

Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería en Automatización.

## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE MANUFACTURA NACIONAL.

### TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Ingeniero en Automatización con Línea Terminal en Sistemas Mecatrónicos.

#### Presenta:

Gabriel Nieto Rabiela

#### Dirigido por:

M.C Manuel Toledano Ayala

#### SINODALES

M. en C. Manuel Toledano Ayala  
Presidente

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Edgar Alejandro Rivas Araiza  
Secretario

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Genaro Martín Soto Zarazúa  
Vocal

\_\_\_\_\_  
Firma

M. en C. Juvenal Rodríguez Reséndiz  
Suplente

\_\_\_\_\_  
Firma

Ing. Rey David Bazán Trujillo  
Suplente

\_\_\_\_\_  
Firma

\_\_\_\_\_  
Nombre y Firma  
Director de la Facultad

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
10-Oct-2010  
México

## RESUMEN

Esta tesis titulada, “Diseño e Implementación de una Estación Meteorológica de Manufactura Nacional”, trata acerca de un sistema de adquisición de datos para la obtención de variables climatológicas de forma remota. La metodología utilizada para el desarrollo de la misma consistió en analizar e investigar lo más reciente en este tipo de tecnologías, para así mejorar y reducir los costos de éstas, después se inició la experimentación adquiriendo los sensores para ver los requerimientos del SAD, tipos de señales (analógicas, digitales) y en base a eso desarrollar la tarjeta, también se tuvo que considerar el tipo de comunicación a usar dependiendo del costo e implementar la comunicación más común, en este caso serial, para hacerla más flexible y poder utilizar diferentes tipos de tecnologías de transmisión de datos, en cuanto a la selección de materiales se pensó en lograr un buen rendimiento para obtener un mejor desempeño y precisión en las lecturas obtenidas por la estación construida, utilizando materiales de precisión con el fin de tener las menores caídas de voltaje en la tarjeta. La validación de los datos se hizo comparando los datos obtenidos con los datos registrados por las estaciones meteorológicas comerciales, para así asegurar un buen funcionamiento del prototipo.

Los resultados de los datos obtenidos por el sistema de adquisición de datos fueron precisos demostrando una buena funcionalidad, en esta tesis se muestran las gráficas que se registraron con la obtención de los datos del sistema de adquisición de datos pudiendo observar el buen funcionamiento de esta tarjeta, la cual se desarrollo en la Universidad Autónoma de Querétaro pudiendo realizar un sistema de manufactura nacional, un producto de calidad y un sistema de desarrollo tecnológico universitario.

## DEDICATORIAS

Esta tesis representa para mí un logro más del transcurso de mi vida, es el comienzo de una nueva etapa, es la huella que dejan mis conocimientos obtenidos y habilidades desarrolladas en un largo periodo de aprendizaje en esta institución, sin el apoyo de mi madre de mis hermanos de mis profesores y mis amigos no se hubiera podido realizar este sueño tan importante, este sueño que te transforma en una persona diferente y que demuestra que eres capaz de realizar proyectos e investigaciones importantes.

Dedico esta tesis:

A mi madre Beatriz por desarrollarme como una persona, puntual, capaz, enseñarme que la asistencia es muy importante, sobre todo gracias por tu amor, paciencia, consejos y persistirme que soy capaz de lograr mis objetivos. Gracias a todo esto he logrado realizar mi tesis, algo que creía imposible pero gracias a ti lo logre, te quiero mamá.

A mis Hermanos Fabiola y Alejandro por demostrarme que todo es posible, me siento orgulloso de ustedes. Fabiola ver tus buenas calificaciones, y tu persona hizo darme cuenta que todo es posible solo falta esfuerzo para lograrlo, ese esfuerzo fue el que necesite para lograr realizar esta investigación. Alejandro tú me has dejado la gran fortaleza que te distingue como persona gracias a esto pude terminar esta carrera, realizar esta tesis y lograr mis objetivos.

A mi pareja Alejandra por los conocimientos que me has compartido, tu apoyo que me has dado, demostrarme y hacerme sentir que todo lo que uno se propone es alcanzable, por esa paciencia de días y noches de estudio, tú fuiste mi motivación para desarrollar este trabajo que es fundamental para mi carrera, gracias a todo esto se pudo concluir este proyecto de investigación y la realización de esta tesis.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al finalizar un trabajo tan arduo y lleno de dificultades como el desarrollo de una tesis es inevitable que te asalte un muy humano egocentrismo que te lleva a concentrar la mayor parte del mérito en el aporte que has hecho. Sin embargo, el análisis objetivo te muestra inmediatamente que la magnitud de ese aporte hubiese sido imposible sin la participación de personas e instituciones que han facilitado las cosas para que este trabajo llegue a un feliz término. Por ello, es para mí un verdadero placer utilizar este espacio para ser justo y consecuente con ellas, expresándoles mis agradecimientos.

### **Gracias a mi asesor Manuel Toledano.**

Por permitirme ser parte del grupo de trabajo. Tus consejos, paciencia y opiniones sirvieron para que me sienta satisfecho en mi participación dentro del proyecto de investigación, además de despertar ese investigador que todos llevamos dentro y desarrollar mis habilidades para la solución de problemas. No cabe duda que su participación ha enriquecido el trabajo realizado y, además, ha significado el surgimiento de una sólida amistad.

### **Gracias a cada uno de los maestros.**

Que participaron en mi desarrollo profesional durante mi carrera, esas grandes personas llenas de conocimiento gracias por transmitir ese conocimiento tan importante para la formación académica de sus estudiantes, sin su ayuda y conocimientos no estaría en donde me encuentro ahora, no hubiera sido posible el desarrollo de esta tesis que muestra la huella que dejaron en mi formación como ingeniero en automatización.

### **Gracias al Dr. Gilberto Herrera.**

Por haber hecho de la Facultad un lugar de formación académica de calidad, de tener los mejores maestros y doctores de la Universidad, logrando una Facultad de grandes conocimientos, desarrollos tecnológicos, haciendo crecer a sus

estudiantes. Gracias a esto pude implementar mis conocimientos y con ello la realización de esta Tesis.

### **Gracias a todos mis amigos**

Quienes estuvieron conmigo y compartimos tantas aventuras, experiencias, desveladas, grandes proyectos que sin su ayuda no hubieran sido posibles. Gracias a cada uno por hacer que mi estancia en la Facultad de Ingeniería fuera divertida y sobretodo que tuviera un ambiente fraternal.

Finalmente, debo agradecer a la Universidad Autónoma de Querétaro, al CONACYT, por haber financiado parte de mis estudios de licenciatura otorgándome una beca la cual me ayudó para poder comprar mi material escolar, también agradezco a la Facultad de Ingeniería por facilitarnos los laboratorios, el material, e instrumentos para la realización de proyectos logrando conformar el perfil de Ingeniero en Automatización.

# ÍNDICE

## Contenido

RESUMEN .....	i
DEDICATORIAS.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE .....	v
ÍNDICE DE CUADROS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
Los componentes de un sistema embebido. ....	8
Sensores. ....	9
Sensor de humedad relativa (capacitivo).....	9
El punto de rocío .....	10
Sensor de temperatura (RTD). ....	11
Sensor de presión barométrica (capacitivo). ....	12
Anemómetro .....	13
Veleta .....	14
Pluviómetro.....	15
Piranómetro .....	16
Microcontrolador. ....	17
ADC.....	20
EEPROM.....	21
Comunicación RS232 .....	21
III. METODOLOGIA.....	23
Desarrollo del sensor de dirección y velocidad del viento.....	24
Desarrollo del sensor de temperatura y humedad.....	27
Desarrollo del sensor de presión barométrica.....	29
Desarrollo del sensor de piranómetro. ....	30
Desarrollo del pluviómetro. ....	32
Filtrado de datos. ....	32

Monitoreo del voltaje. ....	33
Comunicación.....	34
Diseño del PCB. ....	35
IV. RESULTADOS .....	36
Bibliografía .....	43
ANEXOS .....	45
Artículo científico. ....	45

## ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1 Propósito de los pines del conector DB-9.....	22
---	----



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Datalogger marca Campbell Scientific (Cortesía Campbell Scientific) .....	3
Figura 2 Estación RD32 marca SEAC (Cortesía de SEAC) .....	4
Figura 3 Aplicación en un invernadero de una EMA .....	5
Figura 4 Sistema Básico de Medición .....	6
Figura 5 Diagrama de Bloques de un Sistema de Adquisición de Datos (Cortesía de National Instruments).....	7
Figura 6 Diagrama General de un SAD. ....	8
Figura 7 Sensor de humedad marca PRYDE (Cortesía de PRYDE). ....	10
Figura 8 Sensor PT1000. ....	11
Figura 9 Esquema del interior de algunos sensores de presión.....	12
Figura 10 Sensor de presión Vaisala PTB110. ....	13
Figura 11 Esquema funcional del anemómetro de rotación.....	14
Figura 12 Anemómetro y Veleta. ....	15
Figura 13 Esquemático eléctrico del pluviómetro. ....	16
Figura 14 Partes principales de un piranómetro.....	17
Figura 15 Partes del microcontrolador están contenidas en su interior y solo salen al exterior las líneas que gobiernan los periféricos. ....	18
Figura 16 Prestaciones de un Microcontrolador PIC24F.....	19
Figura 17 Procesos de la conversión. ....	20
Figura 18 Digitalización. ....	21
Figura 19 Pines del puerto serial.....	22
Figura 20 Trama de datos comunicación serial.....	23
Figura 21 PIC18F8723 de Microchip.....	24
Figura 22 Conexión del sensor de dirección y velocidad del viento Met One 034B. ....	25
Figura 23 Simulación en el ISIS de la veleta. ....	26
Figura 24 Simulación en el ISIS del anemómetro.....	26
Figura 25 Conexión del sensor de temperatura y humedad.....	28
Figura 26 Simulación en el ISIS del sensor de temperatura y humedad.....	28
Figura 27 Conexión del sensor de presión barométrica. ....	29
Figura 28 Simulación en el ISIS del sensor de presión barométrica.....	30
Figura 29 Conexión del piranometro. ....	30
Figura 30 Sensor de Radiación Solar. ....	31
Figura 31 Simulación en el ISIS del piranometro.....	31
Figura 32 Conexión del pluviómetro. ....	32
Figura 33 Simulación en el ISIS del la Medición de Voltaje.....	33
Figura 34 Sistema de Comunicación Entre Tres Estaciones Meteorológicas.....	34
Figura 35 Visualización 3D de la Tarjeta de Adquisición de Datos (medida 12 cm X 11 cm).....	35
Figura 36 Componentes y distribución del SAD. ....	35
Figura 37 Datos obtenidos en la hyperterminal.....	36
Figura 38 Gráfica de temperatura.....	37

Figura 39 Gráfica de Radiación Solar.....	37
Figura 40 Gráfica de Precipitación Pluvial.....	37
Figura 41 Gráfica de Velocidad del Viento.....	37
Figura 42 Gráfica Dirección del Viento.....	38
Figura 43 Gráfica Humedad Relativa.....	38
Figura 44 Gráfica de Presión Barométrica.....	38
Figura 45 Gráfica Voltaje de la Batería.....	38
Figura 47 Conexión de los Sensores al SAD.....	39
Figura 48 Estación de Telemetría Instalada en Nueva Victoria, Chiapas.....	39
Figura 49 Estación de Telemetría Instalada en el Cerro de las Cruces, Chiapas.....	40

## I. INTRODUCCIÓN

Una estación meteorológica automatizada (E.M.A.), es una herramienta por la cual se obtienen datos de los parámetros meteorológicos como temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica, lluvia y otros, leídos por medio de sensores eléctricos. Las lecturas son acondicionadas para luego ser procesadas mediante la tecnología de microcontroladores o microprocesadores, y transmitidas a través de un sistema de comunicación (radio, satélites, teléfono, etc.) en forma automática. La estación automática funciona en forma autónoma, las 24 horas, con un sistema de alimentación a través de energía solar (paneles solares), o mediante el uso de la energía eólica (Civil, 2008).

La Universidad Autónoma de Querétaro tiene la necesidad de obtener mediciones climatológicas para el desarrollo de un proyecto de investigación llevado a cabo por investigadores de posgrado para monitorear ciertas variables de importancia. Por tal motivo se vio la necesidad de desarrollar este tipo de sistemas embebidos con costos mucho más accesibles, de manufactura mexicana y sobre todo de desarrollo universitario.

Lo más importante es tener un microcontrolador de alto desempeño y de bajo costo que permita un procesamiento adecuado sin pérdida de datos de las señales entregadas por sensores climatológicos.

Se tiene que desarrollar un sistema tecnológico de manufactura nacional, de bajo costo para el procesamiento de las señales eléctricas entregadas por sensores climatológicos.

Este tipo de proyectos son importantes para la comunidad científica como para el desarrollo de sistemas embebidos destinados al servicio social, al beneficio de personas de pocos recursos sobre todo en Estados donde hay mayor pobreza en sus habitantes. Las tecnologías actuales de medición climatológica son muy caras sobre todo si ponemos en la mesa que estas no son producidas en este país

lo cual nos deja una oportunidad para la innovación y desarrollo de este tipo de tecnologías.

Más adelante en las diferentes secciones se abarcará los antecedentes de las estaciones meteorológicas, los diferentes problemas que se atacaron, como se llevó a cabo esta investigación, los materiales, así como las tecnologías que se utilizaron y el tiempo que tomo este proyecto.

En cuanto a las aplicaciones, los lugares que se destinaron en Chiapas ya tienen instaladas las estaciones, además de contar con las funciones establecidas para lograr los estudios deseados por los investigadores de esta facultad.

Lo más importante de este proyecto fue hacer un producto funcional, innovador, económico, y de manufactura mexicana.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

Una estación meteorológica automatizada (EMA) es una versión autónoma automatizada de la tradicional estación meteorológica, preparada tanto para ahorrar labor humana o realizar mediciones en áreas remotas o inhóspitas. El sistema puede reportar en tiempo real vía satelital, tener enlace de microondas, o salvar los datos para posteriores recuperaciones. (Comunidad de Madrid, 2009)

La configuración de una EMA puede variar debido al propósito del sistema, pero típicamente consiste en una estructura modular:

- Una caja para intemperie, con el datalogger, batería recargable.
- Sensores meteorológicos
- Paneles solares o generador eólico
- Mástil

La mayoría de los dataloggers tienen dos seriales, diferentes entradas para conectar los dispositivos que vamos a leer para poder guardar los diferentes valores y descargarlos cuando se le soliciten, ya sea por vía serial o por Ethernet. Estos dispositivos necesitan una fuente de alimentación y entregan diferentes niveles de voltajes los cuales se usan para alimentar en este caso diversos tipos de sensores para realizar su función y obtener la medición deseada, también llegan a contener memorias EEPROM externas para el almacenamiento de estos datos. Los dataloggers son el cerebro de toda estación meteorológica sin este instrumento no podríamos guardar ni convertir las señales que nos mandan los diversos sensores.



**Figura 1 Datalogger marca Campbell Scientific (Cortesía Campbell Scientific)**

Actualmente existen diferentes compañías dedicadas al diseño, fabricación y construcción de estaciones meteorológicas la mayoría incluyen los siguientes sensores:

#### Estación RD32 de SEAC



Figura 2 Estación RD32 marca SEAC (Cortesía de SEAC)

- Sensor de velocidad.
- Sensor de dirección.
- Sensor de temperatura.
- Sensor de presión.
- Sensor de humedad.
- Sensor de radiación solar.

Estas son algunas de las marcas disponibles hoy en día.



La mayoría de las estaciones que están disponibles en el mercado son EMA, al estar colocadas en lugares de difícil acceso. La comunicación de las diferentes estaciones es vía RS-232 y para enviar los datos vía satelital. Muchos de estos diseños se alimentan por paneles solares, y contienen baterías de respaldo.

Estas son algunas de las ofertas que encontramos en el mercado que satisfacen las necesidades pero la mayoría de ellas se consiguen en el extranjero o a través de internet lo cual eleva su costo.

Casi todo el mundo en nuestro planeta está interesado, de algún modo, en el clima y los cambios climáticos. Esto sucede debido a que cualquier variación a largo plazo en la temperatura o la precipitación en el planeta, nos afectará a todos en última instancia. Muchos países están poniendo en práctica programas educativos, informativos y de capacitación para aumentar la conciencia sobre los impactos potenciales del cambio climático (Gobierno de Canarias, 2008).

Actualmente el desarrollo de tecnologías para la medición de variables climatológicas no es muy diferente, los sensores son los mismos, lo que cambia es la forma de comunicar esos datos y los costos de nuevos desarrollos. Existen hoy en el mercado muchos proveedores cada uno ofrece una forma diferente de comunicación o alimentación pero todas van encaminadas a la obtención de datos climatológicos.

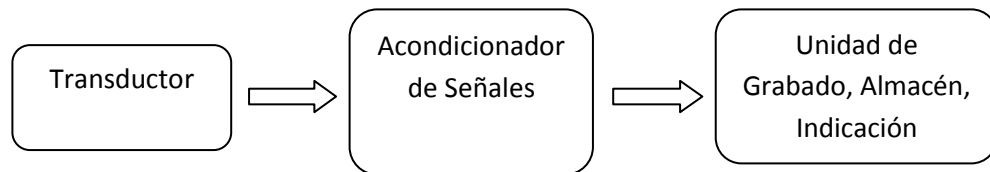
Los últimos avances en microcontroladores y tecnología de sensores, incluido el bajo consumo de energía y el buen desempeño a razón del costo hace posible toda una gama de nuevas aplicaciones utilizando redes de sensores distribuidas (J. Agre, 2000). Mayor inteligencia y bajo consumo de energía de nuevas generaciones de microcontroladores/DSPs hacer posible una amplia gama de aplicaciones de monitoreo inteligente (Emil Jovanov, 2001).



