline{f}$	$\overline{g}$	
0	H	H	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	H	(Note 2)
1	H	X	L	L	L	H	H	H	L	L	L	H	H	H	(Note 2)
2	H	X	L	L	H	L	H	L	L	H	L	L	H	L	
3	H	X	L	L	H	H	H	L	L	L	L	H	H	L	
4	H	X	L	H	L	L	H	H	L	L	H	H	L	L	
5	H	X	L	H	L	H	H	L	H	L	L	H	L	L	
6	H	X	L	H	H	L	H	H	H	L	L	L	L	L	
7	H	X	L	H	H	H	H	L	L	L	H	H	H	H	
8	H	X	H	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	
9	H	X	H	L	L	H	H	L	L	L	H	H	L	L	
10	H	X	H	L	H	L	H	H	H	H	L	L	H	L	
11	H	X	H	L	H	H	H	H	H	L	L	H	H	L	
12	H	X	H	H	L	L	H	H	L	H	H	H	L	L	
13	H	X	H	H	L	H	H	L	H	H	L	H	L	L	
14	H	X	H	H	H	L	H	H	H	H	L	L	L	L	
15	H	X	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	
$\overline{BI}$	X	X	X	X	X	X	L	H	H	H	H	H	H	H	(Note 3)
$\overline{RBI}$	H	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	(Note 4)
$\overline{LT}$	L	X	X	X	X	X	H	L	L	L	L	L	L	L	(Note 5)

Note 2:  $\overline{BI/RBO}$  is wire-AND logic serving as blanking input ( $\overline{BI}$ ) and/or ripple-blanking output ( $\overline{RBO}$ ). The blanking out ( $\overline{BI}$ ) must be open or held at a HIGH level when output functions 0 through 15 are desired, and ripple-blanking input ( $\overline{RBI}$ ) must be open or at a HIGH level if blanking or a decimal 0 is not desired. X = input may be HIGH or LOW.

Note 3: When a LOW level is applied to the blanking input (forced condition) all segment outputs go to a HIGH level regardless of the state of any other input condition.

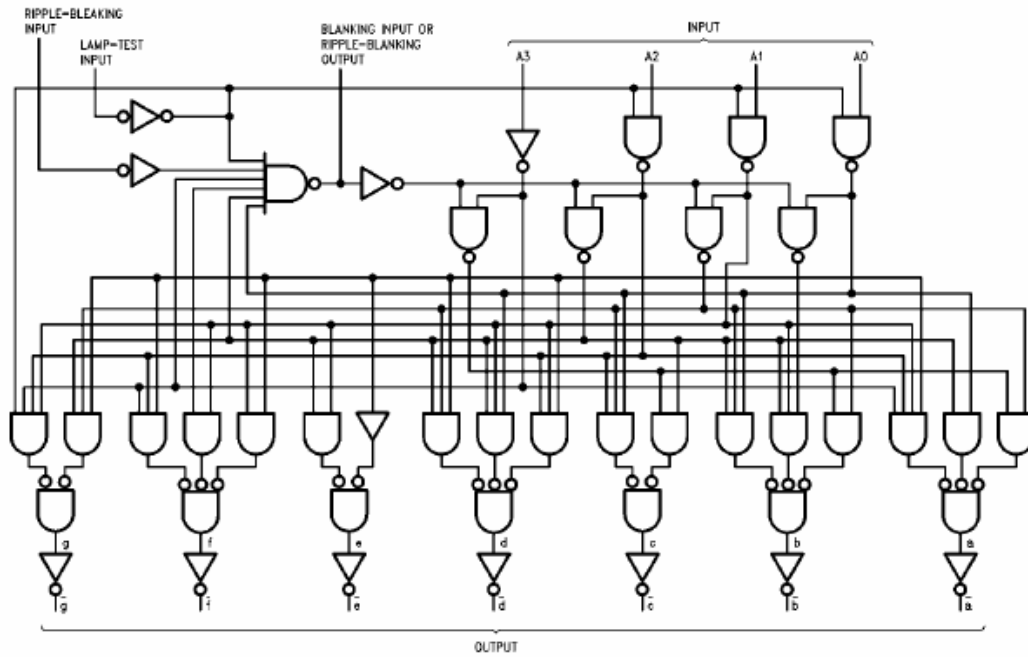
Note 4: When ripple-blanking input ( $\overline{RBI}$ ) and inputs A0, A1, A2 and A3 are LOW level, with the lamp test input at HIGH level, all segment outputs go to a HIGH level and the ripple-blanking output ( $\overline{RBO}$ ) goes to a LOW level (response condition).

