

MODELO MATEMÁTICO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE VARIABLES CLIMATOLÓGICAS USANDO UN MICROCONTROLADOR

MATHEMATICAL MODEL OF MEASURING SYSTEM WEATHER VARIABLES USING A MICROCONTROLLER

*Manuel Jesús Sánchez Chero*¹

Fecha de recepción: 15 enero 2014

Fecha de aceptación: 19 septiembre 2014

Resumen

Se elaboró un sistema de medición de variables climatológicas usando un Microcontrolador con su respectivo modelo matemático, así como el desarrollo de una interfaz para monitorear las variables en línea, a fin de realizar lecturas de los sensores de temperatura, radiación solar, dirección y velocidad del viento y su almacenamiento. Esto permitirá disponer de información a los estudiantes de Ingeniería y de los programas de Nivel Técnico Operativo del Senati, en la toma de decisiones para la elaboración de equipos de energía renovable.

El estudio de naturaleza Tecnológica se desarrolló en 4 etapas, revisión documental referente a los diferentes sensores, diseño de los sensores para capturar las variables, desarrollo de la programación para el Microcontrolador 16F876 y por último desarrollo del modelo matemático con la interfaz gráfica para visualizar las variables en línea.

Los resultados obtenidos referentes al diseño de los sensores reflejan un nivel de confiabilidad del 99% en el anemómetro y un 100% en la veleta con relación a los equipos comerciales existentes para estaciones meteorológicas.

¹ Doctor. Unidad Académica de Maestría de Ciencia de Educación. FACHSE-UNPRG, Lambayeque, Perú, manuelsanchezchero@gmail.com

Palabras clave: *Energía, Modelo Matemático, Microcontrolador, Programación, Sensores.*

Abstract

The current proposal consists of the development of a measuring system for meteorological variables by using a microcontroller with its corresponding mathematical model; it also propose the development of an interface o monitor variables on line in order to take readings of the sensors of temperature, solar radiation, direction and wind speed and the storage of these data. It will provide information that will be at the disposal of the students of Engineering and Operating Technical level at Senati in the decision making process when developing renewable equipments.

This technological study was held in 4 stages, the document review concerning the different sensors, the sensor design to capture variables, the development of the 16F876 Microcontroller programming and finally the development of the mathematical model with the graphical interface to view variables online.

The results regarding sensors design reflect a reliability level of 99% by the anemometer and a 100% by the vane with regard to commercially available weather stations' equipment.

Keywords: *Energy, Mathematical model, Microcontroller, Programs, Sensors.*

1. Introducción

Actualmente existe una creciente demanda energética. Cada vez son mayores los esfuerzos que se están realizando por instalar parques eólicos y centros solares, cuya fuente de energía proviene del viento y del sol.

Por lo que la utilización eficiente de fuentes alternas de energía requieren el conocimiento del recurso disponible, en el caso de la energía solar es indispensable contar con registros del comportamiento de las variables, tales como: radiación solar, temperatura, dirección y velocidad de viento entre otras.

Sin embargo, en nuestro país esta información aún es escasa, o bien se conoce de manera puntual.

Para poder llevar a cabo una instalación de este tipo, existe un paso indispensable como la recogida de datos y así poder escoger el lugar óptimo y que la inversión resulte rentable.

En este contexto, la Zonal Lambayeque Cajamarca Norte – SENATI Chiclayo, en su Programa de Aprendizaje Dual de la familia ocupacional Electro-

tecnia, dentro de su perfil ocupacional toma en consideración la importancia del empleo de energía renovable, los cuales requieren de verificación y medición de patrones y principios de energía alterna usando el aire, temperatura y radiación solar, para optimizar y evaluar los diseños de secadores solares, colectores solares (paneles), sistemas fotovoltaicos (pilas baterías).

En tal sentido el presente estudio conlleva a la realización de un sistema de medición de variables climatológicas usando un microcontrolador, que permita monitorear dichas variables de manera eficiente y portátil, para registrar el recurso en cualquier localidad de nuestro Perú.

