

# EVALUACIÓN SOBRE PANELES SOLARES E IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO CON INTERFAZ PARA MEDICIÓN DE PARÁMETROS MEDIANTE MINICOMPUTADORA RASPBERRY PI

Rodrigo Raúl Lindao Suárez <sup>(1)</sup>

Gustavo Rubén Sampedro Merchán <sup>(2)</sup>

Carlos Valdivieso Armendáriz <sup>(3)</sup>

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo Km 30.5, vía Perimetral

Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador

rrlindao@espol.edu.ec <sup>(1)</sup>, gsampedr@espol.edu.ec <sup>(2)</sup>, cvaldiv@fiec.espol.edu.ec <sup>(3)</sup>

## Resumen

*El siguiente artículo presenta un sistema que permite la medición de parámetros eléctricos generados por paneles solares mediante el uso de la minicomputadora Raspberry PI y el microcontrolador PIC16F887. En este panel solar todos los voltajes de salida están en forma analógica, sólo necesitamos convertirlos en forma digital mediante un convertidor analógico-digital que envía 8-bits al puerto GPIO en una Raspberry PI, estos datos se procesan en la minicomputadora por un programa escrito en C, la librería WIRINGPI y un archivo de texto guardan los parámetros eléctricos durante un periodo de tiempo. Estos parámetros se utilizan para modelar curvas características de corriente, voltaje y potencia eléctrica, obteniendo como resultado el rendimiento del panel solar bajo ciertas condiciones climáticas utilizadas en la implementación.*

**Palabras Claves:** *Raspberry Pi, paneles solares, evaluación, medición, parámetros eléctricos.*

## Abstract

*The following article presents a system that allows the measurement of electrical parameters generated by solar panels using the Raspberry PI minicomputer and the PIC16F887 microcontroller. In this solar panel all the output voltages are in the analog form, we need to convert them in digital form using an analog-to-digital converter that sends 8-bits at the GPIO port on a Raspberry PI, this data is processed in the minicomputer by a program written in C, the WIRINGPI library and a text file saves the electrical parameters during a period of time. These parameters are used to model characteristic curves of current, voltage and electrical power, obtaining as a result the performance of the solar panel under certain weather conditions utilized in the implementation.*

**Keywords:** *Raspberry Pi, solar panels, evaluation, measurement, electrical parameters.*

## 1. Antecedentes

La necesidad de emplear nuevos métodos de generación de energía que sean de pequeño o nulo impacto de energía que sean de pequeño o nulo impacto ecológico ha dado como resultado el estudio de las energías renovables, una de ellas es el aprovechamiento de la energía solar.

Al planeta tierra llegan como valor medio 1367 (W/m<sup>2</sup>) [11]. Este valor de potencia radiante no es el valor que llega a la superficie de la tierra, pues la atmósfera atenúa a la radiación solar a través de fenómenos de reflexión, absorción y difusión ocasionada por las moléculas de aire, ozono vapor de agua y otros gases presentes en ella, por lo tanto la irradiación en un plano horizontal ubicado sobre la superficie terrestre alcanza un valor máximo de 1000 (W/m<sup>2</sup>) durante el mediodía en un día claro, es decir el valor máximo a aprovechar [11].

### 1.1 Planteamiento del problema

En nuestro país la mayor parte de la energía eléctrica es generada a través de centrales hidroeléctricas, térmicas, pero en la actualidad buscamos el uso de energías alternativas que sean menos contaminantes. Las opciones para reducir la dependencia de estas centrales como principal fuente de generación de energía, son las energías renovables como la energía solar y energía eólica las cuales se desean implementar en el país.

Por lo cual se hace imperioso hacer un análisis sobre este tipo de energías, para realizar una evaluación efectiva sobre los paneles solares obtendremos parámetros de corriente, voltaje, potencia; de los cuales graficaremos los resultados y haremos el análisis debido.

## 2. Fundamento Teórico

### 2.2 Raspberry PI

RASPBERRY PI contiene un procesador y chip de gráficos, memoria RAM y diversas interfaces y conectores para dispositivos externos. Nuestra mini computadora opera en la misma forma que un PC estándar, que requiere un teclado, una unidad de visualización y una fuente de alimentación.