Note 5: When the blanking input/ripple-blanking output ( $\overline{BI/RBO}$ ) is OPEN or held at a HIGH level, and a LOW level is applied to lamp test input, all segment outputs go to a LOW level.

### Functional Description

The DM74LS47 decodes the input data in the pattern indicated in the Truth Table and the segment identification illustration. If the input data is decimal zero, a LOW signal applied to the  $\overline{RBI}$  blanks the display and causes a multi-digit display. For example, by grounding the  $\overline{RBI}$  of the highest order decoder and connecting its  $\overline{BI/RBO}$  to  $\overline{RBI}$  of the next lowest order decoder, etc., leading zeros will be suppressed. Similarly, by grounding  $\overline{RBI}$  of the lowest order decoder and connecting its  $\overline{BI/RBO}$  to  $\overline{RBI}$  of the next highest order decoder, etc., trailing zeros will be suppressed. Leading and trailing zeros can be suppressed simultaneously by using external gates, i.e.: by driving  $\overline{RBI}$  of a intermediate decoder from an OR gate whose inputs are  $\overline{BI/RBO}$  of the next highest and lowest order decoders.  $\overline{BI/RBO}$  also serves as an unconditional blanking input. The internal NAND gate that generates the  $\overline{RBO}$  signal has a resistive pull-up, as opposed to a totem pole, and thus  $\overline{BI/RBO}$  can be forced LOW by external means, using wired-collector logic. A LOW signal thus applied to  $\overline{BI/RBO}$  turns off all segment outputs. This blanking feature can be used to control display intensity by varying the duty cycle of the blanking signal. A LOW signal applied to  $\overline{LT}$  turns on all segment outputs, provided that  $\overline{BI/RBO}$  is not forced LOW.

**Logic Diagram**



**Numerical Designations—Resultant Displays**



DM74LS47

**Absolute Maximum Ratings** (Note 6)

Supply Voltage	7V
Input Voltage	7V
Operating Free Air Temperature Range	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

**Note 6:** The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the Electrical Characteristics tables are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

**Recommended Operating Conditions**

Symbol	Parameter	Min	Nom	Max	Units
V <sub>CC</sub>	Supply Voltage	4.75	5	5.25	V
V <sub>IH</sub>	HIGH Level Input Voltage	2			V
V <sub>IL</sub>	LOW Level Input Voltage			0.8	V
I <sub>OH</sub>	HIGH Level Output Current ā - ḡ @ 15V = V <sub>OH</sub> (Note 7)			-250	μA
I <sub>OH</sub>	HIGH Level Output Current $\overline{BI}/\overline{RBO}$			-50	μA
I <sub>OL</sub>	LOW Level Output Current			24	mA
T <sub>A</sub>	Free Air Operating Temperature	0		70	°C

**Note 7:** OFF-State at ā-ḡ.

**Electrical Characteristics**

Over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 8)	Max	Units
V <sub>I</sub>	Input Clamp Voltage	V <sub>CC</sub> = Min, I <sub>I</sub> = -18 mA			-1.5	V
V <sub>OH</sub>	HIGH Level Output Voltage	V <sub>CC</sub> = Min, I <sub>OH</sub> = Max, V <sub>IL</sub> = Max, $\overline{BI}/\overline{RBO}$	2.7	3.4		V
I <sub>OFF</sub>	Output HIGH Current Segment Outputs	V <sub>CC</sub> = 5.5V, V <sub>O</sub> = 15V ā - ḡ			250	μA
V <sub>OL</sub>	LOW Level Output Voltage	V <sub>CC</sub> = Min, I <sub>OL</sub> = Max, V <sub>IH</sub> = Min, ā - ḡ		0.35	0.5	V
		I <sub>OL</sub> = 3.2 mA, $\overline{BI}/\overline{RBO}$			0.5	
		I <sub>OL</sub> = 12 mA, ā - ḡ		0.25	0.4	
		I <sub>OL</sub> = 1.6 mA, $\overline{BI}/\overline{RBO}$			0.4	
I <sub>I</sub>	Input Current @ Max Input Voltage	V <sub>CC</sub> = Max, V <sub>I</sub> = 7V			100	μA
		V <sub>CC</sub> = Max, V <sub>I</sub> = 10V				
I <sub>IH</sub>	HIGH Level Input Current	V <sub>CC</sub> = Max, V <sub>I</sub> = 2.7V			20	μA
I <sub>IL</sub>	LOW Level Input Current	V <sub>CC</sub> = Max, V <sub>I</sub> = 0.4V			-0.4	mA
I <sub>OS</sub>	Short Circuit Output Current	V <sub>CC</sub> = Max (Note 9), I <sub>OS</sub> at $\overline{BI}/\overline{RBO}$				mA
			-0.3		-2.0	
I <sub>CC</sub>	Supply Current	V <sub>CC</sub> = Max			13	mA

