

**Revista Posgrado y Sociedad**  
**Sistema de Estudios de Posgrado**  
**Universidad Estatal a Distancia**  
**ISSN 2215-2172**  
**Costa Rica**  
**revistaposgradoysoci@uned.ac.cr**

**Utilización de estaciones meteorológicas automáticas como  
nueva alternativa para el registro y transmisión de datos**

**Using automatic weather stations as a new alternative for recording  
and data transmission**

Fernando Ureña Elizondo

Cátedra de Física

Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica

Volumen 11, Número 1

Marzo 2011

pp. 33 - 49

*Recibido: Octubre, 2011*

*Aprobado: Enero, 2011*

## **Resumen**

Las estaciones meteorológicas han sido utilizadas por los servicios meteorológicos y por la empresa privada como un mecanismo para determinar el estado de tiempo y con el fin de guardar registros históricos de datos de una región. En la década de los 90 se empezó a dar un cambio tecnológico con las estaciones, pues estas pasaron de ser tradicionales y controladas por mecanismos de relojería, a ser automáticas, controladas por microprocesadores y sistemas de cómputo. En este artículo se explica el funcionamiento de las estaciones automáticas, sus principales sensores y las implicaciones que esto conlleva.

Palabras clave: Estación, automática, sensores, datos, transmisión, registro.

## **Abstract**

Weather stations have been utilized by meteorological services and by private enterprise as a mechanism to study climate and keep historical records of a region. In the 90's a technological change began with weather stations, where they went from traditionally controlled clockwork to automatic stations, controlled by microprocessors and computer systems. This paper explains the operation of the automatic station's main sensors and the implications that they entail.

Keywords: Station, automatic, sensors, data, transmission, recording.

## Introducción

Nuestro planeta Tierra a los largo de sus millones de años de existencia ha experimentado cambios climatológicos importantes como por ejemplo la última glaciación de la que se tiene registro de hace aproximadamente unos 10000 años.

A finales del siglo XIX, se vio la creciente necesidad de organizar de manera sistematizada la forma en que algunos países estaban tratando y registrando los rudimentarios datos climáticos y meteorológicos principalmente en los países Europeos. A raíz de esa necesidad nace en el año 1873 la Organización Meteorológica Internacional (OMI), organismo que cambió su nombre a Organización Meteorológica Mundial (OMM) en el año de 1950. La OMM es un organismo especializado de las Naciones Unidas para la meteorología (tiempo y clima), la hidrología operativa y las ciencias geofísicas conexas.

Hoy en día la OMM es la Organización rectora a nivel mundial de todo lo relacionado con la forma en que deben registrar, procesar y almacenar la información de los datos sinópticos y climatológicos, de hecho los Servicios Meteorológicos de los 189 países miembros de la OMM, deben contar con un aval para que sus datos tengan carácter oficial en cualquier parte del mundo.

La forma de registrar los datos para que sea confiable se ha vuelto muy importante hoy en día, pues el cambio climático (cambio debido únicamente a causas humanas, (OMM, 1992)) del que tanto se habla no tendría ninguna

validez si no existiera un registro estadístico histórico de datos climatológicos a nivel mundial con los cuales comparar los datos actuales, ya que el cambio climático en las en un proceso muy lento en el cual un parámetro como la temperatura experimentaría una variación estadística de solo una décima de grado en periodos de dos o tres décadas.

Para registrar la información se necesita algo tan simple como un par de termómetros o algo tan complejo como una estación automática que puede registrar hasta 20 variables en periodos de 10 segundo o menos y adicionalmente transmitir esa información en tiempo real a una estación terrena que puede poner los datos en una página web disponibles para todo el mundo, un ejemplo de eso es la Isla Wallops al este de la costa del estado de Virginia, donde la Administración Nacional del Océano y la Atmósfera de los Estados Unidos (NOAA) recibe transmisiones satelitales de varios cientos de estaciones marino – meteorológicas y las pone a disposición del público general llenando un formulario de inscripción.

En este artículo se hará una descripción de los que es una estación meteorológica y la evolución tecnológica que han tenido a lo largo del tiempo.

## Estaciones Meteorológicas

Se puede definir una estación meteorológica como una instalación en

la que se tienen una serie de instrumentos destinados a la recolección y registro de las variables meteorológicas según su tipo, ya sean estas, climáticas, sinópticas o marinas (OMM, 1996).

La historia de las estaciones meteorológicas automáticas se menciona por primera vez como una estación perteneciente a la marina de los Estados Unidos (Wood, 1946). Esta estación funcionó desatendida por periodos del tiempo largos y registró datos de la presión atmosférica, temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento y de la precipitación según un horario predeterminado. Se diseñó para la operación en regiones alejadas donde es imposible el mantenimiento de estaciones convencionales.

