

Diseño de estación meteorológica para mapeo híbrido (fotovoltaico –eólico)

Carlos Guillermo Jáuregui Arvilla¹, Luis Enrique Pichardo Torres¹

Ing. Juan Fernando Aguirre Sámano¹, M.C. Adrián Pelayo García¹

¹Universidad Politécnica de Aguascalientes, Calle Paseo San Gerardo No. 207. Fracc. San Gerardo. C.P. 20342.
Aguascalientes, Ags. Tel: (449) 442-14-00

ABSTRACT

Dicho proyecto tiene como objetivo principal la obtención y manipulación de datos de temperatura, humedad, presión barométrica, velocidad y dirección del viento e irradiancia en cualquier lugar en el que se requiera un diagnóstico rápido de las condiciones ambientales en el mismo, teniendo además, una base de datos que nos describa el comportamiento de dicha zona en base a periodos de tiempo previamente definidos por el usuario al momento de realizar la instalación del sistema.

El diseño de dicha estación meteorológica contempla todos los parámetros necesarios para obtener un buen análisis, como son principalmente el uso de sensores para cada variable a medir, incorporando además un diseño con escalas reducidas a modelos ya existentes. La programación de dicho proyecto se llevó a cabo en Arduino, que es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. La ventaja de dicha estación, además de las dimensiones del mismo ya mencionadas, es la facilidad en la obtención de datos, ya que los mismos son almacenados en una memoria microSD, que nos permite mediante cualquier computadora observar dichos valores en formatos que son fáciles para el usuario, para que puedan ser además analizados y graficados de manera ordenada. Otra de las ventajas en el mismo, es el costo de generar a la misma, que puede verse reflejado de manera benéfica en comparación con productos ya elaborados, que son además limitados ya que sólo permiten la lectura pero no almacenamiento de datos.

1. Introducción

Actualmente la sociedad en que vivimos se basa en el desarrollo industrial con la finalidad de producir bienes y servicios que hagan posible el sustento de la misma. Dicha sociedad demanda cantidades ingentes de materias primas y de energía para su funcionamiento. Existe una correlación entre consumo energético y calidad de vida, es decir, la energía que consume una sociedad, el proceso de transformación y su distribución representan los criterios de diagnóstico para evaluar su grado de desarrollo.

Este documento muestra la elaboración de una estación meteorológica que proyecta la evaluación que podría tenerse del potencial, uso y aprovechamiento de energías renovables (eólica-solar) disponibles en el estado de Aguascalientes. Así mismo, el lector podrá observar el proceso realizado para la construcción de una estación meteorológica, desde su diseño hasta su manufactura.

En todo el mundo se está debatiendo seriamente con la definición y fijación de objetivos de generación de energía renovable sobre el total de la energía producida. En nuestros tiempos los combustibles fósiles y el uranio constantemente sufren un alza en sus precios y esto impacta en el costo de generación, esto sin tomar en cuenta que las reservas de los combustibles fósiles cada día son menores.

El cambio climático global puede afectar de manera drástica todos los ámbitos de la vida tal como los conocemos, las previsiones de los científicos sobre los efectos que tendrá el incremento de los gases invernadero en la atmósfera del planeta muestran un escenario tan catastrófico, que difícilmente se puede concebir una sociedad humana que sobreviva en condiciones dignas. La amenaza del cambio climático no pertenece a un futuro posible sino que ya forma parte de nuestro presente, como lo demuestran las primeras manifestaciones evidentes de este fenómeno, como los deshielos en el Ártico y la Antártida y actualmente los desastres que provocó el huracán Sandy en New York.

Para enfrentar el cambio climático, la humanidad debe demostrar que tiene la capacidad de lograr una respuesta global, acordada por todos los gobiernos, para salvaguardar la precaria estabilidad climática del planeta, por encima de los grandes intereses de las transnacionales petroleras, automotrices, petroquímicas y demás industrias conformadas alrededor del petróleo, el carbón y el gas. Este sector está luchando por evitar cualquier acuerdo internacional que ponga en peligro sus intereses, es decir, cualquier acuerdo que establezca reducciones obligatorias en la emisión de bióxido de carbono CO₂, el principal gas invernadero, y que pudiera significar una reducción significativa en el consumo de combustibles fósiles en las naciones desarrolladas [1].

Asimismo, las ciencias también han evolucionado y la meteorología no ha sido una excepción, nació como una aplicación de la física para el conocimiento y estudio de los fenómenos atmosféricos, posteriormente, como una consecuencia de las observaciones en red, determinó la posibilidad de proyectar las condiciones del tiempo y dar una explicación más racional a los grandes problemas de la atmósfera.

El proyecto llamado “Diseño de estación meteorológica para mapeo híbrido (fotovoltaico –eólico)” tiene como objetivo general desarrollar y aplicar como su nombre lo dice, una estación capaz de generar datos como son la velocidad y dirección del viento, la temperatura ambiental, la radiación del sol, entre otros, todo de manera automática, para que los resultados obtenidos de esta investigación nos ayuden a evaluar el potencial energético solar y eólico del estado de Aguascalientes en las regiones aisladas de la misma localidad, en donde los servicios de electricidad aún no son brindados por parte de CFE, sin embargo primeramente se desarrollará un prototipo en las instalaciones de la universidad que nos ayudará a aplicar los conocimientos de los distintos programas académicos de ingeniería (Mecatrónica y Energía) para lograr la operación de dicho proyecto de manera correcta, permitiendo a través de la información de dicho dispositivo, realizar un estudio organizado que nos permita tener bases para realizar conclusiones acerca de la factibilidad de utilizar energías renovables. Con esto, se evaluará y decidirá si las condiciones meteorológicas del lugar cumplen con el mínimo necesario para instalar un sistema que posteriormente pueda ser monitoreado, es decir, se podrá estar analizando el funcionamiento de los sistemas híbridos que ayudarán a mejorar el medio ambiente de nuestro entorno.

Dicho proyecto presenta una particularidad de la mayoría de los dispositivos comerciales, que es la interfaz que se desea obtener mediante el programa Excel para obtener datos en intervalos que el usuario pueda definir y modificar en cualquier momento, todo generado en un reporte, que muestra la hora en la que se tomó la información así como las variables y los valores que se obtuvieron en las mismas. Cabe mencionar que dicho proyecto nos permitirá trabajar en conjunto con personas de la carrera de energías de la universidad, para lograr así la unión de conocimientos para realizar el diseño de los dispositivos y el acoplamiento de las señales que estos mismos nos brinden, como ya se mencionó anteriormente.

2. Sección Experimental

Para la metodología del proyecto se decidió utilizar el método científico, ya que en base a la necesidad que se mencionó anteriormente, se decidió cubrir a ésta con el diseño de un dispositivo. Para el desarrollo de este último mencionado, fue necesaria la corroboración de la búsqueda bibliográfica de los sensores y el dispositivo que se sería programado para llevar a cabo el control de todo el sistema que estaría leyendo y grabando las variables en el ambiente que se requieran.

Se decidieron establecer dos etapas en el proyecto que corresponden al área de electrónica y programación, al inicio se contaba con tres áreas sin embargo debido a las facilidades que se nos brindaron en la universidad se pudo omitir un paso en el desarrollo del proyecto que nos ayudó a evitar la pérdida de tiempo y recursos.

Teniendo la información, y la asignación de áreas, se inició con el proceso de la programación de cada uno de los sensores para posteriormente a la lectura de los mismos, dicha información fuera almacenada en un dispositivo tan pequeño como fue una memoria microSD, dándole la particularidad a este sistema manejar ese tipo de tecnología para lograr la facilidad en el usuario de manejar la información obtenida.

