



USO DEL MINICOMPUTADOR DE BAJO COSTO "RASPBERRY PI" EN ESTACIONES METEOROLÓGICAS

(Using the low cost minicomputer "Raspberry Pi" in automatic weather stations)

Recibido: 24/11/2015 Aceptado: 28/01/2016

Salcedo, Marco

Centro Virtual de Meteorología San Antonio de los Altos, CVM, Venezuela

salcedo.ml@gmail.com

Cendrós, Jesús

Universidad Privada Dr. Rafael Bellosó Chacín, URBE, Venezuela

jcendros@urbe.edu

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es una propuesta para utilizar del minicomputador "Raspberry Pi" como controlador de una estación meteorológica automatizada. Se ofrece una introducción acerca de la fundación patrocinante, breve descripción funcional, características técnicas de la familia de minicomputadores con algunas de sus ventajas y desventajas. Se ofrecen aplicaciones en el campo ambiental con una propuesta para manejar una estación meteorológica automática y sensores adicionales.

Palabras claves: Raspberry Pi, estación meteorológica automática, ambiente, educación.

ABSTRACT

The aim of this work is a proposal for using the minicomputer "Raspberry Pi" as a controller for automated weather station. An introduction to the sponsoring foundation, brief functional description, the minicomputer family technical characteristics with some of its advantages and potential disadvantages are offered. The authors propose applications in the environmental field for driving specialized sensors.

Keywords: Raspberry Pi, automatic weather station, ambient, learning.

INTRODUCCIÓN

Este artículo tiene el objetivo fundamental dar a conocer a los estudiantes, docentes y aficionados en general un resumen de las capacidades que ofrece esta plataforma informática de bajo costo como controlador de estaciones meteorológicas automáticas.

Para ello se hizo una revisión documental de varias fuentes relacionadas, resaltando entre otros aspectos:

- Descripción funcional de minicomputador.



- Características técnicas.
- Posibles desventajas.
- Su aplicación como controlador de una estación meteorológica automática y sensores especializados.
- Enlaces a sitios Internet relacionados a este artículo.
- Conclusiones y recomendaciones acerca de lo expuesto en este artículo.
- Referencias bibliográficas citadas.

A lo largo de este texto se emplean ciertos acrónimos o abreviaturas de uso común en la industria y/o literatura técnica de idioma Inglés; dichos términos son definidos empleando notas a pie de página enumeradas consecutivamente con números romanos.

Las referencias citadas en el texto se indican con numeración arábiga consecutiva y se presentan al final de este artículo.

Todos los nombres comerciales citados en este trabajo son marcas registradas de sus respectivos registradores o fabricantes; la cita o el uso de los mismos no representan ningún tipo de aprobación, soporte o ratificación por parte del autor.

EL MINICOMPUTADOR “RASPBERRY PI”

Basada en arquitectura de un microprocesador ARM comúnmente utilizado en teléfonos inteligentes, luego de seis años de intensa labor se crea la “Raspberry Pi” por la fundación educacional sin fines de lucro del mismo nombre, ubicada en Caldecote, Cambridgeshire, Inglaterra, según Raspberry Pi Foundation (2015)

Esta fundación fue registrada en el año 2009 con el objetivo de “Promover la educación de los adultos y los niños, particularmente en el campo de las computadoras, ciencias de la computación y temas relacionados”, según Raspberry Pi Foundation (2015).

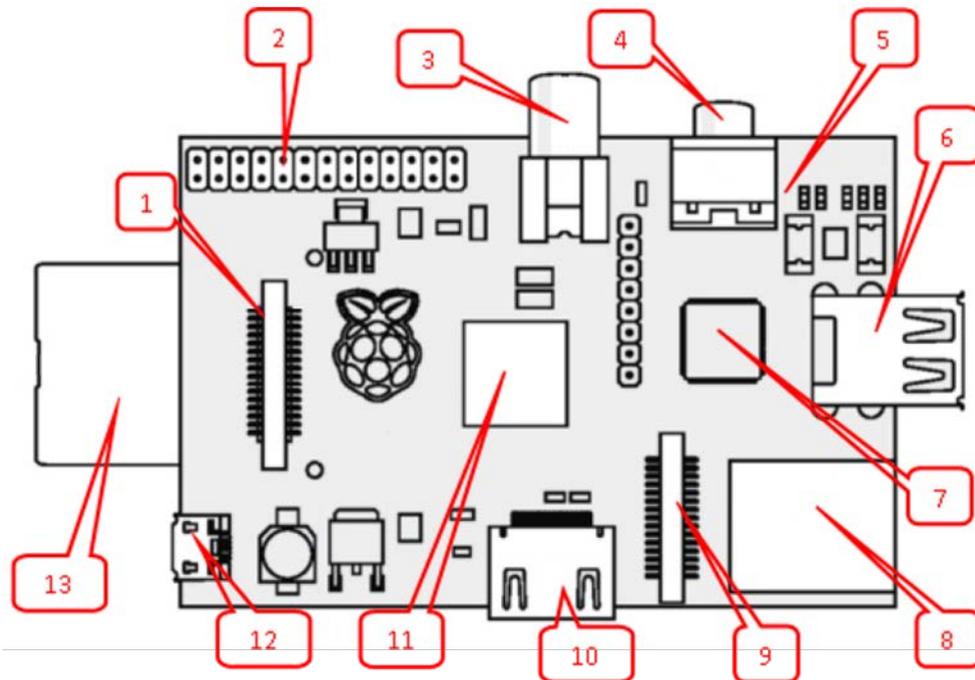
Según Raspberry Pi Foundation (2015) para febrero del 2015, se han vendido más de cinco millones de unidades, convirtiéndose en uno de los computadores británicos de venta más rápida.

DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DEL MINICOMPUTADOR

Completamente carente de partes móviles, la Raspberry Pi es un Single Board Computer distribuida comercialmente en cuatro versiones conocidas por medio de sus referencias culturales (“Modelo A”, “Modelo B rev 1”, “Modelo B rev 2” y “Modelo B+” y el “Compute Module”), según Raspberry Pi Foundation (2015) aunque todos están basados en SoC de la misma familia, tienen características ligeramente distintas.