El futuro de las estaciones meteorológicas automáticas no se puede negar; ellas están transformando la manera tradicional de medir las variables meteorológicas, de la misma forma en que la electrónica reemplazó a los resortes en un reloj. El principal objetivo de este ensayo no es determinar que esperar en el futuro con respecto a las estaciones automáticas, sino más bien ofrecer una visión de cómo se está llevando a cabo la transformación. Desafortunadamente existe resistencia al cambio, principalmente en las personas que durante años han desarrollado y mejorado una rutina y no conocen otra manera de hacer las cosas (Castro y Ureña, 1999).

Una de las objeciones más fuertes está relacionada con el hecho de como el cambio tecnológico puede afectar los registros de datos y la comparación entre los sistemas tradicionales y los actuales.

La estaciones automáticas permiten el acceso a la información meteorológica en tiempo real de lugares alejados y de difícil acceso, este procedimiento es imposible de realizar mediante la utilización de estaciones convencionales a menos que sean atendidas por un observador en forma permanente y que además el observado cuente con la tecnología que le permita transmitir la información a un centro de acopio de información, que en este caso sería un instituto meteorológico.

La figura 1 muestra un esquema convencional para la instalación de una estación meteorológica automática que registra también variables sobre el clima marino.

**Esquema de una estación automática marino - meteorológica**

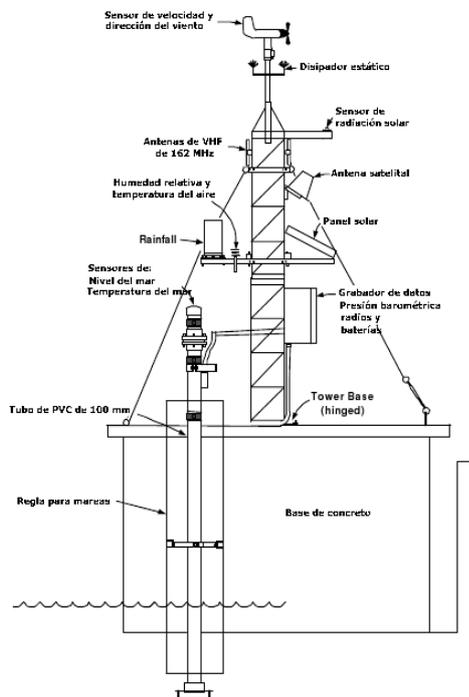


Figura 1. Esquema para la instalación de una estación automática

### **Las estaciones automáticas contra las estaciones convencionales**

En el año 1993 el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) instaló, la primera estación meteorológica automática en los terrenos de la Estación Experimental Fabio Baudrit en la Garita de Alajuela, y una segunda estación en los terrenos del Centro de Investigaciones Geofísicas la Universidad de Costa Rica, esta estación se instaló con el fin de sustituir una estación tradicional ubicada al norte de las instalaciones deportivas de la Universidad de Costa Rica, esta sustitución se realizó de acuerdo con el plan nacional de instalación de estaciones automáticas (Suárez, 1996). 17 años después de iniciado este plan, el instituto meteorológico nacional cuenta con aproximadamente 80 estaciones automáticas instaladas a lo largo y ancho del país, mismas que le proveen datos en tiempo real y algunas de ellas disponibles para el público en general en la página oficial del Instituto Meteorológico Nacional ([www.imn.ac.cr](http://www.imn.ac.cr))

La distribución de las estaciones meteorológicas automáticas debe ser consecuencia de un plan coordinado y definido para proporcionar datos a los usuarios de acuerdo a sus necesidades. Para ello hay que mantener contactos con el interesado, a fin de establecer una lista de sus necesidades y desarrollar los métodos prácticos para poder satisfacerlas.

Es importante tener muy presente que los datos suministrados por los sistemas automáticos no necesariamente deben ser idénticos a los que

obtiene un observador que efectúe las mismas mediciones en una estación convencional, puesto que la sensibilidad del sensor, la frecuencia del muestreo, el tiempo de respuesta y la forma de procesar el dato son diferentes en cada caso. El no conocer las ventajas, limitaciones o características de un equipo de medición podría generar dificultades en futuras investigaciones ya que el dato en si es diferente debido a que para obtenerlo se altera el método de trabajo, desde el técnico que instala y da mantenimiento a la estación, hasta la manera en que el usuario o investigador la recibe, (Weidner y Keller, 2000)

Las estaciones automáticas contribuyen a mejorar la normalización de la información meteorológica, ya que con ellas se eliminan algunos problemas del sistema tradicional tales como la subjetividad del observador y los errores de digitación. Esta nueva tecnología permitirá al investigador tener datos libres de error de proceso y posiblemente le permita determinar fenómenos difíciles de medir con instrumentos convencionales, principalmente relacionados con el intervalo de muestreo de las variables meteorológicas.

Este cambio de tecnología debe ser asimilado con cautela y, el hecho de que la estación sea automática no significa que las tareas se realicen sin supervisión. Es necesario por lo tanto investigar los cambios que se generan en los registros de datos, con el fin de poder explicar al usuario de la información meteorológica los cuidados, limitaciones y ventajas de estos nuevos registros (Ureña, 1998).