2. Material y método

Diseño

Se utilizó el método de la investigación tecnológica la cual está encaminada a descubrir nuevos conocimientos a la que posteriormente se le buscan aplicaciones prácticas para el diseño y mejoramiento de un producto, proceso o equipo. La investigación tecnológica hace uso del conocimiento recopilado por la ciencia empírica y los resultados aportados por las ciencias formales para producir los métodos tecnológicos, cuya finalidad es reconstruir procesos en función de descubrimientos ya realizados con el conocimiento científico

Etapas

Se realizó de la siguiente manera:

- **Primera Etapa:** Análisis Documental, por la complejidad de las actividades se consideró conveniente un primer momento la revisión bibliográfica relacionada a la elaboración de un sistema de medición de variables climatológicas, así como identificación del contexto en que se encuentra nuestro país con relación a sistemas de medición. Un segundo momento se revisó diferentes etapas de desarrollo de hardware y software requerido para el proyecto, en lo que respecta a la gran cantidad de información que es necesario procesar de una manera rápida y eficiente, se determina la utilización de un micro controlador con el propósito de leer señales a través de los sensores y almacenarlos en su memoria y a través del puerto serial utilizando una interfaz gráfica pasar la información del micro controlador a una base de datos. Y un tercer momento se revisó las características de los diferentes sensores comerciales que se encuentran disponibles en el mercado y por otro lado se revisaron las características de los sensores con que cuenta la estación meteorológica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, la cual será utilizada para validar las mediciones obtenidas por el Siste-

ma de Medición diseñado y finalmente se procedió a la recopilación de información relacionada con el software para la programación del PIC, así como para el desarrollo de la interfaz gráfica.

- **Segunda Etapa:** Diseñar e implementar los sensores para la captura de las variables para el sistema de medición.
- **Tercera Etapa:** Desarrollo del programa para el microcontrolador 16f876.
- **Cuarta Etapa:** Elaborar el modelo matemático y desarrollo de la interfaz gráfica para visualizar la captura de la información en línea.

Análisis Estadísticos

- Se utilizó Microsoft Excel, para realizar las comparaciones de los instrumentos y los sensores implementados, así como la correlación entre ellos.

3. Resultados

- **Sensor LM35.**
 Para medir la efectividad de la recolección de datos, con el presente instrumento se registró información en la Base Aérea N° 6 – Chiclayo – paralelo con el sensor.

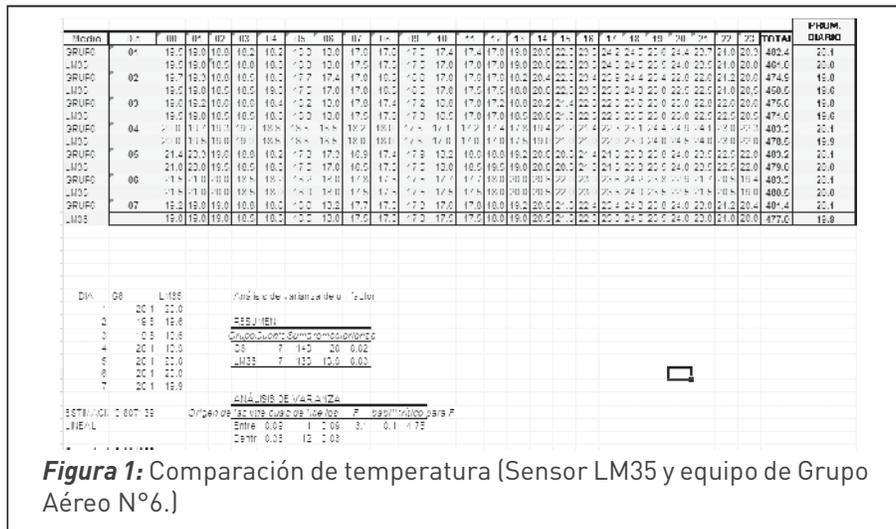


Figura 1: Comparación de temperatura (Sensor LM35 y equipo de Grupo Aéreo N°6.)

Fuente: Elaboración propia.

Dicha tabla muestra la obtención del registro de información en intervalos de 1 hora (168 datos), durante las 24 horas, tanto para el equipo del Grupo Aéreo N° 6 como para el Sensor.

En dicha comparación, se obtuvo un valor de 0,9647 lo que es un valor aceptable entre ellos.

- **Con el Anemómetro**

Con respecto a la velocidad del viento, se registró información en la Estación Climatológica Principal de la UNPRG paralelo al Anemocinemógrafo dentro del 23 al 26 de Mayo del 2005, escogiéndose los datos del día 26 como más aceptables dado a las precauciones tomadas en ese día.

Tabla 1

Velocidad medida con el anemómetro en relación al registro del Anemocinemógrafo.