**Note 8:** All typicals are at V<sub>CC</sub> = 5V, T<sub>A</sub> = 25°C.

**Note 9:** Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

**Switching Characteristics**

at V<sub>CC</sub> = +5.0V, T<sub>A</sub> = +25°C

Symbol	Parameter	Conditions	R <sub>L</sub> = 665Ω		Units
			C <sub>L</sub> = 15 pF		
			Min	Max	
t <sub>PLH</sub>	Propagation Delay A <sub>n</sub> to ā - ḡ			100	ns
t <sub>PHL</sub>				100	
t <sub>PLH</sub>	Propagation Delay R $\overline{BI}$ to ā - ḡ (Note 10)			100	ns
t <sub>PHL</sub>				100	

**Note 10:**  $\overline{LF}$  = HIGH, A0-A3 = LOW



**2N3904**

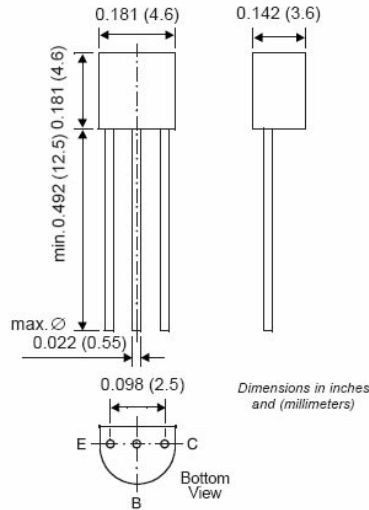
New Product

Vishay Semiconductors  
formerly General Semiconductor

**Small Signal Transistor (NPN)**



TO-226AA (TO-92)



**Features**

- NPN Silicon Epitaxial Planar Transistor for switching and amplifier applications.
- As complementary type, the PNP transistor 2N3906 is recommended.
- On special request, this transistor is also manufactured in the pin configuration TO-18.
- This transistor is also available in the SOT-23 case with the type designation MMBT3904.

**Mechanical Data**

**Case:** TO-92 Plastic Package

**Weight:** approx. 0.18g

**Packaging Codes/Options:**

- E6/Bulk – 5K per container, 20K/box
- E7/4K per Ammo mag., 20K/box

**Maximum Ratings & Thermal Characteristics** Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.

Parameter	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V <sub>CEO</sub>	40	V
Collector-Base Voltage	V <sub>CBO</sub>	60	V
Emitter-Base Voltage	V <sub>EBO</sub>	6.0	V
Collector Current	I <sub>C</sub>	200	mA
Power Dissipation	P <sub>tot</sub>	625 1.5	mW W
Thermal Resistance Junction to Ambient Air	R <sub>θJA</sub>	250 <sup>(1)</sup>	°C/W
Junction Temperature	T <sub>J</sub>	150	°C
Storage Temperature Range	T <sub>S</sub>	-65 to +150	°C

Note:  
(1) Valid provided that leads are kept at ambient temperature.



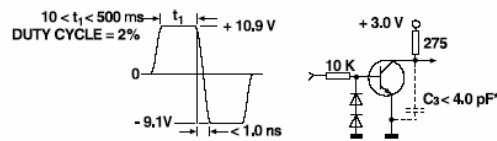
# 2N3904



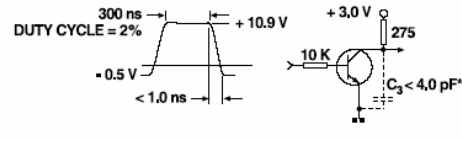
Vishay Semiconductors  
formerly General Semiconductor