De acuerdo con lo expuesto anteriormente es de esperarse que en los próximos años las estaciones meteorológicas tradicionales continúen siendo reemplazadas por estaciones automáticas. Como el cambio afecta la continuidad de las series de datos es de suma importancia evaluar cómo serán afectadas las series y tratar de cuantificar las posibles señales espurias causadas por la introducción de una nueva tecnología en el registro de la información meteorológica.

En el Manual de Sistema Mundial de Observación se define como estación automática “una estación en la que los instrumentos efectúan y transmiten o registran automáticamente las observaciones, realizando en caso necesario la conversión directamente de la señal eléctrica que cada sensor envía al microprocesador o bien realizándose esa conversión en una estación transcriptoras” (OMM, 1997).

Los comienzos de la automatización de la meteorología se ubican a principio de la década de 1940, cuando se hicieron las primeras tentativas de adquirir datos automáticamente en zonas alejadas de centros de población o inaccesibles del planeta.

Hoy en día las estaciones meteorológicas automáticas sirven en general para complementar la red básica de observaciones manuales. Lo hacen proporcionando datos de lugares de difícil acceso o, en las estaciones dotadas de personal, efectuando observaciones fuera de horario normal de trabajo de los observadores. La automatización puede servir para satisfacer toda una gama de necesidades que van, desde una ayuda al observador de estaciones completamente dotadas de personal, pasando por la sustitución del observador por la

noche o durante los fines de semana, hasta la obtención de datos en tiempo real por medio de transmisión satelital desde cualquier punto que así se requiera o se necesite. Con la puesta en operación de las estaciones automáticas, la tendencia general de las instituciones es sustituir a los observadores.

Estas estaciones por lo general simplifican la capacitación del personal ya que, salvo en lo que respecta al personal más calificado como técnicos en electromecánica, programadores y meteorólogos, el mantenimiento resulta más sencillo para todos.

Las estaciones meteorológicas automáticas, basadas en microprocesadores microcomputadoras y controladas por elementos de programación, son máquinas altamente adaptables, de gran salida de información, muy superiores respecto al sistema manual convencional en velocidad y calidad.

La adquisición automática de información meteorológica debería ser una fuente más barata de datos ya que por lo general una estación automática totalmente equipada vale menos que una estación meteorológica convencional. De no resultar más barata, debe proveer un medio para adquirir datos meteorológicos en áreas deshabitadas o en aquellos casos para los cuales sea difícil y hasta imposible obtenerlos manualmente en términos de calidad y velocidad. Se espera que la calidad de los datos sea comparable a aquellos obtenidos manualmente para propósitos operativos y científicos.

En un cierto número de países altamente industrializados se han llevado a cabo estudios acerca de los beneficios económicos de la automatización de la adquisición de datos

meteorológicos. Los resultados revelan un beneficio económico a largo plazo (Ureña, 1998), principalmente porque el observador meteorológico en esos países es muy bien pagado. Por otro lado, en nuestro país los observadores meteorológicos no son bien pagados, entonces, el beneficio es evidente aun desde el mismo momento de puesta en operación una nueva estación meteorológica automática.

Todas las estaciones meteorológicas automáticas están dotadas de un conjunto de sensores conectados a un sistema de interrogación, a su vez conectado con un sistema encargado de leer las señales provenientes de los sensores y, un sistema de transmisión y/o registro. La complejidad y magnitud de las funciones que se realizan, dependen principalmente de la dimensión total de la función que ejerce cada estación meteorológica automática y del grado de vigilancia humana, entre más cálculos internos se realicen y más datos se almacenan, el módulo de almacenamiento agotará su memoria disponible más rápidamente, haciendo necesario visitas más frecuentes para obtener la información.

Los primeros tipos de estaciones meteorológicas automáticas, estaban equipadas con sensores mecánicos: termómetro bimetálico, higrómetro de cabello, barómetro de cápsula aneroide, sensor de precipitación de balancín, etc. Algunos de estos sensores todavía son de uso habitual en diseños de estaciones automáticas.

Generalmente para uso en equipos automáticos basados en técnicas digitales, se prefieren los sensores de salida digital. Los sensores tradicionales necesitan adaptadores

complicados y traductores analógicos/digitales.

La determinación del tipo de estación que debe adoptarse en un lugar determinado depende del presupuesto, de los requerimientos de observación y de la accesibilidad del lugar.

Teniendo en cuenta todos estos factores, resulta en general aconsejable recurrir a la automatización para aumentar el número y calidad de las observaciones. Al mismo tiempo, resulta esencial considerar como se pueden integrar las observaciones automáticas con las manuales en un único sistema de datos.

Como un ejemplo de automatización está Brasil, en donde el servicio meteorológico planea a corto plazo poner en funcionamiento alrededor de 400 estaciones automáticas en todo el país. Colombia también representa otro ejemplo con unas 30 estaciones instaladas. Costa Rica no se ha quedado atrás en estos esfuerzos y va a la vanguardia en el área Centroamericana con unas 100 estaciones activas, en lugares tan remotos como la Isla del Coco. Algunas de estas estaciones registran parámetros meteorológicos y marinos y actualmente 10 de ellas cuentan con transmisión al satélite geoestacionario GOES.