**Figura 3** Aplicación en un invernadero de una EMA

En Japón, los geófonos son utilizados para detectar actividades volcánicas. En Europa, los transmisores ultrasónicos de nivel y sensores laser de flujo son usados para medir una mezcla de nieve derretida y lodo (P.H. Chou, 2007). Todo esto necesita de un almacenamiento de datos para poder realizar estudios de los diferentes eventos.

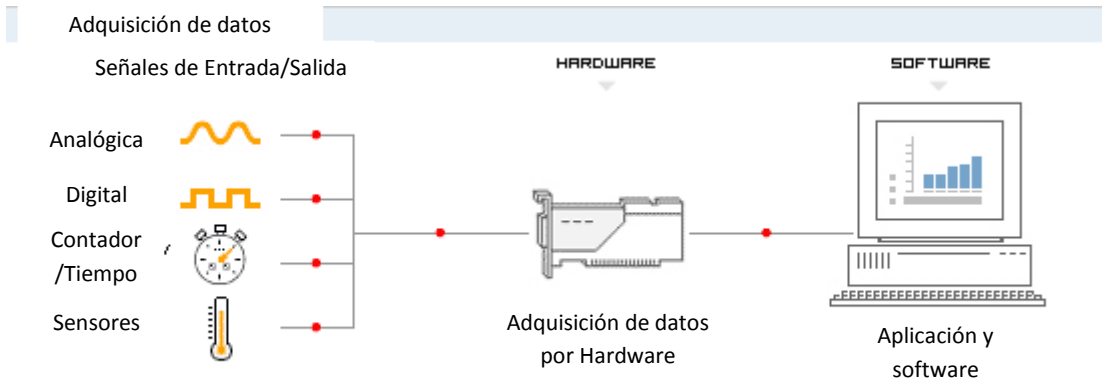
Las señales de entrada analógicas para los sistemas de adquisición de datos son a menudo generados por sensores y transductores que convierten los parámetros del mundo real tales como la presión, temperatura, estrés o tensión, caudal, etc., en equivalente a señales eléctricas. Las señales eléctricas equivalentes son convertidas por los sistemas de adquisición de datos y luego son utilizados por el dispositivo final en forma digital. La capacidad del sistema electrónico de preservar la precisión e integridad de la señal es la medida principal de un sistema de calidad (Brown, 1994).



**Figura 4 Sistema Básico de Medición del SAD.**

El objetivo básico de los "Sistemas de Adquisición de Datos" (S.A.D) es la integración de los diferentes recursos que lo componen: Transductores de diferentes tipos y naturaleza, multiplexores, amplificadores, sample and hold, conversores A/D y D/A, además el uso del microcontrolador como CPU del SAD diseñado, utilizando de este microcontrolador todas sus prestaciones: interrupciones, temporizadores, comunicación serie, así como hacer uso de memorias y puertos externos, creando con todo ello un sistema que se encargue de una aplicación específica como es checar unas variables (PH, humedad relativa, temperatura, iluminación, concentración, etc.) para una posterior utilización de la misma ya sea con fines docentes, científicos, de almacenamiento o control y utilización de la misma (Valdés, 1990).





**Figura 5 Diagrama de Bloques de un Sistema de Adquisición de Datos (Cortesía de National Instruments).**

Los microcontroladores son diseñados para reducir el costo económico y el consumo de energía de un sistema en particular. Por eso el tamaño de la unidad central de procesamiento, la cantidad de memoria y los periféricos incluidos dependerán de la aplicación.

Un Sistema de Adquisición de Datos no es más que un equipo electrónico cuya función es el control o simplemente el registro de una o varias variables de un proceso cualquiera, de forma general puede estar compuesto por los siguientes elementos (Millman, 1979).

1. Sensores.
2. Amplificadores operacionales.
3. Amplificadores de instrumentación.
4. Aisladores.
5. Multiplexores analógicos.
6. Multiplexores digitales.
7. Circuitos Sample and Hold.
8. Conversores A-D.
9. Conversores D-A.
10. Microprocesadores.
11. Contadores.
12. Filtros.
13. Comparadores.
14. Fuentes de potencia

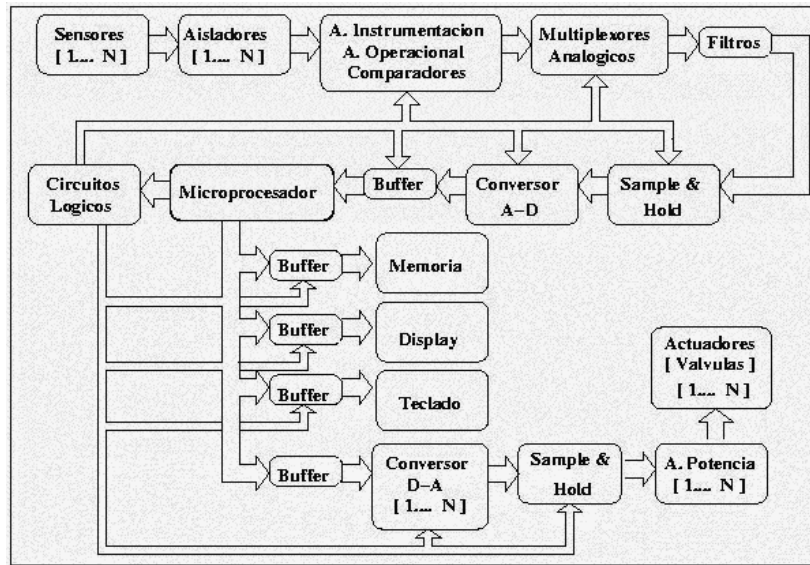


Figura 6 Diagrama General de un SAD (Analog-Digital Conversion Handbook).

## Los componentes de un sistema embebido.

En la parte central se encuentra el microprocesador, microcontrolador, DSP, etc. Es decir, la CPU o unidad que aporta capacidad de cómputo al sistema, pudiendo incluir memoria interna o externa, un micro con arquitectura específica según requisitos.

Un sistema de adquisición de datos tradicional no es conveniente para el registro de datos que deba realizarse en lugares remotos, ya que sería necesario proveer al sistema de la energía necesaria para su funcionamiento, así como de proveerle un ambiente adecuado de operación principalmente a la PC. Una solución a esta problemática lo representan los sistemas electrónicos basados en microprocesadores o microcontroladores, ya que estos sistemas tienen la capacidad de cómputo para el registro de datos, con las ventajas de un menor costo y de consumo de energía (Hyder K., 2005).

La comunicación adquiere gran importancia en los sistemas integrados. Lo normal es que el sistema pueda comunicarse mediante interfaces estándar de cable o inalámbricas. Así un SI normalmente incorporará puertos de comunicaciones del tipo RS-232, RS-485, SPI, I<sup>2</sup>C, CAN, USB, IP, Wi-Fi, GSM, GPRS, DSRC, etc.

## **Sensores.**

Un sensor (Piuri, 2009) es un dispositivo capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. Las variables de instrumentación dependen del tipo de sensor y pueden ser por ejemplo temperatura, intensidad luminosa, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. Una magnitud eléctrica obtenida puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como un fototransistor), etc.

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable a medir o a controlar. Hay sensores que no sólo sirven para medir la variable, sino también para convertirla mediante circuitos electrónicos en una señal estándar (4 a 20 mA, o 1 a 5VDC) para tener una relación lineal con los cambios de la variable sensada dentro de un rango (span), para fines de control de dicha variable en un proceso.

### **Sensor de humedad relativa (capacitivo).**

El higrómetro es el instrumento utilizado para medir la humedad relativa (HR), es decir, la cantidad de vapor de agua presente en el aire (InfoAgro, 2010). A menudo, este tipo de instrumentos también es capaz de medir la temperatura. A éstos normalmente se les llama termo-higrómetros. La unidad de medida de la humedad relativa se define como el porcentaje de la cantidad de vapor de agua presente en 1 m<sup>3</sup> de aire en una temperatura dada (Hanna, 2005).



**Figura 7 Sensor de humedad marca PRYDE (Cortesía de PRYDE).**

### **El punto de rocío**

El punto de rocío se define como la temperatura de condensación del vapor de agua. El punto de rocío depende de la concentración de vapor de agua presente, y por lo tanto de la humedad relativa y de la temperatura del aire. Gracias a gráficos específicos, es posible determinar el valor de punto de rocío tomando como base los valores de HR y de temperatura medidos (Hanna, 2005).

Son quizás los más difundidos en la industria y meteorología, pues son de fácil producción, bajos costos, y alta fidelidad. El principio en el cual se basa este tipo de sensores, es en el cambio que sufre la capacidad (C en [Farad]) de un condensador al variar la constante dieléctrica del mismo (Glaria, 2001). Si se utiliza en la mezcla gaseosa como dieléctrico entre las placas del condensador, el valor de este estará determinado por:

$$C = \varepsilon \frac{A}{d} \quad (1)$$

Donde:

- C, es el valor de la capacidad.
- $\varepsilon$ , es la permitividad del dieléctrico (constante dieléctrica).
- A, el área de las placas del condensador.
- D, la distancia entre las placas del condensador.

### Sensor de temperatura (RTD).

Los detectores de temperatura basados en la variación de una resistencia eléctrica se suelen designar con las siglas inglesas RTD (Resistance Temperature Detector). Dado que el material empleado con mayor frecuencia para esta finalidad es el platino, se habla de PRT (Platinum Resistance Thermometer).

Los fundamentos de las RTD es la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. En un conductor, el número de electrones disponibles para la conducción no cambia apreciablemente con la temperatura. Pero si ésta aumenta, las vibraciones de los átomos alrededor de sus posiciones de equilibrio son mayores, y así dispersan más eficazmente los electrones, reduciendo su velocidad media (Areny, 2004).

Un tipo de RTD son las Pt100 o Pt1000. Estos sensores deben su nombre al hecho de estar fabricados de platino (Pt) y presentar una resistencia de 100ohms ó 1000ohms respectivamente a 0 °C. Son dispositivos muy lineales en un gran rango de temperaturas, por lo que suele expresarse su variación como:

Trabajan con rangos de error despreciables.

$$R = R_0(1 + \alpha(T^\alpha - T_0^\alpha)) \quad (2)$$

Donde  $T_0$  es una temperatura de referencia y  $R_0$  es la resistencia a esa temperatura.



**Figura 8 Sensor PT1000.**

### Sensor de presión barométrica (capacitivo).

En los transductores capacitivos para el censado de humedad, presión, flujo, y otros, existen métodos estándares de conversión analógica a digital.

- Sensor Hall: 1 Generador Hall, 2 Imán permanente, 3 Cuerpo del sensor, 4 Membrana.
- Sensor de presión piezorresistivo: 3 Cuerpo del sensor, 5 Capa de unión, 6 Contacto de aluminio, 7 Pasivación, 8 Piezorresistencia, 9 Capa epitaxiada, 10 Sustrato de silicio, 11 Soporte de vidrio, 12 Capa de unión metálica.
- Sensor de presión capacitivo: 10 Sustrato de silicio, 11 Soporte de vidrio, 13 Placa.
- Sensor de presión monolítico: 10 Sustrato de silicio, 14 Resistencias incorporadas mediante difusión, 15 Carril de silicio, 16 Vacío, 17 Capa de soldadura.

En todos: p Presión.

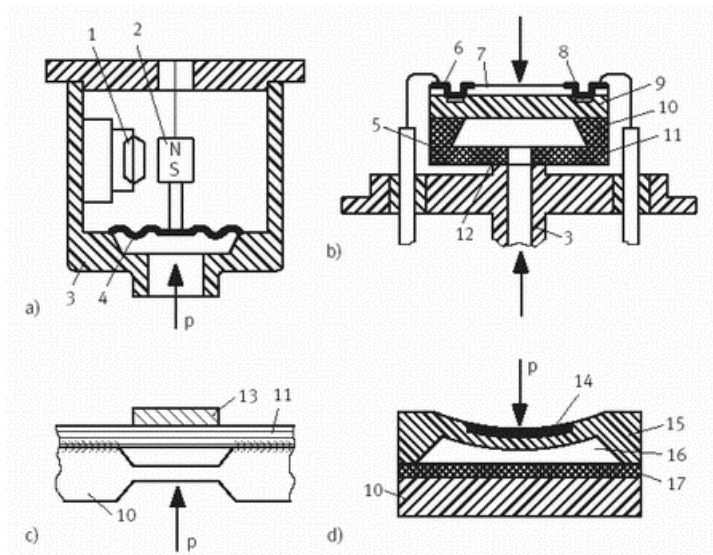


Figura 9 Esquema del interior de algunos sensores de presión.

Se basan en la variación de capacidad (Sole, 1993) que se produce en un condensador al desplazarse una de sus placas por la aplicación de presión. La placa móvil tiene forma de diafragma y se encuentra situada entre dos placas fijas. De este modo se tienen dos condensadores, uno de capacidad fija o de referencia y el otro de capacidad variable, que pueden compararse en circuitos oscilantes o bien en circuitos de puente de Wheatstone alimentados con corriente alterna.

Los transductores capacitivos se caracterizan por su pequeño tamaño y su construcción robusta, tienen un pequeño desplazamiento volumétrico y son adecuados para medidas estáticas y dinámicas. Su señal de salida es débil por lo que precisan de amplificadores con el riesgo de introducir errores en la medición. Son sensibles a las variaciones de temperatura y a las aceleraciones transversales y precisan de un ajuste de los circuitos oscilantes y de los puentes de c.a. a los que están acoplados.



**Figura 10 Sensor de presión Vaisala PTB110.**

### **Anemómetro**

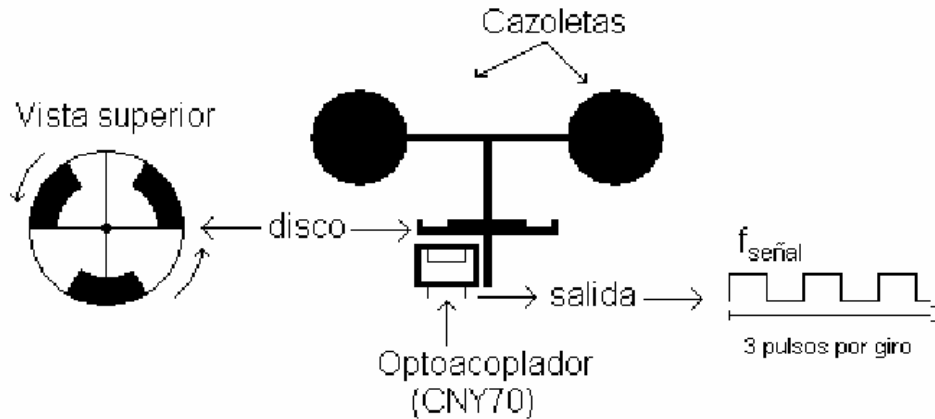
La velocidad del viento no es constante y varía a lo largo del tiempo, es por tanto importante medir la velocidad del viento en una determinada zona en el transcurso de un año o más para comprobar qué velocidades del viento son las más frecuentes. Se expresa en m/s (metro/segundo) y se mide con diversos tipos de anemómetros.

El anemómetro es un aparato meteorológico que se usa para la predicción del tiempo y, específicamente, para medir la velocidad del viento. (No siempre es exacto a menos que sea un anemómetro digital).

El anemómetro de rotación (Rosario, 2005), está formado por varias cazoletas o hélices unidas a un disco cuyo giro es proporcional a la velocidad del viento. El disco alterna tres zonas blancas y tres negras, uniformemente distribuidas sobre su superficie. A escasa distancia del mismo, un opto acoplador diferenciará dichas zonas produciendo tres pulsos eléctricos o ciclos por cada

vuelta o giro del disco. La ecuación 3 muestra, para un disco de radio r, la relación que existe entre la velocidad del viento, expresada en Km/h, y su frecuencia de giro ( $f_{\text{giro}}$ ).

$$V\left(\frac{\text{Km}}{\text{h}}\right) = W r = 2\pi r \frac{36}{10} f_{\text{giro}} \quad (3)$$



**Figura 11 Esquema funcional del anemómetro de rotación.**

### Veleta

El conocer la dirección del viento (Rosario, Anemometro, 2006) es una parte importante de la predicción del tiempo porque el viento nos trae el clima. Una veleta es una herramienta para medir la dirección del viento y probablemente fue uno de los primeros instrumentos meteorológicos que se usó. Para determinar la dirección del viento, la veleta gira y apunta en la dirección donde viene el viento y generalmente tiene dos partes o extremos: uno que generalmente tiene la forma de una flecha y que voltea hacia el viento y otro extremo que es más ancho para que atrape la brisa. La flecha apuntará hacia la dirección desde la que sopla el viento, así que si está apuntando hacia el este, significa que el viento viene del este, por lo tanto, un viento del oeste sopla desde el oeste. Para usar una veleta, se debe saber dónde está el norte, el sur, el este y el oeste.

Señal de salida: 0V a tensión de excitación (excluyendo la zona muerta).



Función de transferencia: Tensión analógica DC a través de un potenciómetro de 10K $\Omega$ , línea al voltaje de excitación aplicado.