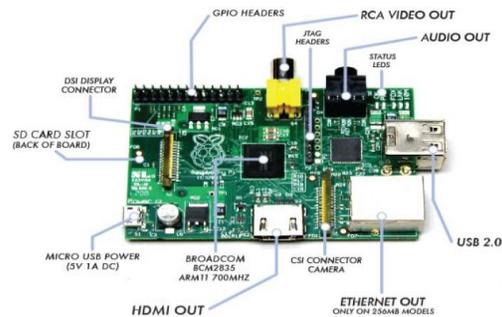


Figura 1. Distribución de interfaces de I/O del Raspberry Pi.

#### Periféricos:

Puertos RCA este nos permite usar nuestro TV como monitor. 2 puertos USB para conectar los dispositivos de entrada y salida como Teclado y Mouse además se podría conectar un HUB USB para lograr más entradas USB según la necesidad del usuario.

Posee puerto HDMI este nos permitiría observar en alta definición las actividades realizadas en televisores y monitores que soporten esta tecnología. [1]

#### Interfaces de comunicación:

Puerto Ethernet permite establecer conexión con otros equipos que pertenezcan a la red LAN donde se encuentra conectado nuestro equipo mediante la cual pueda tener acceso a la WEB para hacer descargas de paquetes que serán de mucha ayuda para programas basados en LINUX.[1]

Otra opción es conectar un adaptador inalámbrico USB el cual se establece conexión con la red mediante un access points.

GPIO PINS (Pins de Propósito generales Entradas y Salidas) su uso principal es establecer comunicación con otras tarjetas electrónicas que nos permitan realizar ciertas aplicaciones que se requieran.

### 2.3 Raspbian en Raspberry PI

El Raspberry PI posee un sistema operativo LINUX llamado Raspbian teniendo un ambiente de escritorio conocido como Lightweight X11 Desktop Environment (LXDE).

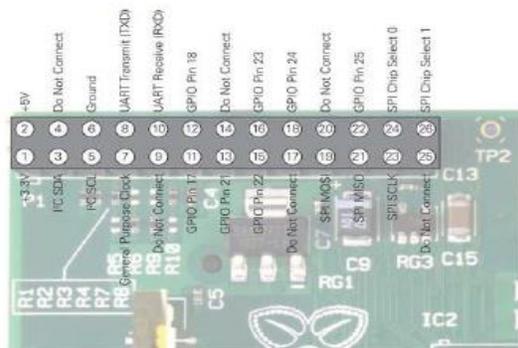


**Figura 2.** Interfaz Gráfica del Raspberry Pi.

Este escritorio muestra algunos iconos Debian Reference detalla la distribución del Linux Debian, Leafpad es un editor de texto que sirve para hacer notas rápida o escribir programas simples, Lx Terminal permite usar líneas de comando en Linux sin dejar la interface gráfica, root terminal permite ingresar como un súper usuario principalmente para realizar mantenimiento de sistema.[2]

## 2.4 GPIO pins

El puerto GPIO del Raspberry Pi está compuesto por 26 pines, los cuales nos permite establecer conexión con hardware electrónico externo mediante el cual obtendremos muestras que nos interesan en los diferentes prototipos que analizaremos.

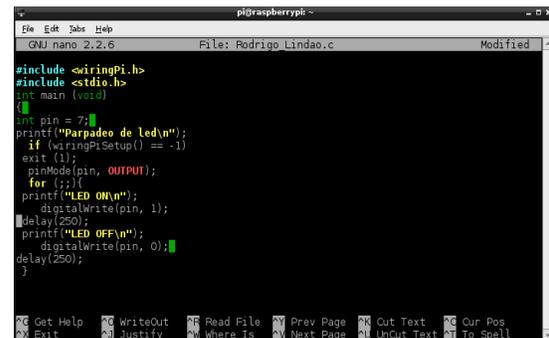


**Figura 3.** Pines del Puerto GPIO

Los pines GPIO pueden ser usados como pines de propósito generales Entradas y Salidas el voltaje entregado por los pines oscila entre 0V y 3.3V. Contiene 7 pines de propósito general usados por defecto PIN 11, PIN 12, PIN 13, PIN 15, PIN 16, PIN 18 y PIN 22. Mientras el PIN 7 provee una señal de reloj puede funcionar también como pin de propósito general.[6]

