

21. Sensoramiento remoto y Meteorología

Desarrollo de una estación meteorológica automática

Cruz Torrico, Leydi Aydee; Choque Choque, Justo Franz;

leydi_49ca@hotmail.com; franzjustoetn@gmail.com

Facultad de Ingeniería

Universidad Mayor de San Andrés

Resumen

La medición de variables climáticas en tiempo real genera varios beneficios, entre ellos podemos destacar la reacción de manera oportuna a desastres causados por fenómenos climatológicos, conocimiento acerca del macroclima de un lugar específico, entre otros. Las estaciones meteorológicas DAVIS, mundialmente reconocidas poseen un alto costo, particularmente aquellas que cuentan con dispositivos de comunicación de acceso a la nube; lo que implica que su adquisición significa una alta inversión.

En Bolivia, el sistema nacional de meteorología cuenta con 450 estaciones, de las cuales muy pocas son automáticas por el alto coste que éstas representan. Es en vista a esta problemática que se propuso desarrollar una estación meteorológica automática que cumpla con los criterios de la Organización Mundial de Meteorología (OMM), y que asimismo fuese capaz de recolectar y subir datos inclusive en lugares sin cobertura de redes celulares. Para poder llevar a cabo dicho objetivo se dividió el sistema en dos partes, sensores meteorológicos y comunicación de datos al servidor. Durante el desarrollo del proyecto se aplicó el método científico y comparación para validar nuestros datos; en cada etapa del proyecto se planteó diferentes hipótesis que fueron validadas a través de la adquisición y tratamiento de datos. Se procedió a la construcción de una garita meteorológica en el margen de la normativa de la OMM, incluyendo el acondicionamiento y tratamiento individual de las señales para cada sensor, etapa en la que lidió con los comportamientos no lineales de estos. A continuación se desarrolló un sistema de auto-gestión de energía que requirió de un sistema de control ON-OFF cuyas pruebas finales. La etapa final se dedicó al desarrollo de la red de comunicación hacia el servidor, con el objetivo de tener una red económica y versátil.

Palabras clave: meteorología, estación, desarrollo, automática

Introducción

La meteorología es la ciencia encargada del estudio de la atmósfera, de sus propiedades y de los fenómenos que en ella tienen lugar, los llamados meteoros. El estudio de la atmósfera se basa en el conocimiento de una serie de magnitudes, o variables meteorológicas, como la temperatura, la presión atmosférica y la humedad entre otros. Una estación meteorológica normalmente dispone de varios instrumentos y para que las medidas de las variables meteorológicas se puedan hacer correctamente, se deben realizar atendiendo a los criterios establecidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Estos criterios se basan en la correcta ubicación, orientación y análisis de condiciones del entorno que puedan afectar a los aparatos medidores y alterar los resultados obtenidos.

El tiempo atmosférico es uno de las principales condicionantes de las actividades que realizadas, especialmente de aquellas que se ejecutan al aire libre como la agricultura. A partir del conocimiento de las condiciones climáticas de un lugar, es posible desarrollar sistemas de alerta temprana para reaccionar de manera rápida y precisa ante fenómenos climatológicos y sistemas de agro meteorología que sirvan de apoyo a la agricultura, ahí radica la

importancia de la meteorología. Sin embargo es necesario disponer de una extensa red de estaciones meteorológicas que puedan entregar información en tiempo real. Un claro ejemplo de ello es Italia que consta de una red 3500 estaciones automáticas (CIMA, 2013). En contraste Bolivia para el 2013 contaba con un sistema de 119 estaciones meteorológicas (FAO, Óscar Mendoza, 2013). Actualmente cuenta con un sistema total de 450 estaciones, de ellas 74 son automáticas, las demás son manuales o están descontinuadas (SENAMHI, 2017). Es evidente que la cantidad de estaciones que Bolivia posee causa que el sistema nacional de meteorología no sea altamente eficiente.

Objetivos

Objetivo General

- Diseño y construcción de una estación meteorológica automática que siga los criterios establecidos de la OMM.

Objetivo Específicos

- Desarrollo de hardware basado en características específicas de dimensionamiento.
- Construcción de una garita meteorológica que cumpla con los criterios de la OMM.
- Desarrollo de un sistema gestor de energía autónomo.

- Desarrollo de un sistema de comunicación estación-servidor.
- Desarrollo del sistema de tratamiento de datos, embebido en un μC (microcontrolador).