En Schipol, Holanda, uno de los aeropuertos más importantes de Europa, se suspendieron todas las observaciones visuales a partir del año 2002, de tal forma que actualmente solo hay disponibilidad de observaciones realizadas por estaciones automáticas.

Es un hecho que el cambio de estaciones convencionales por estaciones automáticas se está dando en el planeta y, existe oposición a este cambio tecnológico ya que logísticamente el cambio no es sencillo, no se puede hacer otra cosa más que aceptar y entender la realidad de una nueva y más conveniente forma de registro de la información (Ureña, 1998).

Es importante en este punto mencionar el hecho de que el equipo electrónico que compone las estaciones automáticas, por su naturaleza y construcción (muy diferente a los mecanismos de relojería que componen las estaciones convencionales, aunque estas por supuesto también fallan), están sujetos a fallas que pueden ser calculados de acuerdo a leyes estadísticas, para producción de equipos electrónicos en serie.

La fiabilidad del equipo, o sea, la probabilidad de que una maquina o equipo trabaje continuamente sin fallas o sin variar significativamente sus características de operación, es de mucha importancia en el empleo de estaciones automáticas. Una fiabilidad del cien por ciento significaría que el equipo en cuestión no fallaría nunca (condición inalcanzable). Sin embargo, los proyectistas industriales se esfuerzan por lograr cifras de fiabilidad lo más altas posibles, tomando en cuenta consideraciones económicas y las consecuencias de una falla.

La clasificación de las estaciones meteorológicas automáticas se pueden enfrentar desde varios puntos de vista. Se ha hecho costumbre clasificarlas en dos clases principales, de acuerdo al propósito para el cual se utiliza la salida de información:

-Estaciones climatológicas (generan datos históricos)

-Estaciones sinópticas (datos en tiempo real para fines de pronóstico).

Los equipos representativos de ambas categorías pueden ser semejantes, excepto por la presencia de una unidad de codificación y de comunicación en las estaciones automáticas del tiempo real. Una unidad de comunicación no forma parte necesariamente de una estación climatológica y una estación sinóptica puede almacenar datos históricos.

Las dos clases principales de estaciones meteorológicas definidas anteriormente pueden subdividirse, según un emplazamiento de instalación en:

-Terrestre (urbanas, de desierto, de Montana)

-Oceánicas (a bordo de buques, boyas a la deriva, boyas fondeadas).

Pueden también clasificarse conforme a la finalidad de información: aviación, aviso de condiciones meteorológicas adversas, medición de contaminación, micro climatología, etc.

La calidad de un sensor para usar con equipo automático puede definirse considerando dos tipos de características del sensor:

Sus características funcionales como la exactitud en las mediciones, estabilidad de las características de calibración, tiempo de respuesta y durabilidad, también por sus rasgos de acoplamiento al equipo automático: salida digital o analógica, algoritmo de interpretación de la señal, requisitos de mantenimiento y requisitos de energía.

Los requisitos de exactitud para una estación automática sinóptica

(OMM, 1996) se muestran en la tabla 1.1

**Tabla 1.1 Requisitos de exactitud para una estación automática**

Elemento	Requisito de exactitud establecido
Presión atmosférica	± 0.1 hPa sobre tierra ±0.1 hPa sobre mar
Dirección del viento	± 20°
Rapidez del viento	± 2 m/s por debajo de 20 m/s ± 10% por arriba de 20 m/s
Temperatura del aire	± 0.2 °C
Precipitación	±0.5 mm por debajo de 5 mm ± 10% por arriba de 5 mm

### Descripción del sistema

Según el OMM (OMM, 1998), una estación meteorológica convencional (sinóptica y climatológica), debe contar con:

Parámetro	Sensor
Temperatura del aire	Termómetro
Temperatura del bulbo húmedo	Termómetro
Temperatura extremas	Termómetro de máxima y de mínima
Precipitación	Pluviómetro

Otros parámetros esenciales que debe registrar una estación sinóptica y recomendable en una estación climatológica son los siguientes:

Parámetro	Sensor
Presión	Barómetro y barógrafo
Rapidez del viento	Anemógrafo
Dirección del viento	Veleta

Como instrumentos deseables a añadir a los anteriores se citan los siguientes:

Termógrafo	Telémetro de nubes
Higrógrafo	Pluviógrafo
Heliógrafo	Termómetro de mínima sobre hierba
Termómetro de suelo	Termómetro de temperatura del agua
Radiómetro (actinógrafo)	Evaporímetro
Medidor de acumulación de hielo	Medidor cuantitativo del punto de rocío

Para una estación marino meteorológica es indispensable tener los siguientes sensores:

Parámetro	Sensor
Nivel de mar	Acústico o radar
Nivel del mar (respaldo)	Sensible a la presión que ejerce el agua
Temperatura del agua	Termistor

En las estaciones convencionales todos los parámetros se registran en bandas instaladas en un sistema de tambor rotativo, la banda de temperatura y humedad se cambia una vez por semana y las del viento,

radiación y precipitación se cambian una vez al día. Adicionalmente se tiene un pluviómetro que no es registrador sino que el observador debe anotar día a día en una bitácora la lectura de la medición de lluvia que él mismo realiza, también están los termómetros de máxima y de mínima que no son registradores y por lo tanto el observador debe anotar todos los días en la bitácora de la estación, los valores de las temperaturas extremas que se han registrado.