## 2.5 Librería Wiring Pi

Para lograr establecer una comunicación entre nuestro lenguaje C y los pines GPIO se debe instalar ciertas librerías que existen en la WEB como la librería WiringPi. El Raspberry Pi permite periféricos y tarjetas de expansión para acceder al CPU para exponer las entradas y salidas que usaremos para nuestro proyecto. La librería WiringPi escrita en C ofrece un acceso hacia los pines de propósito general es similar a la librería arduPi de Arduino soporta algunas funciones que esta realiza como UART, I2C, SPI y PWM desarrollada por Gordon Herdenson.[3]



**Figura 4.** Creación de Programa en C y Librería WiringPi

## 2.6 La célula Fotovoltaica

Son dispositivos que transforman energía solar en electricidad, la luz ingresa directamente sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produciendo una diferencia de voltaje que genera una corriente a través de un circuito externo.

Se construye con un semiconductor tipo n y otro semiconductor tipo p de tal modo que la red cristalina del semiconductor no se interrumpa al pasar de una región a otra. [7]



**Figura 5.** Modulo Solar para Arduino

La unión pn hace posible la aparición de un campo eléctrico en la célula (con la dirección del lado n al lado p) que separa los pares en los

huecos, cargas positivas, los dirige hacia el contacto del lado p lo que provoca la extracción de un electrón desde el metal que constituye el contacto; los electrones, cargas negativas, los dirige hacia el contacto del lado n inyectándolos en el metal. Esto hace posible el mantenimiento de una corriente eléctrica por el circuito. [7]

## 2.7 Modelo de Duffie & Beckman

Una célula fotovoltaica funciona como un generador de corriente, que puede ser modelada mediante una fuente de corriente  $I_L$  debida a la generación de portadores de iluminación, conectada en paralelo a un diodo, cuya corriente  $I_D$  (corriente de diodo de oscuridad según la teoría de Shockley) esto se debe a la recombinación de portadores como consecuencia de la tensión entre sus extremos [8].

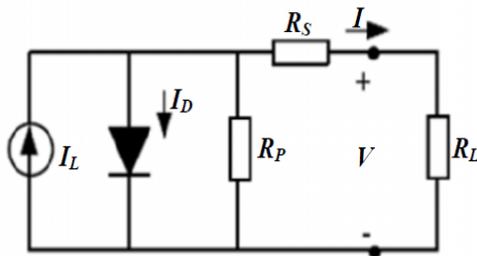


Figura 6. Circuito equivalente de la célula solar

De acuerdo a este modelo se comienza a partir de la siguiente ecuación que caracteriza el circuito equivalente de la célula solar.

$$I = I_L - I_0 \left[ e^{\frac{V+I \cdot R_S}{V_t}} - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_S}{R_P}$$

Sobre esta ecuación se harán diferentes consideraciones que la simplificarán de cuyo resultado obtendremos una ecuación más simple con una buena aproximación del comportamiento del panel [8].

Como el término exponencial es mucho mayor que uno, el último término desaparece y debido a que  $R_P \rightarrow \infty$   $R_S \rightarrow 0$ ; además en cortocircuito se cumple que  $I_L = I_{SC}$  y en circuito abierto se cumple que  $I_0 = I_L \cdot e^{\frac{-V_{oc}}{V_t}}$  la ecuación de intensidad queda como [8]:

$$I = I_{SC} * \left[ 1 - e^{\frac{V-V_{oc}}{V_{tpanel}}} \right]$$

Isc: Intensidad de cortocircuito en condiciones estándares.

V: Tensión en bornes del Panel Solar.

Voc: Tensión de circuito abierto en condiciones estándares.

Vt: Tensión umbral de los diodos que forman el panel. Esta tensión umbral se puede extraer para un diodo como  $V_{tpanel} = mV_t$ ; donde m es el número de células del panel solar.

$$V_t = \frac{nKT}{q}$$

n: factor de idealidad del diodo (se considera 1).