## Electrical Characteristics (T<sub>J</sub> = 25°C unless otherwise noted)

Parameter	Symbol	Test Condition	Min	Typ	Max	Unit
Collector-Base Breakdown Voltage	V <sub>(BR)CBO</sub>	I <sub>C</sub> = 10 μA, I <sub>E</sub> = 0	60	—	—	V
Collector-Emitter Breakdown Voltage <sup>(1)</sup>	V <sub>(BR)CEO</sub>	I <sub>C</sub> = 1 mA, I <sub>B</sub> = 0	40	—	—	V
Emitter-Base Breakdown Voltage	V <sub>(BR)EBO</sub>	I <sub>E</sub> = 10 μA, I <sub>C</sub> = 0	6	—	—	V
Collector Saturation Voltage	V <sub>CEsat</sub>	I <sub>C</sub> = 10 mA, I <sub>B</sub> = 1 mA I <sub>C</sub> = 50 mA, I <sub>B</sub> = 5 mA	—	—	0.2 0.3	V
Base Saturation Voltage	V <sub>BEsat</sub>	I <sub>C</sub> = 10 mA, I <sub>B</sub> = 1 mA I <sub>C</sub> = 50 mA, I <sub>B</sub> = 5 mA	—	—	0.85 0.95	V
Collector-Emitter Cutoff Current	I <sub>CEV</sub>	V <sub>EB</sub> = 3 V, V <sub>CE</sub> = 30 V	—	—	50	nA
Emitter-Base Cutoff Current	I <sub>EBV</sub>	V <sub>EB</sub> = 3 V, V <sub>CE</sub> = 30 V	—	—	50	nA
DC Current Gain	h <sub>FE</sub>	V <sub>CE</sub> = 1 V, I <sub>C</sub> = 0.1 mA V <sub>CE</sub> = 1 V, I <sub>C</sub> = 1 mA V <sub>CE</sub> = 1 V, I <sub>C</sub> = 10 mA V <sub>CE</sub> = 1 V, I <sub>C</sub> = 50 mA V <sub>CE</sub> = 1 V, I <sub>C</sub> = 100 mA	40 70 100 60 30	— — 300 — —	— — — — —	—
Input Impedance	h <sub>ie</sub>	V <sub>CE</sub> = 10 V, I <sub>C</sub> = 1 mA f = 1 kHz	1	—	10	kΩ
Voltage Feedback Ratio	h <sub>re</sub>	V <sub>CE</sub> = 10 V, I <sub>C</sub> = 1 mA f = 1 kHz	0.5 · 10 <sup>-4</sup>	—	8 · 10 <sup>-4</sup>	—
Gain-Bandwidth Product	f <sub>T</sub>	V <sub>CE</sub> = 20 V, I <sub>C</sub> = 10 mA f = 100 MHz	300	—	—	MHz
Collector-Base Capacitance	C <sub>CB0</sub>	V <sub>CB</sub> = 5 V, f = 100 kHz	—	—	4	pF
Emitter-Base Capacitance	C <sub>EB0</sub>	V <sub>CB</sub> = 0.5 V, f = 100 kHz	—	—	8	pF
Small Signal Current Gain	h <sub>fe</sub>	V <sub>CE</sub> = 10 V, I <sub>C</sub> = 1 mA, f = 1 kHz	100	—	400	—
Output Admittance	h <sub>oe</sub>	V <sub>CE</sub> = 1 V, I <sub>C</sub> = 1 mA, f = 1 kHz	1	—	40	μS
Noise Figure	NF	V <sub>CE</sub> = 5 V, I <sub>C</sub> = 100 μA, R <sub>G</sub> = 1 kΩ, f = 10...15000 kHz	—	—	5	dB
Delay Time (see fig. 1)	t <sub>d</sub>	I <sub>B1</sub> = 1 mA, I <sub>C</sub> = 10 mA	—	—	35	ns
Rise Time (see fig. 1)	t <sub>r</sub>	I <sub>B1</sub> = 1 mA, I <sub>C</sub> = 10 mA	—	—	35	ns
Storage Time (see fig. 2)	t <sub>s</sub>	-I <sub>B1</sub> = I <sub>B2</sub> = 1 mA I <sub>C</sub> = 10 mA	—	—	200	ns
Fall Time (see fig. 2)	t <sub>f</sub>	-I <sub>B1</sub> = I <sub>B2</sub> = 1 mA I <sub>C</sub> = 10 mA	—	—	50	ns



**Fig. 1:** Test circuit for delay and rise time  
\* total shunt capacitance of test jig and connectors



**Fig. 2:** Test circuit for storage and fall time  
\* total shunt capacitance of test jig and connectors



**IRF9540, RF1S9540SM**

*Data Sheet*

*July 1999*

*File Number 2282.6*

**19A, 100V, 0.200 Ohm, P-Channel Power MOSFETs**

These are P-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistors. They are advanced power MOSFETs designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching convertors, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. They can be operated directly from integrated circuits.

Formerly Developmental Type TA17521.

**Ordering Information**

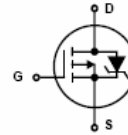
PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRF9540	TO-220AB	IRF9540
RF1S9540SM	TO-263AB	RF1S9540

NOTE: When ordering, use the entire part number. Add the suffix 9A to obtain the TO-263AB variant in the tape and reel, i.e., RF1S9540SM9A.