Posteriormente después de lograr la programación se procedió a realizar la placa electrónica en donde se conformarían los dispositivos, sin embargo ésta reduciría de manera significativa el desarrollo del proyecto.

Al cabo del seguimiento del proceso anterior se iniciaron las pruebas corroborando así los resultados obtenidos en las mismas, obteniendo estos últimos de satisfactoria para en base a dicha información generar discusiones del proyecto y finalmente concluir con la elaboración del mismo.

2.1 Desarrollo del proyecto

Primeramente se decidió la forma en que se obtendría la información, se propusieron métodos como el uso de tecnología *Wifi* o el almacenamiento de dicha información en un dispositivo portátil como puede ser una memoria *microSD* para transmitir dicha información. En base a eso se decidió establecer el segundo proceso ya que el primero, independientemente del costo que puede generar aplicar esta información, el segundo nos resultaba más interesante ya que la mayoría de los dispositivos que utilizan este tipo de almacenamiento resultan muy caros, sin embargo con los conocimientos adquiridos en la universidad se optó por crear un producto mucho más barato que cumpla con el mismo fin que una estación convencional

Una vez definida la manera en que la información sería transmitida, se inició con la programación del dispositivo. Para dicha aplicación se decidió optar por una plataforma libre llamada Arduino, que consiste de manera general en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos disciplinarios. A continuación se muestra en la Fig. 1.1 el modelo utilizado que corresponde al modelo “Arduino Uno”.



Fig. 1. 1 Placa Arduino Uno

La Arduino Uno en general, es una placa microcontroladora basada en el ATmega328 de tecnología AVR. Tiene 14 Entradas/Salidas digitales (6 de las cuales pueden utilizarse como salidas PWM), 6 entrada analógicas, conector USB, clavija hembra tipo Jack, conector ICSP y botón de *reset*. Funciona a 16MHz. Contiene todo lo necesario para el funcionamiento del microcontrolador, solo hay que conectarla al ordenador con un cable USB o a una batería para que funcione.

La versión UNO difiere de anteriores versiones en que no utiliza el chip convertidor serie a USB FTDI, en lugar de ello incorpora un ATmega16U2 programado como convertidor serie a USB. Este chip tiene USB nativo y puede ser reprogramado para que la Arduino sea reconocida al conectarla al ordenador como cualquier tipo de periférico USB.

A continuación se presentan las características generales del dispositivo en el Cuadro 1:

Característica	Valor
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje de funcionamiento	5V
Alimentación (recomendada)	7-12V
Pines digitales I/O	14 (de los cuales 6 dan salida PWM)
Pines de entrada analógica	6
Corriente DC por I/O Pin	40 mA
Memoria Flash	32 KB (ATmega328) 0.5 KB usados por el <i>bootloader</i>
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Velocidad de reloj	16 MHz

Cuadro 1. Características generales de la placa Arduino Uno

Una vez que se decidió el dispositivo, se procedió a obtener el software Arduino IDE (como se muestra su inicio en la Fig. 1.2) como se puede ver dicha interfaz permite escribir la estructura del programa como se puede ver en la Fig. 1.3, a continuación se puede ver la interfaz de la misma:

**XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno
Aguascalientes, México, 2013**



Fig. 1. 2 Arduino IDE



Fig. 1. 3 Interfaz para la escritura del programa

Después de esto se procedió a elegir cada sensor para medir las variables de temperatura, presión barométrica, irradiación, humedad, velocidad y dirección del viento. En base a esto se procedió a buscar información de cada sensor.

2.1.1 Sensor de humedad (HIH-5030)

En la Fig. 1.4 se puede ver la estructura de dicho sensor:



Fig. 1. 4 Sensor de humedad HIH-5030

Este sensor puede operar desde 2,7 volts, ideal para aplicaciones que requieren un bajo consumo. La entrada directa a un controlador u otro dispositivo se hace posible por este sensor de salida de tensión casi lineal con una corriente de consumo de tan sólo 200 μ A.

Su construcción consta de múltiples capas, lo que proporciona una excelente resistencia a la mayoría de los riesgos de aplicación tales como condensación, polvo, suciedad, aceites y ambiente común con productos químicos.

Dicho sensor puede ser utilizado en ambientes de condensación, incluyendo aplicaciones industriales, médicas y comerciales.

A continuación se muestra en la Fig. 1.5 se muestra la relación de la humedad relativa contra una salida de voltaje. En el caso del proyecto se realizó una interpolación que permitió obtener mediante los datos proporcionados una función con una correlación cercana a 1. En el caso de la programación se realizó el despeje de la humedad relativa a partir del voltaje leído.

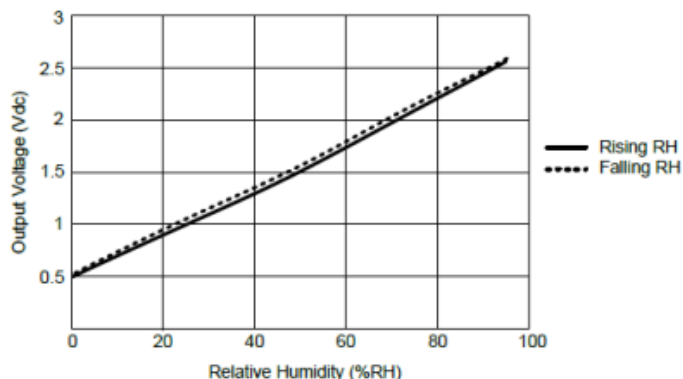


Fig. 1. 5 Gráfica que muestra la relación humedad relativa contra voltaje en la salida

3.2.2 Sensor para medir presión barométrica (MPL115A1)

En la Fig. 1.6 se puede ver de manera física dicho sensor:



Fig. 1. 6 Sensor para medir presión barométrica MPL115A1

El MPL115A1 es un sensor de presión absoluta con salida digital para aplicaciones de bajo costo. Una miniatura de 5 x 3 x 1,2 mm con encapsulado LGA se adapta idealmente para electrónica portátil y aplicaciones con limitaciones de espacio. Tiene un bajo consumo de corriente de 5 μ A en modo activo y 1 μ A durante el apagado (*Sleep*) de la batería y otras aplicaciones de baja potencia. Un Amplio rango de temperatura de -40 ° C a +105 ° C encaja exigentes requisitos medioambientales.

MPL115A1 emplea un sensor de presión de MEMS con un acondicionamiento IC para proporcionar medición exacta de la presión desde 50 hasta 115 kPa. Un ADC integrado proporciona temperatura digitalizada, además de proporcionar los datos de presión a través de un puerto de SPI. Los datos de calibración se almacenan en la ROM

interna. Además dicho microcontrolador ejecuta un algoritmo que permite compensar la presión absoluta con un 1 kPa de exactitud.

Las características principales del sensor son las siguientes:

- Obtiene la presión y la información digitalizada programada junto con coeficientes de calibración para el uso con el micro.
- Calibrado de fábrica
- 50 kPa a 115 kPa de presión absoluta
- 1 kPa de precisión
- 2,375 V a 5,5 V Alimentación
- Integrado ADC
- Interfaz SPI
- Presión monótona y salida de datos de temperatura

Sin embargo como ya se mencionó este tipo de sensor requiere de una comunicación SPI por lo que se procedió a buscar información acerca de este protocolo.