En las estaciones automáticas por lo general las señales de todos los sensores se leen cada diez segundos, al finalizar una hora, los datos de humedad, temperatura y rapidez del viento se promedian, los de radiación y precipitación se suman, se determina la dirección predominante del viento y se lee un único valor de presión atmosférica.

Una estación automática con transmisión al satélite está compuesta de un modulo central que se encarga al igual que un disco duro de un computador del almacenamiento de la información, ese modulo central, dependiendo de la marca de la estación, está acoplado al radio transmisor que se utiliza para enviar mediante una antena, la información a un satélite geostacionario que orbita la Tierra a una altura aproximada de 36000 km. Si la estación es de última generación junto con el modulo de almacenamiento se encuentra el modulador que permite que la estación sea interrogada en forma remota mediante la utilización de una línea telefónica. Otras estaciones transmiten mediante una señal de ultra alta frecuencia (UHF), hacia estaciones receptoras que mediante un programa de computadora permite decodificar y mostrar la

información en pantalla, con un limitante de aproximadamente 20 km en campo abierto, más allá de esa distancia se requiere de una repetidora para la transmisión de la información.

Los sistemas más modernos utilizan las torres de telefonía celular, lo que posibilita que la información pueda ser transmitida a distancias mucho mayores sin la necesidad de repetidoras.

Al modulo central llega la información de los sensores electrónicos mediante cables. Estos sensores son instalados en una torre de acuerdo con las especificaciones de la Organización Meteorológica Mundial.

Como ya se mencionó, en la actualidad existen muchas variedades y marcas de estaciones meteorológicas automáticas, sin embargo, para propósitos de este ensayo se va a proceder a describir los componentes de la casa fabricante Campbell Scientific Inc.

### **Descripción de los componentes**

#### **1. El termistor**

Es un semiconductor con un gran coeficiente de cambio de resistencia con la temperatura. Internamente el termistor tiene una resistencia fija ( $R_f$ ) conectada en serie con una resistencia  $R_s$  de 249 k $\Omega$  con una tolerancia de 0.1% (Campbell Scientific, Inc., 1991, f). La resistencia del termistor cambia con la temperatura, entonces la diferencia de potencial medido es una función directa de la resistencia.

La expresión general de la dependencia de la resistencia con la diferencia de potencial está expresada por la siguiente ecuación:

$$V_s/V_x = f(R_s) = R_f/(R_s + R_f)$$

En donde,  $V_s/V_x$  es la razón de la diferencia de potencial medio y la diferencia de potencial de excitación,  $R_f$  es la resistencia fija y  $R_s$  es la resistencia variable.

Para el cálculo de la temperatura se utiliza un polinomio de orden cinco que se desarrolla al correlacionar  $V_s/V_x$  con la temperatura. Sin embargo la precisión del sensor es una combinación de errores tales como: la especificación de intercambiabilidad de Fenwal, que es propia del componente electrónico que posee el sensor, la precisión del puente de resistores y el error polinomial (Campbell Scientific, Inc., 1991 f).

En el peor de los casos, todos los errores se suman en una dirección para entregar una precisión de  $\pm 0.4$  °C sobre el rango de medición de  $-33$  °C a  $+48$  °C. Por lo general el error en el registro de la temperatura es típicamente menor que el error especificado por el fabricante. El componente mayor de este error es de  $\pm 0.2$  °C, debido a la especificación de intercambiabilidad, de  $0$  °C a  $60$  °C ( $\pm 0.5$  °C a  $-40$  °C). El error de intercambiabilidad puede ser fácilmente compensado directamente en el programa de la estación, y puede ser determinado con un solo punto de comparación.

Las ventajas de los termistores desde el punto de vista termométrico son las siguientes:

El gran coeficiente de cambio de la resistencia con la temperatura permite que la diferencia de potencial

aplicada a través de un puente de resistencia sea muy reducida (Campbell Scientific, Inc., f, 1991). Esta pequeña diferencia de potencial a su vez contribuye a obtener una buena sensibilidad de las lecturas de las diferencias de potencial en el puente, reduciendo por lo tanto, o incluso eliminando la necesidad de tener en cuenta la resistencia de los cables y sus cambios.

Los componentes pueden ser de tamaño muy pequeño de modo que sus capacidades térmicas y, por ende sus tiempos de respuestas, son también bajos.

Por lo general la señal del termistor es leída cada diez segundo. Para el cálculo de la temperatura media diaria se utilizan los 8640 datos que han sido registrados en una localidad de memoria del módulo de procesamiento en 24 horas. El mayor valor y el menor de estos 8640 datos, representan la temperatura máxima y mínima del período respectivo.