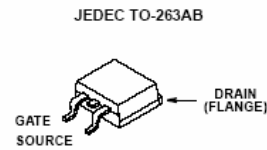
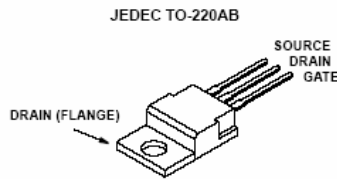
**Features**

- 19A, 100V
- $r_{DS(ON)} = 0.200\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
  - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

**Symbol**



**Packaging**



**IRF9540, RF1S9540SM**

**Absolute Maximum Ratings**  $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

	IRF9540, RF1S9540SM	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1)	$V_{DS}$	-100 V
Drain to Gate Voltage ( $R_{GS} = 20\text{k}\Omega$ ) (Note 1)	$V_{DGR}$	-100 V
Continuous Drain Current	$I_D$	-19 A
$T_C = 100^\circ\text{C}$	$I_D$	-12 A
Pulsed Drain Current (Note 3)	$I_{DM}$	-76 A
Gate to Source Voltage	$V_{GS}$	$\pm 20$ V
Maximum Power Dissipation (Figure 1)	$P_D$	150 W
Linear Derating Factor (Figure 1)		1 $\text{W}/^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4)	$E_{AS}$	960 mJ
Operating and Storage Temperature	$T_J, T_{STG}$	-55 to 175 $^\circ\text{C}$
Maximum Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s	$T_L$	300 $^\circ\text{C}$
Package Body for 10s, See Techbrief 334	$T_{pkg}$	260 $^\circ\text{C}$

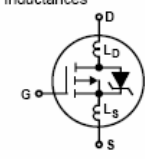
CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

- $T_J = 25^\circ\text{C}$  to  $150^\circ\text{C}$ .

**Electrical Specifications**  $T_C = 25^\circ\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Drain to Source Breakdown Voltage	$BV_{DSS}$	$I_D = -250\mu\text{A}, V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 10)	-100	-	-	V
Gate to Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = -250\mu\text{A}$	-2	-	-4	V
Zero Gate Voltage Drain Current	$I_{DSS}$	$V_{DS} = \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0\text{V}$	-	-	-25	$\mu\text{A}$
		$V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0\text{V}, T_C = 125^\circ\text{C}$	-	-	-250	$\mu\text{A}$
On-State Drain Current (Note 2)	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)} \text{ MAX}, V_{GS} = -10\text{V}$	-19	-	-	A
Gate to Source Leakage Current	$I_{GSS}$	$V_{GS} = \pm 20\text{V}$	-	-	$\pm 100$	nA
Drain to Source On Resistance (Note 2)	$r_{DS(ON)}$	$I_D = -10\text{A}, V_{GS} = -10\text{V}$ (Figures 8, 9)	-	0.150	0.200	$\Omega$
Forward Transconductance (Note 2)	$g_{fs}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)} \text{ MAX}, I_D = -6\text{A}$ (Figure 12)	5	7	-	S
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	$V_{DD} = -50\text{V}, I_D = -19\text{A}, R_G = 9.1\Omega, R_L = 2.3\Omega, V_{GS} = -10\text{V}$ , (Figures 17, 18)	-	16	20	ns
Rise Time	$t_r$	MOSFET Switching Times are Essentially Independent of Operating Temperature	-	65	100	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	47	70	ns
Fall Time	$t_f$		-	28	70	ns
Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain)	$Q_g(\text{TOT})$	$V_{GS} = -10\text{V}, I_D = -19\text{A}, V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, I_{G(REF)} = -1.5\text{mA}$ (Figures 14, 19, 20) Gate Charge is Essentially Independent of Operating Temperature	-	70	90	nC
Gate to Source Charge	$Q_{gs}$		-	14	-	nC
Gate to Drain "Miller" Charge	$Q_{gd}$		-	56	-	nC
Input Capacitance	$C_{ISS}$	$V_{DS} = -25\text{V}, V_{GS} = 0\text{V}, f = 1\text{MHz}$ (Figure 11)	-	1100	-	pF
Output Capacitance	$C_{OSS}$		-	550	-	pF
Reverse Transfer Capacitance	$C_{RSS}$		-	250	-	pF
Internal Drain Inductance	$L_D$	Measured From the Contact Screw on Tab to the Center of Die	-	3.5	-	nH
		Measured From the Drain Lead, 6mm (0.25in) from Package to the Center of Die	-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	$L_S$	Measured From the Source Lead, 6mm (0.25in) From Package to Source Bonding Pad	-	7.5	-	nH
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta JC}$		-	-	1	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	Typical Socket Mount	-	-	62.5	$^\circ\text{C}/\text{W}$