De pequeñas dimensiones físicas (los modelos “A”, “B” y “B+” miden 85 mm x 56 mm, aproximadamente el tamaño de una tarjeta bancaria, sin incluir proyecciones) y con un peso menor a los 50 gramos la hacen ideal para el desarrollo de pequeños sistemas embebidos o de automatización casera.

Figura 1. Esquema de minicomputador Raspberry Pi “Modelo B, rev 1”



Fuente: Partner (2014).

Sin embargo, su apariencia cruda y su aparente “poco rendimiento” en comparación con cualquier PC o Laptop actual no debe ser motivo de desprecio; en la Figura 1 se aprecia un esquema funcional del mismo, resaltando algunos de sus componentes principales.

1) Conector DSI

Conector tipo Flat-Flex para la conexión de pantallas tipo LCD compatibles con el estándar DSI.

2) Cabezal de expansión

Comprende un grupo de 26 pines agrupados en un conector DIL de 13 pines por dos filas (20 pines por dos filas en las versiones “A+” y “B+”).

Este cabezal expone los pines de alimentación (+5 V, +3,3 V y GND) y los puertos GPIO del SoC al exterior, estos puertos GPIO pueden ser configurados de diversas

maneras (PWM, Entrada, Salida, Latch) bajo control del software en ejecución, con excepción de los pines con funciones específicas: +5V, +3,3V, GND, I2C, PWM SPI, TXD, RXD y 1-Wire® los cuales están predefinidos por el hardware y firmware del dispositivo y no pueden ser cambiados por el usuario.

En la Figura 2 puede verse un esquema de la asignación de las funciones de cada pin.

Figura 2. Asignación de pines GPIO en la Raspberry Pi “Modelo B, rev 1” y “Modelo B, rev 2”



Fuente: General Purpose (2014).



3) Puerto de video

Conector tipo RCA, que permite la conexión de un televisor analógico bajo estándar PAL o NTSC

4) Puerto de audio

5) Led's de estado

6) Puertos USB 2.0

7) Controlador ethernet

8) Puerto ethernet 10/100

9) Conector csi-2

El conector Flat-Flex permite la conexión al módulo de cámara propietaria de alta definición que ofrece la fundación.

10) Conector HDMI

Conector HDMI estandar para la conexión de monitores de alta definicion.

11) System on a chip

El SoC de la Raspberry Pi integra en un único encapsulado: un procesador de gráficos (GPU), microprocesador (CPU) de un (01) solo núcleo, procesador digital de señales (DSP), un (01) puerto USB y la memoria SDRAM de 256 MiB.

Véase los Cuadros 1 y 2 más adelante en esta sección para información ampliada acerca de la capacidad de memoria.

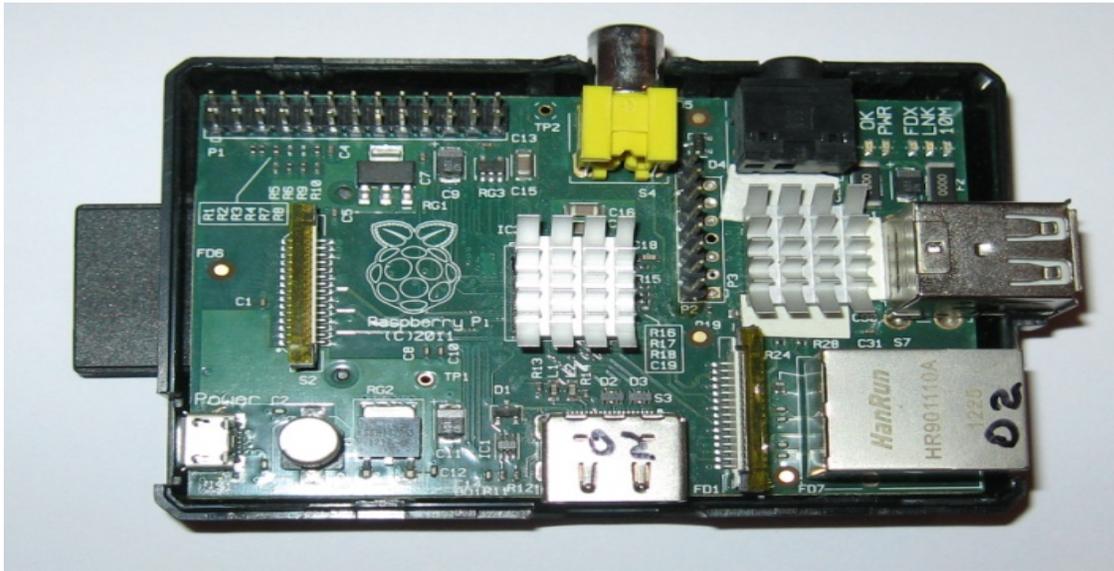
12) Conector microUSB

Este conector microUSB permite la alimentación del dispositivo (+5 VDC, $\pm 4\%$), la capacidad requerida en la fuente de alimentación deberá ser de al menos 700 mAmp, tenga en cuenta que el uso intensivo de gráficos, el módulo de cámara HD, la conexión de periféricos USB (tales como teclados, adaptadores inalámbricos y/o ratones, etc). Asimismo, el uso de los pines GPIO incrementará la demanda de corriente de operación.

El factor de rizado (ripple) de la fuente debe mantenerse al mínimo posible para evitar operación errática del dispositivo y la eventual corrupción del contenido de la memoria de almacenamiento masivo al producirse un apagado o reinicio no ordenado.

13) Tarjeta MMC / SD

Figura 3. Minicomputador Raspberry Pi “Modelo B, rev 1”



Fuente: elaboración propia (2014).

