

# AUTOMATIZACIÓN DE OBTENCIÓN DE GRÁFICAS I-V EN PANELES SOLARES

Silva Gallegos, Carlos Fernando (1), Cerda Villafaña, Gustavo (2)

1 [Ingeniería Mecatrónica, Universidad de Guanajuato] | [silva\_gallegos12@hotmail.com]

2 [Departamento de Ingeniería Electrónica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [gcerdav@ugto.mx]

## Resumen

El objetivo principal de este proyecto es obtener gráficas I-V y P-V de diversos paneles solares y de esta manera realizar una comparación que nos indique que tanto se ve afectada la eficiencia de los paneles con el paso del tiempo. La columna vertebral de este proyecto es el microcontrolador, en este caso el PIC 18F45K50, pues este elemento nos permitirá sensar las mediciones tanto de corriente como de voltaje obtenidas a través de sus respectivos sensores, desplegar tales mediciones en la LCD y modificar el ciclo de trabajo de la señal PWM que servirá para el control del convertidor Buck.

## Abstract

The main objective of this project is to obtain I-V and P-V graphs from different solar panels and to compare how is the efficiency is affected over time. The main element in this project is a microcontroller, in this case a PIC 18F45K50, this element will allow us to measure the current and the voltage obtained through their respective sensors and show the results in a LCD, also we can modify the duty cycle in the PWM signal that controls the Buck converter.

## Palabras Clave

Caracterización, Convertidor Buck, Microcontrolador, PWM.

## INTRODUCCIÓN

### Antecedentes.

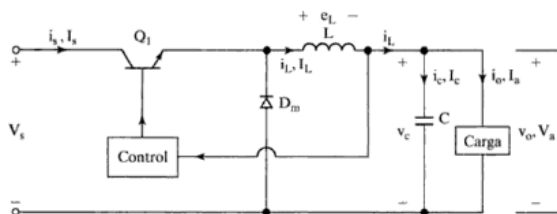
- Marco Teórico.
- Curvas I-V.

La potencia que genera un módulo bajo distintas condiciones se visualiza de forma más clara con la curva de corriente-tensión, o la curva I-V. Esta gráfica comúnmente es facilitada por el fabricante.

El eje vertical (Y) indica la corriente (A) mientras el eje horizontal indica la tensión (V). La curva I-V indica la potencia de salida del módulo en función de la corriente y la tensión. El punto de máxima potencia es el punto en la curva I-V justo después de que empieza a bajar de forma pronunciada [1].

### Convertidor Buck.

Un regulador reductor, también llamado convertidor tipo Buck, es un regulador de conmutación en el que el voltaje promedio de salida  $V_a$  es menor que el voltaje de entrada  $V_s$  [2]. El diagrama del circuito se puede observar en la siguiente figura:



**IMAGEN 1: Diagrama del circuito para convertidor dc-dc tipo Buck.**

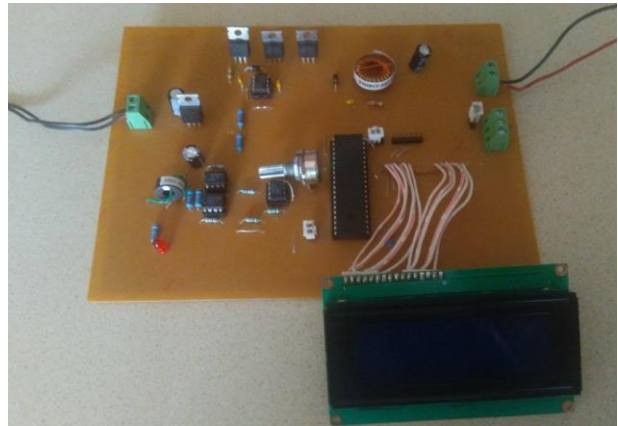
La manera en que funciona el circuito no es de relevancia para el entendimiento de este proyecto, por lo que en el presente trabajo no será descrito, sin embargo si se desea conocer más al respecto se pueden consultar las referencias.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Como ya se mencionó en la sección anterior el objetivo principal de este proyecto es obtener gráficas I-V y P-V de diversos paneles solares y de esta manera realizar una comparación que nos indique que tanto se ve afectada la eficiencia de los paneles con el paso del tiempo. Dichas mediciones serán realizadas con un sistema que incluye los siguientes componentes principales:

- Convertidor Buck
- Microcontrolador
- Sensor de efecto Hall NA-25
- Un divisor de voltaje
- Potenciómetro
- LCD

A continuación, se muestra una fotografía del sistema utilizado, donde se pueden identificar los elementos mencionados:



**IMAGEN 2: Sistema utilizado para realizar las mediciones requeridas.**

En los siguientes párrafos se describirá de manera más detallada la función de cada elemento del sistema en la generación de las gráficas deseadas.