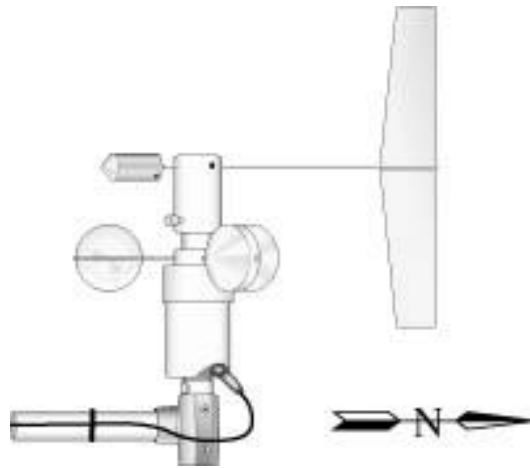


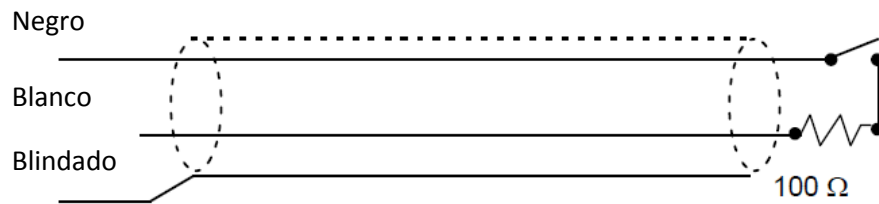
Figura 12 Anemómetro y Veleta.

### Pluviómetro

El pluviómetro es un instrumento que se emplea en las estaciones meteorológicas para la recogida y medición de la precipitación.

La cantidad de agua caída se expresa en milímetros de altura. El diseño básico de un pluviómetro consiste en un recipiente de entrada, llamado balancín, por donde el agua ingresa a través de un embudo hacia un colector donde el agua se recoge y puede medirse visualmente con una regla graduada o mediante el peso del agua depositada. Asimismo, el balancín oscila a volumen constante de agua caída, permitiendo el registro mecánico o eléctrico de la intensidad de lluvia caída.

Normalmente la lectura se realiza cada 10 horas. Un litro caído en un metro cuadrado alcanzaría una altura de 1 milímetro. Para la medida de nieve se considera que el espesor de nieve equivale aproximadamente a diez veces el equivalente de agua.



**Figura 13 Esquemático eléctrico del pluviómetro.**

### **Piranómetro**

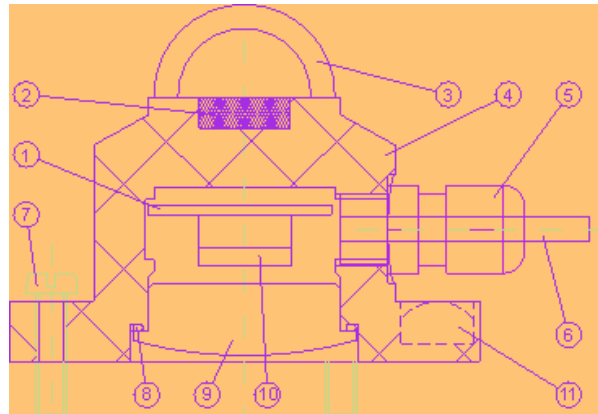
Un piranómetro (también llamado solarímetro y actinómetro) es un instrumento meteorológico utilizado para medir de manera muy precisa la radiación solar incidente sobre la superficie de la tierra. Se trata de un sensor diseñado para medir la densidad del flujo de radiación solar (vatios por metro cuadrado) en un campo de 180 grados.

Generalmente se utilizan tres medidas de radiación: semiesférica total, difusa y directa. Para las medidas de radiación difusa y semiesférica la radiación directa se suprime utilizando un disco parasol. El principio físico utilizado generalmente en la medida es un termopar sobre el que incide la radiación a través de dos cúpulas semiesféricas de vidrio. Las medidas se expresan en kW/m<sup>2</sup>.

Un ejemplo de piranómetro es el de Kipp y Zonen, que se constituye por una pila termoeléctrica contenida en un alojamiento con dos hemiesferas de cristal. La pila termoeléctrica está constituida por una serie de termopares colocados horizontalmente, cuyos extremos están soldados con unas barras de cobre verticales solidarias a una placa de latón maciza. El conjunto está pintado con un barniz negro, para absorber la radiación. El flujo de calor originado por la radiación se transmite a la termopila, generándose una tensión eléctrica proporcional a la diferencia de temperatura entre los metales de los termopares.

Sus componentes principales son: (1) Circuito impreso, (2) Sensor o termopila, (3) Cúpula de cristal, (4) Cuerpo de metal, (5) Abrazadera del cable, (6)

Cable eléctrico de salida de señal, (7) Tornillo de nivelado, (8) Base de goma, (9) Cápsula, (10) Bornes de conexión para los cables, (11) Nivel.



**Figura 14 Partes principales de un piranómetro.**

### **Microcontrolador.**

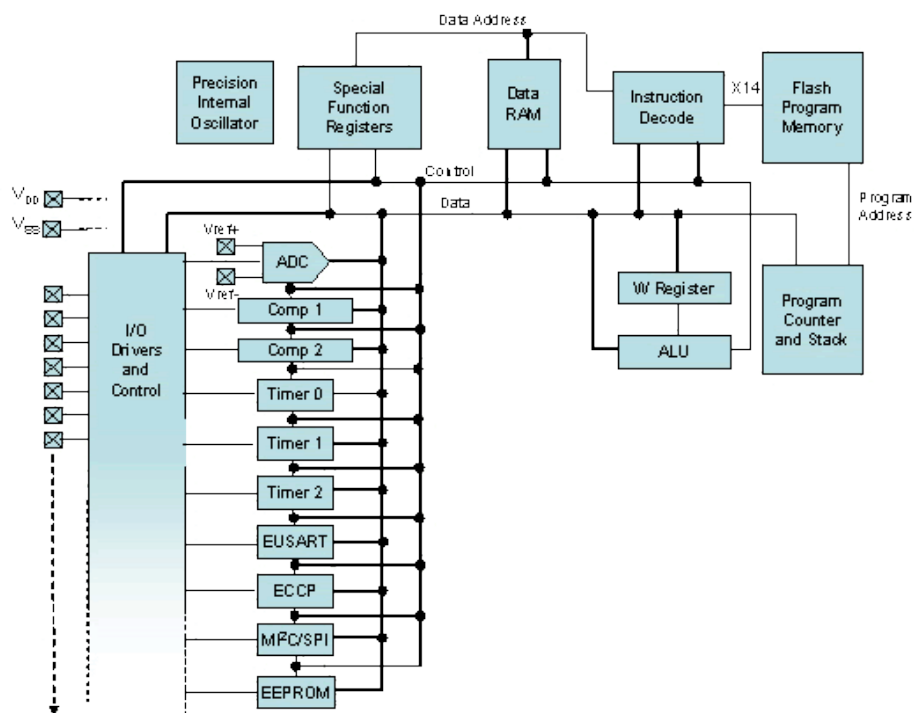
Desde el punto de vista funcional, un microprocesador es un circuito integrado (Usategui, 2005) que incorpora en su interior una unidad central de proceso (CPU) y todo un conjunto de elementos lógicos que permiten enlazar otros dispositivos como memorias y puertos de entrada y salida (I/O), formando un sistema completo para cumplir con una aplicación específica dentro del mundo real. Para que el sistema pueda realizar su labor debe ejecutar paso a paso un programa que consiste en una secuencia de números binarios o instrucciones, almacenándolas en uno o más elementos de memoria, generalmente externos al mismo. La aplicación más importante de los microprocesadores que cambió totalmente la forma de trabajar, ha sido la computadora personal o microcomputadora.

El microprocesador es un circuito integrado que contiene la Unidad Central de Proceso (UCP), también llamada procesador, de un computador. La UCP está formada por la Unidad de Control, que interpreta las instrucciones, y el Camino de Datos, que las ejecuta.

Las patitas de un microprocesador sacan al exterior las líneas de sus buses de direcciones, datos y control, para permitir conectarle con la Memoria y los Módulos de E/S y configurar un computador implementado por varios circuitos integrados. Se dice que un microprocesador es un sistema abierto porque su configuración es variable de acuerdo con la aplicación a la que se destine.

Un microprocesador es un sistema abierto con el que puede construirse un computador con las características que se desee, acoplándole los módulos necesarios.

Un microcontrolador es un sistema cerrado que contiene un computador completo y de prestaciones limitadas que no se pueden modificar.



**Figura 15** Partes del microcontrolador están contenidas en su interior y solo salen al exterior las líneas que gobiernan los periféricos.

Los microcontroladores PICs actuales vienen con una amplia gama de mejoras hardware incorporados:

- Núcleos de CPU de 8/16 bits con Arquitectura Harvard modificada

- Memoria Flash y ROM disponible desde 256 bytes a 256 kilobytes
- Puertos de E/S (típicamente 0 a 5,5 voltios)
- Temporizadores de 8/16 bits
- Tecnología Nanowatt para modos de control de energía
- Periféricos serie síncronos y asíncronos: USART, AUSART, EUSART
- Convertidores analógico/digital de 8-10-12 bits
- Módulos de captura y comparación PWM
- Controladores LCD
- Periférico MSSP para comunicaciones I<sup>2</sup>C, SPI, y I<sup>2</sup>S
- Memoria EEPROM interna con duración de hasta un millón de ciclos de lectura/escritura
- Periféricos de control de motores
- Soporte de interfaz USB
- Soporte de controlador Ethernet

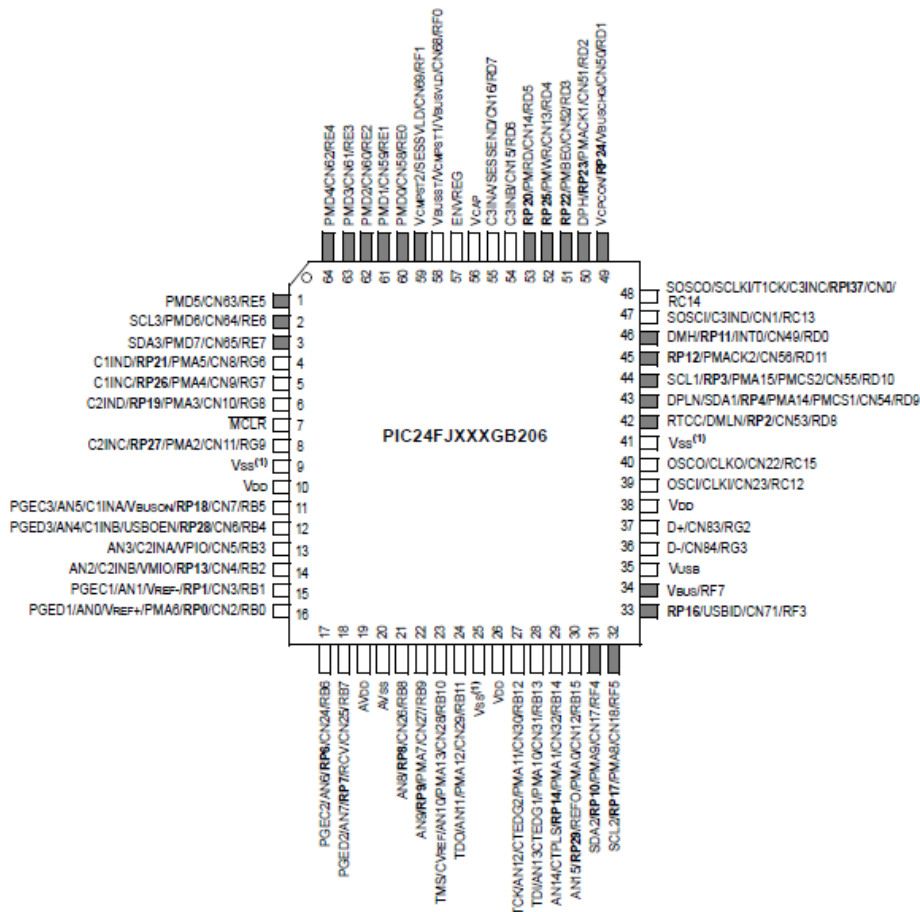
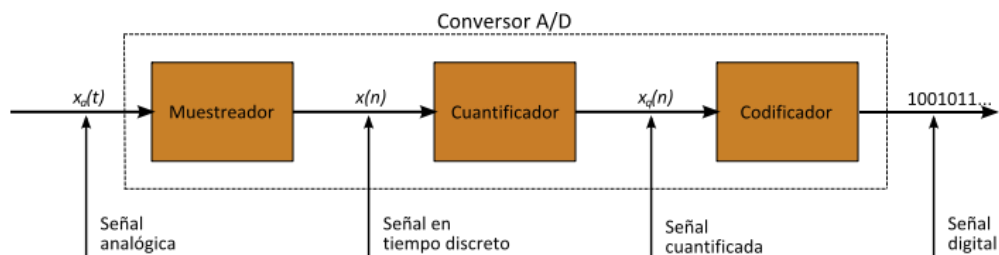


Figura 16 Prestaciones de un Microcontrolador PIC24F.

Los microcontroladores representan la inmensa mayoría de los chips de computadoras vendidos, sobre un 50% son controladores "simples" y el restante corresponde a DSPs más especializados. Mientras se pueden tener uno o dos microprocesadores de propósito general en casa, muchos tienen distribuidos seguramente entre los electrodomésticos del hogar una o dos docenas de microcontroladores. Pueden encontrarse en casi cualquier dispositivo electrónico como automóviles, lavadoras, hornos microondas, teléfonos, etc.

## ADC

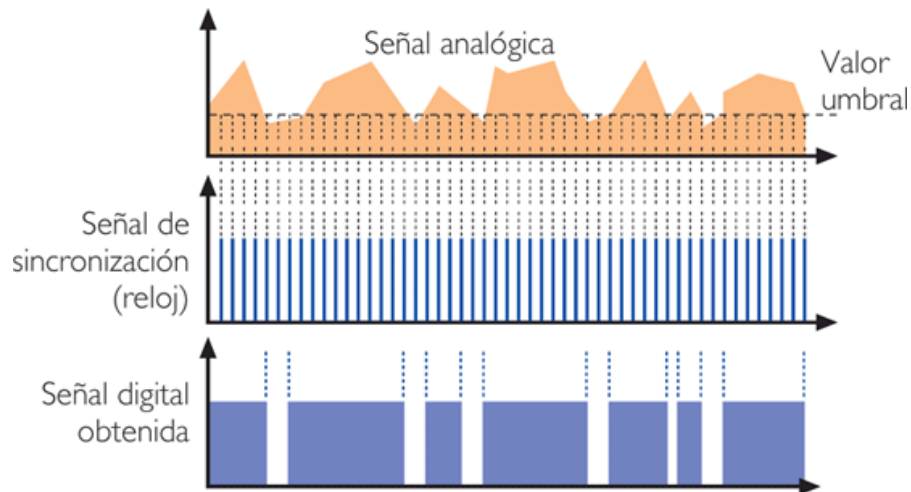
La conversión analógica-digital (CAD) consiste en la transcripción de señales analógicas en señales digitales, con el propósito de facilitar su procesamiento (codificación, compresión, etc.) y hacer la señal resultante (la digital) más inmune al ruido y otras interferencias a las que son más sensibles las señales analógicas. Varios tipos de ADC importantes utilizan un DAC como parte de sus circuitos.



**Figura 17 Procesos de la conversión.**

Para ser interpretada en un ordenador ha de modificarse mediante digitalización. Un medio simple es el muestreo o sampleado. Cada cierto tiempo se lee el valor de la señal analógica.

1. Si el valor de la señal en ese instante está por debajo de un determinado umbral, la señal digital toma un valor mínimo (0).
2. Cuando la señal analógica se encuentra por encima del valor umbral, la señal digital toma un valor máximo (1).



**Figura 18 Digitalización.**

### **EEPROM**

EEPROM o E<sup>2</sup>PROM son las siglas de Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory (ROM programable y borrable eléctricamente). Es un tipo de memoria ROM que puede ser programado, borrado y reprogramado eléctricamente, a diferencia de la EPROM que ha de borrarse mediante un aparato que emite rayos ultravioletas. Son memorias no volátiles.

Las celdas de memoria de una EEPROM están constituidas por un transistor MOS, que tiene una compuerta flotante (estructura SAMOS), su estado normal está cortado y la salida proporciona un 1 lógico.

Aunque una EEPROM puede ser leída un número ilimitado de veces, sólo puede ser borrada y reprogramada entre 100.000 y un millón de veces.

Estos dispositivos suelen comunicarse mediante protocolos como I<sup>2</sup>C, SPI y Microwire. En otras ocasiones, se integra dentro de chips como microcontroladores y DSPs para lograr una mayor rapidez.

### **Comunicación RS232**

La comunicación serial (Instruments, 2006) es un protocolo muy común (no hay que confundirlo con el Bus Serial de Comunicación, o USB) para

comunicación entre dispositivos que se incluye de manera estándar en prácticamente cualquier computadora. La mayoría de las computadoras incluyen dos puertos seriales RS-232. La comunicación serial es también un protocolo común utilizado por varios dispositivos para instrumentación.

Típicamente, la comunicación serial se utiliza para transmitir datos en formato ASCII. Para realizar la comunicación se utilizan 3 líneas de transmisión: (1) Tierra (o referencia), (2) Transmitir, (3) Recibir. Debido a que la transmisión es asincrónica, es posible enviar datos por una línea mientras se reciben datos por otra.

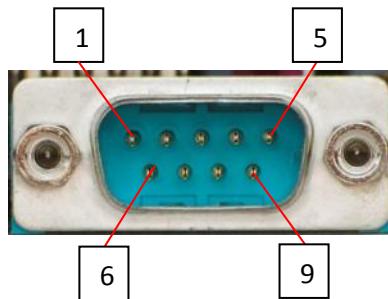


Figura 19 Pines del puerto serial.