2.1.2 Protocolo SPI en Arduino

Esta biblioteca le permite comunicarse con los dispositivos SPI, como dispositivo maestro. A continuación se describe una breve introducción a la interfaz periférico serial (SPI).

La Interfaz Periférica Serial (SPI) es un protocolo síncrono de datos en serie utilizada por microcontroladores para comunicarse con uno o más dispositivos periféricos rápidamente en distancias cortas. También puede ser utilizado para la comunicación entre dos microcontroladores.

Con una conexión SPI siempre hay un dispositivo maestro (por lo general un microcontrolador, en este caso la placa Arduino Uno) que controla los dispositivos periféricos. A continuación se describen las 4 líneas que conforman el protocolo:

- 1) *MISO (Master In Out Slave)* - La línea de esclavos para el envío de datos al maestro,
- 2) *MOSI (Master Out Slave In)* - La línea principal para el envío de datos a los dispositivos periféricos.
- 3) *SCK (Serial Clock)* - Los pulsos de reloj que sincronizan la transmisión de datos generado por el maestro.
- 4) *SS (Slave Select)* - El pin en cada dispositivo que el maestro puede utilizar para activar y desactivar dispositivos específicos.

En el caso de Arduino, se debe considerar un caso especial en el pin *Slave Select (SS)* en la señal a las juntas en la base del AVR. Todas las placas base AVR tiene un pin de *SS* que es útil cuando actúan como un esclavo controlado por un maestro externo. Desde esta biblioteca sólo admite el modo maestro, este pin debe establecerse siempre como *OUTPUT* de lo contrario la interfaz SPI puede poner automáticamente en modo esclavo por hardware, lo que hace inoperante la biblioteca.

Sin embargo es posible utilizar cualquier pin como el *Slave Select (SS)* para los dispositivos. En este caso se requirieron dos esclavos, uno para el manejo de la tarjeta SD y el otro para el manejo del sensor MPL115A1 mencionado anteriormente.

En el cuadro 2 se muestra la distribución de las líneas SPI en la placa Arduino Uno:

Cuadro 2 Distribución de pines para protocolo SPI de la placa Arduino Uno

Arduino Board	MOSI	MISO	SCK	SS (slave)	SS (master)
Uno	11 or ICSP-4	12 or ICSP-1	13 or ICSP-3	10	-

Cuadro 3 Distribución de pines para protocolo SPI de la placa Arduino Uno

En nuestro caso, como puede verse la placa está configurada en el pin 10 y 4 para el manejo de los dispositivos mencionados.

2.1.3 Sensor de temperatura (LM35)

El LM35 es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1°C. Su rango de medición abarca desde -55°C hasta 150°C. La salida es lineal y cada grado centígrado equivale a 10mV/° C. Tiene un encapsulado TO-92. En la Fig. 1.7 podemos ver el sensor mencionado:



Fig. 1. 7Sensor de temperatura LM35

Características:

- Calibrado en grados Celsius
- Opera desde 4 V hasta 30V
- Menos de 1Ω de impedancia dinámica
- Amplio rango de temperaturas de operación
- Salida lineal de $+ 10,0 \text{ mV} / ^\circ \text{C}$ (factor de escala)

Sabiendo esto, podemos acoplar fácilmente dicho dispositivo a la placa Arduino ya que solo se leerá una entrada analógica la cual se podrá escalar para la manipulación de los datos.

2.1.4 Sensor de Irradiación (Fotodiodo BPW34)

En la Fig. 1.8 se puede ver la estructura del fotodiodo:



Fig. 1. 8 Fotodiodo BPW34 para medir irradiación.

El Bpw34 es un rápido y muy sensible fotodiodo empacado en un plástico en miniatura. Su construcción lo hace ideal para el reemplazo de aplicaciones de bajo costo en muchas aplicaciones. Este dispositivo es sensible a la luz visible y radiación infrarroja.

Características:

- Área sensitiva para radiación ($A=7.5 \text{ mm}^2$)
- Alta foto-sensibilidad
- Rápida respuesta
- Pequeña unión capacitiva.
- Ideal para la medición de luz visible y radiación infrarroja.

Aplicación general:

- Foto-detector de alta velocidad.

La Fig. 1.9 expresa la relación de la irradiación con la corriente producida:

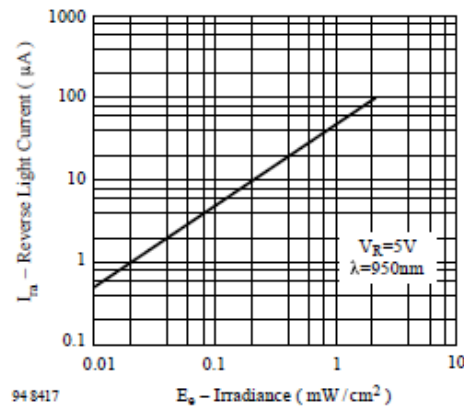


Fig. 1. 9 Gráfica que demuestra la relación de Irradiancia contra la corriente producida

Sin embargo después de obtener dicha información y de ejecutar una investigación exhaustiva, se encontró un documento elaborado por “*Micro Circuit Labs*” en el cual nos explicaban la manera de elaborar un dispositivo para medir la irradiación proporcionada por la luz solar que es muy eficaz en la verificación de zonas para instalación de paneles solares. La investigación nos menciona que este dispositivo produce una corriente de $3.337 \pm 0.116 \text{ mA}$ a una temperatura ambiente de 25°C cuando está expuesto a una irradiación de $100 \text{ W}/\text{m}^2$. Con esta irradiación el voltaje a través de un resistor es de aproximadamente de 0.1V . La corriente producida por el fotodiodo cambiará con la temperatura en un rango de 0.1% por grado centígrado, es decir, se tendrá que hacer una compensación para aplicar un factor de corrección a la medida del fotodiodo. Nótese que la lectura que se tenga en mili volts se multiplicará por $10,000$ para obtener la salida en W/m^2 .

De esta manera la investigación menciona que se tiene que poner un valor de 29.9 ohms (Fig. 1.10) en paralelo al fotodiodo, sin ninguna otra fuente externa, ya que dicho fotodiodo está integrado además por una foto-celda que nos produce un voltaje como ya se mencionó proporcional a la irradiación. En nuestro caso en el proyecto colocamos dos resistencias en paralelo de valores de 33 y 330Ω de precisión con un rango de error en las resistencias de 1% .

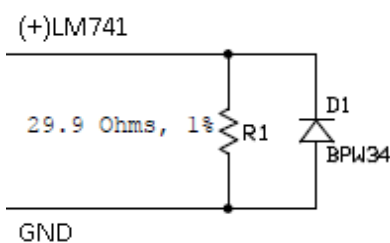


Fig. 1. 10 Conexión en paralelo del fotodiodo con la resistencia de 29.9 ohms

Y a continuación se muestra la tabla 1.1 con el factor de corrección acorde a la temperatura:

Tabla 1 Factor de corrección para el fotodiodo

Temperatura °C	Factor de corrección
-40	1.0695
-30	1.0582
-20	1.0471
-10	1.0363
0	1.0256
10	1.0152
20	1.0050
25	1.0000
30	0.9950
40	0.9852
50	0.9756
60	0.9662

Sabiendo esto la irradiación es entonces la lectura multiplicada por el factor de corrección.

Agregando esto al hardware se indica que la salida positiva va hacia una entrada positiva de un amplificador operacional, esto con el fin de amplificar la señal y que pueda ser leída por el Arduino Uno, en nuestro caso la señal la amplificamos con un valor de ganancia de 49. Al momento de tener una lectura de una señal amplificada, en el programa se elimina esta ganancia y se realizan las operaciones necesarias para determinar el cálculo de la irradiación.