HORA	VELOCIDAD (m/s)	
	Anemómetro	Anemocinemógrafo
08 - 09	1,4	1,6
09 - 10	1,4	1,6
10 - 11	1,4	1,6
11 - 12	3,3	3,5
12 - 13	5	5,2
13 - 14	4,3	4,5
14 - 15	4,6	4,8
15 - 16	4,4	4,6
16 - 17	4,1	4,3
17 - 18	4,5	4,7
18 - 19	4,8	5
19 - 20	3,9	4,1
20 - 21	3,3	3,5
21 - 22	3,3	3,5

22 - 23	1,7	1,9
23 - 00	1,6	1,8
00 - 01	1,4	1,6
01 - 02	1,4	1,3
02 - 03	1,4	1,6
03 - 04	4,5	4,7
04 - 05	3,9	4,1
05 - 06	1,6	1,8
06 - 07	1,9	2,1

Fuente: *Elaboración Propia.*

Aplicando el método de los mínimos cuadrados, se obtiene para un modelo lineal la siguiente ecuación.

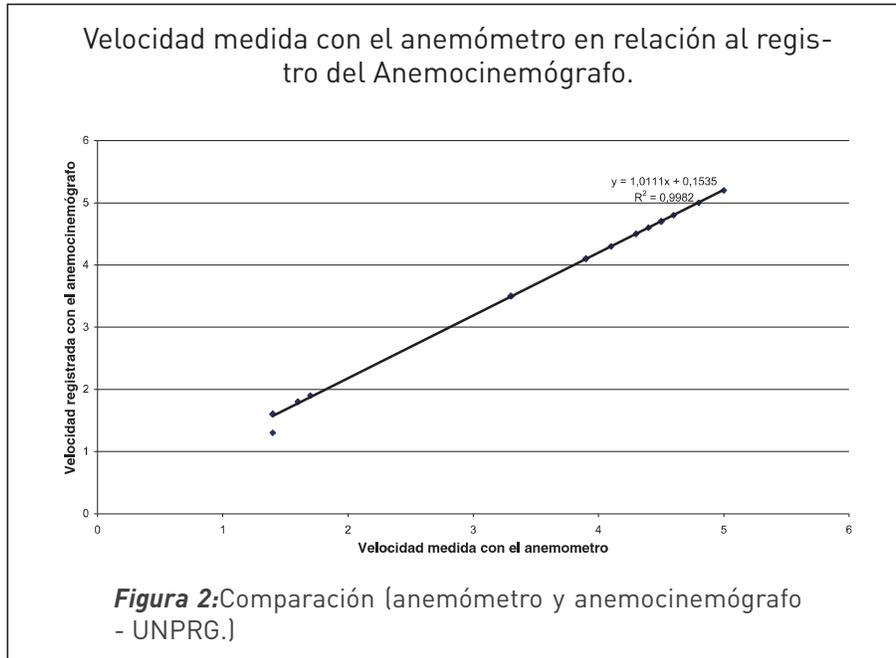
$$v = 0,1099n + 1,2904$$

Donde:

n = numero de pulsos registrados

Estableciéndose la correlación entre los valores medidos con el anemocinemógrafo y el anemómetro, se obtuvo un valor de: $R=0,99908798$; lo que es un valor aceptable dada la alta correlación entre ellos.

Esto fue contrastado con el valor tabulado (Tabla 1), para un nivel de significancia del 0.05. Lo cual nos permite afirmar que la información recogida por el Anemómetro es confiable.



Fuente: Elaboración propia.

- **Con la Veleta**

Al igual de la Velocidad del Viento, se realizó una comparación con el anemocinómetro de la UNPRG y medidos con el equipo construido, coinciden plenamente. Esto permite afirmar que la información que proporciona el modelo de veleta digital construido es confiable.