<i>Propósito de cada una de las Patas del Conector DB9</i>	
<b>#</b>	<b><i>Propósito</i></b>
1	Tierra de chasis
2	Recibe los datos (RD)
3	Transmite los datos (TD)
4	Terminal de Datos esta Listo (DTR)
5	Tierra de señal
6	Conjunto de Datos esta Listo (DSR)
7	Solicita Permiso para Enviar Datos (RTS)
8	Pista Libre para Enviar Datos (CTS)
9	Timbre Telefónico (RI)

Tabla 1 Propósito de los pines del conector DB-9.



**Velocidad de transmisión (baud rate):** Indica el número de bits por segundo que se transfieren, y se mide en baudios (bauds). Por ejemplo, 300 baudios representan 300 bits por segundo.

**Bits de datos:** Se refiere a la cantidad de bits en la transmisión. Cuando la computadora envía un paquete de información, el tamaño de ese paquete no necesariamente será de 8 bits. Las cantidades más comunes de bits por paquete son 5, 7 y 8 bits.

**Bits de parada:** Usado para indicar el fin de la comunicación de un solo paquete. Los valores típicos son 1, 1.5 o 2 bits.

**Paridad:** Es una forma sencilla de verificar si hay errores en la transmisión serial. Existen cuatro tipos de paridad: par, impar, marcada y espaciada. La opción de no usar paridad alguna también está disponible.

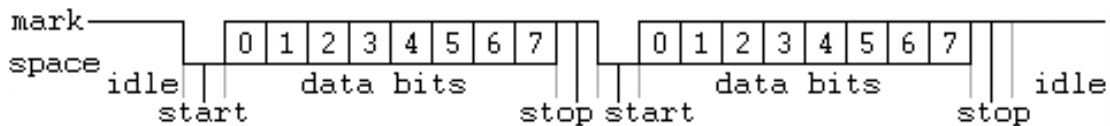


Figura 20 Trama de datos comunicación serial.

### III. METODOLOGIA

Se eligió el microcontrolador PIC18F8723, las razones fueron que este microcontrolador tiene varios tipos de buses de comunicación las más usadas en este tipo de sistemas SPI, I2C, y dos RS-232 para poder comunicar dos dispositivos al mismo tiempo. Además este dispositivo cuenta con una alta resolución de 12 bits. Lo más importante de esta etapa del proyecto fue la selección de materiales, esta parte se enfocó a elegir un microcontrolador de bajo consumo para alargar la vida de la batería lo más posible y depender menos de estar cambiando la alimentación del SAD, esto es vital para dejar funcionando el sistema el mayor tiempo, logrando cumplir los requerimientos de cualquier SAD y pueda estar en cualquier lugar de difícil acceso.



**Figura 21 PIC18F8723 de Microchip.**

El siguiente paso fue definir que variables se iban a medir y se pensó en diferentes tipos de sensores y marcas. Las variables que fueron requeridas para que las personas de posgrado pudieran obtener los valores de los parámetros climatológicos necesarios para su estudio fueron: Temperatura, Humedad, Punto de Rocío, Precipitación pluvial, Redición Solar, Presión, Dirección del viento y Velocidad del viento. La facultad ya contaba con unas estaciones y se decidió utilizar esos sensores para realizar pruebas funcionales, y además poder tener una referencia de los valores aproximados que se debían obtener de cada sensor.

### **Desarrollo del sensor de dirección y velocidad del viento.**

El primer sensor con el que se empezó a trabajar fue con el de dirección del viento ya que este fue el más sencillo de desarrollar, éste cuenta nada más con un potenciómetro (resistencia variable); se necesitó de un voltaje de excitación para obtener una variación de voltaje al variar la resistencia, la salida de voltaje se conecto a un ADC AN4 del microcontrolador para poder interpretar esa señal analógica y transformar esa señal eléctrica de 0 a 5 volts a grados con la ecuación 4:

$$Dir V = \frac{Voltaje \times 360}{Voltaje \text{ de excitación}} \quad (4)$$

Donde:

- Dir V es la dirección del viento en grados (0 a 360).

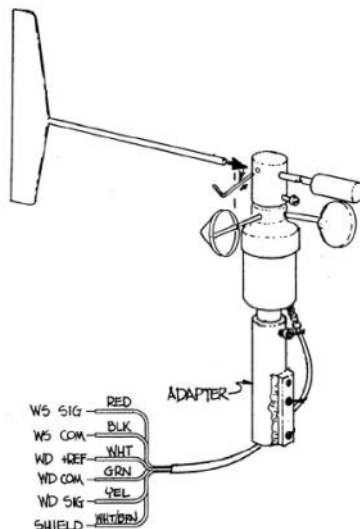
- Voltaje entregado por la salida del potenciómetro (0 a 5V)
- Voltaje de excitación = 5 V.

El sensor de velocidad fue uno de los sensores más complicados, debido a que en la obtención de los pulsos, si la velocidad del viento (frecuencia de los pulsos) era muy lenta se desbordaba el timer1 del microcontrolador arrojando valores falsos en la lectura, se simuló y la frecuencia mínima que se pudo obtener fue de 1 Hz con una velocidad de 1.08 m/s. Se conectó la salida del sensor en el CCP1 y CCP2 del microcontrolador para hacer la comparación de tiempo entre el estado alto (1 lógico) y el estado bajo (0 lógico). Se utilizó la ecuación 5 para determinar la velocidad del viento en m/s.

$$Vel V = \frac{Frec.Hz}{1.2517} + 0.28 \quad (5)$$

Donde:

- Vel V es la velocidad del viento en metros por segundo (m/s).
- Frec. Hz es la frecuencia del tren de pulsos en Hz.



**Figura 22 Conexión del sensor de dirección y velocidad del viento Met One 034B.**

Se simuló en el programa ISIS y se mostró el resultado vía serial para ver que el resultado fuera el esperado. En las siguientes figuras se muestra la simulación de los sensores.

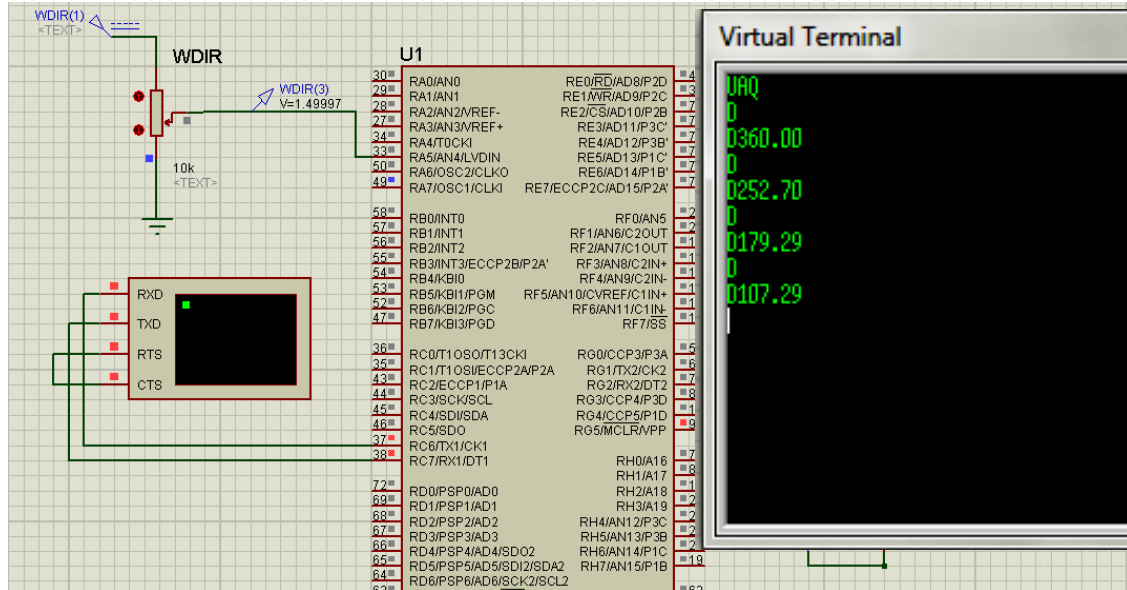


Figura 23 Simulación en el ISIS de la veleta.

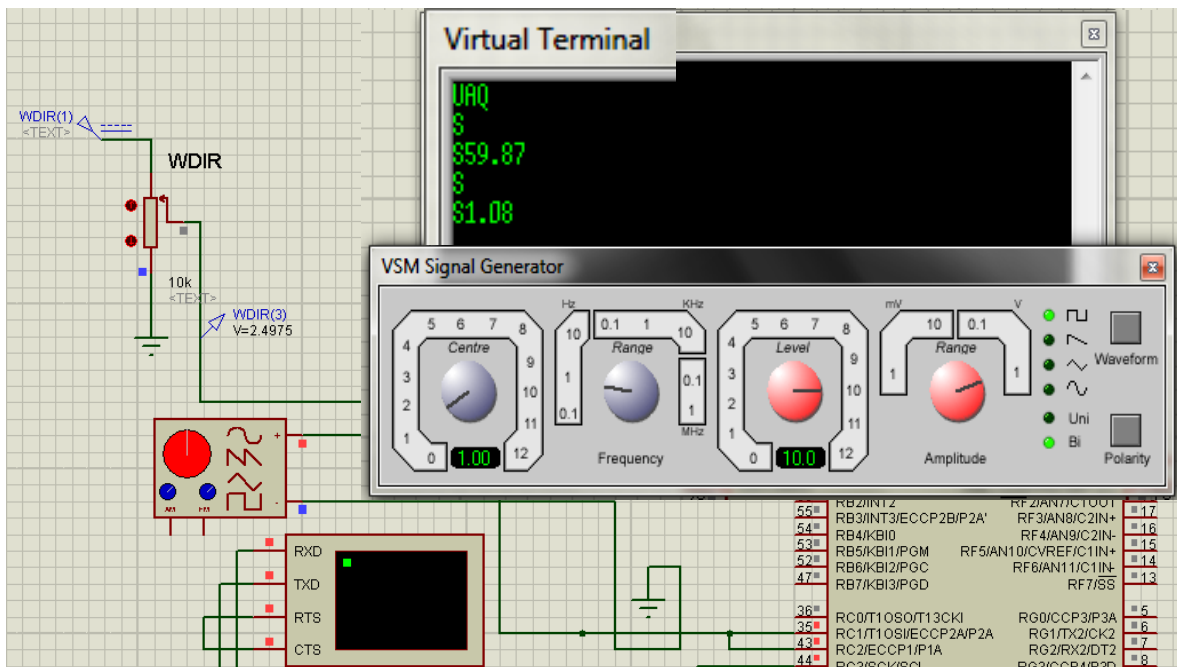


Figura 24 Simulación en el ISIS del anemómetro.

## Desarrollo del sensor de temperatura y humedad.

Después se desarrolló el sensor de temperatura y humedad modelo HMP45C de Vaisala, este sensor nos entrega dos señales analógicas de 0.008V a 1V, uno para la temperatura y otro para la humedad. Se usó este sensor debido a sus prestaciones de rango de medida de -40 a 60 grados centígrados y de 0 a 100% de humedad. La señal entregada por el sensor se asignó al ADC-AN0 para interpretar la señal eléctrica de 0 a 1 volt y convertir la señal aplicando la ecuación 6 para obtener la lectura en grados centígrados.

$$Temp = (mV \times 0.1) - 40 \quad (6)$$

Donde:

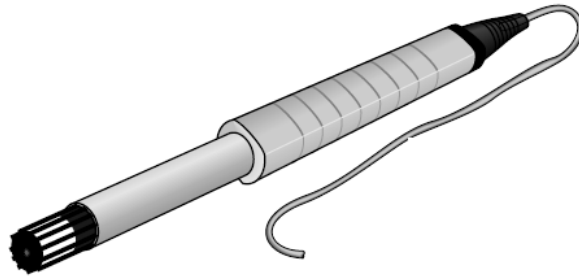
- Temp es la temperatura en grados centígrados.
- mV es el voltaje en milivolts (0 a 1000).
- Multiplicador 0.1.
- Offset de -40.

Para interpretar la señal de humedad se conectó la salida del sensor de humedad al ADC AN1 para interpretar la señal eléctrica de 0 a 1 volt y mostrarla en porcentaje de humedad.

$$Hum = mV \times 0.1 \quad (7)$$

Donde:

- Hum es la humedad en porcentaje %.
- mV es el voltaje en milivolts (0 a 1000).



Color	Descripción
Amarillo	Señal de Temperatura
Azul	Señal Humedad Relativa
Purpura	Señal de Referencia
Naranja	Control de Voltaje
Rojo	Voltaje
Negro	Tierra
Claro	Blindado

Figura 25 Conexión del sensor de temperatura y humedad.

Para asegurar el buen funcionamiento del programa y que la fórmula cumple con la hoja de datos que especifica el sensor se simuló y se obtuvieron los resultados que se muestran en la siguiente figura.

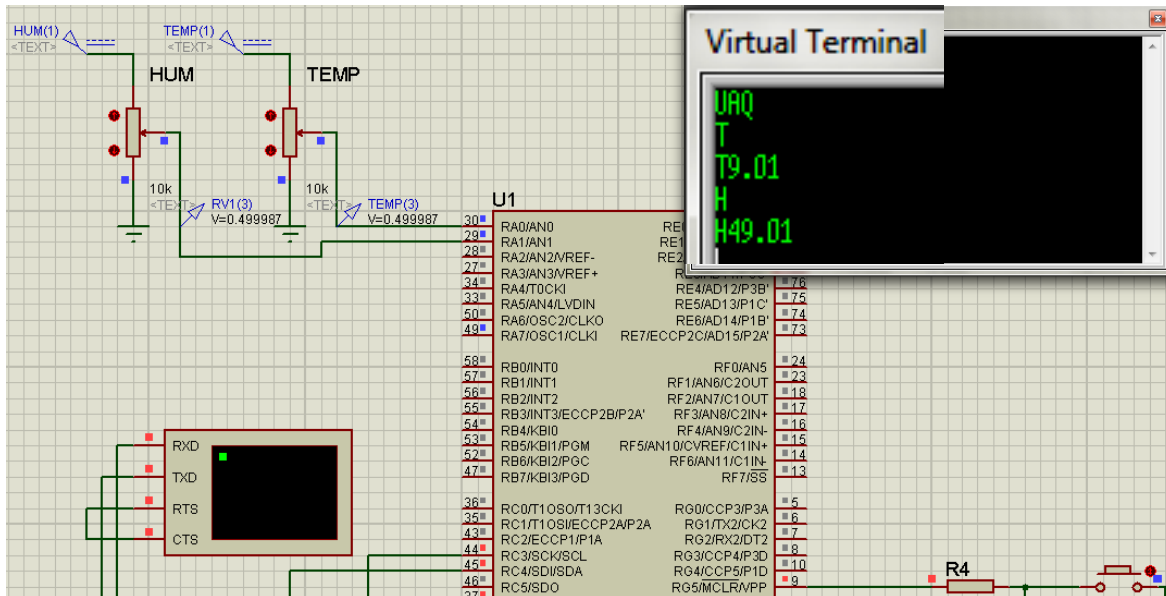


Figura 26 Simulación en el ISIS del sensor de temperatura y humedad.

## Desarrollo del sensor de presión barométrica.

Este sensor (modelo CS106 de Vaisala) nos entrega una señal analógica lineal de 0 a 2.5V donde 0V es igual 500 mb y 5V a 1100mb con un error de +/- 0.03mb. Estas señales fueron interpretadas por el ADC AN2 para poder entender esa señal eléctrica y mostrar un valor en milibares. La ecuación que se utilizó fue la siguiente.

$$Press = (Voltaje \times 240) + 500 + dP \quad (8)$$

$$dP = 1013.25 \left[ 1 - \left( 1 - \frac{E}{44307.69231} \right)^{5.25328} \right] \quad (9)$$

Donde:

- Press es la presión barométrica en milibares (mb).
- Voltaje es la salida del sensor de 0 a 2.5V.
- dP es la diferencia de presión del nivel del mar.
- E es la altura en metros.

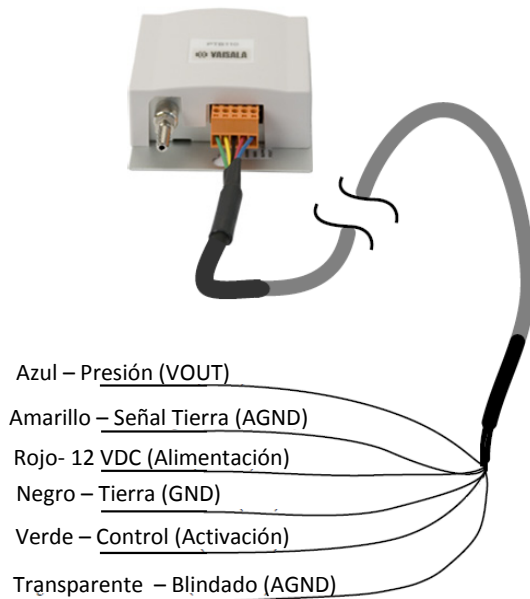


Figura 27 Conexión del sensor de presión barométrica.