Materiales y Métodos

Para poder desarrollar la estación meteorológica automática, se dividió el sistema en dos partes:

1. Sistema de adquisición y tratamiento de datos provenientes de los sensores.
2. Sistema de enlace de comunicación entre la estación y el servidor.

Adquisición y tratamiento de datos provenientes de los sensores

Para poder interpretar los datos provenientes de los sensores, procesarlos, almacenarlos y comunicarlos fue necesario hacer uso de un microcontrolador (μC), dispositivo electrónico cuya principal función es manejar toda la lógica del sistema (firmware).

Las variables meteorológicas que la estación desarrollada mide son: viento, lluvia, temperatura y humedad ambiente, horas de sol y presión atmosférica.

Para poder diseñar una estación que estuviera dentro los criterios establecidos por la OMM fueron escogidos sensores que cumplieran con la resolución y precisión recomendadas para cada

variable. En la tabla 1 se puede apreciar dichos rangos.

<i>Resoluciones y precisiones recomendadas para el sistema acorde normas de la OMM</i>		
Variable meteorológica	Precisión del sistema	Resolución de la medida
Velocidad del viento (horizontal y vertical)	$\pm(0.2 \text{ m/s} + 5\% \text{ de observación})$	0.1 m/s
Dirección del viento (azimut y elevación)	± 5 grados	1.0 grado
Temperatura ambiente	± 0.5 °C	0.1 °C
Diferencia temperatura vertical	± 0.1 °C	0.02 °C
Temperatura de punto de rocío	± 1.5 °C	0.1 °C
Precipitación	$\pm 10\%$ de observación o $\pm 5\text{mm}$	0.3 mm
Presión	$\pm 3\text{mb}$ (0.3 kPa)	0.5 mb
Radiación Solar	$\pm 5\%$ del observado	10 W/m ²
Humedad Relativa	$\pm 3\text{HR}\%$	1 HR%

TABLA 1

Viento. Para poder medir el viento se utilizó un anemómetro de cazoletas y una veleta.

El anemómetro usado es un sensor de contacto, este contacto se cierra cada 2.4Km/h, por lo tanto su acondicionamiento fue hecho a través de la lectura del tren de pulsos que este genera. La veleta es un sensor del tipo resistivo, así que el acondicionamiento de su señal fue hecho a través un divisor de tensión, a pesar que su acondicionamiento fue sencillo para su calibración se requirió el almacenamiento de toda la tabla de ángulos en el μC . Ambos sensores cuentan con un conector RJ11.

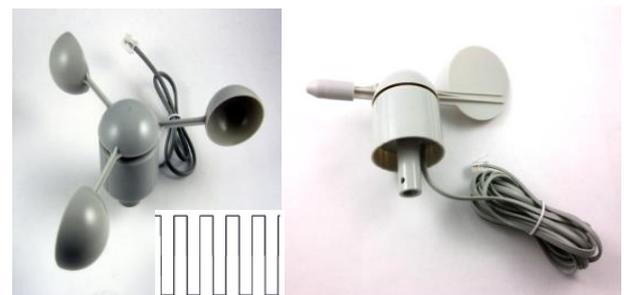


FIGURA 1. SENSORES DE VIENTO

Lluvia.- El tipo de pluviómetro utilizado fue de balancín, este cierra su contacto cada vez que se genera paso de 0.2794 mm de precipitación pluvial. El acondicionamiento de su señal fue similar a la del anemómetro.



FIGURA 2. SENSOR DE LLUVIA

Horas de sol.- Para poder medir esta variable utilizamos un sensor del tipo resistivo(LDR), para el acondicionamiento de su señal fue necesario establecer la zona lineal de trabajo. Después de realizar varias pruebas se determinó que dicha zona en nuestro caso varía de entre 50Ω a 150Ω

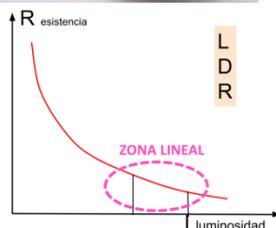
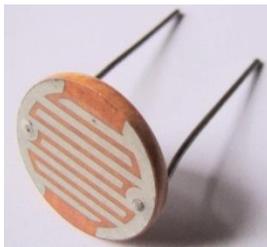


FIGURA 3. SENSOR DE LUZ

Temperatura y humedad ambiente.- Escogimos un sensor que cumpliera con

los requerimientos sugeridos por la OMM para la medición de dichas variables físicas. El sensor escogido fue el sensor DHT22, un sensor del tipo digital que mide temperatura y humedad ambiente con una resolución de 0.5°C y 2 %HR.