IRF9540, RF1S9540SM

Source to Drain Diode Specifications

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Continuous Source to Drain Current	$I_{SD}$	Modified MOSFET Symbol Showing the Integral Reverse P-N Junction Diode	-	-	-19	A
Pulse Source to Drain Current (Note 3)	$I_{SDM}$		-	-	-76	A
Source to Drain Diode Voltage (Note 2)	$V_{SD}$	$T_C = 25^\circ\text{C}$ , $I_{SD} = -19\text{A}$ , $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 13)	-	-	-1.5	V
Reverse Recovery Time	$t_{rr}$	$T_J = 150^\circ\text{C}$ , $I_{SD} = 19\text{A}$ , $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	170	-	ns
Reverse Recovery Charge	$Q_{RR}$	$T_J = 150^\circ\text{C}$ , $I_{SD} = 19\text{A}$ , $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	0.8	-	$\mu\text{C}$

NOTES:

2. Pulse test: pulse width  $\leq 300\mu\text{s}$ , duty cycle  $\leq 2\%$ .
3. Repetitive rating: pulse width limited by maximum junction temperature. See Transient Thermal Impedance curve (Figure 3).
4.  $V_{DD} = 25\text{V}$ , starting  $T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $L = 4\text{mH}$ ,  $R_G = 25\Omega$ , peak  $I_{AS} = 19\text{A}$ . (Figures 15, 16).