En la Figura 3 puede apreciarse una unidad real del modelo “B, rev. 1”, se observa en primer plano la Raspberry Pi con pequeños disipadores de calor de aluminio sobre dos de sus componentes principales (SoC y Controlador Ethernet, instalados por el usuario, no son parte del minicomputador originalmente), la mitad inferior de la caja plástica de alojamiento (de color negro, solo parcialmente visibles los bordes alrededor de la tarjeta), se nota claramente la tarjeta de memoria MMC/SD sobresaliendo en el extremo izquierdo.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MINICOMPUTADOR

En el Cuadro 1 se ofrece un resumen de algunas de las características técnicas de la familia de minicomputadores Raspberry Pi, no se profundiza el estudio de estas ya que esta fuera del ámbito de estudio de este artículo.



Cuadro 1. Resumen de algunas de las características técnicas de la familia de minicomputadores “Raspberry Pi”.

Característica:	Comentarios:
Alimentación	(01) Conector microUSB (+5 VDC, ± 4 %, tierra negativa) según Raspberry Pi (2011).
Requerimientos nominales de potencia	Modelo “A”: 0,3 Amperio, (1,5 vatios) Modelo “A+”: 0,2 Amperio, (1,0 vatio) Modelo “B”: 0,7 Amperio, (3,5 vatios) Modelo “B+”: 0,65 Amperio, (3,0 vatios)
Medio de almacenamiento masivo	(01) Slot para tarjetas tipo MMC / SD (Sólo modelos “A” y “B rev 1”) (01) Slot para tarjetas tipo microSD (Modelos “A+”, “B+” y subsiguientes)

Fuente: elaboración propia (2014).

En el enlace http://elinux.org/RaspberryPi_Boards puede verse una descripción más completa y detallada acerca de cada Versión y/o Revisión de la familia.

ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA PARA EL MINICOMPUTADOR

Tal como se indicó en el Cuadro 1, el minicomputador requiere ser alimentado con +5 VDC, ± 4 %, inyectados a través del conector micro USB presente (ver Figura 1); a plena carga el dispositivo puede consumir hasta 3,5 vatios/hora; en función de estas cifras, un cálculo rápido basado en una batería común de bajo costo de 12 voltios y de 1,5 Amps/hora arroja una autonomía de 18 vatios/hora ($12V * 1,5 \text{ Amps/hora} = 18 \text{ vatios/hora}$) esto eventualmente permitiría la operación del dispositivo por al menos cinco horas continuas.

Ante el escenario de la operación desatendida y a baterías, el usuario final deberá tomar las provisiones para evitar una descarga profunda de la batería (hecho que puede contribuir al deterioro prematuro de la misma), así como tomar en cuenta en el dimensionamiento de su sistema las pérdidas presentes en el regulador de voltaje que a su vez alimenta el minicomputador para determinar el tiempo de autonomía con seguridad.

SISTEMA OPERATIVO RECOMENDADO PARA EL MINICOMPUTADOR

El sistema operativo oficialmente recomendado y soportado por la fundación es Raspbian, (una derivación de Linux Debian Wheezy ARMhf) según Raspberry Pi (2015), aunque también existen disponibles otros sistemas operativos compatibles con esta plataforma que han sido adaptados para usos específicos.

Es posible desarrollar, instalar y ejecutar software GNU en la Raspberry Pi tal y como se haría en una PC o Laptop de mucho mayores prestaciones, con la lógica limitación del



espacio disponible en el medio de almacenamiento y/o los requerimientos mínimos de hardware que las aplicaciones puedan tener.

POSIBLES DESVENTAJAS DEL MINICOMPUTADOR

Si el minicomputador “Raspberry Pi” fuese perfecto, entonces no sería necesario construir más computadoras, así que algunas de las posibles desventajas que pueden resaltarse acerca de esta familia de productos se exponen en el Cuadro 2, mostrado a continuación:

Cuadro 2. Posibles desventajas técnicas del minicomputador Raspberry Pi.

Hecho:	Comentarios:
Inexistencia de convertidores ADC/DAC integrados	Es posible agregar módulos ADC/DAC producidos comercialmente o contruidos por el usuario, en ambos casos controlados a través de los pines GPIO.
Inexistencia de huecos para soporte	Esta situación fue resuelta a partir de la producción del modelo “B rev. 2” y subsiguientes, que incluyen dos o más huecos en el circuito impreso para su soporte.
No dispone de adaptador inalámbrico	Este inconveniente puede resolverse fácilmente empleando cualquiera de los adaptadores inalámbricos soportados.
Empleo de memoria MMC / SD	El uso de memorias microSD ha sido adoptado partir de la producción del modelo “B rev. 2” y subsiguientes.
Imposibilidad de ampliar la memoria RAM	La memoria RAM está integrada en el SoC, por tanto es imposible cualquier modificación por parte del usuario. A partir del 15 de octubre del 2.012 la Raspberry Pi “Modelo B Rev 2” se produce y distribuye comercialmente con 512 MiB RAM.
Inexistencia de reloj RTC incorporado	La razón fundamental para que no haya sido integrado un chip de reloj calendario es mantener los costos bajos de manufactura bajos. No obstante, es posible agregar módulos de RTC producidos comercialmente o contruidos por el usuario final.
Procesador de un solo núcleo	La Fundación ofrece una versión mejorada con procesador de cuatro núcleos y 01 GiB RAM. Según Designs Spark (2015)
Inexistencia de interruptor On / Off	Dada la cantidad mínima de corriente que consume el producto una vez desactivado, es innecesaria su presencia; sin embargo, si una aplicación en particular requiere tal interruptor, el usuario final deberá insertarlo manualmente en el medio de alimentación del dispositivo.



**Inexistencia de
puerto de Video VGA**

El puerto de video VGA ha sido considerado una tecnología “en fin de vida” por la Fundación, por lo que soportar este estándar no está dentro de sus planes, sin embargo, es posible utilizar monitores VGA empleando convertidores HDMI – VGA de muy bajo costo.

Fuente: elaboración propia (2014).

Solamente el usuario final será el responsable de determinar si una o más de las posibles desventajas citadas en el cuadro anterior son un escollo real para la aplicación que pretenda darle al minicomputador.