Presión atmosférica.- El sensor escogido fue BMP180, un sensor digital cuya comunicación es mediante protocolo I2C, cuya resolución es de 0.24 mb.

Dada la naturaleza de los sensores digitales no es necesario el paso de acondicionamiento de la señal, el acondicionamiento es algo propio de cada sensor que viene embebido dentro de sus respectivos protocolos de comunicación. Para estos sensores sólo basta con generar un REQUEST hacia el sensor para obtener el valor de la lectura de la variable física.

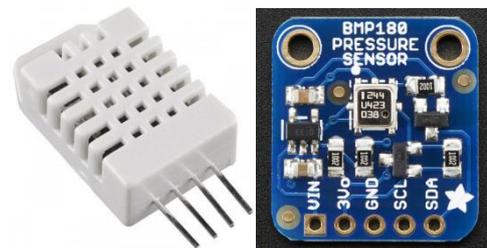


FIGURA 4. SENSORES DIGITALES
(DHT22 Y BMP180)

Comunicación de la estación con el servidor.

Para poder comunicar los datos proporcionados por los sensores meteorológicos se desarrolló un módulo independiente cuya principal función es subir los datos obtenidos del módulo de sensores al servidor a través de la tecnología GPRS. Dicho módulo está principalmente constituido por módulos de comunicación (GPRS y RF) y controlados a través de un μC , el que fue escogido basado en las características particulares del sistema (PIC18F24J50).

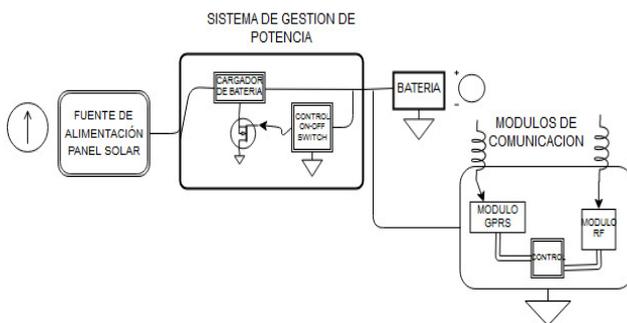


FIGURA 5. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE LA ESTACIÓN AL SERVER

Resultados y Discusión

Garita

Una garita o pantalla de radiación tiene como principal objetivo proteger los sensores dentro de ella de la radiación y del medio ambiente. Esta debe estar diseñada para proporcionar un recinto con una temperatura interna que sea uniforme e igual al del aire exterior. En buenos

diseños el error ($T_{\text{garita}} - T_{\text{aire}}$) es pequeño, pero la diferencia entre una garita efectiva y una no efectiva es de 3°C o más en algunos casos.

En una primera versión se usó un doble encapsulado para garita, ambos hechos de plástico uno ranurado y el otro no (fueron los únicos disponibles en el mercado ($5 \times 5 \text{cm}$) y ($4 \times 3 \text{cm}$)). Para poder leer la temperatura ambiente, se generó una sombra para la garita, de esta forma se aseguró que lectura no fuera de aire caliente. Después de realizadas varias pruebas, se observó que teníamos lecturas falsas; el valor de la temperatura terminaba altamente afectada, alrededor de 15°C por encima del valor real, esto como consecuencia del rebote de la radiación solar proveniente del suelo. Para poder evitar este fenómeno, había que evitar todo tipo de filtraciones luz hacia la garita por lo que se pusieron aletas a 45° a todas las ranuras, el material escogido fue madera por su propiedad de funcionar como buen aislante. Como consecuencia de no tener buena circulación del aire lecturas obtenidas estaban alrededor de 10°C por encima valor real en determinados horarios. Basados en estos resultados se forró internamente la garita de madera, además de agregarle una nueva cara por donde el aire podía circular mejor, se la pintó de color blanco, color sugerido por su índice de reflexión. Teniendo como resultado que

la temperatura en máximas condiciones de radiación se viera levemente afectada (2°C).