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

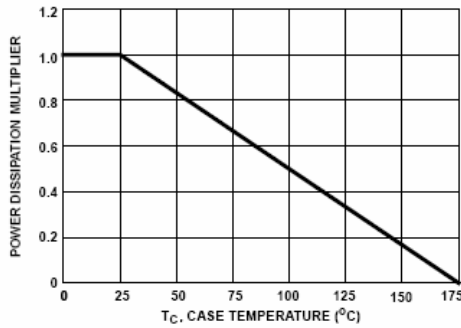


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

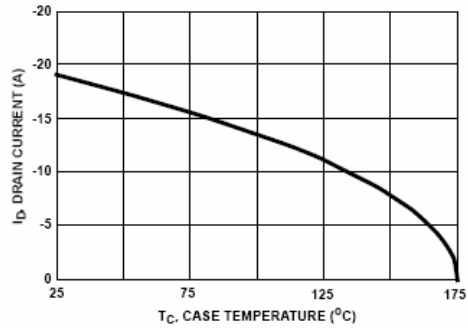


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

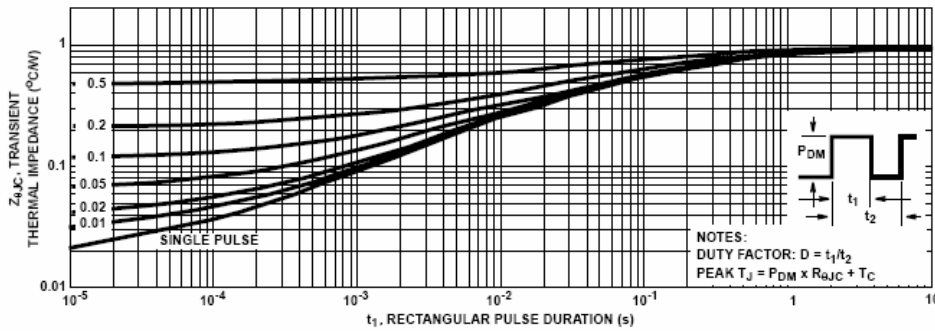


FIGURE 3. NORMALIZED MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

IRF9540, RF1S9540SM

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

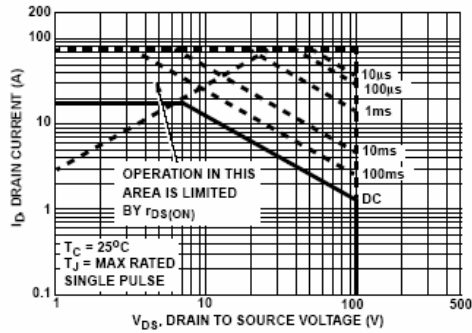


FIGURE 4. FORWARD BIAS SAFE OPERATING AREA

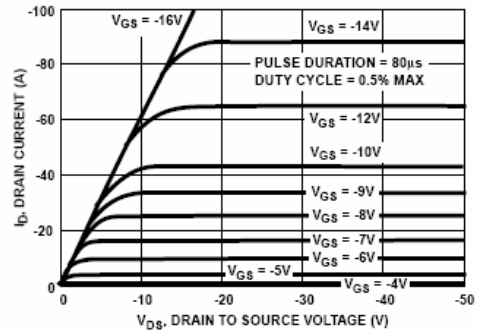


FIGURE 5. OUTPUT CHARACTERISTICS

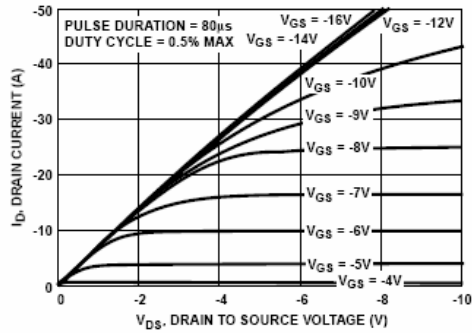


FIGURE 6. SATURATION CHARACTERISTICS

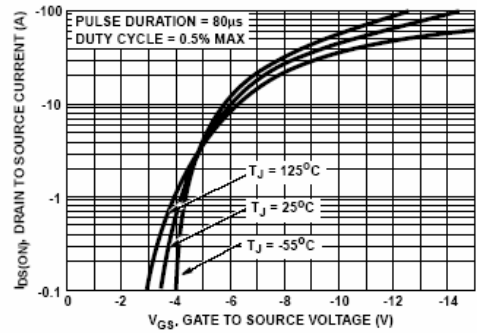
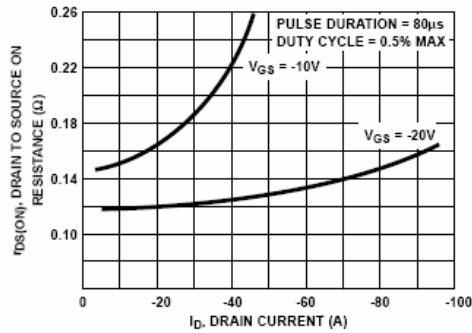


FIGURE 7. TRANSFER CHARACTERISTICS



NOTE: Heating effect of 2µs pulse is minimal.

FIGURE 8. DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs GATE VOLTAGE AND DRAIN CURRENT

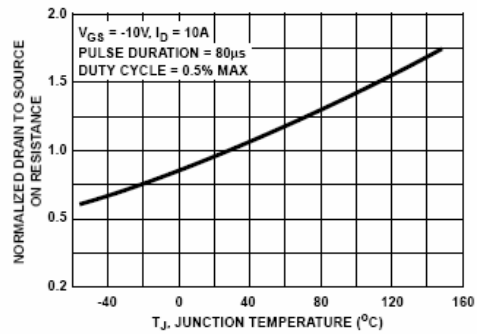


FIGURE 9. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs JUNCTION TEMPERATURE

IRF9540, RF1S9540SM

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

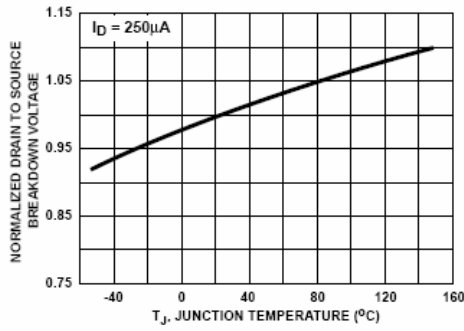


FIGURE 10. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE BREAKDOWN VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