A continuación de muestra en la Fig. 1.11 la comparación de la lectura del fotodiodo con la lectura dada por un medidor de irradiación llamado MacSolar. Como vemos los valores son muy cercanos, mientras el fotodiodo nos da un valor de 0.0423 volts que corresponde a 423 W/m^2 mientras que vemos en el dispositivo nos da un valor de 426 W/m^2 que como vemos son valores muy cercanos, que mediante el factor de corrección que se aplicará al fotodiodo mediante el programa nos dará un valor aún más cercano al dispositivo para la comparativa.



Fig. 1. 11 Comparación de la lectura del fotodiodo del valor de irradiación contra equipo MacSolar

2.1.5 Anemómetro

El modelo del anemómetro utilizado es “*Weather Sensor Assembly p/n 80422*” que se puede ver en la Fig. 1.12, desarrollado por *Argent Data*. Se compró el dispositivo a través de la página de Sparkfun, El kit incluye una vaina para la dirección del viento, un anemómetro de copas y un pluviómetro. Sin embargo en este proyecto no se incluyó este último.



Fig. 1. 12 Modelo *Weather Sensor Assembly p/n 80422*” aplicado al proyecto

En la Fig. 1.13 se puede ver el anemómetro de copas:



Fig. 1. 13 Anemómetro de copas

El anemómetro mide la velocidad del viento cerrando un contacto magnético tan rápido como pasa por los puntos. La velocidad del viento de 1.492 (2.4 km/h) que causa el cierre del switch una vez por segundo.

En la Fig. 1.14 se puede ver la veleta para la dirección del viento:



Fig. 1. 14 Veleta para conocer la dirección del viento

Sin embargo el funcionamiento de la vaina es más fácil. La vaina contiene 8 switches como se puede ver en la Fig. 1.15 cada uno conectado a un resistor diferente, que más adelante serán expuestos los valores de los mismos.

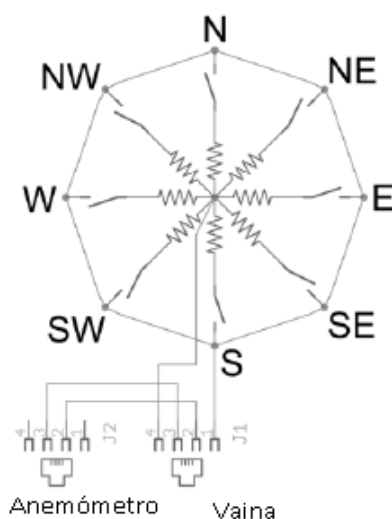


Fig. 1. 15 Resistencias distribuidas en la veleta

Para tener las lecturas por medio de voltaje se decidió hacer un divisor de voltaje en el cual mediante la lectura analógica del mismo se indicaba en el programa la dirección del viento. A continuación se muestran en el Cuadro 3 los valores que el fabricante brindó de acuerdo al ángulo.

**XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno
Aguascalientes, México, 2013**

Dirección (Grados)	Resistencia (Ω)	Voltaje a la salida en Volts (V=5v , R=10k)
0	3.3 k	3.84
22.5	6.57 k	1.98
45	8.2 k	2.25
67.5	891	0.41
90	1 k	0.45
112.5	688	0.32
135	2.2 k	0.9
157.5	1.41 k	0.62
180	3.9 k	1.40
202.5	3.14 k	1.19
225	16 k	3.08
247.5	14.12	2.93
270	120 k	4.62
292.5	42.12 k	4.04
315	64.9 k	4.78
337.5	21.88 k	3.43

Cuadro 4 Valores de resistencia y voltaje de acuerdo al ángulo y voltaje específicos

Al conocer cómo funciona cada sensor y dispositivo se inició con el aprendizaje de los comandos necesarios para operar la placa Arduino Uno.

2.1.6 Programación general de la estación meteorológica

Antes de iniciar con la explicación del programa cabe mencionar que no se expone en su mayoría el mismo debido a la propiedad intelectual en este proyecto. Es decir no se exponen por ejemplo, como se llevó a cabo la programación del sensor de presión barométrica ni la forma en que se programó el dispositivo para el almacenamiento de cada una de las variables en un bloc de notas para su posterior análisis.

Para la iniciación del programa se especificó el uso de dos librerías. La librería SPI.h que es una librería que nos permite establecer el protocolo SPI y la librería LiquidCrystal.h que nos permite configurar una LCD a 4 bits. Que se escriben de la siguiente manera:

```
#include <SPI.h>
#include <LiquidCrystal.h>
```

Después se establecieron los sensores que sería medidos a través de entradas analógicas, como podemos ver en el inicio del programa se utilizaron solo 3 que son A0, A1 y A2 sin embargo se declara otra entrada dentro de una función para la medición de la dirección del viento. Posteriormente debajo de las declaraciones entradas se declararon además las funciones a utilizar siendo estas de tipo int y float. Se declaran como se escribe a continuación:

```
int Anal = A0;           //Entrada analógica del sensor de temperatura
int SI = A1;             //Entrada analógica de Irradiancia
int SH = A2;             //Entrada analógica del sensor de humedad
```

Con el siguiente comando especificamos los pines en los que utilizaremos la LCD:

```
LiquidCrystal lcd(8,9,6,5,3,1);
```

Para declarar el arranque se librerías y la configuración de pines de entrada y salida al igual que otros programas se realiza en el *void setup* del programa, en este caso se decidió iniciar también la conexión serial esto para que al momento en que se realice la lectura de las señales el usuario, si desea ver los datos en tiempo real puede llegar a

conectar su equipo a través del Arduino y logre ver a través del monitor serial (Fig. 1.16) el proceso de lectura y guardado que está llevando a cabo la estación meteorológica. Así se declaran los pines de entrada y salida:

```
void setup() {  
  Serial.begin(115200);  
  lcd.begin(16,2);  
  pinMode(10,OUTPUT);  
  SPI.begin();  
  pinMode(shutDown, OUTPUT);  
  digitalWrite(shutDown, HIGH);  
  pinMode(chipSelectPin, OUTPUT);  
  digitalWrite(chipSelectPin, HIGH);  
}
```

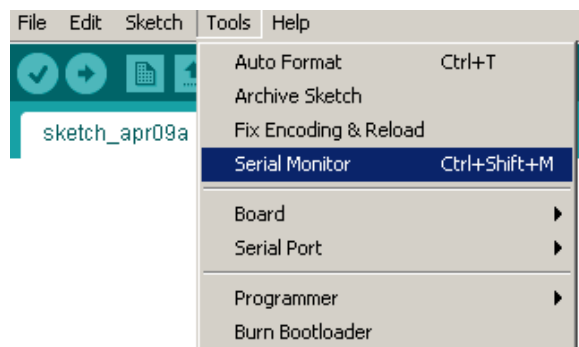


Fig. 1. 16 Activación del monitor serial

Se expone además la lectura del puerto analógico logrando escalar este. Como podemos ver en la imagen de abajo la lectura que se realice en Anal (A0) se irá a una variable llamada Temp que posteriormente se escala como ya se mencionó.