La columna vertebral de este proyecto es el microcontrolador, en este caso el PIC 18F45K50, pues este elemento nos permitirá sensar las mediciones tanto de corriente como de voltaje obtenidas a través de sus respectivos sensores, desplegar tales mediciones en la LCD y modificar

el ciclo de trabajo de la señal PWM que servirá para el control del convertidor Buck.

Para realizar las actividades descritas anteriormente, es necesario una correcta programación del PIC, la cual fue realizada en XC8 a través del software libre de Microchip, MPLAB.

Primeramente, se generó la señal PWM con una frecuencia de 50kHz (pues se requiere una frecuencia alta para realizar la conmutación en el convertidor), además de poder variar el ciclo de trabajo a través de un potenciómetro que se encuentra en el pin 4 del microcontrolador, para obtener la señal deseada se deben tener en cuenta las siguientes fórmulas que se encuentran en el datasheet del microcontrolador:

$$PWM\ Period = [(PR2) + 1] \cdot 4 \cdot TOSC \cdot (TMR2\ Prescale\ Value)$$

$$Pulse\ Width = (CCPR1L:CCPxCON<5:4>) \cdot TOSC \cdot (TMR2\ Prescale\ Value)$$

En las formulas presentadas podemos observar los registros que deben ser modificados. Para alcanzar la frecuencia de 50kHz requerida se usará una frecuencia de oscilación de 16MHz y un preescaler para el timer de 1, dejando así un valor de 80 para el registro PR2. Para el ciclo de trabajo el registro que cambiará de acuerdo al valor del potenciómetro será CCPR1L.

En la siguiente figura se observa la parte del código correspondiente a lo descrito:

```

        ADCON0 = 0x09;
        __delay_ms(2); //Retardo para conversión
        ADCON0bits.GO=1; //Inicia conversión ADC
        PWM2_Duty(adcin); //Envia valor de conversión ADC

void PWM2_Init(long fre) { //Inicializa PWM2
    PR2 = (_XTAL_FREQ/(fre*4*TMR2PRESCALE)) - 1; //Calcula y asigna valor de PR2
    freq = fre; //Guarda valor de fre a freq
    return;
}

int PWM_Max_Duty(void) {
    return (_XTAL_FREQ/(freq*TMR2PRESCALE)); //Valor máximo de PWM
}

void PWM2_Duty(unsigned int duty) { //varifica si duty es menor a 1024
    if(duty<1024) { //Calcula nuevo duty
        duty = (int)((float)duty/1024.0)*PWM_Max_Duty();
        DC1B1 = duty & 2; //asigna valor de bit duty<1>
        DC1B0 = duty & 1; //asigna valor de bit duty<0>
        CCPR1L = duty>>2; //asigna valor de bit duty<9:2>
    }
    return;
}
    
```

**IMAGEN 3:** Parte del código correspondiente a la generación del PWM de 50kHz y ciclo de trabajo variable.

Como se puede observar, a través del convertidor analógico digital del PIC se obtiene un valor entre 0 y 1023, adquirido en el pin 4 del microcontrolador, dicho valor es utilizado en la subrutina llamada PWM\_Duty, la cual se encarga de modificar el ciclo de trabajo de la señal. También se puede ver como el valor de los otros registros permanece siempre igual, de esta manera nos aseguramos que la frecuencia de conmutación no cambie.

Otra de las tareas que ejecuta el microcontrolador es el sensado de el voltaje y la corriente suministrada por el panel. Para la medición del voltaje se utilizará un divisor, que consta de una resistencia de 10kΩ y otra de 2.2kΩ por lo que el voltaje de entrada al microcontrolador está dado por:

$$V_{out} = \left( \frac{2.2}{12.2} \right) V_{in}$$

Recordemos que el voltaje máximo a la entrada del convertidor analógico-digital es de máximo 5V, por lo que podemos medir casi 28v provenientes del panel fotovoltaico.