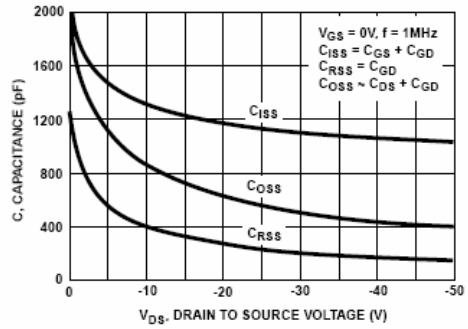


FIGURE 11. CAPACITANCE vs DRAIN TO SOURCE VOLTAGE

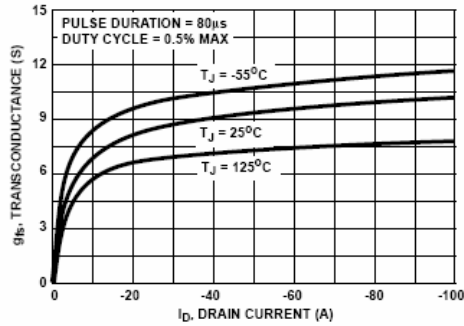


FIGURE 12. TRANSCONDUCTANCE vs DRAIN CURRENT

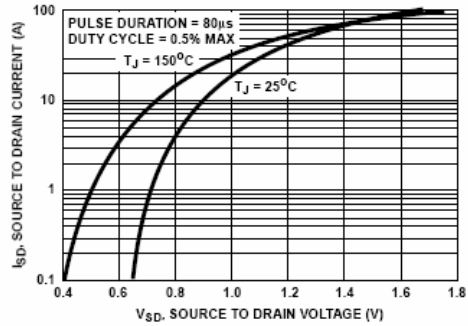


FIGURE 13. SOURCE TO DRAIN DIODE VOLTAGE

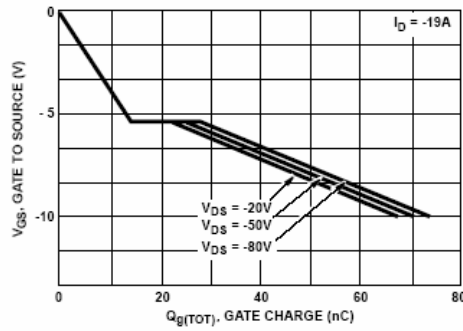


FIGURE 14. GATE TO SOURCE VOLTAGE vs GATE CHARGE

IRF9540, RF1S9540SM

Test Circuits and Waveforms

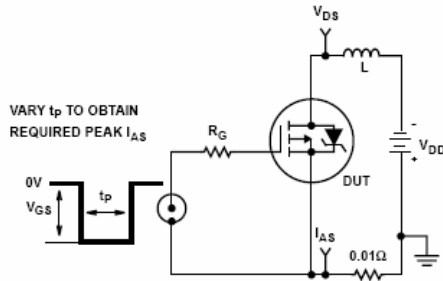


FIGURE 15. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

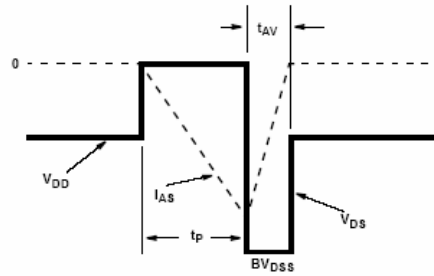


FIGURE 16. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

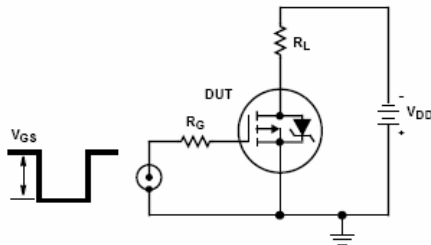


FIGURE 17. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

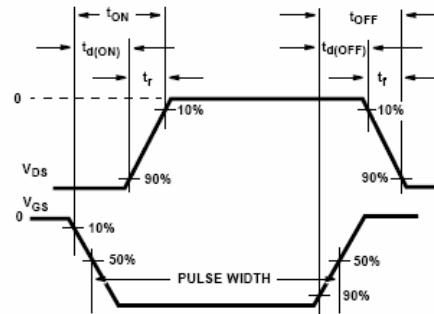


FIGURE 18. RESISTIVE SWITCHING WAVEFORMS

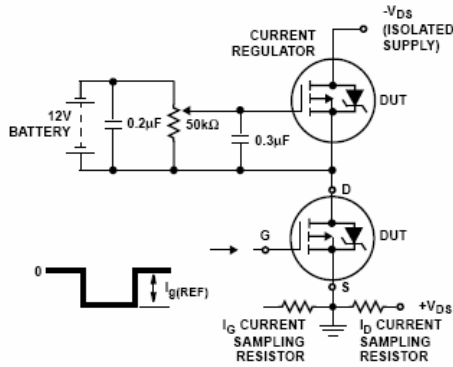


FIGURE 19. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

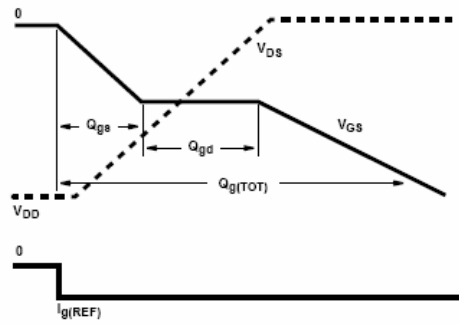


FIGURE 20. GATE CHARGE WAVEFORMS

Sangolquí, Septiembre del 2005

Elaborado por:

---

Jorge Renato Oña Pólit

---

Tcrn. Marcelo Gómez

DECANO DE LA FACULTAD

---

Dr. Jorge Carvajal

SECRETARIO ACADÉMICO