En nuestro caso en particular, el uso del minicomputador “Raspberry Pi” como controlador de estación meteorológica solo requiere del uso de un monitor y teclado externos durante la puesta en marcha inicial del dispositivo, a partir de entonces, todas las actividades rutinarias de operación y mantenimiento pueden efectuarse a través de una sesión SSH sin necesidad de que el usuario se encuentre físicamente conectado al equipo.

VARIABLES METEOROLÓGICAS FUNDAMENTALES

Las variables meteorológicas primarias o también llamadas “fundamentales” se obtienen a partir de la observación directa del fenómeno físico.

La Organización Meteorológica Mundial (WMO) según Guide to Metereological (2008) define sus nombres de la siguiente manera:

- a) Temperatura del aire.
- b) Humedad del aire.
- c) Precipitaciones.
- d) Presión atmosférica.
- e) Dirección del viento.
- f) Velocidad del viento.
- g) Irradiación solar (luz visible).
- h) Irradiación solar (luz ultravioleta).
- i) Temperatura y humedad del terreno.

Las estaciones meteorológicas automáticas usualmente son capaces de registrar las seis primeras magnitudes; dependiendo del modelo y fabricante en algunos casos es



posible expandir las observaciones agregando otros tipos de sensores, tales como: Irradiación solar (luz visible y ultravioleta), además de temperatura y humedad del terreno.

Con base en las variables primarias y a través de algoritmos (usualmente incorporados de fábrica en el registrador de la estación o ejecutados por el software de control de la estación) se obtienen otras observaciones de interés, conocidas como “Variables Derivadas”, las cuales se mencionan a continuación:

- a) Punto de Rocío.
- b) Sensación Térmica.
- c) Evapotranspiración.
- d) Enfriamiento por viento.
- e) Temperatura Aparente (Índice HUMIDEX).
- f) Dosis de Irradiación UV.

APLICACIÓN BÁSICA PARA UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Cuando se efectúa la observación meteorológica en un lugar determinado, el observador ha empezado el eslabón más importante en el conocimiento del tiempo y del clima, este tiene la responsabilidad de obtener datos precisos de cada elemento meteorológico a la hora indicada, según Guevara (2004).

Una de las características más resaltantes de una estación Meteorológica Automática de bajo costo, es la capacidad de efectuar múltiples observaciones a intervalos regulares y precisos; en disponer de almacenamiento empleando para ello, memoria integrada de estado sólido, lógicamente este recurso es muy limitado y se requiere descargar los datos periódicamente para evitar su pérdida; típicamente el registrador puede tener desde 150 hasta unas mil entradas, dependiendo de la frecuencia de observación (usualmente cada cinco minutos), alcanzaría hasta un poco más de 83 horas de operación continua.

Lógicamente aumentando los intervalos entre las observaciones puede aumentarse la autonomía del registrador, trayendo como consecuencia que eventualmente pudieran no ser observados ciertos fenómenos de corta duración que se presenten fuera de las “ventanas” de registro.

Por otra parte, estaciones de grado científico y de alta confiabilidad como la Vaisala WXT520, según Vaisala Weather (no poseen registrador alguno, obligando al usuario final a proveer una solución que satisfaga sus necesidades técnicas.

LA RASPBERRY PI COMO CONTROLADOR

Se presenta el minicomputador “Raspberry Pi” como la solución casi perfecta como controlador y/o registrador autónomo, la disponibilidad de puertos de comunicación de



bajo nivel permite la fácil integración con el registrador interno de la estación a nivel físico; además del hecho que la capacidad de memoria de almacenamiento esta solamente limitada por las capacidades del software en ejecución y lógicamente por el tamaño de la tarjeta SD que emplee el usuario.

Si se dispone de acceso a Internet, el minicomputador puede ser instruido (a través de tareas programadas cron) según UNIX para conectarse de manera automática y a intervalos periódicos con servidores remotos y transferir las observaciones crudas (o pre-procesadas), haciendo de esta forma espacio en su medio de almacenamiento masivo y poniendo a resguardo y a disposición de los investigadores los valiosos registros producto de las observaciones.

Otra gran ventaja que ofrece el minicomputador “Raspberry Pi” es su muy bajo consumo de energía (máximo 3,5 vatios a plena carga), esto es al menos 100 veces menos el consumo promedio de un PC de escritorio, haciéndolo una opción muy atractiva en operación de mediano/largo término, para operación autónoma a través de paneles solares, o en observatorios donde es inexistente o poco confiable el suministro de la red pública.

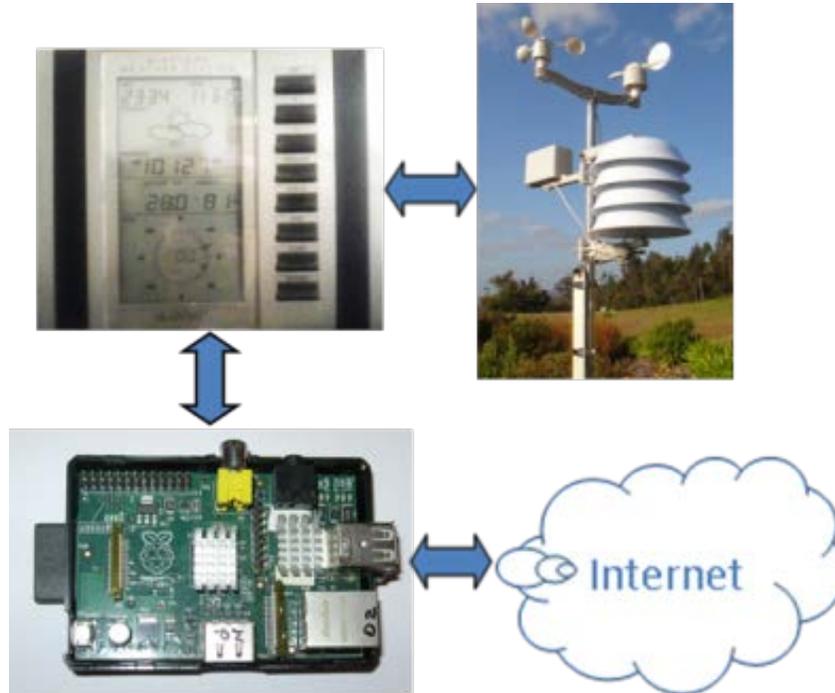
Como se señaló anteriormente, es posible desarrollar, instalar y ejecutar software GNU en la “Raspberry Pi” tal y como se haría en un PC o Laptop de muchas mayores prestaciones, esto permite al usuario emplear software de uso libre especializado para la operación de estaciones meteorológicas, algunos de los más conocidos y bien documentados son:

- Wview <http://www.wviewweather.com/>
- WeeWx <http://www.weewx.com/>
- PyWeather <https://github.com/cmccqinty/PyWeather/>
- pywws <https://pypi.python.org/pypi/pywws/>
- WfFrog <https://code.google.com/p/wfrog/>
- Cumulus MX <http://sundaysoft.com/forum/viewforum.php?f=27&start=25>

Gracias a la abundancia documentación disponible en las comunidades de soporte (<https://www.raspberrypi.org/forums/>) se favorece que el usuario final pueda escribir su propia aplicación o modificar software de código abierto para adaptarlo a sus necesidades particulares.

En la Figura 4 puede apreciarse un esquema básico de operación de una estación meteorológica automática potenciada por la “Raspberry Pi”.

Figura 4. Estación meteorológica automática potenciada por la “Raspberry Pi”



Fuente: elaboración propia (2014).

En la figura anterior, se ejemplifica la consola de la estación meteorológica conectada al minicomputador “Raspberry Pi” actuando como controlador; y esta a su vez almacenado, procesando localmente y eventualmente distribuyendo las observaciones hacia la Red Internet.

IMPLEMENTACIÓN DE SENSORES ESPECIALIZADOS

Aprovechando la capacidad de proceso y la disponibilidad de puertos de bajo nivel USB/GPIO accesibles al usuario que ofrece el dispositivo, es posible integrar al observatorio meteorológico sensores propietarios o comerciales.

A continuación se ofrecen tres ejemplos de aplicaciones concretas:

TEMPERATURA DEL TERRENO

La superficie del suelo aumenta su temperatura y transfiere calor hacia abajo por conducción, como cada capa recibe calor, la temperatura aumenta dependiendo de la profundidad, por lo tanto, la temperatura del suelo depende de la hora del día, la nubosidad y las precipitaciones sobre el área de interés, según Maldonado y otros (2010).

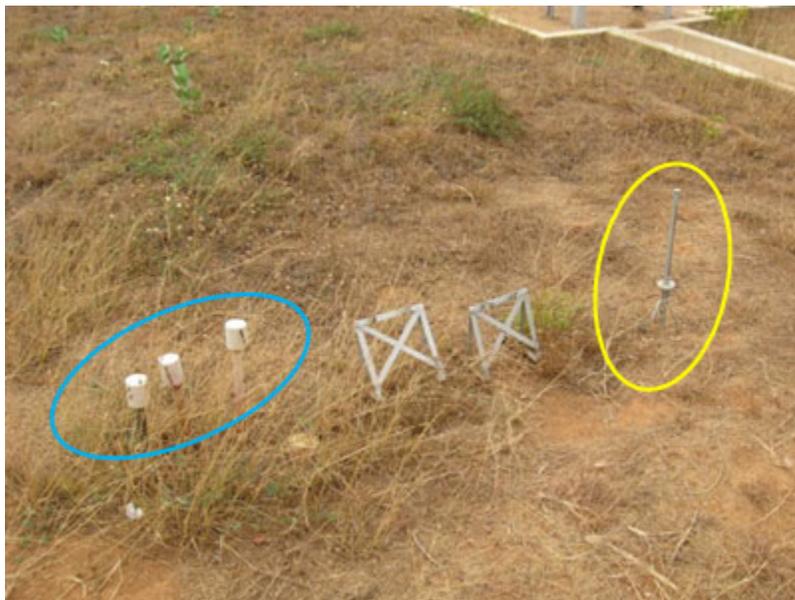
La observación de la temperatura del suelo es uno de los parámetros de importancia en la estimación de diversas variables de interés ambiental, tales como: la selección de la fecha de siembra, crecimiento de las plantas, así como el estudio de los microorganismos que hacen vida en el terreno, asimismo, en la aeronáutica civil/militar es un valor clave por cuanto la temperatura influye en la adherencia del tren de rodaje de las aeronaves sobre las pistas de aterrizaje y calles de rodaje.

Tradicionalmente esta observación se ha realizado con la ayuda de termómetros especiales de mercurio denominados geotermómetros que son enterrados en el suelo a las profundidades de interés, según Guevera (2004); con el advenimiento de los sensores de temperatura de bajo costo y elevada precisión, se abre la posibilidad para modernizar y masificar esta importante observación meteorológica.

El termómetro de grama (también conocido como termómetro de superficie del terreno) está usualmente instalado sobre la superficie de la grama o césped presente en el observatorio, este debe mantenerse corto y el sensor debe estar en contacto directo con las puntas de las hojas, según Andrew y Overton (2009).

En la Figura 5 se observan este tipo de instrumentos en operación en la estación meteorológica convencional “Base Aérea Rafael Urdaneta” (BARU) ubicada en el municipio San Francisco, estado Zulia.