Después como se puede ver dicho dato se muestra en la LCD de acuerdo a las coordenadas que se configuró para mostrar dicho valor, nótese que se agregaron unas condiciones “if” que como ya se mencionó están relacionadas a la irradiación, esto quiere decir que de acuerdo a la temperatura se lograra tener un factor de corrección expuesto anteriormente. Como puede verse si se manera una temperatura de mayor igual a 0 pero menor a 10 se tendrá un factor de corrección de 1.0256 que será multiplicado por el valor de irradiación medido.

```
Temp = analogRead(Ana1);  
delay(10);  
Temp = ((Temp*5*100)/1024);  
delay(10);  
lcd.setCursor(0,0);  
lcd.print("Temperatura: ");  
lcd.setCursor(5,1);  
lcd.print(Temp);  
if (temp>=0 && temp<10)  
{  
C=1.0256;  
}  
if (temp>=10 && temp<20)  
{  
C=1.0152;  
}
```

A continuación en la Fig. 1.17 se puede ver la conexión física de la pantalla LCD midiendo el sensor de temperatura LM35, en este caso podemos ver que la temperatura es de 19.04 °C. Como vemos funciona de manera satisfactoria.

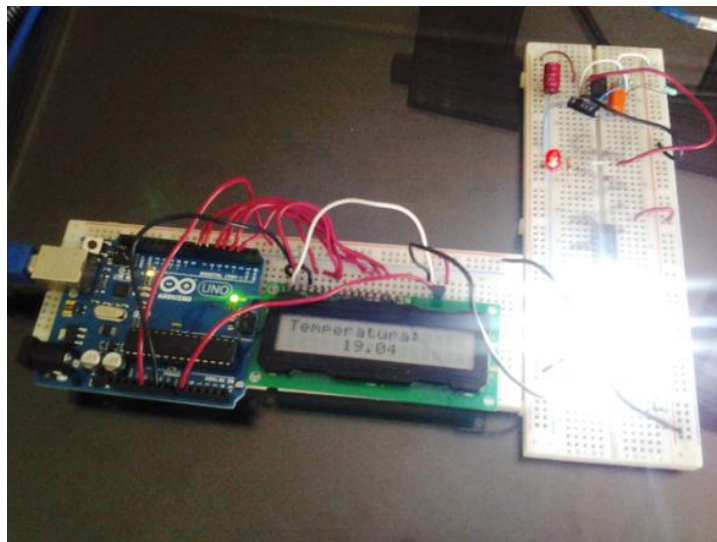


Fig. 1. 17 Conexión física del sensor de temperatura, de la pantalla LCD y la placa Arduino Uno

XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno Aguascalientes, México, 2013

Después se muestra a continuación la obtención del valor de humedad a partir del despeje que se mencionó anteriormente:

```
Sh = analogRead(SH);
  Sh=((Sh*5)/1024);
delay(10);
  lcd.setCursor(10,1);
  T=(Sh-0.5)/0.022;
T1=((Sh/5)-0.1515)/0.00636;
  T2=T1/(1.0546-0.00216*Temp);
  T3=T1+T2;
delay(10);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Humedad Relativa");
  lcd.setCursor(5,1);
  lcd.print(T3);
  clearLCD();
```

Aquí se muestra la función que corresponde a la lectura para la dirección del viento que como vemos nos da un valor analógico y en base a este se procedió a definir mediante letras la dirección del mismo. Como vemos dichos valores los mandamos mediante puerto serie, para que estos sean mostrados en el monitor serial que contiene Arduino. Posteriormente se manda a la SD, sin embargo este proceso no será expuesto.

```
float val;
  float r;
  val = analogRead(vaina);
val = ((val*5)/1023);
  r = val;
  Serial.print("Direccion del viento ");
if(r>4.60 && r<4.66) {
  Serial.println("S");
  g=1; }
if(r>4.30 && r<4.40) {
  Serial.println("SW");
```

XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno Aguascalientes, México, 2013

```
g=2; }  
if(r>3.45 && r<3.98) {  
  Serial.println("W");  
  g=3;}  
if(r>2.95 && r<3.15) {  
  Serial.println("SE");  
  g=4;}  
if(r>1.21 && r<1.44) {  
  Serial.println("E");  
  g=5;}  
if(r>0.63 && r<0.92) {  
  Serial.println("NE");  
  g=6; }  
if(r>0.33 && r<0.48) {  
  Serial.println("N");  
  g=7; }  
if(r>1.99 && r<2.30) {  
  Serial.println("NW");  
  g=8;}
```

Como podemos ver el monitor comunicado al puerto serie nos muestra los valores que se están obteniendo, como podemos ver tenemos lecturas de velocidad del viento, la dirección del mismo, (estos dos últimos agregados posteriormente a la primera programación) el valor de la presión barométrica, la temperatura ambiente, la humedad relativa y la irradiancia. La última variable tiene un valor de 0 ya que dicha captura se realizó en la noche. Como vemos se indica en la Fig. 1.18 que también no hay SD.

**XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno
Aguascalientes, México, 2013**

Velocidad del viento: 11.91 Km/h
Direccion del viento N
Presion Barometrica: 96.84 kPA
Temperatura ambiente: 25.88°C
Humedad relativa: 47.59%
Irradiancia: 0.00W/M2

No hay SD

Velocidad del viento: 7.89 Km/h
Direccion del viento NE
Presion Barometrica: 96.84 kPA
Temperatura ambiente: 25.88°C
Humedad relativa: 48.51%
Irradiancia: 0.00W/M2

No hay SD

Fig. 1. 18 Lectura de las variables sin microSD

Sin embargo si colocamos la memoria SD podemos ver que el sistema ya no indica que falta la memoria microSD (Fig. 1.19), y por consecuencia inicia guardando datos en la misma.

Velocidad del viento: 11.10 Km/h
Direccion del viento NW
Presion Barometrica: 96.84 kPA
Temperatura ambiente: 21.97°C
Humedad relativa: 39.43%
Irradiancia: 0.00W/M2

Velocidad del viento: 7.08 Km/h
Direccion del viento NW
Presion Barometrica: 96.84 kPA
Temperatura ambiente: 23.44°C
Humedad relativa: 38.27%
Irradiancia: 0.00W/M2

Fig. 1. 19 Lectura de las variables con microSD

Posteriormente se decidió realizar la placa electrónica que conformaría el circuito, como vemos, debido a la falta de conocimiento del programa Arduino no se realizaron buenas especificaciones de la colocación de los componentes, sin embargo podemos deducir que existen pines que corresponden al mismo lugar de los pines en el Arduino Uno como en la Fig. 1.20:

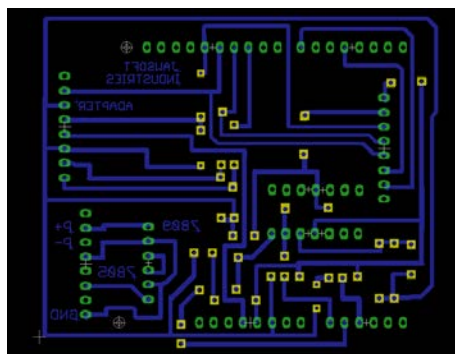


Fig. 1. 20 Placa electrónica para sensores

Esta segunda placa corresponde al diseño para la pantalla LCD (Fig. 1.21), que sin embargo aún no está decidida de manera oficial al montaje de la estación:

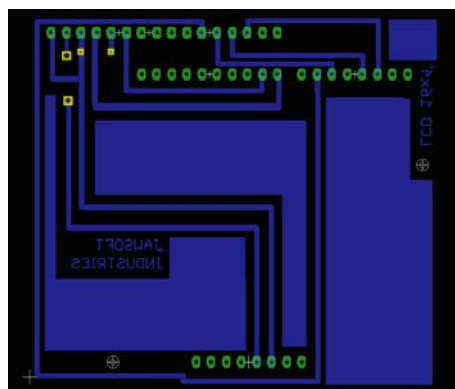


Fig. 1. 21 Placa electrónica para pantalla LCD

Después de diseñar las placas en Eagle se procedió a conseguir de manera física los sensores como se ve en la Fig. 1.22, debido a que algunos fueron importados se consiguieron aproximadamente en dos semanas:



Fig. 1. 22 Sensores principales

Al haber obtenido todos los sensores se procedió a elaborar la placa electrónica, y después de pasar el proceso de impresión y quemado de la placa se obtuvo lo siguiente, como vemos esta placa se coloca arriba del Arduino, haciendo portátil. Como podemos ver, la placa contiene un adaptador para microSD, el amplificador para la señal del fotodiodo y los pines hembra en caso de que se quiera agregar otra etapa, como puede ser la LCD como se puede ver en la Fig. 1.23:



Fig. 1. 23 Placa electrónica física

Después se colocaron los sensores sobre la placa como se puede ver en la Fig. 1.24, como se puede ver todos están dentro de la placa:



Fig. 1. 24 Montaje de sensores a la placa

Después se decidió colocar la pantalla LCD arriba del Shield (Fig. 1.25) como Shield se refiere a la placa que se colocó sobre el Arduino Uno primeramente:

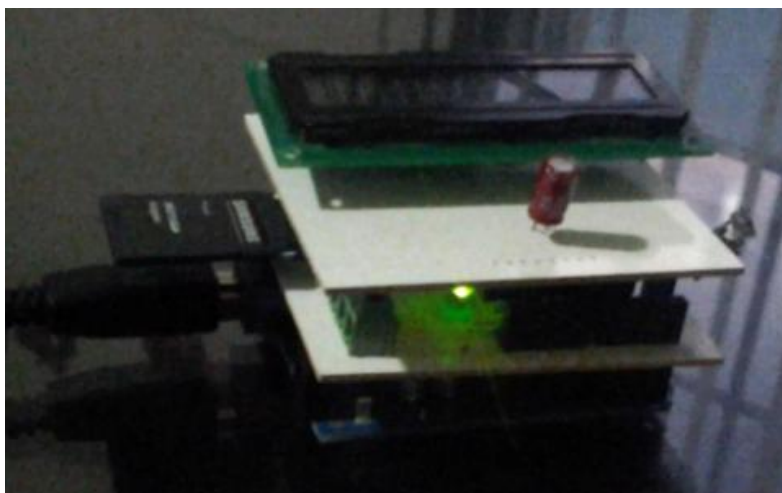


Fig. 1. 25 Montaje de la pantalla LCD

Al momento de alimentar el Arduino Uno, se puede ver que la placa funcionó correctamente, y se muestran los valores de las variables medidas, en este caso la temperatura (Fig. 1.26):



Fig. 1. 26 Lectura del valor de temperatura

Después se puede ver el valor medido de la presión barométrica (Fig. 1.27):



Fig. 1. 27 Lectura de la presión barométrica

Y lo mismo sucede en el caso de la humedad relativa (Fig. 1.28) y la irradiación (Fig. 1.29):



Fig. 1. 28 Lectura de humedad relativa



Fig. 1. 29 Lectura del valor de irradiancia

Sin embargo, como el proyecto tuvo un avance notable, se decidió implementar un anemómetro que nos indicaba la velocidad del viento además de darnos la dirección del mismo. Para esto se decidió agregar las conexiones necesarias para el mismo, como es el caso de una conexión RJ11 con los valores de resistencia calculados como se puede ver en la Fig. 1.30:

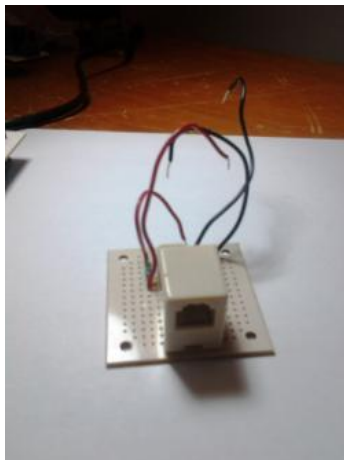


Fig. 1. 30 Conexión RJ11 para el anemómetro y la veleta

Después se decidió agregar dichas conexiones a la placa. Como podemos ver estas conexiones nos permitirán adaptar a la misma placa el dispositivo mencionado (Fig. 1.31), sin embargo se creyó que era mejor quitar la LCD ya que era un gasto innecesario si se quería crear un producto, además de que si se quita la misma no perjudicamos el proceso de medición.



Fig. 1. 31 Conexión de todos los sensores y el anemómetro

Al momento de realizar la conexión física de todos los elementos de la placa con una alimentación, en este caso el puerto USB de la computadora (Fig. 1.32), se pudo comprobar el perfecto funcionamiento del dispositivo, mostrando los valores a través del monitor serie y corroborando que los datos se estuvieran guardando en la microSD.



Fig. 1. 32 Conexión física de la estación meteorológica con una computadora para la lectura de datos a través del monitor serial

3. Resultados y discusión

Se realizaron pruebas de lectura mediante la interfaz de Arduino mostrando los valores leídos, la primera prueba se dejó ejecutando por una hora. Podemos ver en la siguiente imagen la obtención de los valores de las variables en los bloc de notas que corresponden a cada una como se puede ver en la Fig. 1.33:

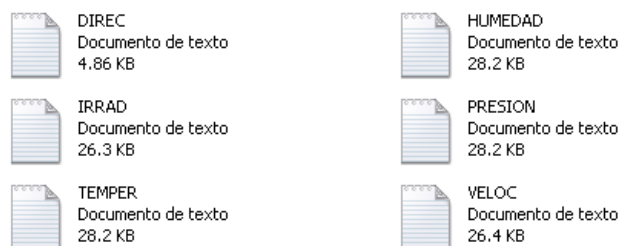


Fig. 1. 33 Bloc de notas con las variables obtenidas

En la Fig. 1.34 se puede ver la obtención de la dirección del viento:



Fig. 1. 34 Dirección del viento

XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno Aguascalientes, México, 2013

En la Fig. 1.35 se puede ver la obtención de la humedad relativa:

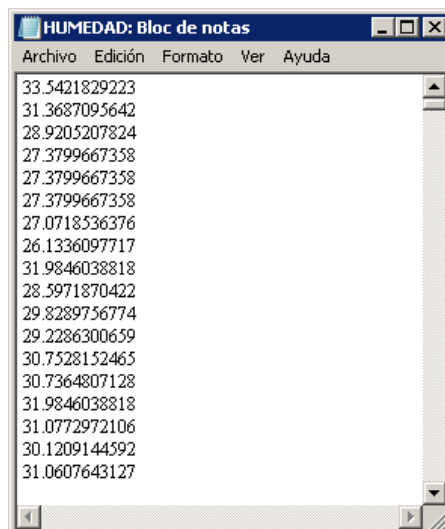


Fig. 1. 35 Valores de humedad relativa

En la Fig. 1.36 se puede ver la obtención de la presión barométrica:

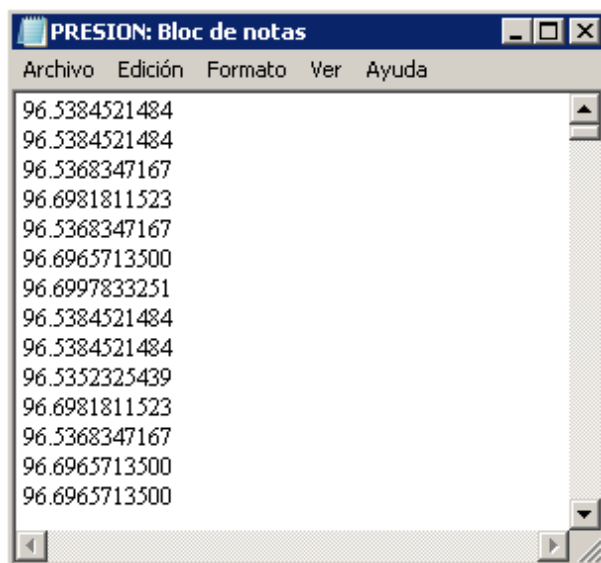


Fig. 1. 36 Valores para la presión barométrica

En la Fig. 1.37 se puede ver la obtención de la temperatura ambiente:



Fig. 1. 37 Valores de la temperatura ambiente

En la Fig. 1.38 se puede ver la obtención de la velocidad del viento:

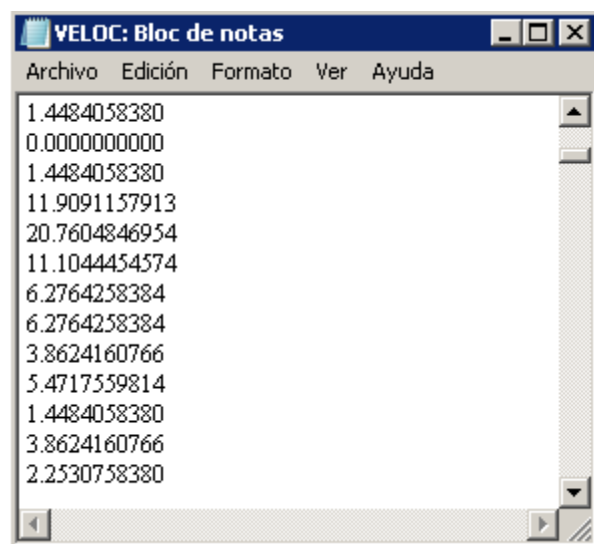


Fig. 1. 38 Valores para la velocidad del viento

3.3.2 Obtención de gráficos a partir de los valores obtenidos

Después de haber generado estos archivos se procedió a crear un formato en Excel llamado “Formato Estación”, que sería el archivo que nos ayudaría a importar dichos valores y graficarlos para poder analizarlos como se puede ver en la Fig. 1.39:

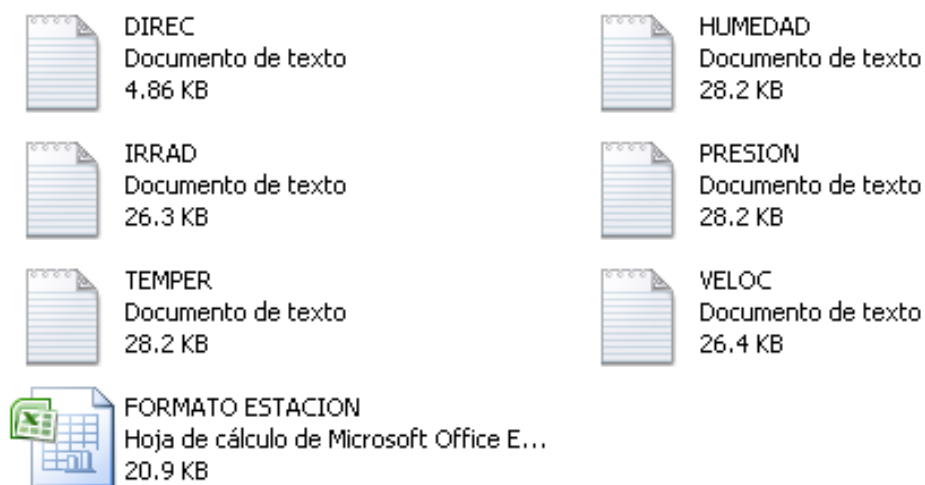


Fig. 1. 39 Bloc de notas y archivo de Excel

Se puede ver que en Excel existe una operación que nos permite importar los valores obtenidos para posteriormente graficarlos como se puede ver en la Fig. 1.40:

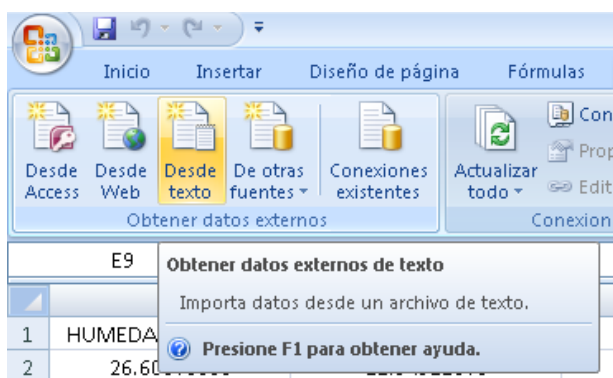


Fig. 1. 40 Importación de cada uno de los valores de las variables

Como se puede ver fueron tomados los valores de cada una de las variables medidas, nótese que no existen valores en la irradiación ya que la prueba se realizó en la noche. Sin embargo para cumplir con el objetivo del proyecto se graficaron los resultados de cada una de las variables, logrando así el proceso para el análisis de cada una que se realizará posteriormente.

En la Fig. 1.4 se puede ver la gráfica de la humedad relativa muestreada en una hora:

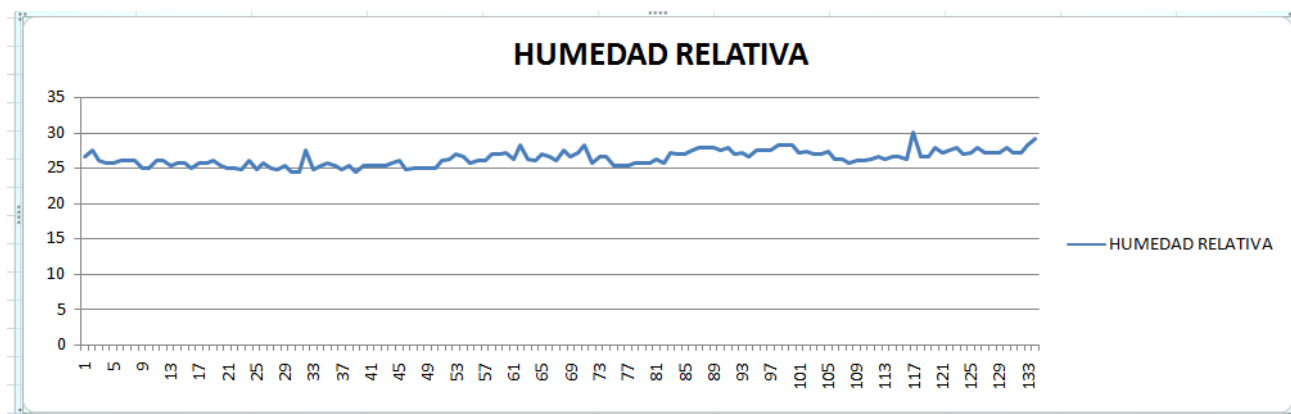


Fig. 1. 41 Gráfica de la humedad relativa muestreada

En la Fig. 1.42 se puede ver la gráfica de la temperatura ambiente muestreada en una hora:

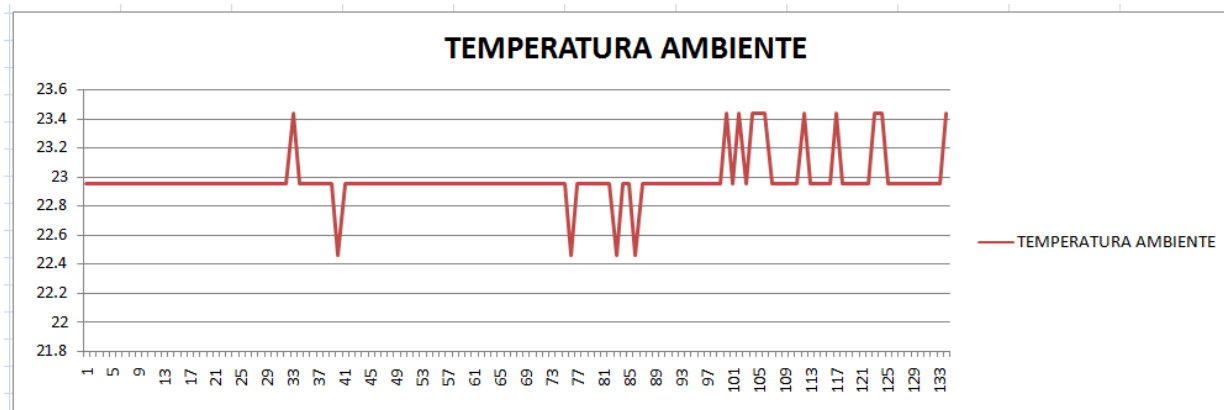


Fig. 1. 42 Gráfica de la temperatura ambiente muestreada

XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno Aguascalientes, México, 2013

En la Fig. 1.43 se puede ver la gráfica de los valores de irradiancia muestreada en una hora, que como puede verse, se realizó en la noche, por tal motivo su valor es cero en cada instante:

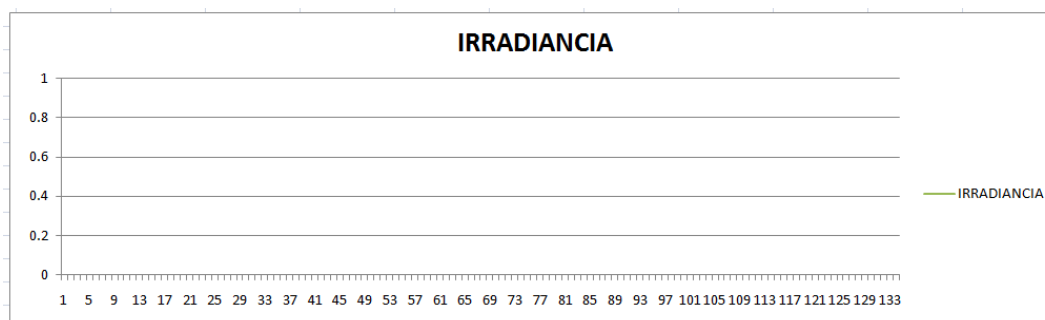


Fig. 1. 43 Gráfica de los valores de irradiación

En la Fig. 1.44 se puede ver la gráfica de la presión barométrica muestreada en una hora:

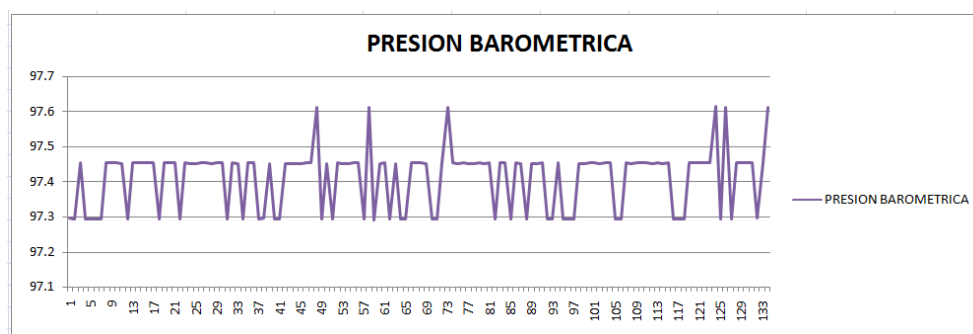


Fig. 1. 44 Gráfica de los valores de presión barométrica

En la Fig. 1.45 se puede ver la gráfica de la velocidad del viento muestreada en una hora:



Fig. 1. 45 Gráfica de la velocidad del viento muestreada en una hora

4. Conclusiones.

Después de ver los resultados obtenidos gracias al desarrollo del proyecto, se puede concluir que se desarrolló un prototipo meramente funcional de muy fácil uso, esto con el objetivo de realizar pruebas rápidas para evaluar si el lugar donde se tiene predestinado tiene la viabilidad de utilizar energías alternas y si cumplirá con las características y variables para la aplicación de la mismas como se había planteado inicialmente.

Como se vio en los resultados, estos se manejan de manera muy rápida y fácil ya que la estación meteorológica por sí misma genera los archivos que el usuario desea en un simple bloc de notas, y en base a estos se importan y grafican en el programa Excel de manera muy fácil el muestreo que se requirió. Podemos notar que los bloc de notas contienen los valores decimales de cada una de las variables a excepción de la dirección del viento.

Sin embargo aún después de realizar el prototipo, se encontraron muchas áreas de oportunidad de mejora, como puede ser la mejora en la estética, la reducción en tamaño de las placas realizadas, mejora en la programación y mejora del formato en Excel, sin embargo como ya se mencionó dicho prototipo entregó resultados muy satisfactorios para posteriormente pasar de un prototipo al desarrollo de un producto comercial.

Además al ser alumnos de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, se concluye que la generación de dispositivos que nos ayuden a trabajar de manera sinérgica, como fue el caso de la carrera de Ingeniería en Energía puede incrementar de manera eficiente el desarrollo de proyectos, es decir estos pueden ir mejorando con el tiempo iniciando con un simple prototipo. Además de esto, la reducción de costos al desarrollarlos es significativa, ya que como alumnos se busca la manera de ofrecer los mismo productos que hay en el mercado aplicando los conocimientos y material necesarios para obtener el mismo, tal vez no con una estética excelente, pero si con un rendimiento eficaz.

Se espera que dicho proyecto pueda estar operando en las instalaciones de la universidad de manera oficial y pueda ofrecer a los alumnos la capacidad de utilizarlo al momento de querer obtener valores de las condiciones climatológicas, esto como ya se mencionó de una manera fácil, sin necesidad de utilizar cables especiales o algún software complicado. El desarrollo de este proyecto motivó al equipo a seguir desarrollando nuevos en conjunto con la carrera de Energía, esto con la finalidad de poder tomar experiencia y aplicar los conocimientos adquiridos.

XIII Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana del Hidrógeno Aguascalientes, México, 2013

5. Agradecimientos

Al M.C. Adrián Pelayo García, por el conocimiento y asesoría brindada durante el desarrollo del proyecto y Al Ing. Juan Fernando Aguirre Sámano, por su apoyo incondicional, la motivación y las facilidades otorgadas para la realización de dicho proyecto.

6. Referencias

- [1] Comisión Nacional del Aguas 2010, *Manual Teórico Práctico del Observador Meteorológico de Superficie*, Editorial SEMARNAT, México.

- [2] Pallás, Ramón 2004, *Sensores y Acondicionadores de Señal*, Editorial MARCOMBO, España.