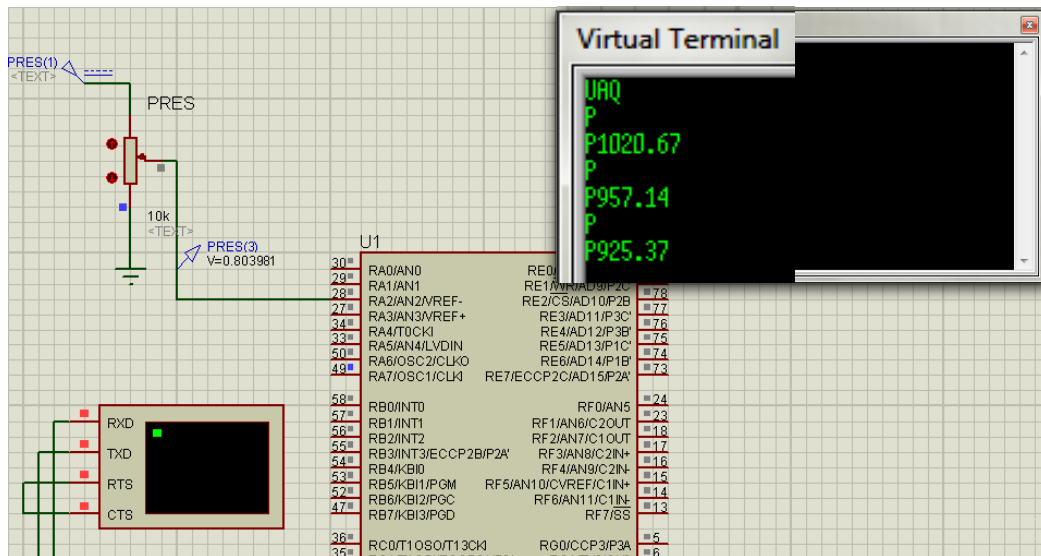


Figura 28 Simulación en el ISIS del sensor de presión barométrica.

## Desarrollo del sensor de piranómetro.

Este sensor (modelo SP215 marca Apogee) entrega una señal analógica de 0 a 5V, esta señal se interpretó por medio del ADC AN5 del microcontrolador. Para verificar el buen funcionamiento de este sensor se simuló para poder corregir los errores que se pudiesen presentar y dejarlo lo más simple y funcional posible.

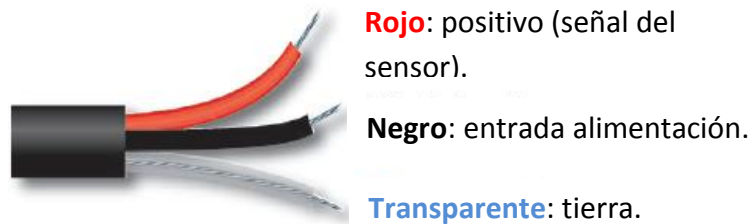


Figura 29 Conexión del piranómetro.



Se utilizo la ecuación 10 para convertir la señal a  $W/m^{-2}$ .

$$Rad = Voltaje \times 0.250 \quad (10)$$

Donde:

- Rad es la radiación en  $W/m^{-2}$
- Voltaje de 0 a 5V.



Figura 30 Sensor de Radiación Solar.

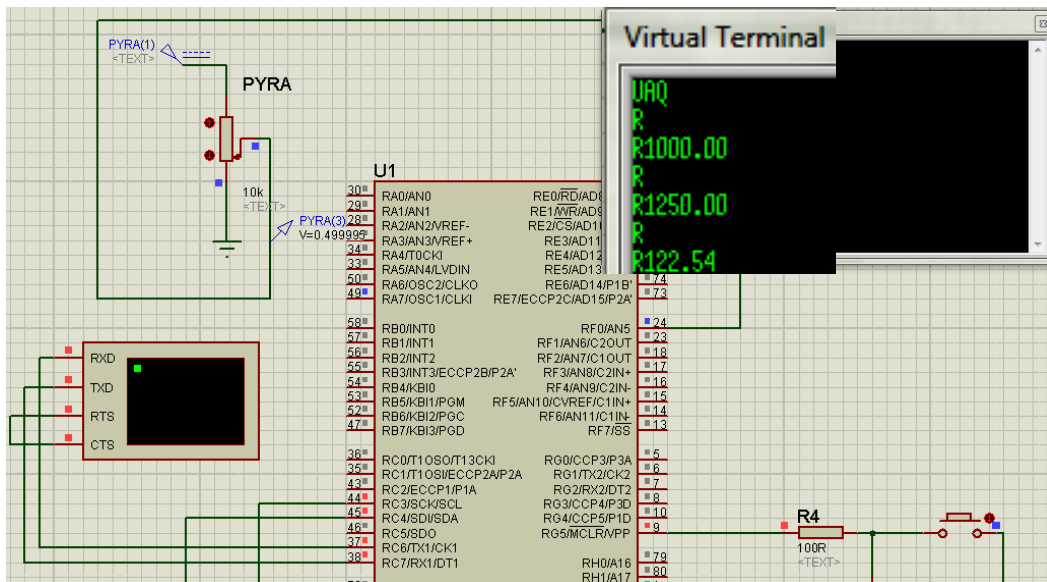


Figura 31 Simulación en el ISIS del piranómetro.

## Desarrollo del pluviómetro.

Este dispositivo nos entrega una serie de pulsos, cada uno equivale a 254 mm de agua, para obtener los datos sólo se contó por medio de una interrupción externa, los pulsos que manda el pluviómetro se usan para calcular la cantidad de agua en un periodo determinado. Para evitar el desborde del contador se utilizó una variable de 32 bits. Se empleó la ecuación 11 que se muestra a continuación:

$$Pluv = Cantidad\ de\ pulsos \times 254 \quad (11)$$

Donde:

- Pluv son los milímetros de agua.

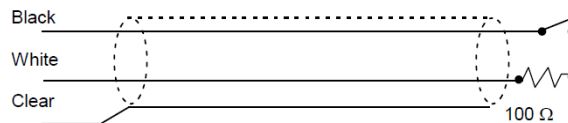


Figura 32 Conexión del pluviómetro.

## Filtrado de datos.

A los sensores analógicos se les agregó un filtro para evitar variaciones en los valores y mostraran una gráfica uniforme, este filtro es el promedio de la variable anterior y la variable actual.

$$Filtro = \frac{Var\ Anterior + Var\ Actual}{2} \quad (12)$$

Esta operación es ejecutada cada vez que se pide el valor. Se decidió de esta forma ya que el tiempo más largo para pedir la variable es de 10 minutos por esta razón no se necesitó sacar el promedio de muchos datos, porque el tiempo es corto y no hay mucha variación entre los valores leídos.

## Monitoreo del voltaje.

La señal de voltaje se conectó al ADC AN10 del microcontrolador para poder monitorear el voltaje que tiene la batería y prevenir el cambio de ésta antes de que termine su periodo de vida y así no perder los datos de las variables meteorológicas. Se le colocó un divisor de tensión porque no se le puede mandar 12V al microcontrolador debido a que sus entradas soportan como máximo 5V.

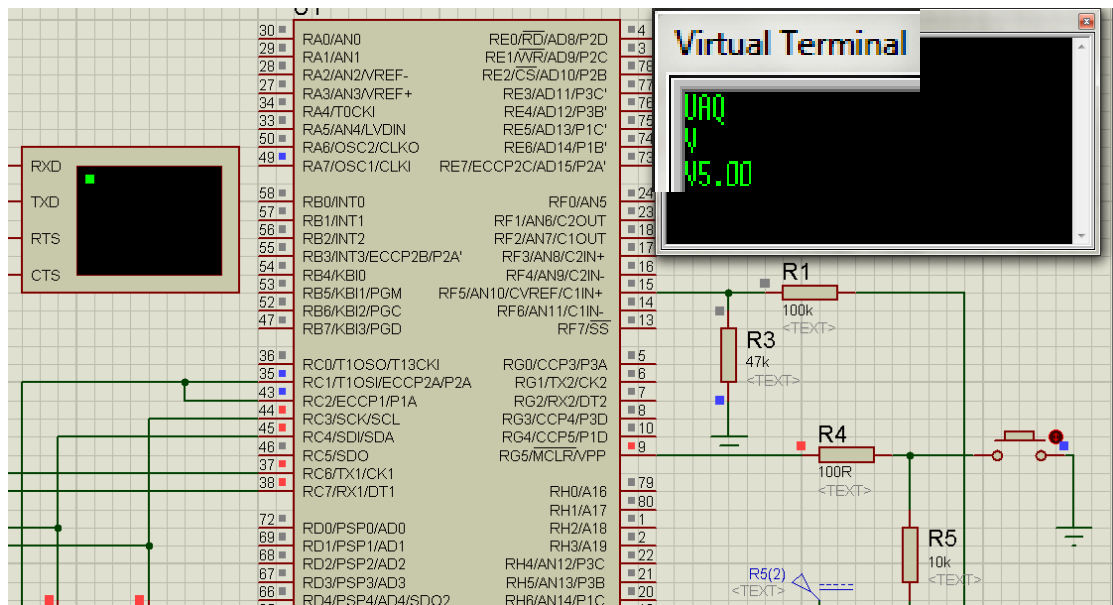


Figura 33 Simulación en el ISIS del la Medición de Voltaje.

Ecuación del divisor de voltaje:

$$V_{out} = \frac{R3}{R3+R1} V_{in} \quad (13)$$

Donde:

- $V_{out}$  es el voltaje de salida del divisor.
- R3 es igual a 47 K $\Omega$ .
- R4 es igual a 100 K $\Omega$ .
- $V_{in}$  es el voltaje de entrada del divisor.

Se usó esta combinación de resistencias para obtener aproximadamente 1/3 del voltaje de entrada de la batería, la batería nos entrega un voltaje máximo de 12V y el convertidor del panel solar nos entrega máximo 13V con lo cual se obtiene a la salida del divisor un voltaje máximo de 4.47V. En la entrada del divisor se podría tener 15.7V como máximo, con esto se logra un rango de seguridad de 2.7V (17% más de voltaje que el voltaje máximo que nos entrega el panel solar).

## Comunicación.

La tarjeta de adquisición de datos se desarrolló con dos seriales para poderse comunicar con el sistema embebido y con el sistema de radio frecuencia, aunque también cuenta con la flexibilidad de utilizar diferentes tipos de comunicación como GSM o colocar un enlace satelital en cada estación.

El siguiente esquema muestra la comunicación que se puede emplear con esta tarjeta de adquisición de datos.

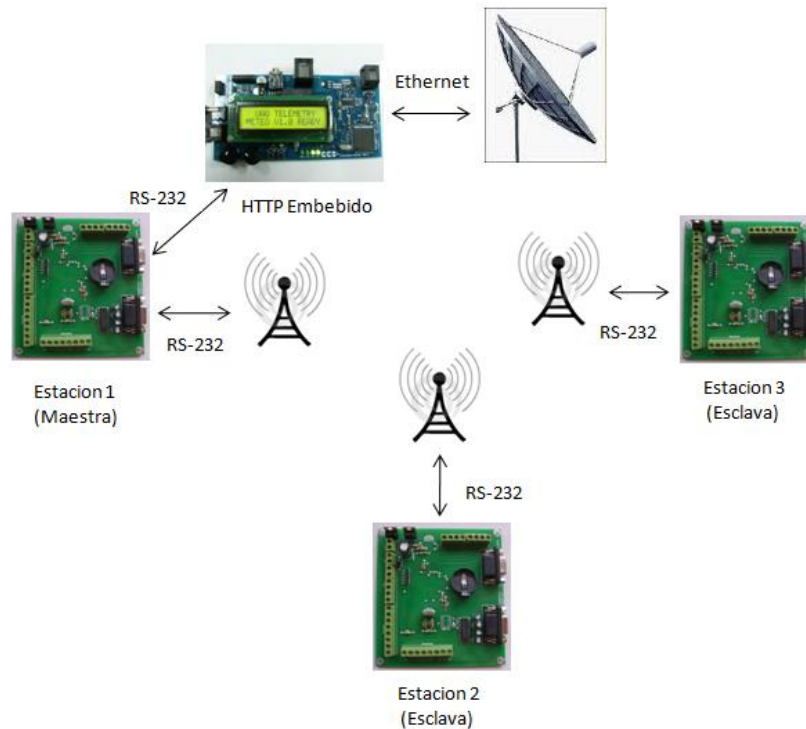


Figura 34 Sistema de Comunicación Entre Tres Estaciones Meteorológicas.

## Diseño del PCB.

Lo primero antes de diseñar la tarjeta fue pensar en las dimensiones que se necesitaban para que la tarjeta pudiera ensamblarse en un gabinete de tamaño pequeño, el tamaño es importante porque como este tipo de dispositivos son colocados en lugares remotos no se puede tener un gabinete tan estorboso y pesado, por esta razón se optó por hacer un diseño compacto.

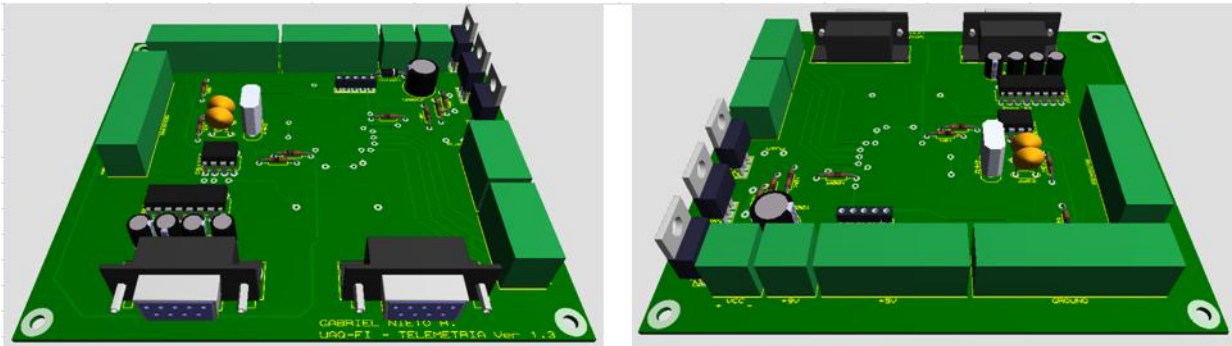


Figura 35 Visualización 3D de la Tarjeta de Adquisición de Datos (medida 12 cm X 11 cm).

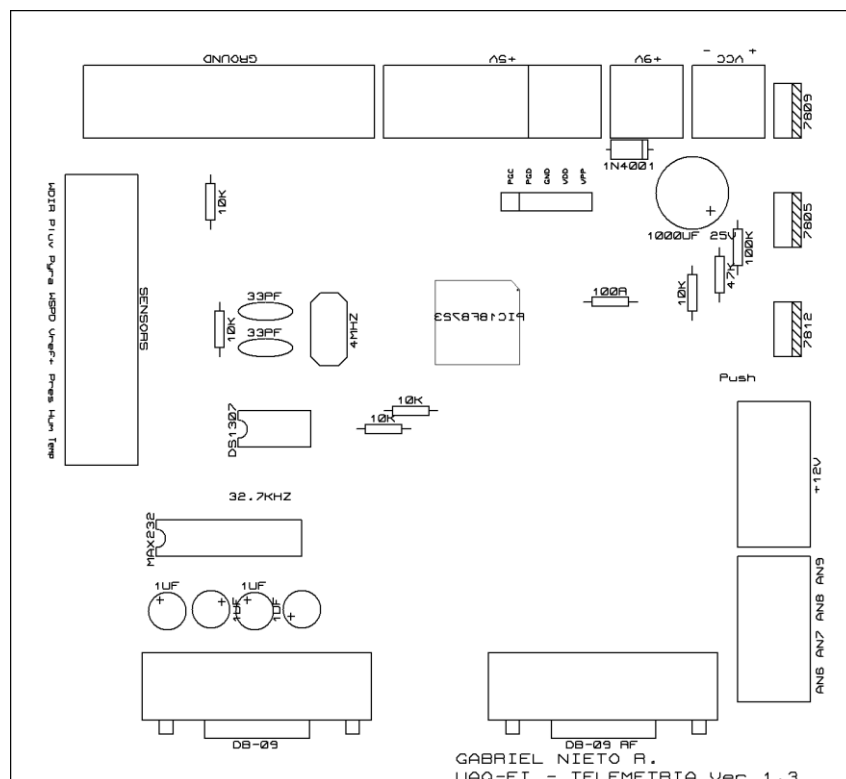


Figura 36 Componentes y distribución del SAD.

## IV. RESULTADOS

Los resultados obtenidos fueron como se esperaban, se hicieron pruebas en campo conectando los sensores y dejando en funcionamiento la estación dos semanas en la facultad de ingeniería para asegurar el óptimo funcionamiento del SAD, mostrando un buen rendimiento en el ahorro de energía, además de lograr los resultados esperados en las mediciones obtenidas.

Para conseguir los resultados de las mediciones, se mandaron los caracteres vía serial por la hyperterminal de la PC a la estación para comprobar su buen funcionamiento y probar cada uno de los sensores, la T para obtener el valor de la temperatura, la D para obtener la dirección del viento, H para obtener la humedad relativa, S para obtener la velocidad del viento, R para obtener la radiación solar, P para obtener la presión, L para obtener la precipitación pluvial y V para obtener el nivel de voltaje. En la siguiente figura se pueden observar los datos adquiridos por el sistema de adquisición de datos.

```
X-CTU [COM4]
PC Settings | Range Test | Terminal | Modem Configuration
Line Status: CTS, CD, DSR
Assert: DTR [checked], RTS [checked], Break [unchecked]
Close Com Port | Assemble Packet | Clear Screen | Show Hex
T
T5.09
t
t16.86
D
D29.64
d
d56.47
H
H88.23
h
h50.98
S
s
s2.50
R
r
r0.00
P
P997.14
p
p1072.43
L
L0.25
l
l10.00
COM4 | 9600 8-N-1 FLOW:NONE | Rx: 89 bytes
```

Figura 37 Datos obtenidos en la hyperterminal.

La implementación del filtro dio buenos resultados obteniendo datos muy estables, se obtuvieron gráficas con un comportamiento estable, no se presentaron grandes variaciones en las variables medidas o cambios drásticos en las variables como la temperatura, humedad, radiación; que son las variables que tienen una variación pequeña a través de un largo periodo de tiempo.

En las siguientes gráficas podemos apreciar el comportamiento de las diferentes variables climatológicas en un periodo de 24 horas con la implementación del filtro demostrando la minimización de ruido en las señales eléctricas obtenidas de los sensores.