Figura 5. Geotermómetros (señalados con ovalo azul), termómetro de grama (señalado con ovalo amarillo)

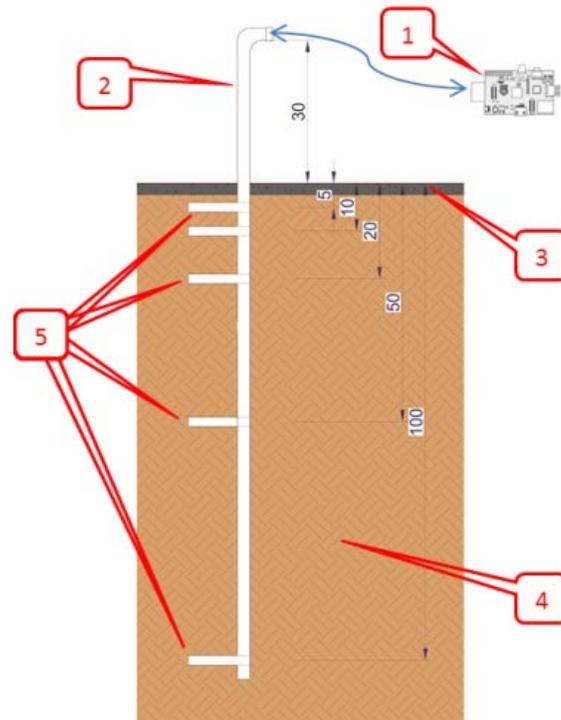


Fuente: elaboración propia (2015).

La Figura 6 ilustra una propuesta de diseño para un geotermómetro basado en el minicomputador “Raspberry Pi” controlando cinco sensores de temperatura enterrados a las profundidades estándar recomendadas por la WMO de: 5, 10, 20, 50 y 100 centímetros bajo el nivel de la superficie del terreno, según Guide To Meteorological (2008).

Se resume en el Cuadro 3 las probables alternativas de tecnología analógica como digital para los sensores de temperatura.

Figura 6. Esquema propuesto de geotermómetro basado en la “Raspberry Pi”



Fuente: elaboración propia (2015).

- 1) Minicomputador “Raspberry Pi”.
- 2) Tubo tipo PCV.
- 3) Superficie del Terreno.
- 4) Terreno.
- 5) Sensores de temperatura.

Cuadro 3. Alternativas para los sensores de temperatura

Componente:	Comentarios:
Maxim Integrated DS18B20	Sensor de tecnología digital 1-Wire®, de muy bajo consumo y calibrados en fábrica, encapsulado TO-92, cada sensor posee un número de serie único de 64 bits, por lo que es posible emplear múltiples sensores sobre el mismo bus de datos con solo tres hilos conductores, según Bitson y Weather Resolución programable de 9 a 12 bits, rango de operación: -55°C a +125°C, tolerancia de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ sobre el rango de -10°C a +85°C, según - Programmable Resolution 1-Wire (2015).
National Semiconductor LM335	Sensor de precisión, encapsulado TO-92, de tecnología analógica con salida lineal y proporcional a la temperatura (1°C de precisión inicial), amplio rango de voltaje de alimentación al ser calibrado a 25°C ofrece menos de 1°C de precisión sobre un rango de 100°C, según Analog Output Temperature Sensor (2015). Requiere un convertidor Analógico-Digital para su operación directa con el minicomputador Raspberry Pi.
Microchip MCP9808	Sensor de tecnología digital I2C/SMBus, de muy bajo consumo, de montaje superficial, resolución programable (0,5°C, 0,25°C, 0,125°C, 0,0625°C), rango de operación: -40°C a +125°C. Tolerancia de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ (máximo) sobre el rango de -20°C a +100°C, $\pm 0,25^\circ\text{C}$ (típico) sobre el rango de -40°C a +125°C, según Microchip Technology Inc's (2015).

Fuente: elaboración propia (2015).

NOTA

Como se indicó anteriormente, el minicomputador Raspberry Pi no posee ningún tipo de convertidor analógico-digital incorporado, Adafruit Industries ofrece un ejemplo detallado paso-a-paso para la implementación del Convertidor Analógico Digital MCP3008 (SPI/SMBus, 8 canales y 10 bits de resolución), según MCP3008 (2015).

También es posible conectar tarjetas ADC comerciales o construidas por el usuario que operen con el bus de comunicaciones I2C siguiendo los pasos sugeridos en este enlace: http://elinux.org/RPi_ADC_I2C_Python

IRRADIACIÓN SOLAR

En meteorología y climatología, la observación de las horas de brillo solar es de importancia capital, el término "brillo solar" se asocia con el brillo del disco solar superior al fondo de luz difusa del cielo, o con la aparición de sombras detrás de objetos iluminados, de esta forma es mejor observado el fenómeno por el ojo humano.



Como tal, el término está relacionado más a la radiación visual que a la energía radiada en otras longitudes de onda, aunque ambos aspectos son inseparables, según Guide to Meteorological (2008).

La observación de esta variable es de vital importancia en varios campos de las ciencias aplicadas: por ejemplo, para el análisis del crecimiento de los cultivos y control de plagas, factibilidad técnica en plantas de energía solar, estudios sobre la incidencia del cáncer de la piel en humanos.

Para estos efectos, en algunos observatorios meteorológicos se emplea el registrador de horas de brillo solar “Campbell-Stokes”, este instrumento requiere de una orientación cuidadosa y consiste en un marco metálico que sostiene una esfera de vidrio transparente diseñada para concentrar los rayos solares sobre una cinta de papel graduada en horas y décimos de horas que se “quema” tanto en anchura como en profundidad conforme el sol avanza en su movimiento aparente por la bóveda celeste evidenciando la cantidad de tiempo que el astro rey brilla, según Campbell Stokes-Recorder (2015).

La banda o cinta de registro está colocada a la distancia focal de la esfera en un semi-anillo metálico orientado con dirección Oeste-Este, según Guevara (2004).

Este instrumento cuenta con muy pocas partes móviles y se caracteriza por su gran simplicidad de uso, sin embargo, su principal inconveniente es la dificultad para la lectura de las cintas de papel expuestas al sol, ya que la correcta interpretación de las lecturas puede diferir de un observador humano a otro, asimismo, la lluvia, nieve y/o granizo pueden deteriorar la cinta de papel, dificultando o hasta imposibilitando su lectura.

En la Figura 7 se observa este tipo de instrumento en operación en la estación meteorológica convencional “Base Aérea Rafael Urdaneta” (BARU), ubicada en el municipio San Francisco, estado Zulia.