K: constante de Boltzmann ( $1.38 * 10^{-23}$  [J/K]).

q: carga del electrón ( $1.6 * 10^{-19}$  [C])

T: temperatura del panel solar.

## 3. Desarrollo y Diseño

### 3.2 Implementación de la interfaz para medición de parámetros mediante el Raspberry PI.

Evaluaremos un panel solar y para lograr este objetivo debemos adquirir los datos de voltaje, corriente y potencia. El panel solar cuando es expuesto a la luz produce un valor de voltaje y corriente, estos valores deben ingresar a nuestra minicomputadora, utilizamos un PIC16F887 para cumplir ese objetivo. En la siguiente figura observamos el diagrama de bloques de cómo está conformado nuestro proyecto.

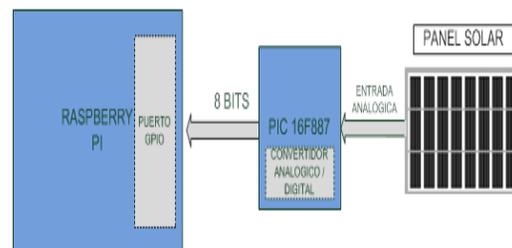


Figura 3. Diagrama de bloques

Nuestro diseño se basa fundamentalmente en adquirir datos del panel solar por medio de una señal analógica y debido a que el puerto GPIO solo tiene entradas digitales debemos utilizar un convertidor analógico/digital, para nuestro proyecto usaremos el PIC16F887 como un ADC, el cual convertirá la señal analógica del panel solar en una señal digital representada en 8 bits que ingresara al puerto GPIO de la minicomputadora.

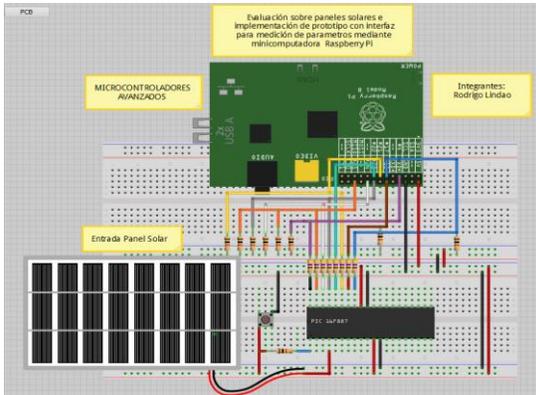


Figura 7. Esquemático realizado en Fritzing de nuestro prototipo

#### 4. Pruebas y Simulación del Proyecto

##### 4.2 Prueba de la Interfaz para Medición de Parámetros del panel solar con el RASPBERRY PI.

El panel solar es expuesto al sol durante un día para obtener los valores de voltaje, corriente y potencia y graficarlos en la curva característica de  $I - V$ .



Figura 8. Implementación del Panel Solar con Raspberry PI.

##### 4.3 Simulación del Proyecto: Funcionamiento PIC16F887.

Como se mencionó en capítulos anteriores no se puede conectar directamente el panel solar al puerto GPIO sino que debe ser por medio de un ADC, por lo tanto simulamos el funcionamiento del mismo en el programa Proteus antes de grabarlo en el PIC16F887.

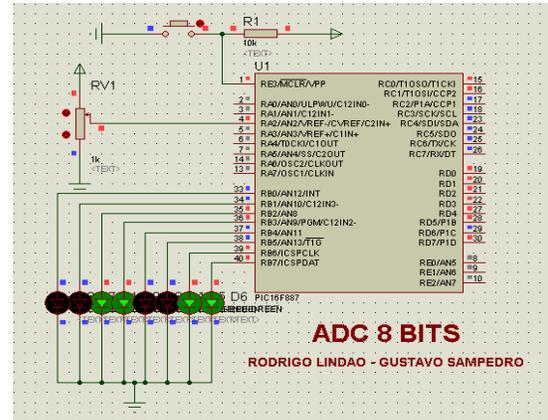


Figura 9. Simulación del Programa Proteus Convertidor ADC de 8 bits.

En la figura tenemos el PIC 16F887 donde hemos cargado el programa, el pulsador que está en la entrada 1 es el MCRL, en la entrada 4 hemos conectado un potenciómetro para simular la entrada analógica, y para cada valor de voltaje que llegue será reflejado en los leds conectados a las salidas digitales que van desde la 33 siendo el bit menos significativo hasta la 40 que será el bit más significativo.