La figura 2 muestra la apariencia externa de un sensor de temperatura de aire y humedad relativa.



Figura 2. Sensor HMP 155 para temperatura y humedad

## 2. El higrómetro de resistencia eléctrica

Este sensor utiliza una película higroscópica delgada de cloruro de litio (LiCl) cuya resistencia varía con los cambios de humedad relativa del aire, (Campbell Scientific, Inc., 1991 a).

Los sensores de cloruro de litio presentan histéresis, sobre todo cuando cambian de valores de humedad altos a bajos. Son sensibles a la temperatura, con un tiempo de respuesta que aumenta a medida que la temperatura desciende y por lo general poseen características de estabilidad pobres.

Existen errores asociados al circuito que transforma el cambio de resistencia en cambios de potencial, aunque han mejorado con el tiempo, muestran que en el trópico se deterioran con mayor rapidez. Los higrómetros de resistencia eléctrica son muy prácticos para el usuario que solo desea realizar una conexión eléctrica sencilla, sin tener que hacer ningún cálculo adicional.

## 3. El pluviómetro de balancín

Su diseño es similar al de todos los pluviómetros y su diferencia reside en la forma de medir la precipitación. Este instrumento consta de un ligero recipiente que está dividido en dos compartimentos en equilibrio inestable respecto a un eje horizontal. La precipitación se recoge en el compartimento que está más alto y una vez que se haya recogido la cantidad de lluvia que permite el compartimento, el depósito pasa a estar en equilibrio inestable y se inclina sobre la otra posición de reposo. Al inclinarse el depósito, se produce un pulso eléctrico que indica que cambió de posición. Este

pulso se traduce en 0.1 mm de lluvia (0.1 litros de precipitación por metro cuadrado de terreno). El sensor tiene un tiempo de cierre de 135 ms, esto quiere decir que para eventos de lluvia extremos en los que el depósito se llene en menos de 135 ms, el sensor no tiene la capacidad de registrar el valor, lo que constituye una de las principales desventajas de este instrumento (Suárez y Alfaro, 1997). De acuerdo con la especificación del fabricante, la exactitud de este pluviómetro es de 1% para intensidades de lluvia de 50 mm/h o menos, (Campbell Scientific, Inc., 1991 e).

## 4. El piranómetro eléctrico

El fotodiodo de silicio ha hecho posible la construcción de piranómetros simples con una precisión aceptable en la región donde la calibración del fotodiodo es estable. La respuesta espectral del sensor fotodiodo no es ideal (igual respuesta entre los 0.28 y los 2.8<sup>0</sup>m), pero esto no causa serios errores si el sensor es utilizado solamente para medir radiación solar bajo condiciones donde no se altere la distribución espectral.

La respuesta espectral del fotodiodo de silicio no se extiende uniformemente sobre todo el rango de radiación solar. La respuesta es muy baja en los 0.4<sup>0</sup> m y se incrementa casi linealmente hasta un máximo en los 0.95 nm, en este punto, decrece casi linealmente hasta los 1.2 nm. Los cambios en la distribución espectral de la luz incidente junto con la no uniforme respuesta espectral del sensor, pueden causar errores en el registro de radiación, (Campbell Scientific, Inc., 1991 b).

La distribución espectral de la radiación solar directa más la radiación difusa incidente sobre una superficie horizontal es prácticamente constante en el rango de 0.4 a 0.7 nm, cuando se comparan días despejados y días nublados. La mayor variabilidad en la distribución espectral de la radiación solar ocurre en el infrarrojo cercano, donde la absorción de radiación por vapor de agua es importante en los días nublados. Los datos registrados de radiación global para ángulos de radiación solar muy bajos muestran errores significativos por la gran alteración que sufre la distribución espectral cuando el espesor que debe atravesar la radiación es de dos o más veces el espesor de la atmósfera. La radiación durante el tiempo en que el sol se encuentra bajo constituye una pequeña parte del total diario. Así que el error total observado usualmente tiene un error insignificante al integrar la radiación de todo el día.

La figura 3 muestra el sensor de radiación global Li-cor Li200



Figura 3. Sensor de radiación global

## 5. Velocidad y dirección del viento.

El viento es una cantidad vectorial que tiene magnitud y dirección y es considerado en términos de tres componentes, ubicándose dos de ellas en un plano paralelo a la superficie de la Tierra y la tercera perpendicular a ese plano (OMM, 1997). Por la gran dificultad que implica el medir la componente vertical, esta no se reporta para fines meteorológicos operativos y por lo tanto se considera el viento en superficie como una cantidad vectorial en tres dimensiones.

A continuación, algunas definiciones importantes con la medición del viento:

a) La constante de tiempo: Es el tiempo que requiere un aparato para detectar e indicar aproximadamente el 63% de un cambio instantáneo.

b) La constante de distancia: Es el paso del viento requerido para la lectura de un sensor de viento indique aproximadamente el 63% del cambio instantáneo en la velocidad del viento.

c) La amortiguación crítica: Es el valor teórico de la fuerza de amortiguación en los pivotes de la veleta que hace que esta indique el cambio en dirección en el menor tiempo posible sin que se produzcan grandes fluctuaciones alrededor del punto de equilibrio.

d) la relación de amortiguación: Es la relación entre la amortiguación real y la amortiguación crítica.