Figura 7. Registrador de horas de brillo solar “Campbell-Stokes” (visible en primer plano), se observa claramente la cinta de registro en color azul



Fuente: elaboración propia (2015).

Empleando cualquiera de las soluciones compatibles para la conversión de señales analógicas en magnitudes discretas, es posible integrar al minicomputador “Raspberry Pi” instrumentos que ofrezcan este tipo de respuesta frente al fenómeno físico que observan tales como piranómetros de radiación solar, radiómetros de luz ultravioleta o sensores de temperatura como se vio anteriormente.

En la Figura 8, se aprecia un Piranómetro horizontal de irradiación global modelo Mk 1-G Sol-A-Meter del fabricante Matrix Solar Services conectado a un minicomputador “Raspberry Pi” (no visible en la figura, instalado dentro de la caja de color gris).

Figura 8. Piranómetro horizontal de irradiación global (señalado con ovalo rojo) integrado a la “Raspberry Pi” (no visible en la figura, instalada dentro de la caja señalada con la flecha amarilla)



Fuente: Matrix Solar (2015).

CÁMARA FOTOGRÁFICA PARA CAPTAR EVENTOS METEOROLÓGICOS

Empleando el módulo de cámara de alta resolución “PiCam” de 5 MP, según Rpi Camera Module (2015) que ofrece la Fundación (ver Figura 9) y scripts en BASH y/o Python, Raspberry Pi (2015) es posible capturar la ocurrencia de eventos de interés en tomas fijas de hasta 1920 x 1080 pixeles o en video HD 1080p a 30 fps (siendo también posibles velocidades de captura mayores) de manera continua o pre-programada cuando algún sensor meteorológico detecte las condiciones predefinidas por el usuario, esto abre la posibilidad de documentar eventos muy esporádicos o de difícil ocurrencia en nuestro país como los micro tornados, nevadas o granizadas.

Figura 9. Módulo de cámara HD “PiCam” (señalado con ovalo amarillo) instalado en el minicomputador “Raspberry Pi”



Fuente: elaboración propia (2015).

Estas tomas fijas o de video pueden ser “anotadas” con información de interés, por ejemplo: Fecha/Hora de la toma, condiciones instantáneas de las variables de interés o simplemente una “marca de agua” para el resguardo de la producción visual.

Se muestra un ejemplo en la **Figura 10**, la imagen representa una toma fija “anotada” con los valores instantáneos de algunas variables observadas por la estación.

Figura 10. Ejemplo de imagen “anotada” capturada por La “PiCam”



Fuente: elaboración propia (2015).

CONCLUSIONES

- Se evidencia en una gran ventaja para la operación a baterías o energía solar el muy bajo consumo de energía (3,5 vatios/hora a plena carga) en observatorios donde la disponibilidad de energía de la red pública es inexistente o poco confiable.
- Los múltiples puertos de comunicaciones de bajo nivel integrados (USB/Serial/I2C/SPI) y expuestos para su uso directo bajo control del usuario le permiten integrarse a una variedad de sensores y dispositivos, tanto comerciales como construidos por el usuario, haciendo que el dispositivo sea altamente versátil más allá de lo apenas esbozado en este artículo.
- La facilidad para la integración de la cámara de alta resolución abre la puerta a la captura de evidencia fotográfica sobre eventos meteorológicos de difícil ocurrencia, ayudando a la comprensión del fenómeno en particular.

RECOMENDACIONES

- En caso que el dispositivo sea empleado en operación desatendida, el usuario final deberá tomar las previsiones para evitar una descarga profunda de la batería, esto es, tomar en cuenta en el dimensionamiento de su sistema las pérdidas presentes en el regulador de voltaje y de ser posible, disponer de los medios para el apagado y reinicio ordenado del sistema en caso de ser necesario.
- La correcta elección de los sensores de temperatura debe favorecer la mínima tendencia posible al auto calentamiento, así como garantizar las compensaciones por las longitudes de los conductores y las posibles no linealidades inherentes al sensor.
- En todo caso debe tenerse especial cuidado durante el diseño de la etapa de conversión analógico-digital, favoreciendo las longitudes mínimas de los conductores hacia los sensores enterrados y controlar así las fluctuaciones y errores causados por influencias externas al sistema de medición.
- La ubicación de la cámara de alta resolución “PiCam” en exteriores debe planificarse con sumo cuidado para evitar la visión directa de la misma a los puntos de salida y/o puesta del sol; esta situación traería como consecuencia la destrucción inmediata del sensor de imagen al ser expuesto a la fuerte iluminación solar.
- De manera general, se sugiere mantener los instrumentos calibrados de manera periódica contra estándares o patrones reconocidos, la WMO recomienda la comparación frecuente de los instrumentos registradores contra instrumentos de lectura directa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (2015) LM335 - Analog Output Temperature Sensor, Página Web Disponible: <http://www.ti.com/product/lm335> Consultado: Febrero 02, 2015