##### 4.4 Simulación del Proyecto con Raspberry PI.

Ingresamos al Raspberry PI después de compilar el programa lo ejecutamos, en la pantalla visualizamos el nombre del proyecto, los nombres de los integrantes y los parámetros del panel solar como se muestra en la figura a continuación.



Figura 10. Programa ejecutado desde el Raspberry PI.

##### 4.5 Prueba Experimental para el modelo de Duffie & Beckman.

Con el objetivo de realizar un correcto muestreo en nuestro sistema se procedió a establecer pruebas de cortocircuito y circuito abierto para establecer parámetros necesarios en el modelo propuesto, realizando mediciones de Voltaje y Corriente durante un día soleado, cuyo propósito era obtener variables en nuestra ecuación que se especifican en la Hoja de Datos del Fabricante del Panel Solar.

#### 4.6 Curvas Características del Panel Solar.

Puede observarse que el valor máximo para el voltaje de salida corresponde a un valor de corriente nulo (voltaje a circuito abierto), mientras que el valor máximo para la corriente corresponde a un voltaje de salida nulo (salida cortocircuitada). Todas las curvas tienen una zona donde el valor de la corriente permanece prácticamente constante para valores crecientes del voltaje de salida, hasta que alcanzan una zona de transición.

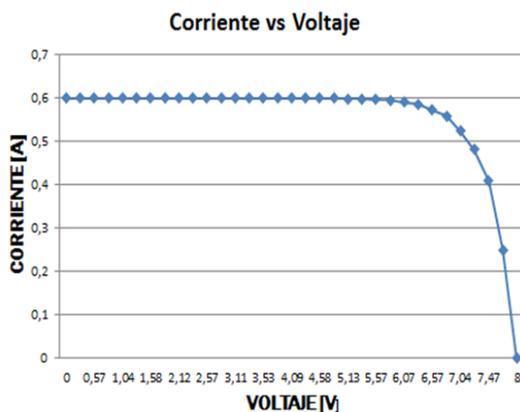


Figura 11. Simulación Curvas Características I-V resultante de los datos obtenidos

A partir de esta zona, pequeños aumentos en el voltaje de salida ocasionan bruscas disminuciones en el valor de la corriente de salida. El comienzo de la zona de transición se alcanza para menores valores del voltaje de salida cuando la temperatura de trabajo se incrementa.

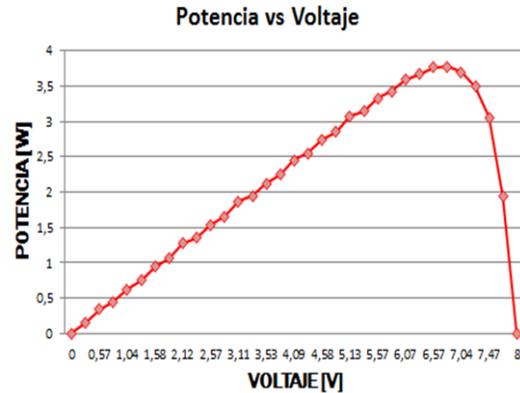


Figura 12. Simulación Curvas Características Potencia vs Voltaje resultante de los datos obtenidos.

#### 4.7 Medición de Parámetros de un panel solar.

Muestras tomadas durante un día con nuestro sistema de adquisición de datos con un intervalo de captura de 5 minutos el propósito de esta actividad es notar el comportamiento durante un Día del voltaje, corriente y potencia producida por el panel solar, parámetros indispensable para realizar la evaluación.

#### 4.8 Gráficos Resultantes de la Adquisición de Datos.

La etapa de mayor generación de potencia en nuestro panel solar se da durante las 13:00 p.m. y las 17:00 p.m. en donde notamos la mayor incidencia de la luz solar.

En la gráfica 13. Notamos que el voltaje no varía abruptamente, y se mantiene en gran parte del día y a medida que la intensidad del sol disminuye el voltaje empieza a decaer, debido a que el material del que está compuesto el panel solar no libera la de energía que produce la electricidad.