FIGURA 6.
EVOLUCION DEL DESARROLLO DE LA
GARITA METEOROLOGICA



FIGURA 7.
GARITA POSICIONADA PARA LAS
PRUEBAS Y SU RESPECTIVA VISTA
SUPERIOR SIN TAPA

Potencia

La fuente de alimentación del sistema es proporcionada por una batería de litio en cada módulo. Después de realizadas varias pruebas identifique la parte del sistema que consume más energía, estas son las transacciones producidas durante la comunicación de los datos de los sensores hacia el sistema de comunicación del server.

Para que el sistema sea automático debe ser autónomo en términos de energía, es por ello que se usó paneles solares para proveer al sistema de independencia energética. Para la gestión de la energía se desarrolló un sistema de potencia autónomo, cuyo principal objetivo es cargar la batería de manera eficiente. Además gestiona la energía de la batería de forma tal que se consuma menor cantidad de energía posible.

Para poder realizar el control con dichas características se usó un sensor de luz (LDR). Se realizaron varias pruebas hasta poder encontrar los valores adecuados que garantizan que el panel solar tiene suficiente potencia para cargar batería y alimentar el sistema, o sólo alimentar el sistema. De este modo trabajar el control en modo ON-OFF.

Dadas las constantes variaciones que sufre el clima en la ciudad de La Paz, se implementó un algoritmo que le permite

distinguir al sistema cuando ahorrar energía basado en la potencia del panel solar que alimenta el sistema. Por ejemplo en el caso de identificar un día nublado el consumo de potencia se reduce, reduciendo las transacciones en la comunicación.

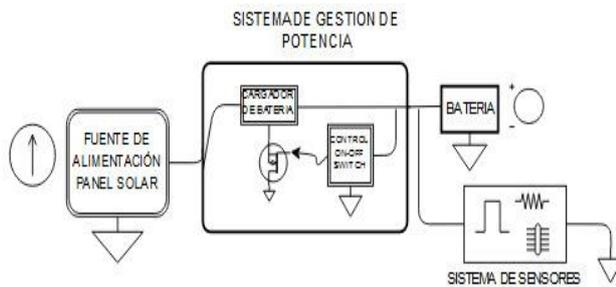


FIGURA 8. DIAGRAMA DE BLOQUES
SENSORES METEOROLOGICOS
Y SU SISTEMA DE POTENCIA

Sensores

Para el completo acondicionamiento e instrumentación de los sensores que componen la estación meteorológica, se trabajó sobre cada uno ellos de manera individual. Llegando así a las siguientes conclusiones:

- Sensor DHT22 presenta un comportamiento no lineal para la medida de la humedad relativa a partir de 2.9V. Teniendo un sistema cuya alimentación varía entre 3.5V - 2.75V, fue necesario poder modelar la dinámica del sensor entre los rangos de 2.75V y 2.9V para ello fue necesario hacer un ajuste de mínimos cuadrados

con una gran cantidad de datos (se generaron alrededor de 20 curvas) llegando a obtener la curva aproximada (Figura 9) para el comportamiento del error de humedad relativa en base al voltaje de alimentación.

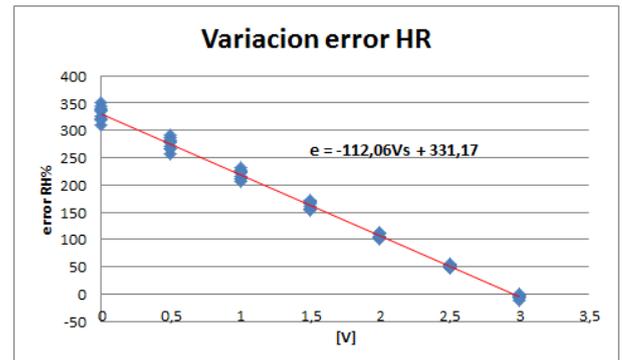


FIGURA 9. CURVA DE AJUSTE PARA EL
ERROR DE HUMEDAD RELATIVA

- Para la veleta fue necesario generar una tabla con los 12 valores de los ángulos en función de los valores leídos en el ADC del μC , caso contrario se generaban lecturas erróneas.
- Tanto el pluviómetro como el anemómetro, son sensores que cierran un contacto para su funcionamiento, se estableció sus salidas como entradas de interrupción en el μC , de esta manera se aseguró que el sistema no pierda ningún dato.
- Para el sensor de horas de sol, se definió la zona lineal donde era sensible al tipo de intensidad

Universidad Nacional de Cuyo | Mendoza | Argentina

17, 18 y 19 de octubre de 2018

luminica emitida por el sol entre el horario de 6 A.M. y 6 P.M., ya definida la zona lineal se trabajó para poder identificar los diferentes eventos lumínicos: amanecer, anochecer y obstrucción sol por nubes.