Los anemómetros de cazoleta y de hélice se utilizan habitualmente para la determinación de la rapidez del viento y comprenden dos subsistemas: el rotor y el generador de señal. En los sistemas bien diseñados, la velocidad angular del rotor, prácticamente es directamente proporcional a la rapidez del viento, más aun cuando se trata rotores de hélice que miden la componente de la velocidad del viento, paralela al eje de rotación. Sin embargo, cerca del umbral de velocidad, se producen considerables desviaciones con respecto a la linealidad.

La respuesta (buena o mala) ante el cambio de rapidez del viento que tienen los sensores de cazoleta y de hélice, se puede caracterizar por una constante de distancia que es directamente proporcional al momento de inercia e inversamente proporcional a la densidad del aire, además, depende de cierto número de factores geométricos.

El sensor de velocidad y dirección del viento de la casa Campbell Scientific Inc., consiste en tres cazoletas de aluminio montadas sobre una base de acero inoxidable el cual rota sobre unos roles de precisión debidamente sellados, sistema que se conecta a un imán que al rotar causa el cierre de un interruptor. Se producen dos contactos (cierre de interruptor) por cada vuelta que da, y la frecuencia de cierre es lineal hasta unos 45 m/s, (Campbell Scientific, Inc., 1991 d).

El umbral de rapidez para este instrumento es de 0.477 m/s, y la relación entre rapidez y frecuencia está dada por la siguiente ecuación:

$$V = 0.447 + f/1.250$$

El sensor de dirección del viento utiliza un potenciómetro en el cual la resistencia del sensor cambia (y por lo tanto la diferencia de potencial entre las terminales del potenciómetro), entonces, la diferencia de potencial se traduce en grados, (Campbell Scientific, Inc., 1991 d).

### **Transmisión y recepción de la información**

La transmisión de los datos es un proceso realmente simple. El cerebro principal de la estación almacena la información en localidades de memoria, luego de tres horas la información se convierte de su formato original a un formato pseudobinario, principalmente con el fin comprimir la información para que la transmisión no supere el minuto, la información se envía mediante una antena a un satélite geoestacionario que se encuentra a 36000 km sobre la superficie terrestre, el satélite reenvía la información a una estación terrena donde se recibe en pseudobinario y mediante un programa de cómputo se decodifica a su formato original, si la información es colocada en una página web, puede estar disponible para cualquier usuario alrededor del mundo.

Si las estaciones se encuentran a menos de 20 km en espacio abierto del lugar en el que se procesa y recibe la información, esta puede ser transmitida vía radio, utilizando este mecanismo la información no requiere ser convertida a otro formato, se envía y recibe como texto

En los lugares exista el recurso, el computador con la información se puede conectar mediante Internet y así poner a disponibilidad del usuario la información en tiempo real.

Las estaciones automáticas de última generación contienen un sintetizador de voz, lo que permite la transmisión de la información hablada por vía radio, este mecanismo se utiliza principalmente para transmitir información meteorológica y del estado del mar a embarcaciones que naveguen mar adentro.

### **Mantenimiento**

Por su bajo costo (aproximadamente US\$ 10) y su robustez, los termistores son los sensores que del todo no requieren mantenimiento, una vez que se detecta que los datos que generan no son lógicos se procede a reemplazar el sensor por uno nuevo.

El sensor de humedad relativa debe ser revisado y limpiado cada vez que se visite la estación o al menos una vez al año, estos sensores por lo delicado de su construcción solo pueden ser calibrados por el fabricante.

El sensor de precipitación es posiblemente el más sencillo de los sensores que contiene una estación, su mantenimiento se resume principalmente en revisar la boca del sensor para asegurarse que no haya basura o excremento de aves, pues al estar instalado a una altura considerable es difícil que otros animales lo logren alcanzar. La calibración del balancín se puede realizar con facilidad utilizando una bureta y no requiere que sea mandado a la fábrica para su verificación.

El sensor de radiación es difícil de calibrar, principalmente porque se necesita un patrón primario como comparación, pero en el caso de este sensor se ha comprobado (Ureña, 1998)

que permanece dentro del rango por periodos largos de tiempo, por su bajo costo puede ser reemplazado en un periodo de tres a cuatro años.

El sensor de dirección y velocidad del viento requiere de reemplazo de roles cada dos años aproximadamente o año y medio si la estación está instalada en la costa. El proceso de calibración es delicado pero se puede realizar sin necesidad de que el equipo sea enviado a la fábrica.

El grabador de datos requiere de poco mantenimiento, básicamente reemplazar la baterías de litio cada dos años, sin embargo es necesario realizar una inspección general del sistema a fin de detectar cualquier otro fallo como un fusible quemado o una batería de operación con la carga baja.