Para la corriente, se utilizó un sensor de efecto Hall NA-25, el cual de manera indirecta a través de una variación de voltaje nos indica la corriente suministrada por el panel. Cabe destacar que a este sensor se le realizó una etapa de amplificación, para de esta manera la medición a la entrada del convertidor analógico-digital sea de mayor precisión.

Ambos sensores fueron caracterizados utilizando diferentes cargas, obteniendo las siguientes ecuaciones:

$$Voltaje = \frac{27.85 * v}{1023}$$

$$Corriente = \frac{21 * c}{1023}$$

Donde v y c son los valores del convertidor analógico-digital obtenidos del sensor de voltaje

(pin2) y el sensor de corriente (pin3), respectivamente.

La figura siguiente muestra la parte de código correspondiente a la adquisición tanto de la corriente como de voltaje, utilizando las ecuaciones obtenidas a partir de la caracterización:

```

ADCON0 = 0x01;           //Enciendo ADC, Canal AN0
__delay_ms(2);           //Retardo para conversión
ADCON0bits.GO=1;        //Inicia conversión ADC
Lcd_Set_Cursor(1,1);     //Posiciona cursor
Lcd_Write_String("V="); //Despliega texto
volt = ((v*_vin)/_base)*(11.81/2.12); //Conversión a flotante
if(volt<10){
Float2Char(s,volt);     //Conversión float a String

ADCON0 = 0x05;
__delay_ms(2);           //Retardo para conversión
ADCON0bits.GO=1;        //Inicia conversión ADC
Lcd_Set_Cursor(2,1);     //Posiciona cursor
Lcd_Write_String("I="); //Despliega texto
corriente = (c*_iin)/_base; //Conversión a flotante
if(corriente<10){
Float2Char(t,corriente); //Conversión float a String

```

**IMAGEN 4: Parte del código correspondiente a la adquisición de las mediciones de corriente y voltaje a través del ADC del PIC.**

Por último, se explicará brevemente la función del convertidor tipo Buck en el sistema, la modificación del ancho de pulso nos permite modificar el voltaje a la salida aun cuando el voltaje de entrada permanece constante, con lo cual la corriente también variará, de ahí se obtendrán las mediciones de voltaje y corriente requeridas para generar las curvas I-V y P-V.

Una vez teniendo completa la programación del PIC se procede a realizar las mediciones de los paneles.

Las imágenes siguientes muestran la realización de las mediciones de manera experimental:



**IMAGEN 5: Realización de las mediciones en el primer panel.**



**IMAGEN 6: Realización de las mediciones en el segundo panel.**

Las mediciones obtenidas, junto con sus respectivas gráficas serán presentadas en la sección de resultados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las mediciones fueron realizadas en dos paneles fotovoltaicos con distinto tiempo de uso, para comparar que tanto se ve disminuida su eficiencia con el paso del tiempo. El primero de ellos es un panel nuevo de 30W de potencia, voltaje de circuito abierto de 22V y una corriente de corto circuito de 2A. El segundo de los paneles cuenta con aproximadamente 4 años de uso, una potencia de 15W, un voltaje de circuito abierto de 20V y una corriente en corto circuito de 0.8A.

Los valores mostrados para ambos paneles son resultado de promediar varias mediciones realizadas, de esta manera nos aseguramos de que las gráficas obtenidas sean lo más confiable posible.

Las mediciones obtenidas para el primero de los paneles se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 1: Mediciones obtenidas en el primer panel.**

Voltaje [V]	Corriente [A]
19.29	0.159
19.15	0.205
18.64	0.465
17.85	0.887
16.55	1.373
14.75	1.81
10.87	1.89
9.05	1.93
8.65	1.93

Graficando las mediciones presentadas, tenemos las siguientes curvas I-V y P-V:

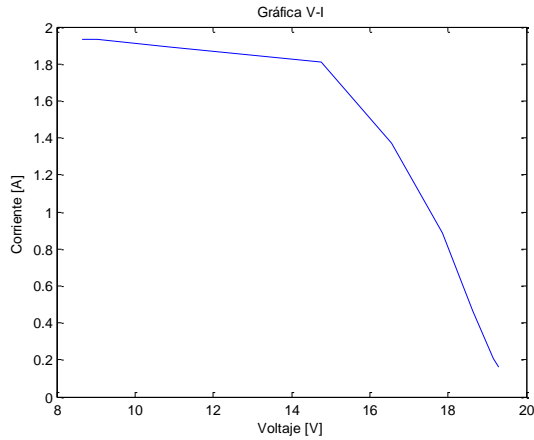


IMAGEN 7: Gráfica I-V para el primer panel.