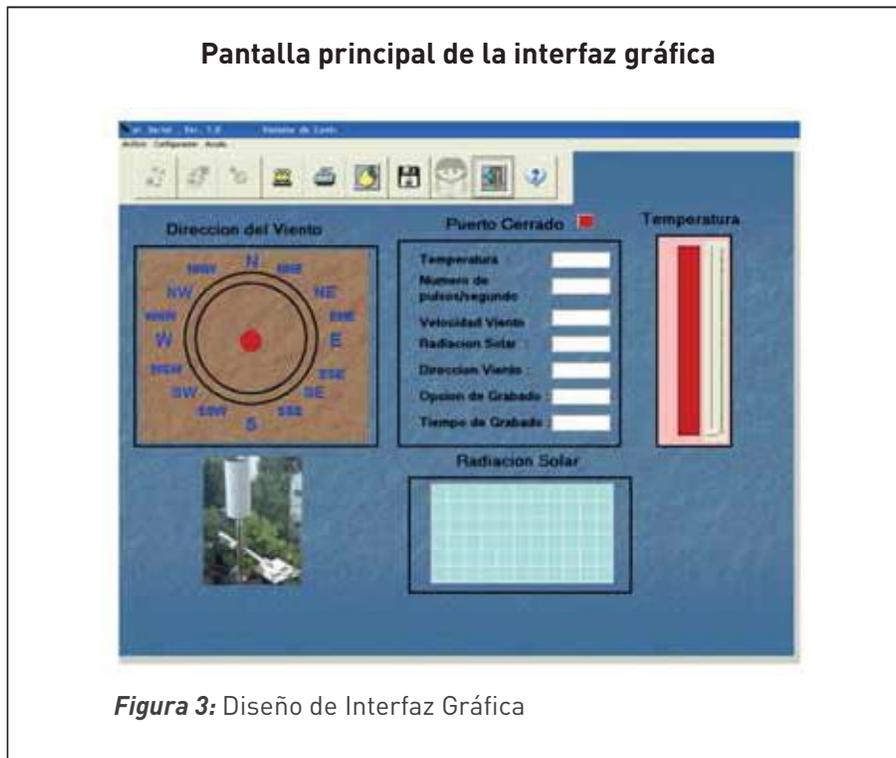
Tabla 2
 Dirección medida con la veleta en relación al registro del Anemocinémógrafo.

HORA	DIRECCIÓN	
	Veleta	Anemocinémógrafo
08 - 09	S -SW	S -SW
09 -10	S	S
10 - 11	S -SW	S -SW
11 - 12	SW	SW
12 -13	SW	SW
13 -14	S -SW	S -SW
14 -15	S -SW	S -SW
15 - 16	S -SW	S -SW
16 - 17	S -SW	S -SW
17 - 18	S	S
18 - 19	S	S
19 - 20	S	S
20 -21	S	S
21 - 22	S	S
22 - 23	S	S
23 - 00	S	S
00 - 01	S	S
01 - 02	S	S
02 - 03	S	S
03 - 04	S	S
04 - 05	S	S
05 - 06	S	S
06 -07	S	S

Fuente: Elaboración Propia.

- **Diseño de la interfaz gráfica**

La interfase gráfica fue diseñada usando un lenguaje de programación gráfica. Una de las ventajas que se tienen al utilizar lenguajes de última generación es que da la posibilidad de soluciones en forma rápida sin profundizar mucho en lo que es la programación. Además, cuenta con un gran número de funciones para los requerimientos de manejo de Puerto Serial puede llegar a trabajar con rutinas realizadas en "C" y en algunos otros lenguajes de programación.

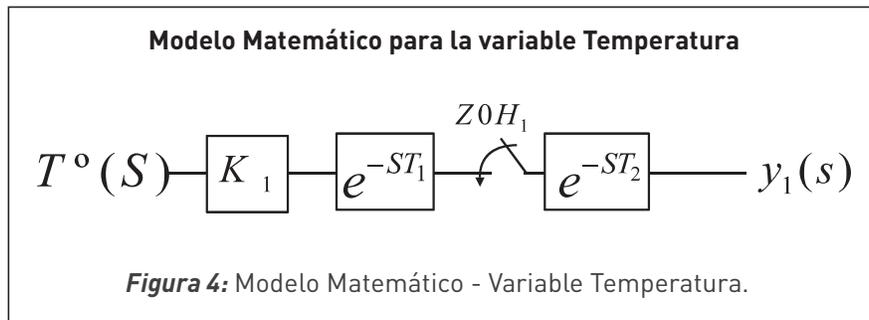


Fuente: Elaboración propia.