Procesamiento de los datos

El procesamiento de todas las señales provenientes de los sensores requirió el desarrollo de un algoritmo, en el cualse pudiera embeber los datos vectoriales provenientes del viento (medias, ráfagas, dirección), como también las medias de las demás medidas, las cuales en esencia son más sencillas dadas su naturaleza escalar como variables físicas. El procesamiento restante, que involucra la conversión de las unidades de las variables y su almacenamiento son trabajo por parte del servidor.

Inicialmente para poder procesar toda la información se escogió PIC16f913, sin embargo conforme se avanzó en el tratamiento de datos de cada variable, se presentó el grave problema de desbordamiento de la RAM del μ C, por lo tanto fue necesario hacer el cambio de procesador a uno de mayor gamma terminando por escoger al PIC18f24j10.

Hardware

Toda la lógica de funcionamiento, acondicionamiento de las señales,

procesador entre otros deben estar sostenidos por una tarjeta de circuito impreso (hardware), la misma que debe ir dentro la garita. Como se mencionó en el desarrollo de la garita,el único material que se hallópara la parte interior consta de una dimensión de 4x3cm, esto generó limitaciones a la hora de poder desarrollar la tarjeta electrónica. Como consecuencia de tener limitaciones de dimensionamiento fue necesario desarrollar varios prototipos llegando así al diseño final del hardware del sistema de los sensores. Donde la tarjeta final tiene un dimensionamiento de 34x65mm como se puede apreciar en la Figura 10



FIGURA 10. EVOLUCION DEL HARDWARE DEL SISTEMA DE SENSORES

Cabe recalcar que el sistema de comunicación de la estación hacia servidor está separado del sistema de sensores. Este módulo fue desarrollado de esa manera para que la estación no tenga que estar necesariamente en una región de cobertura de red celular para poder tomar y subir sus datos.

Para dicho sistema se utilizó una pila de litio de 2600mAh dado que la potencia que consume el módulo GPRS es alta.

Al igual que el sistema de sensores se diseñó su hardware en base a las limitaciones de dimensionamiento, basados en los tamaños de los envases hallados en el mercado local. Teniendo como resultado el sistema de la figura 11



FIGURA 11. SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE LA ESTACIÓN AL SERVER

Inicialmente se escogió para dicho sistema un panel solar de 0.3W, el cual fue descartado después de realizadas las pruebas, teniendo como resultado final usar un panel de 3W.

Comunicación

Se identificó que los módulos de comunicación RF utilizados en nuestro diseño eran muy sensibles a la contaminación electromagnética causada por las diferentes señales que existen en la banda 2G en la ciudad. A partir de ello se definió realizar pruebas en zonas rurales para hallar la distancia máxima de enlace, dado que la distancia máxima nominal del módulo RF es de 2Km. La primera fue en carretera a Laja obteniendo un alcance de 1.5Km en terreno plano, la segunda prueba fue realizada en la Playa de Copacabana obteniendo un enlace hasta 2.5Km como se aprecia en la figura 12

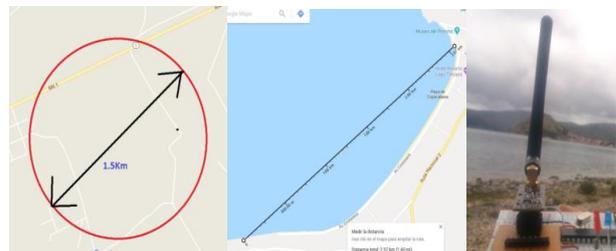


FIGURA 12. GOOGLE MAPS PUNTOS DE PRUEBA DE RADIOENLACE

Con ello se determinó que el sistema de comunicación de datos de la estación hacia el server usando un solonodo tiene un enlace a 2.5Km como distancia máxima para transmitir los datos

Obtenido el dato de distancia máxima para los módulos RF, se trabajó con la tecnología de telemetría, la cual permite

subir los datos al servidor. Lo más importante es hallar una zona con cobertura red celular; considerando que varias zonas rurales en nuestro país no tienen acceso total a una red celular (red GPRS) se desarrolló un subsistema de comunicación que en caso de que fuese necesario este permite realizar una red de comunicación instalando varios módulos RF los cuales funcionan como repetidoras, llegando así a cubrir amplias zonas de 2.5x2.5Km dependiendo del tipo de terreno. Esto está esquematizado en la figura 13.