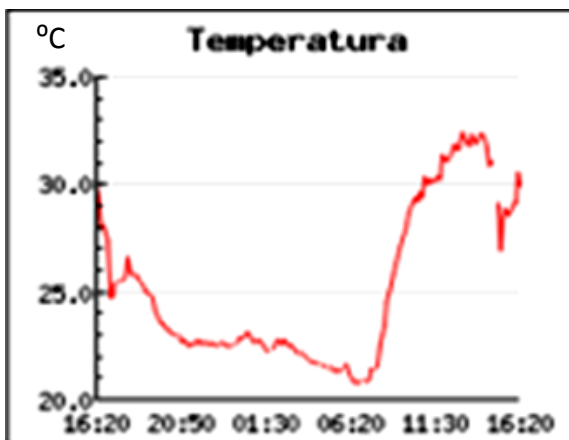


Figura 38 Gráfica de temperatura.

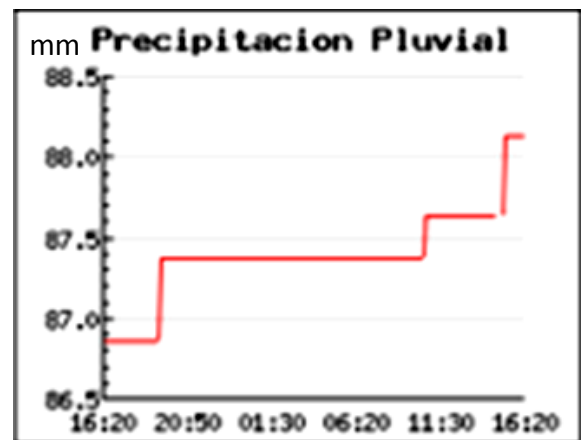


Figura 40 Gráfica de Precipitación Pluvial.

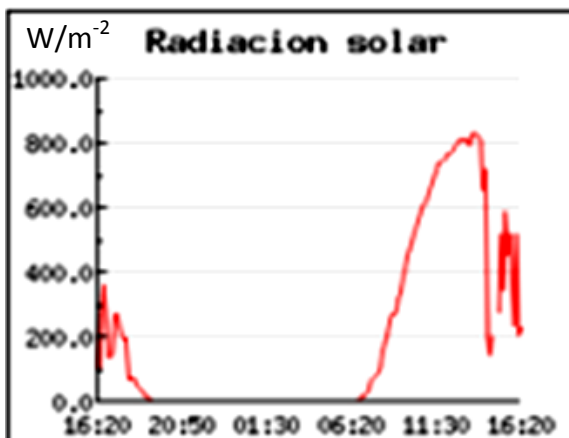


Figura 39 Gráfica de Radiación Solar.



Figura 41 Gráfica de Velocidad del Viento.



Figura 42 Gráfica Dirección del Viento.

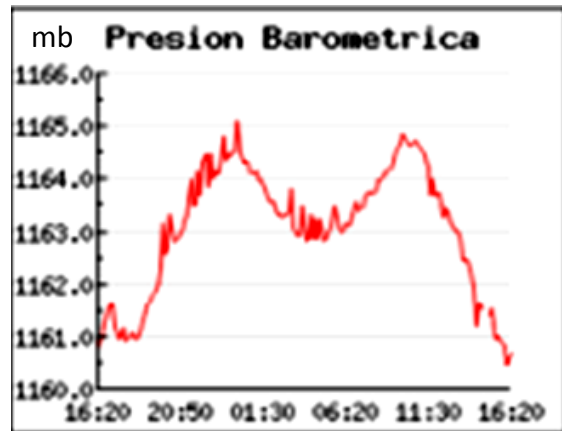


Figura 44 Gráfica de Presión Barométrica.



Figura 43 Gráfica Humedad Relativa.

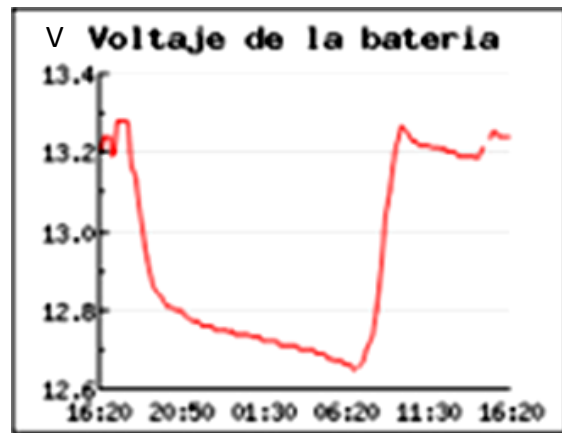


Figura 45 Gráfica Voltaje de la Batería.

Después de verificar que los datos obtenidos eran los esperados, se colocaron las estaciones en el estado de Chiapas, en las figuras 47, 48, 49 se muestra la instalación de las estaciones para obtener las diferentes variables climatológicas. Al instalar los sensores, la batería, el panel solar; se verificó con la computadora que la estación interpretara bien las señales de los sensores, para verificarlo se le mandó los comandos de la T, la H, la P etc., vía serial y con esto comprobar su buen funcionamiento, para la segunda estación se usaron las mismas letras pero en minúscula para poderlas identificar.





**Figura 46 Conexión de los Sensores al SAD.**



**Figura 47 Estación de Telemetría Instalada en Nueva Victoria, Chiapas.**



**Figura 48 Estación de Telemetría Instalada en el Cerro de las Cruces, Chiapas.**

La instalación del sistema de adquisición de datos es de forma sencilla pensando en que cualquier persona con la ayuda de un manual pueda instalarla ahorrando costos al no tener que depender de personas calificadas para su instalación.

También se logró el objetivo de reducir el costo de la estación meteorológica aunque no se consideró en los costos que a la estación comercial hay que instalarle una antena parabólica (sistema satelital) para la transmisión de datos, aumentando los costos de forma significativa al tener que contratar varios servicios para cada una de las estaciones.

A continuación se muestra la diferencia de costos de la estación comercial y la desarrollada por la facultad logrando una considerable diferencia de costos, por consiguiente un ahorro importante por cada estación

<b>Costos Estación Meteorológica Comercial</b>	
<b>Veleta y Anemómetro</b>	\$655.05
<b>Piranómetro</b>	\$1115.6
<b>Temperatura y Humedad</b>	\$630.05
<b>Pluviómetro</b>	\$1366.60
<b>Presión Barométrica</b>	\$610.00
<b>Regulador</b>	\$265.00
<b>Batería</b>	\$244.00
<b>Panel Solar</b>	\$575.00
<b>Datalogger</b>	<b>\$2070.00</b>
<b>Caja para intemperie de 14x16 in</b>	\$467.00
<b>Total</b>	<b>\$7998.25 + iva</b>

\*Los precios están en dólares y no incluyen iva.

<b>Costos Estación Meteorológica UAQ</b>	
<b>Veleta y Anemómetro</b>	\$655.05
<b>Piranómetro</b>	<b>\$219.00</b>
<b>Temperatura y Humedad</b>	\$630.05
<b>Pluviómetro</b>	\$1366.60
<b>Presión Barométrica</b>	\$610.00
<b>Regulador</b>	\$265.00
<b>Batería</b>	<b>\$45.00</b>
<b>Panel Solar</b>	\$575.00
<b>Datalogger</b>	<b>\$60.00</b>
<b>Caja para intemperie de 14x16 in</b>	<b>\$35.00</b>
<b>Total</b>	<b>\$4460.70 + iva</b>

\*Los precios están en dólares y no incluyen iva.

Se redujo el precio aproximadamente un 55% de la estación. En cuanto al datalogger el costo es del 2.89% del datalogger comercial, lo cual nos da una ventaja competitiva si se piensa entrar en el mercado. Esta reducción de costos nos muestra el ahorro que puede generarse si se piensan obtener dos estaciones o más. Este sistema de adquisición de datos se puede utilizar para otras aplicaciones donde se requiera leer señales analógicas, digitales y comunicarlo con la PC a través del puerto serial o transmitirlo con cualquier tipo de tecnología que utilicé comunicación serial.

Podemos concluir que gracias a esta investigación se pudieron reducir costos, además de implementar un filtro sencillo pero que satisface las necesidades del proyecto, también se demuestra que con el desarrollo de tecnologías nacionales podemos diseñar tarjetas de adquisición más flexibles en

cuanto a comunicación de los datos y dispositivos de un costo mucho menor al que encontramos en el mercado actual teniendo gran posibilidad de incursionar en el mercado global, con precios competitivos y alta calidad en el producto.

## Bibliografía

- Areny, R. P. (2004). *Sensores y acondicionadores de señal*. Barcelona, España: Marcombo.
- Brown, A. B. (1994). *Principles of data acquisition and conversion*. Estados Unidos.
- Civil, D. G. (Diciembre de 2008). *Dimetchi*. Recuperado el 29 de Enero de 2010, de [http://www.dimetchi.cl:8080/normativosdoc/PRO\\_DMC\\_15\(SPG\).pdf](http://www.dimetchi.cl:8080/normativosdoc/PRO_DMC_15(SPG).pdf)
- Comunidad de Madrid*. (2009). Recuperado el 29 de Enero de 2010, de <http://www.slideshare.net/iborra17/estaciones-meteorologicas-364178#stats-bottom>
- Emil Jovanov, D. R. (2001). Patient Monitoring Using Personal Area Networks of Wireless Intelligent Sensors. *Biomedical Sciences* , 4.
- Glaría, J. (2001). Automatización Industrial : Sensores de humedad. *Automatización Industrial* , 13.
- Gobierno de Canarias*. (2008). Recuperado el 30 de Enero de 2010, de <http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/Usrn/unidadprogramas/Clima/default.asp>
- Hanna. (06 de 09 de 2005). *Wetmex*. Recuperado el 02 de 05 de 2010, de <http://www.wetmex.net/hanna/catalogo/SECCION%20N%20ok.pdf>
- Helfrick, W. D. (1991). *Instrumentación Electrónica Moderna*. Editorial Prentice Hall.
- Hyder K., P. B. (2005). *Embedded Systems Design using the Rabbit 3000 Microprocessor*. UK: Elsevier press.
- InfoAgro. (2010). *Qué es la humedad relativa y el punto de rocío*. Recuperado el 29 de 05 de 2010, de [http://www.infoagro.com/instrumentos\\_medida/doc\\_humedad\\_relativa\\_punto\\_rocio.asp?k=55](http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_humedad_relativa_punto_rocio.asp?k=55)
- Instruments, N. (06 de 06 de 2006). *Comunicacion Serial: Conceptos Generales*. Recuperado el 29 de 05 de 10, de <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1>
- J. Agre, a. L. (2000). An Integrated Architecture for Cooperative Sensing Networks. *IEEE Computer* , 106-108.
- Millman, J. (1979). *Dispositivos y Circuitos Electrónicos*. Madrid: Editorial Marcombo.
- P.H. Chou, Y. C. (2007). Wireless Sensor Networks for Debris Flow Observation. *2nd International Conference on Urban Disaster Reduction*, (pág. 9). Taiwan.
- Piuri, J. V. (2009). Implementación de un sistema de control automático de temperatura gobernado por PLC para una habitación. *Escuela Politecnica Nacional* , 9.
- Rosario, R. P. (2005). Anemómetro. *Diseño con electronica integrada* , 7-8.
- Rosario, R. P. (2006). Anemómetro. *Diseño con Electrónica Integrada* , 6-7.

Sole, A. C. (1993). *Instrumentación Industrial*. Barcelona: Marcombo.

Usategui, J. M. (2005). *Microcontroladores PIC Diseño práctico de aplicaciones*. España: Mc Graw Hill.

Valdés, D. U. (1990). *Diseño de Equipos Electrónicos*. La Habana: Pueblo y educación ISPJAE.

## ANEXOS

### Artículo científico.

#### **Red de estaciones meteorológicas interconectadas para monitoreo de variables climatológicas en los altos de Chiapas**

**Weather stations network for climatic variables monitoring in Los Altos de Chiapas**

**Manuel Toledano-Ayala<sup>1\*</sup>, Genaro M. Soto-Zarazúa<sup>1</sup>, Gilberto Herrera-Ruiz<sup>1</sup>,  
Rey David Bazán-Trujillo<sup>2</sup>, Rafael E. Porrás-Trejo<sup>2</sup>, Gabriel Nieto-Rabiela<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Profesores de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, <sup>2</sup>Estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro.

RESUMEN. Actualmente existe una tendencia tecnológica en los sistemas de comunicaciones hacia la eliminación de cables. Los sistemas inalámbricos representan una oportunidad de desarrollo para países en vías de desarrollo como México. Esto debido a que con un mínimo de infraestructura se puede transmitir información a distancia, con costos reducidos comparados con el costo del tendido de cableado. En particular, las tecnologías inalámbricas representan ventajas importantes en el sector productivo tales como la posibilidad de tener nuevos valores agregados como el mantenimiento remoto, configuración, diagnóstico, monitoreo o incluso algunas tareas de control. En el presente trabajo, se desarrolla un sistema de telemetría para la medición de variables climatológicas en los altos de Chiapas. El sistema consta de tres partes principales: a) Unidades Remotas (RTUs), b) Unidades Base (BTU) y c) Un servidor central (CS). La adquisición de los datos la realizan las RTUs y se comunican entre ellas para formar una red de área local, inalámbrica en la banda ISM destinada para aplicaciones industriales, científicas y médicas. Los datos adquiridos son gestionados por las BTUs quienes a su vez, envían esta información vía un enlace satelital a un servidor central ubicado en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. Estos datos son almacenados y presentados al usuario final a través de un portal Web, en el que se muestran gráficas de comportamiento diarias y en donde también se pueden descargar historiales. En el presente trabajo se muestran los resultados de las pruebas realizadas en las diferentes etapas del sistema que muestran una confiabilidad superior al 95% sobre posibles fallas en la transmisión de datos.

Palabras clave: Monitoreo remoto, Telemetría, Comunicaciones inalámbricas, Estaciones Meteorológicas

### 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de monitoreo y control a distancia han tenido múltiples y diversas aplicaciones, que van desde el control de un telescopio en el observatorio de L'Estelot (Grup D'Estudis Agronomics, 2004), hasta el monitoreo y control de toda una planta pasteurizadora (Hugo H y Rivera J., 2004), pasando por el control de servomotores (Magazine electrónico de SCM, 2004), tuberías de emergencia (Automa Inge, 2004), ahorro de energía (I-Hai, 2001), invernaderos (Serodio C. et al., 2001), (Ortiz et al., 2004), maquetas de invernadero (Guzmán et al., 2004) entre otros. El principal punto en común entre todos los anteriores es que en todos ellos se ve la necesidad de implementar sistemas de monitoreo y control que sean capaces de generar gráficos en tiempo real, control, almacenamiento y generar reportes de las condiciones operativas de cada proceso en un ambiente Windows en una PC de propósito general.

Como se puede notar, las diferentes aplicaciones en las cuales se han utilizado tecnologías inalámbricas han tenido un rápido crecimiento en los últimos años. Un gran número de estas aplicaciones se encuentran interconectadas para formar distintos tipos de redes las cuales pueden clasificarse en tres diferentes categorías de acuerdo a su alcance: 1. Las redes más pequeñas o también llamadas redes de área personal (WPAN) como Bluetooth, 2. Redes de rango medio, como las redes de área local (WLAN) por ejemplo Wi-Fi y 3. Redes de largo alcance como los sistemas satelitales y las redes GSM/GPRS. Estas redes inalámbricas resuelven

necesidades específicas de comunicación de voz y datos para los usuarios, por ejemplo, al llamar desde nuestro teléfono celular, al transferir una fotografía a través de Bluetooth, al conectarnos a la red inalámbrica de nuestra facultad o al hacerlo desde la comodidad de nuestro hogar estamos haciendo uso de estas redes. Sin embargo, para aplicaciones de monitoreo del clima, una estación meteorológica puede ubicarse en zonas geográficas que no son accesibles para los usuarios, zonas donde no existe la posibilidad de llevar energía eléctrica o zonas donde el monitoreo resulta peligroso. En consecuencia, existe un gran potencial para el monitoreo de variables climatológicas con tecnologías inalámbricas, esto es, el desarrollo de una red de sensores inalámbricos (WSN por sus siglas en inglés). Formalmente, una WSN es un sistema compuesto de transceptores de Radio Frecuencia (RF), sensores, microcontroladores y fuentes de alimentación (Ning Wang et al., 2005) que actualmente cuenta con capacidades de auto-organización, auto-configuración, auto-diagnóstico y auto-reparación. Estas WSNs permiten, entre otras cosas, aplicaciones en las que el monitoreo de las tareas es peligroso, donde no existe la infraestructura con cables o en áreas lejanas o de difícil acceso. Debido a la naturaleza de la aplicación, este trabajo de aborda desde la perspectiva de las WSN de largo alcance.