4. Discusión

De acuerdo a la Teoría de Sistemas el Modelo Matemático de un sistema de adquisición de datos para las siguientes variables será:

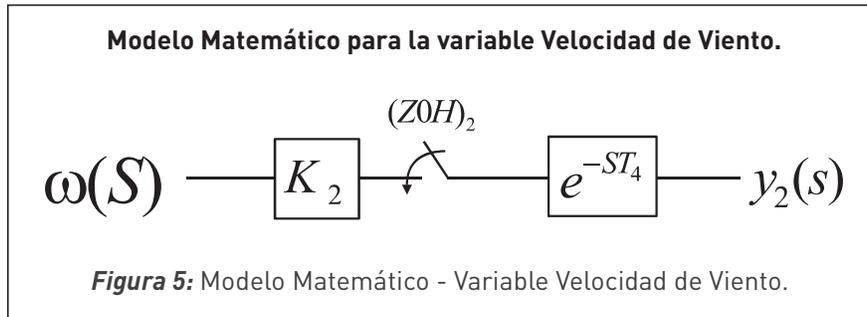
- **Temperatura**



Fuente: Elaboración propia.

K_1	Representa la constante de lineabilidad del sensor de T° (p.e : 20 mv/ $^\circ$ C).
e^{-ST_1}	Representa el retardo que toma el sensor de temperatura por convertir ese valor siendo T_1 el tiempo de demora, puede ser ms, μ s , etc.
$(ZOH)_1$	Retenedor de orden cero. Modela el tiempo de adquisición de los datos por parte del operador (programador).
e^{-ST_2}	Modela el retardo del microprocesador. Es el tiempo en que demora el procesador en convertir la señal desde el conversor AD hasta la entrega del dato al PC mediante el puerto RS232.

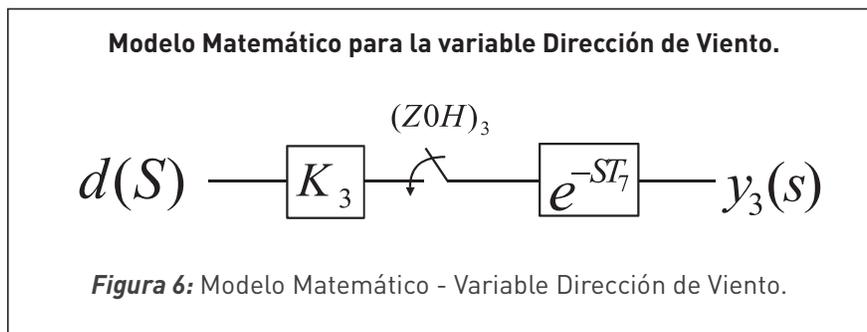
- **Velocidad de Viento**



Fuente: *Elaboración propia.*

- $\omega(s)$ Velocidad angular.
- K_2 Ganancia del sensor de velocidad (encoger), como es tan rápido se desprecia el retardo (2000 pulsos/RPM - e).
- $(ZOH)_2$ Retenedor de orden cero que modela el tiempo de muestra que impone el usuario (2ms, 100ms, etc) T_5 es el tiempo de muestreo.
- e^{-ST_4} Representa el retardo que el microprocesador toma desde el inicio de la conversión hasta la entrega del dato al PC.

- **Dirección de Viento**



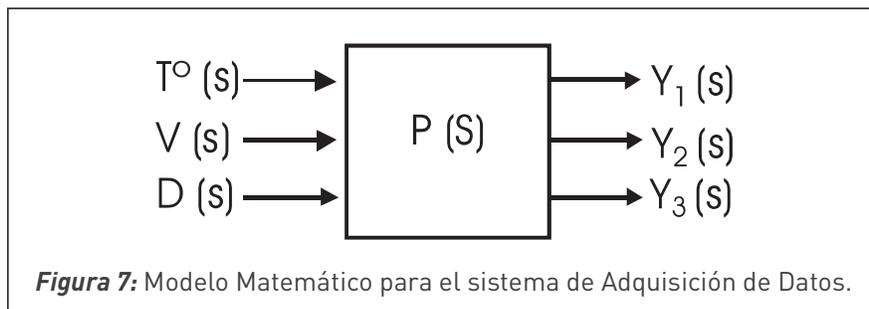
Fuente: *Elaboración propia.*

- $d(S)$ Posición del sensor de dirección.
- K_3 Constante de linealidad del sensor de posición (Codificación Gray).
- $(ZOH)_3$ Retenedor de orden cero que modela el tiempo de la adquisición o el muestreo fijado por el usuario T_8 en ese tiempo.
- e^{-ST_7} Representa el retardo que el microprocesador para transferir la información hacia el PC.