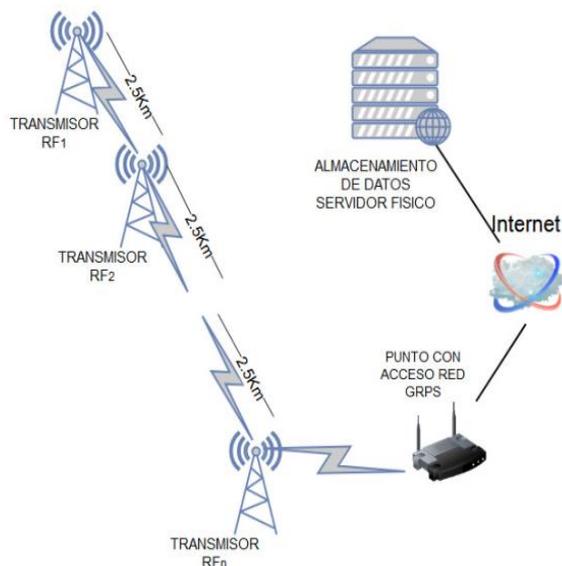


FIGURA 13. ESQUEMA DE
RADIOENLACE

Conclusiones

- Se pudo desarrollar una estación meteorológica que cumple con casi todas las directrices establecidas

por la OMM, cabe señalar que único sensor que no cumple con la resolución mínima recomendada por la OMM es la veleta, la misma puede ser cambiada pero el trabajar con instrumentos de más alta resolución tiene un efecto directo en los costos.

- Embeber el tratamiento de datos provenientes de todos los sensores fue una tarea que requirió de bastante tiempo, dado la escasa información que existe y los diferentes criterios que se tiene para tratar los datos vectoriales especialmente.
- Generar un sistema de potencia autónomo requirió de un tiempo prolongado, tanto en la validación de las diferentes hipótesis como en la etapa de pruebas finales.
- Se demostró que es posible montar una red de comunicación a bajo costo, sin embargo ello requiere de inversión alta de tiempo dado que es necesario probar radioenlace por radioenlace.
- Finalmente el desarrollar hardware que viene con limitaciones de dimensionamiento representa un verdadero reto, que requiere de mucha habilidad por parte del diseñador.

Bibliografía

- World Meteorological Organization. (2010). *Guide to agricultural meteorological practices* (10th ed., pp. pp.27-28). Geneva, Switzerland.
- Castro Fonseca, E. (2018). *Manual de Procedimientos para las Estaciones Meteorológicas*. [Ebook] (1st ed., pp. pp.12-48). Sarapiquí. Retrieved from <http://www.ots.ac.cr/meteoro/files/manual.pdf?pestacion=1>
- CAMELO PINZÓN, J., & DÍAZ VALDERRAMA, J. (2008). *DISEÑO E IMPLEMENACIÓN DE UN CARGADOR SOLAR PARA DISPOSITIVOS PORTÁTILES*. [Ebook] (1st ed., pp. 21-50). Bogota. Retrieved from <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/42140.pdf>
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (2000). *Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications* [Ebook] (2nd ed., pp. 17-109). New York. Retrieved from <https://www3.epa.gov/scram001/guidance/met/mmgrma.pdf>
- Pérez García, M., AlvarezAnton, J., & Campo Rodriguez, J. (2004). *Instrumentación Electrónica* (3rd ed., pp. 99-144). Madrid: Consuelo GarciaAscensio.
- CAMPBELL SCIENTIFIC, INC. (1997). *Weather Station Siting and Installation Tools* [Ebook] (1st ed., pp. 2-7). Utah. Retrieved from https://www.eoas.ubc.ca/courses/at-sc303/Instruments/manuals/Misc_siting.pdf
- World Meteorological Organization. (2008). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation* [Ebook] (8th ed., pp. 17-426). Geneva 2, Switzerland. Retrieved from https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_8_en-2012.pdf