En caso de que el transmisor se desajuste en su frecuencia de transmisión, solamente el fabricante está en capacidad de revisarlo por lo delicado y complejo que es el procedimiento.

### **Conclusiones**

Es indiscutible que la tecnología electrónica en el registro de la información meteorológica ha revolucionado y continuar revolucionando la obtención de registros de datos y accesibilidad a la información. Una de las principales ventajas de las estaciones automáticas sobre las convencionales la representa la total eliminación de la subjetividad y los errores de la persona que procesa las bandas que contienen la información de los instrumentos registradores.

Las primeras estaciones automáticas tenían una autonomía de 45 días aproximadamente (depende del número de datos que se registren), sin embargo, con la utilización de tarjetas de memoria la autonomía puede extenderse fácilmente hasta 6 meses, llegando hoy es día a autonomías de hasta 10 años utilizando tarjetas de memoria como las que utilizan las cámaras digitales o los teléfonos celulares, con la ventaja de tener que realizar visitas periódicas, principalmente en aquellos lugares de difícil acceso o tan alejados como la Isla del Coco, donde los costos de una visita son muy altos.

Si la estación tiene transmisión de información por satélite, los datos pueden ser obtenidos casi en tiempo real (cada tres horas o en algunos casos cada minuto), permitiendo una vigilancia de las condiciones del estado del tiempo en zonas alejadas, adicionalmente, si las estaciones son marino-meteorológicas, permiten la vigilancia del clima marino y el establecimiento de sistemas de alerta temprana relacionados con el arribo de posibles ondas de tsunamis.

Las estaciones conectadas por radio, por teléfono o por Internet, permiten el acceso a la información en tiempo real (1 minuto), durante las 24 horas del día y 365 días al año, procedimiento que es imposible para una estación convencional.

Si bien una estación automática puede trabajar sin supervisión durante periodos largos de tiempo, es muy recomendable revisar la calidad de los datos que se están registrando. Solo así es posible detectar errores por mal funcionamiento de la estación, ya que, a excepción de los instrumentos registradores de velocidad y dirección del viento, no es posible con una simple inspección visual saber si están o no funcionando bien.

Las estaciones automáticas no dependen de la continuidad del fluido eléctrico, ya que energéticamente son autónomas pues mediante paneles solares mantienen cargadas las baterías de operación y transmisión lo que permiten el adecuado funcionamiento de todo el instrumental.

## Referencias

- Campbell Scientific, Inc., a, (1991). *HMP35C Temperature and Relative Humidity Probe*. Campbell Scientific.
- Campbell Scientific, Inc., b, (1991). *LI 200S Pyranometer*. Campbell Scientific.
- Campbell Scientific, Inc., c, (1991): *Met-One speed sensor*. Campbell Scientific.
- Campbell Scientific, Inc., d, (1991). *Met-One Wind Direction sensor*. Campbell Scientific.
- Campbell Scientific, Inc., e, (1991). *Tipping Bucket Rain gauge*. Campbell Scientific.
- Campbell Scientific, Inc., f, (1991). *Temperature Probe*. Campbell Scientific.
- Castro, V. y Ureña, F., (1999). *Comparison of data generated by automatic vrs tradicional Weather Stations*. Second conference on experiencies with automatic weather stations. Viena, Austria. ICEAWS.
- Organización Meteorológica Mundial, (1998). *Compendio de apuntes sobre instrumentos meteorológicos (OMM N° 622)*. OMM, Ginebra Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial, (1997). *Manual del sistema mundial de observación*. OMM, Ginebra Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial, (1996). *Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos (OMM N° 8)*. Secretaría de la organización meteorológica mundial, OMM, Ginebra Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial, (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. Understanding Climate Change: A Beginners guide to the United Nations Framework Convention. Recuperado el 21 de febrero de 2011 de: <http://unfccc.int/cop4/sp/conv/beginner.html>*
- Suárez, M., (1996). *Comparación de datos generados por una estación meteorológica automática y una manual*. Tópicos meteorológicos y oceanográficos. Volumen 2, N° 3.
- Suárez M., Alfaro, R., (1997). *Corrección de datos de lluvia generados por un sensor automático de balanza*. Tópicos meteorológicos y oceanográficos. Volumen 4, N° 1.
- Ureña, F., (1998). *Análisis de datos generados por una estación meteorológica automática*. Tesis para optar por el grado de licenciatura en meteorología. Universidad de Costa Rica.
- Weidner, G., y Keller, L., (2000). *Utilization of Automatic Weather Station Data for Forecasting High Wind Speeds at Pegasus Runway, Antarctica*. American Meteorological Society Journal. Volumen 15, N° 2, 2000.
- Wood, L., (1946). *Automatic Weather stations*. Journal of the Atmospheric Science. 3( 4).

## Nota acerca del autor

### Fernando Ureña Elizondo

Físico y meteorólogo, encargado de la cátedra de física de la UNED. Máster en tecnología educativa de la UNED.

Correo electrónico: furena@uned.ac.cr