Se han implementado diversas WSN de largo alcance en diferentes aplicaciones; Cembrano, G y otros, (2007) implementaron un sistema de telemetría y telecontrol el cual contiene más de 100 sensores de lluvia distribuidos en diferentes áreas de la ciudad de Barcelona y conectado en 12 tanques, donde eventualmente, las estaciones remotas envían datos a un servidor central. Pulido-Calvo y otros, (2007) trabajaron en un sistema de telemetría en irrigación de los distritos en Genil-Cabra en España, Para determinar el consumo de agua en el distrito de irrigación, se instaló un sistema de telemetría comercial llamado SIGA en 28 granjas localizadas en la red de irrigación para medir volúmenes y presión de agua y ser monitoreados en tiempo real. Los componentes principales del sistema de telemetría incluyen: a) El nodo de irrigación o estación remota la cual captura señales de los medidores de agua volumétrica y la presión en los hidrantes de riego; b) La estación de concentración la cual recibe y almacena las señales de campo de los nodos de irrigación y c) El sitio de control central el cual despliega y almacena los datos adquiridos por las estaciones de concentración y sus nodos asociados. También, Peng J. y otros, (2009) diseñaron un sistema de monitoreo remoto para mediciones del PH del agua en ríos y lagos de China utilizando redes de sensores inalámbricos a través de la red GSM/GPRS. En este punto cabe mencionar, que los desarrollos anteriormente mencionados, trabajan con redes de sensores de largo alcance en ambientes urbanos o en donde existe una cobertura de una red celular o acceso a internet en algún punto de acceso. Éstos son requerimientos que permiten extender el monitoreo de las WSN en Internet, sin embargo, en algunas zonas de México (como los altos de Chiapas), y en otros países donde se requiere el monitoreo de variables climatológicas no se cuenta con ninguna cobertura de alguna red celular, o acceso a Internet. Tomando en cuenta estas condiciones, Raja Jurdak y otros, (2008) en Australia, desarrollaron un sistema de monitoreo ambiental con la integración de WSN a mediana escala, el cual, utiliza tecnología Zigbee en el nivel de interacción con los sensores y WiFi para la intercomunicación de los sensores con otras redes.

En todos los casos anteriores, los sistemas desarrollados utilizan una tecnología propietaria lo cual quiere decir que se solucionan eficientemente las necesidades de sistemas particulares, pero no se adaptan a los nuevos sistemas. Además, a pesar de la tendencia en los sistemas de comunicaciones para la eliminación de cables, la naturaleza de las comunicaciones inalámbricas las hace susceptibles a interferencias, por esta razón, los sistemas inalámbricos necesitan de mecanismos para reducir la tolerancia a fallas y aún más, cuando las estaciones remotas se localizan en áreas geográficas que por lo general son de difícil acceso (como la región de los altos de Chiapas). En este escenario, la definición de una arquitectura que permita a los usuarios monitorear estaciones remotas a gran distancia que satisfagan las necesidades de confiabilidad en los servicios (QoS) es imperiosa y necesita ser conseguido a un costo razonable.

## **2. PANORAMA GENERAL DEL SISTEMA**

El sistema de monitoreo a gran distancia, involucra una serie de estaciones remotas (estaciones meteorológicas) que comparten una red de área local inalámbrica; a través de un módulo de adquisición de datos, reciben información de los sensores climatológicos de: Temperatura, Humedad Relativa, Presión Barométrica, Radiación Solar, Velocidad y Dirección del viento y Precipitación Pluvial. Estos datos son transmitidos por RF con una frecuencia de 900 MHz a una estación base o estación central, la cual recibe esta información, la valida y la presenta en una página WEB almacenada en un servidor HTTP Embebido. Esta



información es enviada con intervalos de 10 minutos a un servidor central (el cual se localiza en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro) vía un enlace satelital en la banda Ku. En el servidor central, se almacenan los datos enviados por todas las estaciones remotas, se generan datos históricos y se presentan al usuario a través de un portal Web en forma gráfica, numérica y con posibilidades de descarga de archivos. Este sistema ha sido nombrado como METEO-UAQ (Figura 1) y se describen sus partes enseguida.

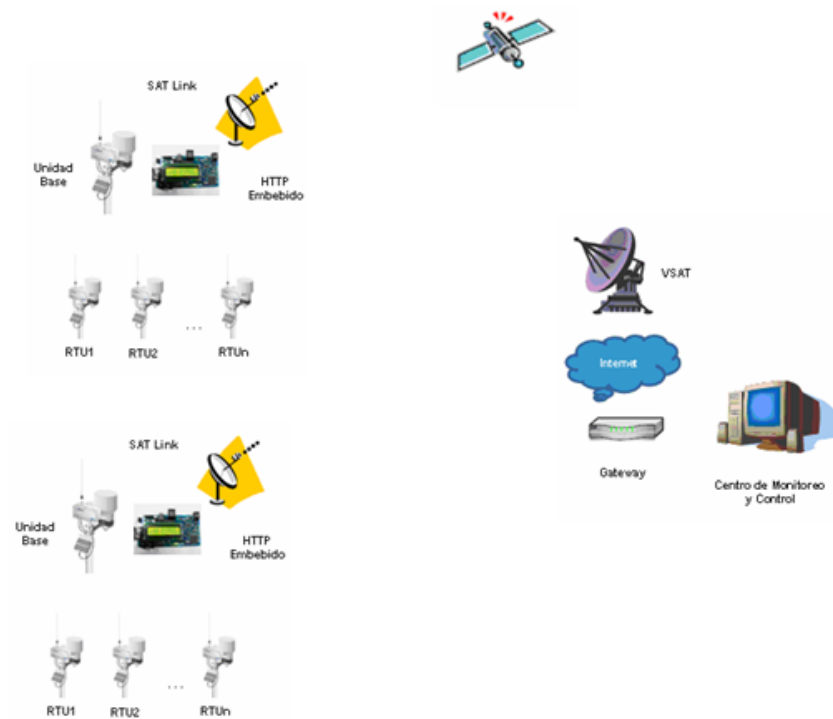


Figura 1. Panorama general del sistema METEO-UAQ V1.3

### 3. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN

El sistema METEO-UAQ V1.3, se ha diseñado en tres partes principales: a) Unidades remotas, Unidades Base (BTU) y Servidor Central (CS). A continuación se detallan cada una de ellas.

#### 3.1 Unidad Terminal Remota (RTU)

Una RTU se encuentra basada en el microcontrolador (MCU) PIC18F8723 de alto desempeño quien es el encargado de realizar tres actividades principales, adquisición de datos, procesamiento de los mismos y transmisión de información dentro de la red. Las RTUs pueden ser de dos tipos: a) Una RTU de adquisición de datos, la cual procesa seis canales analógicos (con posibilidad de expansión hasta 16 canales independientes) los cuales son utilizados para la medición de temperatura, humedad relativa, radiación solar, presión barométrica, dirección del viento y el estado que guarda la batería del sistema; además, procesa dos canales digitales provenientes de los sensores de velocidad del viento y precipitación pluvial. Esta misma unidad filtra las señales recibidas por los sensores y los envía a la unidad base a través de un módulo de radio frecuencia cuando se le solicitan. b) Un repetidor usado para amplificar la señal de radiofrecuencia cuando las distancias son mayores a 25 kilómetros o cuando no hay línea de vista entre una RTU y la unidad base. En la

siguiente figura se muestra el diagrama a bloques de una RTU del tipo a y una fotografía de una RTU del tipo b.

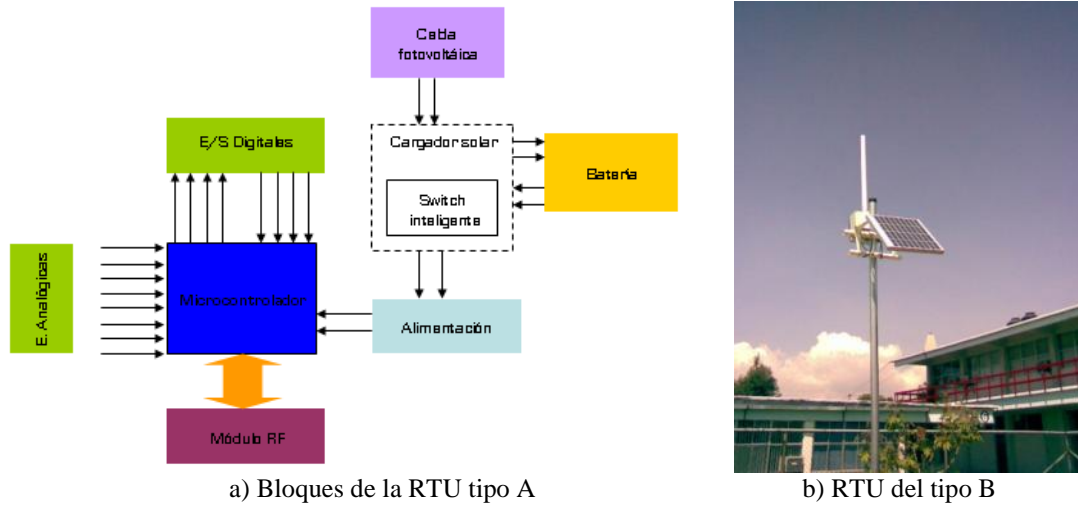


Figura 2. Unidad Terminal Remota del sistema METEO-UAQ V1.3

### 3.2 Unidad Terminal Base (BTU)

La BTU es quien gobierna a las Unidades Terminales Remotas y presenta estos datos en una página Web (Figura 3b) la cual reside en una parte de la memoria de programa del microcontrolador PIC18F6722. Las ventajas de esta unidad base son principalmente, que evita la necesidad de tener una computadora en campo encendida las 24 horas debido a que tiene embebido un servidor HTTP (Figura 3a) y también es la responsable de transmitir los datos meteorológicos a través de un enlace satelital al Servidor Central (CS) ubicado en la Facultad de Ingeniería de la UAQ. Cabe señalar, que para un sistema de comunicaciones de largo alcance (comunicación entre poblaciones o ciudades) las transmisiones de RF de las RTUs no son una solución viable. En este sentido, la BTU es el cerebro de la transmisión de los datos vía satelital. De esta manera, la BTU se convierte en un puente que permite enlazar una red de sensores basada en Radiofrecuencia, con una red de área extensa (WAN) interconectada por sistemas satelitales.



Figura 3. Servidor HTTP embebido basado en un MCU de alto rendimiento PIC18F6722 y Página Web.

Desde el CS se gestiona la información a través de una página WEB. Enseguida la información pasará por una puerta de enlace (Gateway) quien es la encargada de interconectar la red LAN con la red pública sobre la cual

Internet opera y una estación satelital terrena (VSAT) será la encargada de enviar esta información a un satélite de la banda Ku. Esta banda se encuentra en un rango de frecuencias de 12 a 18 GHz, tiene las ventajas de usar transmisores de menor potencia con el inconveniente de poca capacidad de transmisión de datos, a diferencia de los enlaces satelitales en banda Ka cuyo rango de frecuencias se encuentra de 18 a 31 GHz, pueden transmitir grandes cantidades de datos, sin embargo son necesarios transmisores muy potentes y son sensibles a interferencias ambientales. Por esta razón, no se eligió la banda Ka y por el contrario se eligió la banda Ku, sin embargo quedaba la interrogante de la velocidad en la transmisión de datos. En este sentido se realizaron pruebas preliminares para cuantificar las velocidades máximas necesarias para la transmisión de datos comúnmente llamada “velocidad de subida”. Las pruebas preliminares se realizaron haciendo peticiones a través del protocolo HTTP a la unidad base del sistema de comunicaciones. En la siguiente figura se muestra que la velocidad máxima de transferencia de datos se encuentra alrededor de 3 Kbps, la cual es muy baja, puesto que la información que se está enviando es básicamente los datos de las variables que se están monitoreando. Este análisis permite seleccionar la velocidad del enlace, que en este caso fue de 19.2 Kbps, más que suficiente para los requerimientos del sistema de monitoreo.

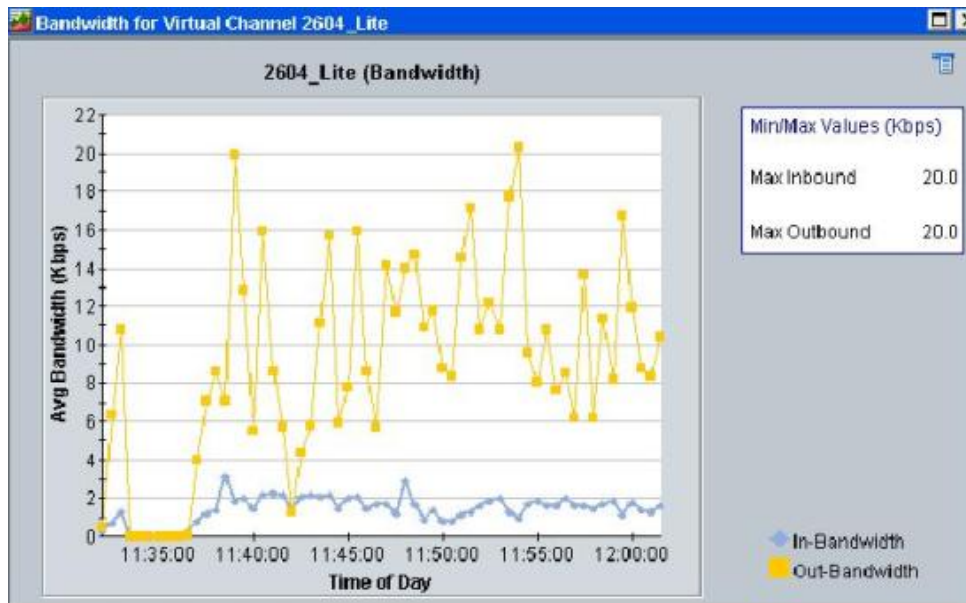


Figura 4. Ancho de banda requerido por la BTU para la transmisión de los datos meteorológicos.

### 3.3 Servidor Central (CS)

El servidor central es el encargado administrar las peticiones de consulta/descarga de datos por parte de los usuarios finales, mantener los datos actualizados y de generar los historiales correspondientes. Cuando un usuario solicita acceso al sistema de telemetría a través de un explorador de Internet (FireFox, Internet Explorer, Chrome, entre otros), se genera una petición al CS, este se encarga de mostrar la información almacenada y de actualizarla cada 10 minutos.

En el servidor central se encuentra un almacenado un un portal WEB en donde se muestran los datos recopilados por las estaciones meteorológicas. Éstos se presentan a través de una Página Web de manera gráfica y numérica (Figura 5). Se muestran para las variables temperatura, humedad, punto de rocío, presión barométrica y velocidad del viento, los mínimos, máximos y promedio de las mediciones. En el caso de precipitación pluvial, se muestra el acumulado.

**El último reporte fue obtenido el día de hoy:  
Jueves 24 de Septiembre del 2009 a las 03:36 hrs GMT-6**

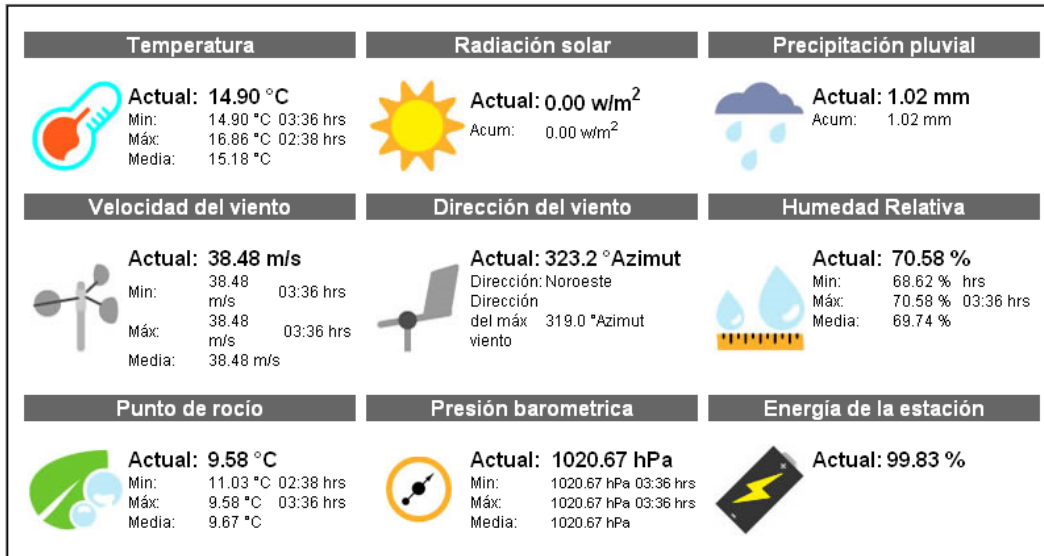


Figura 5. Interfaz gráfica de Usuario (GUI) presentada al usuario final.

#### 4. PRUEBAS Y RESULTADOS

Por la complejidad del sistema, se han realizado pruebas en distintas etapas de desarrollo. Siguiendo la metodología de pruebas en el sistema de comunicaciones, las primeras pruebas consistieron en una comunicación punto a punto entre una BTU y una RTU en línea de vista. Se probó el sistema con un simple Loop-back, esto es, se envía un dato de 8 bits desde la BTU hasta la RTU y ésta última regresa exactamente el mismo dato. Estas pruebas preliminares confirmaron una comunicación exitosa a una distancia de 8.77 Kilómetros en línea de vista desde las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la UAQ hasta el Cerro del Cimatario ubicado en la ciudad de Querétaro como se ilustra en la siguiente figura.