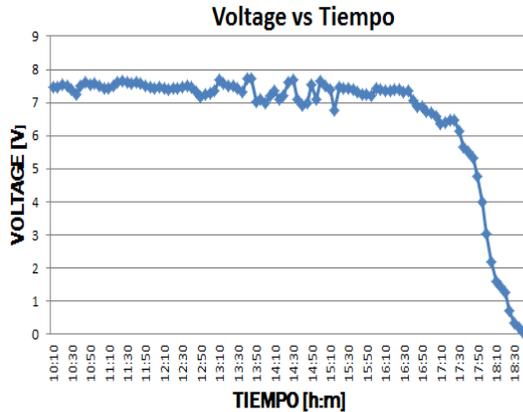


Figura 13. Gráfico de Voltaje vs Tiempo

En la gráfica 14. que es de la corriente vs el tiempo observamos que es más inestable con respecto a la incidencia solar durante el día, al llegar el atardecer la intensidad del sol disminuye pero la corriente se mantiene constante alcanzando la corriente de cortocircuito del panel solar.

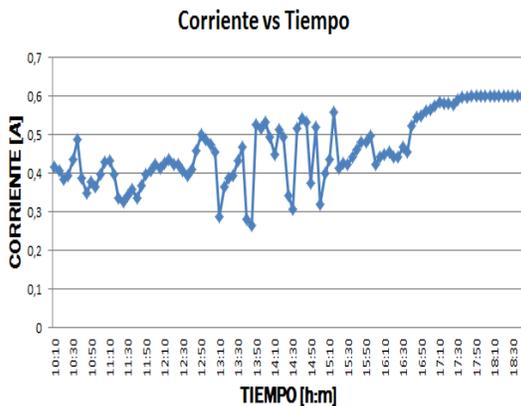


Figura 14. Gráfico de Corriente vs Tiempo

En la gráfica 15 de potencia vs tiempo observamos que la curva es la multiplicación entre los valores de voltaje y corriente, pero a medida que la intensidad del solar disminuye la potencia disminuye, debido al producto de las dos variables.

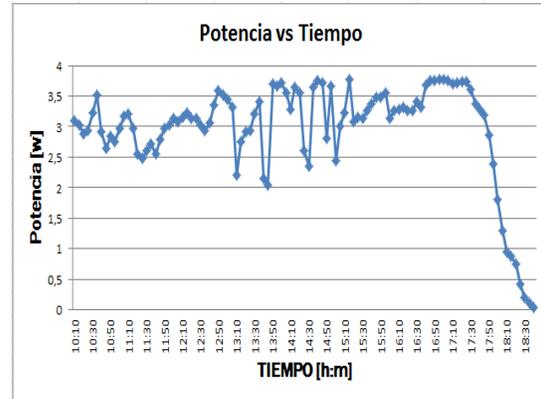


Figura 15. Gráfico de Potencia vs Tiempo

## 5 Conclusiones

1. El panel solar es una herramienta fundamental para la generación de energía eléctrica a partir de la luz solar, de nuestras experiencias obtuvimos valores de voltaje, corriente y potencia que en promedio son de 7V, 0.5 Amp. y 3Watts que debidamente manipulados pueden constituirse en una ayuda fundamental para aquellas viviendas que se encuentren alejadas de las redes eléctricas convencionales.
2. La cantidad de energía eléctrica producida por el panel solar depende de por cuantas celdas este constituida, ya que a mayor número de celdas solares mayor será mi promedio de voltaje, corriente y potencia.
3. El Raspberry PI proporciona funciones fundamentales en cuanto a la plataforma LINUX basándose en el lenguaje de programación C, este posee librerías útiles para realizar operaciones matemáticas complejas usadas en la modelación de la ecuación de corriente, librerías de archivos necesarias para guardar la información del usuario y librerías de tiempo útil para conocer el momento exacto de la toma de muestras.
4. Los paneles solares son importantes porque al generar electricidad fotovoltaica, creamos nuevas alternativas de generación de energía; además, la utilización de paneles solares nos ayuda a conservar el medio ambiente, debido a que impedimos la contaminación producida por ruido y la quema de combustibles fósiles

contribuyendo así a la reducción del cambio climático y el efecto invernadero.