- Adafruit. (2015). Analog Inputs for Raspberry Pi Using the MCP3008. Documento en línea. Disponible en: <https://learn.adafruit.com/reading-a-analog-in-and-controlling-audio-volume-with-the-raspberry-pi?view=all> Consulta: 02/02/2015.
- Andrew, K. (2009). Guide to the Siting, Exposure and Calibration of Automatic Weather Stations for Synoptic and Climatological Observations. Documento en línea. Disponible en: <http://www.rmets.org/sites/default/files/pdf/guidelines/aws-guide.pdf>. Consulta: 02/02/2015.
- Bitson, T. (2006). Weather Toys: Building and Hacking Your Own 1-Wire Weather Station. Estados Unidos. Extreme-Tech.
- Designs Spark. (2015). Raspberry Pi 2 enters the multi-core realm! Documento en línea. Disponible en: <http://www.rs-online.com/designspark/electronics/eng/nodes/view/type:blog/slug:raspberry-pi-2-enters-the-multi-core-realm/> Consulta: 02/02/2015.
- Dictionary Reference. (2015). Campbell–Stokes recorder. Documento en línea. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Campbell%E2%80%93Stokes_recorder Consulta: 02/02/2015.
- Electronics UK. (2015). 8 channel 17 bit analogue to digital converter. Documento en línea. Disponible en: <https://www.abelectronics.co.uk/products/18/Raspberry-Pi-Expansion-Boards/17/ADC-Pi-V2---Raspberry-Pi-Analogue-to-Digital-converter> Consulta: 02/02/2015.
- Elinux. (2015). Rpi Camera Module. Documento en línea. Disponible en: http://elinux.org/Rpi_Camera_Module Consulta: 02/02/2015.
- General Purpose Input/Output (2015). RPi Low-level peripherals. Documento en línea. Disponible en: http://elinux.org/RPi_Low-level_peripherals#General_Purpose_Input.2FOutput_.28GPIO.29/ Consulta: 02/02/2015.
- Guevara, J. (2004). Meteorología. Venezuela. Universidad Central de Venezuela.
- Linux Projects. (2015). Example 9: Full fps, Live Text Overlay (over video). Documento en línea. Disponible en: <http://www.linux-projects.org/modules/sections/index.php?op=viewarticle&artid=16#example9> Consultado: 02/02/2015.
- Maldonado, I. Ruiz, R. Fuentes, M. (2010). Manual de Operación de Estaciones Meteorológicas Automáticas. Chile. Editorial INIA.
- Matrix Solar. (2015) Matrix Solar Instruments Page. Documento en línea. Disponible en: http://www.matrix-solar.com/sub_files/instruments_page.htm Consulta: 02/02/2015.



Matrix Solar. (2015). Matrix Solar Home Page. Documento en línea. Disponible en: <http://www.matrix-solar.com/> Consultado: 02/02/2015.

Maxim Integrated. (2015). Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. Documento en línea. Disponible en: <http://www.maximintegrated.com/en/products/analog/sensors-and-sensor-interface/DS18B20.html> Consulta: 02/02/2015.

Meteorology Glossary. (2015). Campbell-stokes recorder - AMS Glossary. Documento en línea. Disponible en: http://glossary.ametsoc.org/wiki/Campbell-stokes_recorder Consulta: 02/02/2015.

Microchip. (2015). MCP3008 10-bit Analog-to-Digital Converter (ADC). Documento en línea. Disponible en: <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?product=MCP3008> Consulta: 02/02/2015.

Partner, K. (2014). Ultimate Guide to Raspberry Pi. Inglaterra. Dennis Publishing Ltd.

Raspberry Pi Foundation, (2015) Products Raspberry Pi. Documento en línea. Disponible en: <http://www.raspberrypi.org/products> Consulta: 02/02/2015.

Raspberry Pi Foundation, (2015) Why is there no real time clock? (RTC). Documento en línea. Disponible en: <http://www.raspberrypi.org/help/faqs/#performanceRTC/> Consulta: 02/02/2015.

Raspberry Pi Foundation. (2015) Camera Module – Raspberry Pi. Documento en línea. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/products/camera-module/> Consulta: 02/02/2015.

Raspberry Pi Foundation. (2015) Raspberry Pi Documentation. Documento en línea. Disponible en: <http://www.raspberrypi.org/documentation/installation/README.md> Consulta: 02/02/2015.

Raspberry Pi Foundation. (2015). Can I add extra memory/Can the Raspberry Pi come with more than 512MB?. Documento en línea. Disponible en: <http://www.raspberrypi.org/help/faqs/#performanceMemory/> Consulta: 02/02/2015.

Raspberry Pi Foundation. (2015). Can I buy shares in the Raspberry Pi foundation? Documento en línea. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/help/faqs/#introShares> Consulta: 02/02/2015.

Raspberry Pi Foundation. (2015). Five million sold. Documento en línea. Disponible en: <http://www.raspberrypi.org/five-million-sold> Consulta: 02/02/2015.

Raspberry Pi Foundation. (2015). New camera mode released. Documento en línea. Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/blog/new-camera-mode-released/> Consulta: 02/02/2015.



Raspberry Pi Foundation. (2015). RaspbianAbout – Raspbian. Documento en línea.
Disponible en: <http://www.raspbian.org/RaspbianAbout> Consulta: 02/02/2015.

Raspberry Pi Foundation. (2015). What is a Raspberry Pi? Documento en línea.
Disponible en: <http://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi> Consulta:
02/02/2015.

Raspberry Pi Foundation. (2015). Why is there no VGA support? Documento en línea.
Disponible en: <http://www.raspberrypi.org/help/faqs/#videoVGA/> Consulta: 02/02/2015.

Raspberry Pi Sales Pass Five Million. (2015). The MagPi. Documento en línea.
Disponible en: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4d7uOhwd8NAJ:https://www.raspberrypi.org/magpi-issues/MagPi31.pdf+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=ve> Consulta:
02/02/2015.

Raspberry Pi. (2011). Manual del Usuario. Documento en línea. Disponible en:
<http://www.raspberrypi.org/documentation/user-guide/> Consulta:
02/02/2015.

RPi USB Wi-Fi Adapters. (2015). RPi USB Wi-Fi Adapters. Documento en línea.
Disponible en: http://elinux.org/RPi_USB_Wi-Fi_Adapters Consulta: 02/02/2015.

Texas Instruments. (2015). Microchip Technology Inc.'s MCP9808 digital temperature
sensor. Documento en línea. Disponible en:
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/25095A.pdf> Consulta: 02/02/2015.

UNIX man pages: crontab (5). (2015). Unix and Linux f rums. Documento en línea.
Disponible en: <http://www.unix.com/man-page/linux/5/CRONTAB/> Consulta:
02/02/2015.

Vaisala. (2015) Vaisala Weather Transmitter WXT520. Documento en línea. Disponible
en: <http://www.vaisala.com/en/products/multiweathersensors/Pages/WXT520.aspx>
Consulta: 02/02/2015.

World Meteorological Organization. (2008). WMO-008 Guide to Meteorological
Instruments and Methods of Observation. Suiza. World Meteorological Organization.