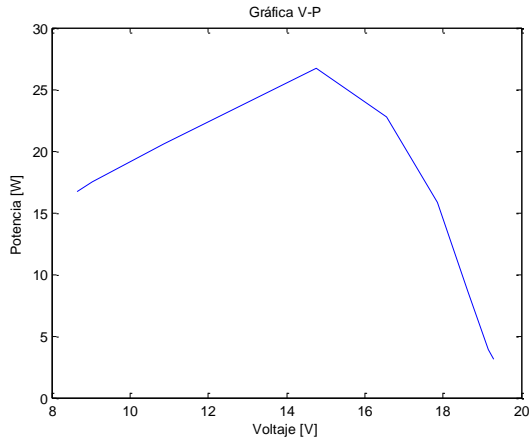


IMAGEN 8: Gráfica P-V para el primer panel.

Para el segundo panel, se obtuvieron las siguientes mediciones:

Tabla 2: Mediciones obtenidas para el segundo panel.

Voltaje [V]	Corriente [A]
19.93	0.194
18.93	0.27
18.0	0.35
16.65	0.45
11.59	0.7

8.8	0.82
-----	------

Las gráficas obtenidas son las siguientes:

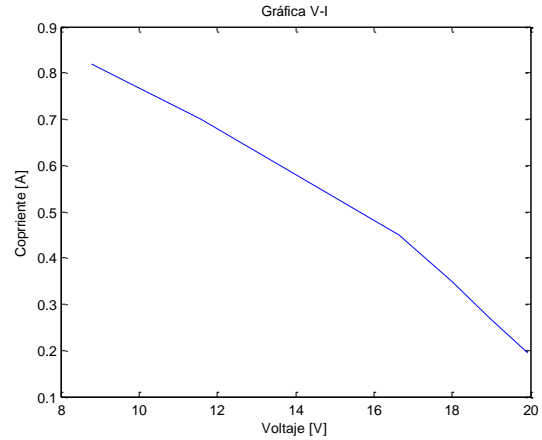


IMAGEN 9: Gráfica I-V obtenida para el segundo panel.

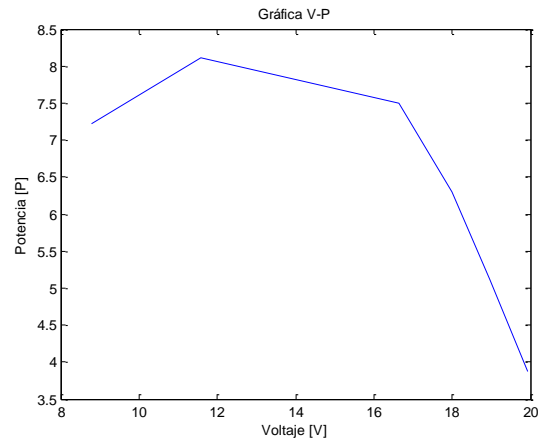


IMAGEN 10: Gráfica P-V obtenida para el segundo panel.

## CONCLUSIONES

A partir de las mediciones tomadas y las gráficas obtenidas podemos concluir que tal como se previa la eficiencia en el panel con mayor tiempo de uso si se vio disminuida, sin embargo, se considera que esta disminución no es realmente significativa por lo que podemos seguir considerando este tipo de energía como una buena alternativa al uso de las energías convencionales.

## AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer profundamente al Dr. Gustavo Cerda Villafaña y a la Universidad de Guanajuato por brindarme la oportunidad de vivir esta enriquecedora experiencia, así como también a mi familia por el apoyo brindado para lograr mis objetivos.

## REFERENCIAS

- [1] Muhammad H., (2004). Electrónica de Potencia. Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones (3ra ed.). Florida. Prentice Hall.
- [2] Style O., (2012). Energía solar autónoma. Planificación, Dimensionado e Instalación de un sistema fotovoltaico autónomo (1ra ed.). Santiago.