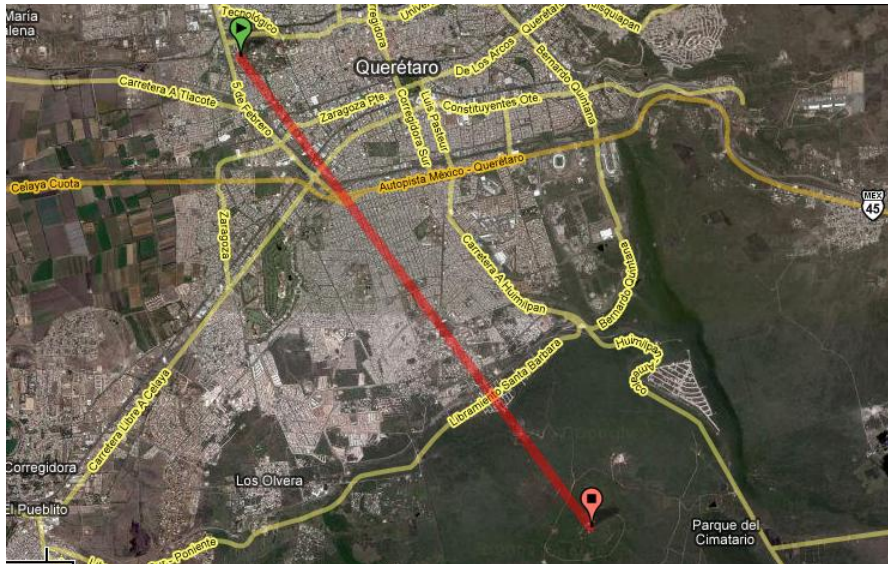
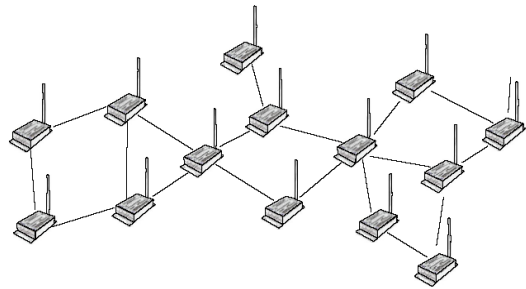
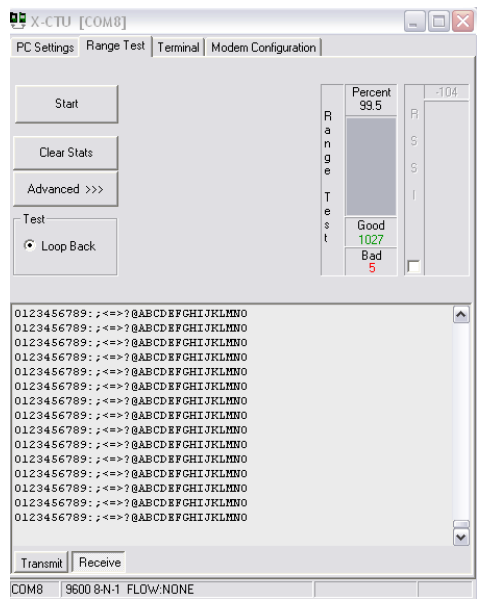


Figura 6. Pruebas preliminares de campo en La Ciudad de Querétaro.

Una vez realizadas las pruebas de comunicación entre un transmisor y un receptor en ambas direcciones, el siguiente paso fue realizar pruebas de comunicación entre más de dos RTUs. Así, se implementó una topología de red del tipo malla con direccionamiento dinámico. Esto quiere decir lo siguiente: 1. La topología de malla interconecta a todas las RTUs del sistema de comunicaciones, 2. Se implementó una arquitectura igual a igual (P2P), esto es, no existe jerarquía entre las RTUs de la red, 3. Se descubren nuevas rutas para llegar de un dispositivo a otro cuando se incorpora un nuevo dispositivo, 4. La unidad base puede transmitir en modo unicast o broadcast.

En la prueba de laboratorio se realizó con 4 RTUs conformando la malla. El paquete de datos consistió en una secuencia de caracteres alfanuméricos en un lazo del tipo loop back mencionado anteriormente. Los resultados obtenidos arrojaron una confiabilidad del 99.5% lo cual, en otras palabras significa que de 1,000 paquetes transmitidos tendremos 5 paquetes recibidos incorrectamente. Los resultados de esta prueba en conjunto con una muestra de una topología de malla se muestran en la siguiente figura.



a) Prueba de rango con el software X-CTU

b) Topología de malla utilizada en la prueba

Figura 7. Prueba de rango a) para la topología de malla de RTUs b).

Con los datos de confiabilidad obtenidos, se procedió más adelante a realizar pruebas de comunicación en campo en 11 puntos diferentes. Los resultados se muestran en la siguiente tabla. Las pruebas realizadas consistieron básicamente en un estudio de línea de vista (LOS), en el cual se colocó una RTU y una BTU de prueba. La BTU inicia la transmisión y la RTU responde exactamente la misma información la cual le fue enviada. En este sentido, se calcula la relación paquetes (enviados)/(recibidos correctamente) y se obtiene un porcentaje. Para puntos de prueba en donde se tuvo línea de vista, el sistema de comunicaciones tuvo error de apenas 0.02% Por ejemplo de Nueva Victoria a Agua prieta se transmitieron 1249 paquetes de datos, de los cuales 3 llegaron incorrectamente. Esto es, el 0.02% de error. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1. Resultados de las mediciones en campo con las unidades remotas diseñadas.

PUNTO DE PRUEBA	NOMBRE DEL PUNTO DE PRUEBA	COORDENADAS GPS	PUNTO DE REFERENCIA	LÍNEA DE VISTA	RSSI %	PAQUETES BUENOS	PAQUETES MALOS	FRECUENCIA (MHZ)
1	Las Cruces	577062 E 1695731 N	2	SI	99.8	1251	2	9000 CH(0)
2	Las Cruces	577062 E 1695731 N	1	SI	100	2000	0	9000 CH(0)
3	Nueva Victoria	563612 E 1690648 N	1	SI	99.8	1251	2	9000 CH(0)
4	Agua Prieta	568104 E 1682104 N	1	NO	0	0	1250	9000 CH(0)
5	Niquivil	582519 E 1684780N	1	NO	0	0	1250	9000 CH(0)
6	Nueva Victoria	563612 E 1690648 N	1	SI	100	2000	0	9000 CH(0)
7	Agua Prieta	568104 E 1682104 N	6	SI	99.8	1249	3	9000 CH(0)
8	Niquivil	582519 E 1684780N	6	NO	0	0	1250	9000 CH(0)
9	El Chaparron	584262 E 1672452 N	6	SI	100	2000	0	9000 CH(0)
10	Niquivil	582519 E 1684780N	9	NO	0	0	1250	9000 CH(0)
11	Union Roja	584125 E 1663839 N	9	NO	0	0	1250	9001 CH(0)

En la tabla anterior, se hace referencia en la quinta columna al parámetro RSSI, éste se refiere por sus siglas en inglés a la Índice de la Intensidad de Señal Recibida, parámetro que nos indica la fuerza con la que una señal recibida en términos de porcentaje.

Hasta este momento se han mostrado únicamente resultados de las pruebas de la transmisión de las RTUs en modo loop-back. Sin embargo, es importante evaluar el número de errores que se generan en el proceso de transferencia de datos desde una petición generada través de un explorador de Internet hasta la correcta transmisión de los mismos por parte del sistema instalado consistente de la red de radiofrecuencia más la red satelital. En este sentido hay un protocolo de comunicación llamado ICMP, protocolo de mensajes de control de Internet, por sus siglas en inglés de Internet Control Message Protocol), éste es el sub-protocolo de control y notificación de errores del Protocolo de Internet (IP). Como tal, se usa para enviar mensajes de error, indicando por ejemplo que un servicio determinado no está disponible o que un router o host no puede ser localizado.

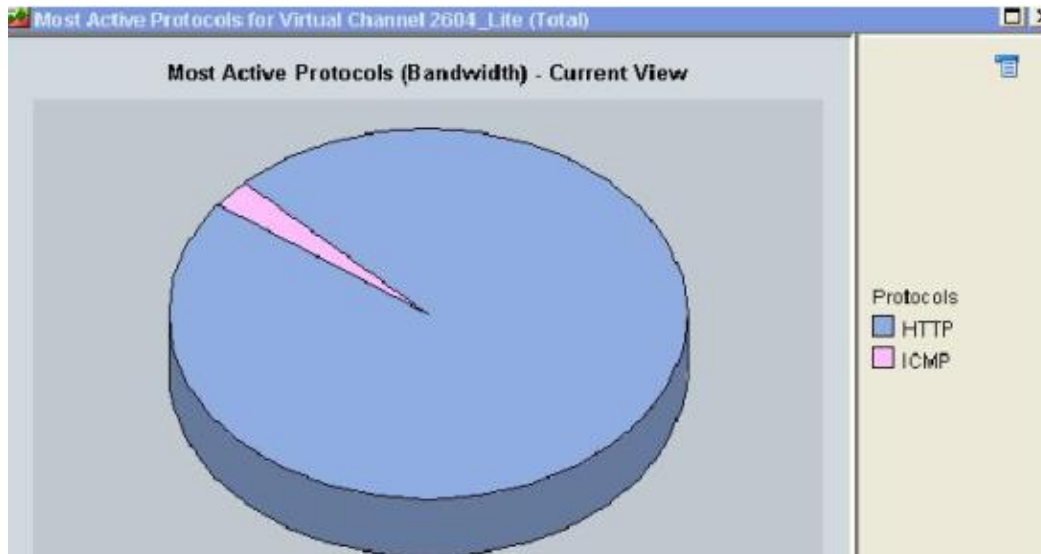


Figura 8. Protocolos más activos durante la transmisión de datos. Fuente: Globalsat.

La figura anterior fue proporcionada por el proveedor de las terminales satelitales VSATs, Globalsat. En esta figura se muestra que el protocolo HTTP ocupa prácticamente un 97% del ancho de banda que ha sido utilizado y el protocolo ICMP apenas un 3% lo cual indica una alta confiabilidad en el enlace satelital y en el manejo de las transmisiones en el servidor HTTP embebido programado en el sistema de comunicaciones.

Finalmente, se integraron los componentes del sistema y a continuación se muestran las interfaces numéricas (Figura 9a y gráficas de usuario (figura 9b), zona de descargas (figura 10) en donde se puede elegir fecha y

hora a partir de la cual se generarán las descargas en diferentes formatos de archivo, y fotografías de las estaciones instaladas (figuras 11a,b,c).



Figura 9a. Datos numéricos en página Web del Sistema de monitoreo UAQ-METEO V1.3

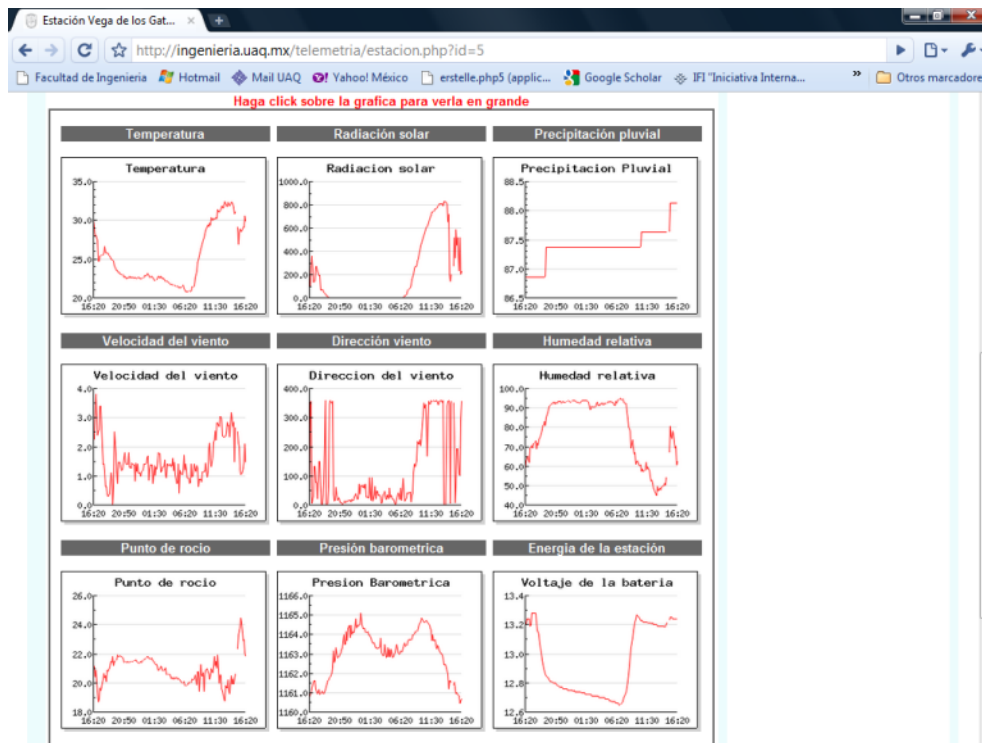


Figura 9b. Gráficas del Sistema de monitoreo UAQ-METEO V1.3

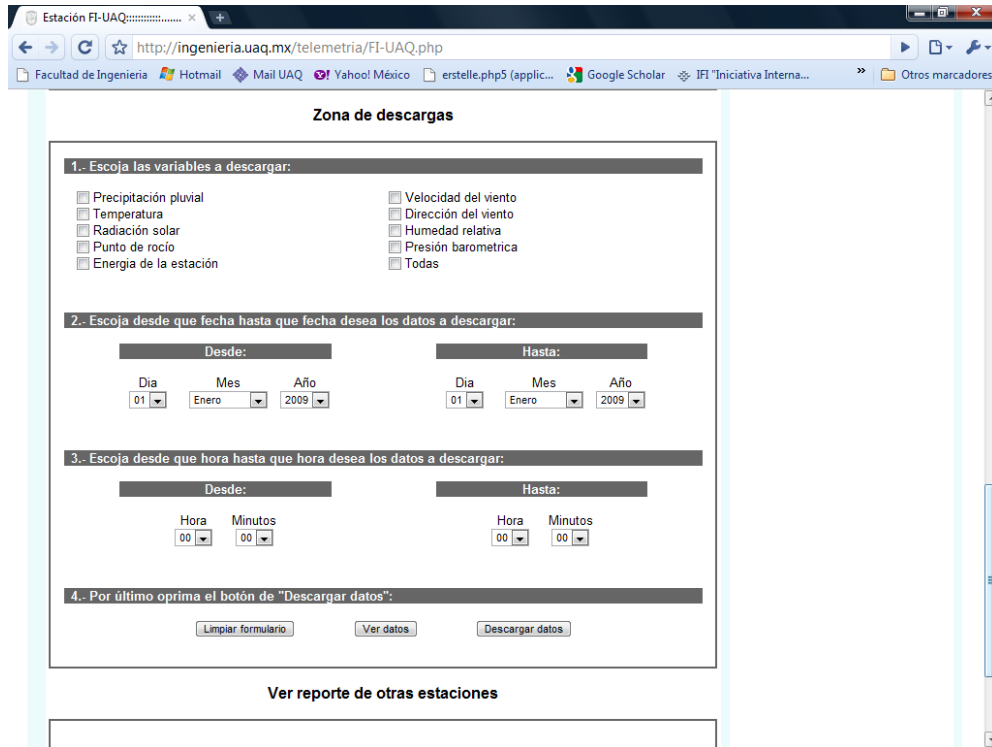


Figura 10. Vista de la zona de descargas del sistema UAQ-Meteo V1.3



a)



b)



c)

Figuras 11a,b,c. Fotografías de las estaciones meteorológicas instaladas

## 5. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un sistema de monitoreo remoto de variables climatológicas de largo alcance. Las pruebas realizadas demuestran que el sistema tiene una confiabilidad de más de 95% en cuanto a posibles errores en la transmisión de los datos.



La medición a distancia de las variables climatológicas en los altos de Chiapas, favorece la administración del sistema, reduce costos de operación (debido a la accidentada orografía de la zona) y constituye la base para que se desarrollen diversos estudios con fines climatológicos o para la prevención de pérdidas humanas en desastres naturales.

Aunque el sistema de monitoreo está enfocado a la medición de variables climatológicas, se encuentra diseñado de manera modular, de tal forma que al cambiar los sensores de la red, se puede orientar hacia múltiples aplicaciones industriales, científicas y médicas y en general aplicaciones en donde el monitoreo remoto sea peligroso, inaccesible o económicamente inviable para el usuario.

## 6. REFERENCIAS

Automa Inge. Sistema de telemando y telecontrol de la tubería de emergencia. <http://www.automainge.net/telema2.htm> (Fecha de consulta: 30 de Marzo de 2010).

Cembrano, G et al., (2004). Optimal control of urban drainage systems. A case study. A novel telemetric logging system for recording physiological signals in unrestrained animals. *Control Engineering Practice*. 12(1):1-9.

Guzmán, J. L., M. Berengel, F. Rodríguez (2004). Laboratorio remoto para el control de una maqueta de invernadero. Universidad de Almería. España.

Grup D'Estudis Agronomics (2004). Telescopio robótico con control remoto por Internet. *Astro Gea*. España.

I-Hai, P. et al., (2002). Internet based Monitoring and Controls for HVAC applications. *IEEE Industry applications*. (1):49-54

Magazine electrónico de SCM (2004). Control de servos RC por medio de Internet. *SCM internacional*. Número 53. España.

Ning, W. et al., (2006). Wireless sensors in agriculture and food industry—Recent development and future perspective. *Computers and Electronics in Agriculture*. 50 (2006):1–14.

Ordoñez, H. y J. Rivera (2004). Control por Internet de una Planta Pasteurizadora. *Artículos digitales de Nacional Instruments*.

Ortiz, C. Zambrano S. y San Martín C., (2004). Automatización de un Invernadero. *Artículos digitales de Nacional Instruments*. México.

Pulido-Calvo, Inmaculada et al., (2007). Linear regressions and neural approaches to water demand forecasting in irrigation districts with telemetry systems. *Biosystems engineering* 97 (2007): 283 – 293.

Peng J. et al., (2009). Design of a Water Environment Monitoring System Based on Wireless Sensor Networks. *Sensors*. 2009 (9):6411-6434.

Raja, J. et al., (2008). Large Scale Environmental Monitoring through Integration of Sensor and Mesh Networks. *Sensors*. 2008 (8): 7493-7517.

Serodio, Carlos, C. Boaventura, y otros (2001). A networked platform for agricultural management systems. Universidad de Trás-os-Montes e Alto Douro. Portugal.