• **Observación**

1. El tiempo de muestreo tiene que ser al menos el doble del periodo máximo de la señal (Teorema del Muestreo). En esta Investigación no hay problema pues si se ha cumplido.
2. El tiempo de muestreo (T_s) debe ser mayor que el tiempo que demora el procesador (T_p) en digitalizar la señal y entregar el dato al PC. Este requerimiento también se ha cumplido. Por ejemplo tiempo de muestra 95 y tiempo en procesar la información en el microprocesador 50 – 70 ms.
3. Las funciones de todas las variables son de Primer Orden y el Sistema es de Lazo Abierto, dado que solo captura la señal, la procesa y la muestra en Pantalla.

• **Modelo Completo del sistema de adquisición de Datos**



Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$T^{\circ}(s)$ -----> Temperatura.
 $V(s)$ -----> Velocidad.
 $D(s)$ -----> Dirección.
 $Y_1(S), Y_2(S), Y_3(S)$ -----> Datos hacia el PC Digitales.

5. Conclusiones

- Se logró elaborar un sistema de medición de variables usando un Microcontrolador portátil, utilizando sensores, el cual sirve para medir temperatura, velocidad y dirección de viento.



Fuente: Elaboración propia.

- Se logró diseñar y construir un Anemómetro utilizando sensores infrarrojos el cual permitirá medir la velocidad, con un coeficiente de correlación de 0,99908798.
- Se logró diseñar una veleta utilizando sensores infrarrojos para medir la dirección del viento, con una confiabilidad del 100% con respecto a los equipos comerciales existentes para estaciones meteorológicas.

- Se elaboró una interfaz gráfica, para transferir la información del Microcontrolador a una Base de Datos, por intermedio del puerto serial RS232.
- Se elaboró el Modelo Matemático completo para el sistema de adquisición de datos.

6. Referencias

- Angulo, J. & Angulo, I. (2000). *Microcontroladores PIC: Diseño Práctico de Aplicaciones*. México: Editorial Mc Graw Hill Interamericana.
- Carr, J. (2000). *Sensores y Circuitos*. (Segunda Edición). México: Ediciones Prentice Hall.
- Ehowenespanol. (2013). *Cómo recibir bytes a partir de un puerto serial con Visual Basic*. Recuperado de http://www.ehowenespanol.com/recibir-bytes-partir-puerto-serie-visual-basic-como_115162/
- Gaspar, C. (2004). *Diseño e Implementación de una Estación Meteorológica Virtual* (Tesis de maestría). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.
- González, J. (2004). *Herramientas hardware y software para el desarrollo de aplicaciones con Microcontroladores PIC bajo plataformas GNU/Linux*. III Jornadas de Software Libre, Universidad Pontificia de Salamanca en Madrid.
- Howard, M. (1999). *Fundamentos de Señales Amplificadas*. M. Berlin: Maxwell Macmillan International Editions.
- Johnson, G. (1999). *Sistemas Eólicos*. Editorial Mc Graw Hill.
- Mahesh, L. (1998). *Programación en Microcontroladores*. (Tercera Edición). México: Ediciones Prentice Hall Internacional.
- Mecanique. (2013). *Componentes electrónicos*. Recuperado de <http://www.mecanique.co.uk/shop/index.php?route=product/category&path=79>
- Messenger, R. (2000). *Sistemas de Ingeniería Fotovoltaicos*. Ediciones Maxwell.
- Micmaster. (2013). *Manejo de Puerto serial con Visual Basic*. Recuperado de http://raulalejandroql.webcindario.com/puertos/puerto_serial.htm

- Microchip. (2001). *PIC16F87X Data Sheet*. Recuperado de:
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/30292c.pdf>
- Pascual, J. (2002). *Conexión de una pantalla LCD a un Microcontrolador*. Recuperado de http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/lсед/2002-03/Pantallas_LCD/LCD.pdf
- Sanchez, J. (1976). *Apuntes de Instrumentos Meteorológicos*. Madrid.
- Siler, B. & Spotts, J. (1999). *Visual Basic 6*. (Edición Especial). Prentice Hall.
- Tocci, R. (1996). *Sistema Digitales: Principios y Aplicaciones*. México: Editorial Prentice Hall Hispanoamericana SA
- Texas Instrumental. (2013). *LM35 Precision Centigra de Temperature Sensors*. Recuperado de <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>