5. Para realizar pruebas con otros paneles solares de diferentes potencias, se debe medir la corriente de corto circuito y el voltaje de circuito abierto, debido a que estos datos son necesarios para la obtención de los parámetros que serán mostrados en el Raspberry Pi mediante el uso de la ecuación de Duffie & Beckman, adicionalmente debemos calcular las resistencias para el divisor de voltaje que se encuentra en la entrada análoga del PIC, esto se realiza para protección del mismo, pues solo puede recibir hasta 5V máximo.

## 6. Recomendaciones

1. El archivo utilizado para almacenar los parámetros necesarios para nuestro análisis debe estar ajustado de manera tal que las muestras sean tomadas cada inicio de un minuto y capaz de ser configurada por el usuario para realizar esta operación el programador debe ser capaz de analizar el arreglo de caracteres donde guardamos la hora local para lograr el efecto requerido.
2. Es necesario analizar y descargar los paquetes necesarios para nuestro sistema operativo Linux que nos facilitarán la interacción entre nuestro software y hardware del Raspberry Pi, manipular ciertas funciones que nos permiten establecer la comunicación entre el PIC 16f887 y el GPIO.
3. Los programas en Lenguaje C utilizados en esta tesina deben ser sujetas a pruebas antes de ser implementadas en el programa principal, algunas pueden causar resultados inesperados, el programador debe tener claro el sistema de archivo de Linux para establecer el lugar exacto donde nos guarda la información requerida, el correcto uso de las librerías, contantes y variable universales para facilitar el uso a usuarios.
4. Raspberry Pi utiliza voltaje de entrada menor a 3.3 V, mientras nuestro PIC 16F887 utiliza 5V esto nos puede ocasionar daños en nuestra placa para evitar estos inconvenientes usamos resistencias a la salida de los pines del PIC, es suma importancia el regulador de a dc usado a la entrada del panel solar para evitar las caídas de voltajes.

5. Se aconseja revisar los tipos de compilaciones que existen para lenguaje C en LINUX al momento de compilar la librería para WiringPi no detecto la librería math para realizar la operación potencia  $\text{pow}(a,b)$  se necesita agregar un parámetro adicional para lograr compilar ambas librerías en un solo programa (`gcc -o Proyecto -lm Proyecto.c -L/usr/local/lib -lwiringPi`).

## 7. Referencias

[1] Raspberry Pi Home Automation with Arduino Pag. 42, <http://books.google.com.ec/>, fecha de consulta Mayo 2013.

[2] Magazine The MagPi issue 7 Pag. 26, <http://www.themagpi.com/>, fecha de consulta Mayo 2013.

[3] Projects, Fun and Games from Gordon @ Drogon, <https://projects.drogon.net/raspberry-pi/wiringpi/>, fecha de consulta Mayo 2013.

[4] Magazine The MagPi issue 8 Pag. 24, <http://www.themagpi.com/>, fecha de consulta Mayo 2013.

[5] Raspberry Pi Education Manual by Computing At School Pag. 110 <http://books.google.com.ec/>, fecha de consulta Junio 2013.

[6] Raspberry Pi User by Eben Upton and Gareth Halfacree Guide Pag. 106 <http://books.google.com.ec/>, fecha de consulta Junio 2013.

[7] Tesis Sistema de Regulación Fotovoltaico basado en Microcontrolador  
Autor: Eloy Sobrino Duarte Estudiante de Ing. Técnica de Telecomunicaciones.  
<http://es.scribd.com/doc/45845512/SISTEMA-DE-REGULACION-FOTOVOLTAICO-BASADO-EN-MICROCONTROLADOR> Pag. 8, fecha de consulta Junio 2013.

[8] Tesis de la Universidad Politécnica de Cartagena Diseño de un modelo informático para la estimación de la energía generada en el vehículo solar Aníbal por Miguel Ángel Ramírez Basalo.

<http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/2974/1/pfc4356.pdf>, fecha de consulta Julio 2013.

[9] Hnos. García Noblejas, Energía solar fotovoltaica y cooperación del desarrollo, IEPALA Editorial, 1999 pag. 27-30, fecha de consulta Junio 2013.