



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos
Naturales No Renovables**

Maestría en Electromecánica

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA
ARQUITECTURA Y METODOLOGÍA APLICADAS
AL MONITOREO REMOTO DE VARIABLES
METEOROLÓGICAS**

*Trabajo de Titulación previo a la
obtención del título de Magister en
Electromecánica.*

AUTOR: Ing. Carlos Alberto Calderón Córdova

DIRECTOR: Ing. Miguel Ángel Caraballo Núñez, PhD.

Loja – Ecuador

2017

Ing. Miguel Ángel Caraballo Núñez, PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

C E R T I F I C O :

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de titulación de maestría, en su proceso de investigación cuyo tema versa: “Diseño e implementación de una arquitectura y metodología aplicadas al monitoreo remoto de variables meteorológicas“, previa la obtención del título de Magister en Electromecánica, realizado por el señor ingeniero Carlos Alberto Calderón Córdova, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 9 de septiembre de 2016

Lo certifico,



Ing. Miguel Ángel Caraballo Núñez, PhD.

DIRECTOR

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo **CARLOS ALBERTO CALDERÓN CÓRDOVA**, declaro ser el autor del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula:

1104014038

Fecha:

7 de abril de 2017

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo **CARLOS ALBERTO CALDERÓN CÓRDOVA**, declaro ser autor del trabajo de titulación titulado **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ARQUITECTURA Y METODOLOGÍA APLICADAS AL MONITOREO REMOTO DE VARIABLES METEOROLÓGICAS”**, como requisito para optar al grado de **MAGISTER EN ELECTROMECAÁNICA**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Por constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los siete días del mes de abril de dos mil diecisiete.

Firma:



Autor:

Carlos Alberto Calderón Córdova

Cédula:

1104014038

Dirección:

Loja (Av. Salvador Bust. Celi, Barrio Amable María, Urb. La Rivera)

Correo electrónico: cacalderon@utpl.edu.ec

Teléfono: 07-370 1444 ext: 2516

Celular: 0998663798

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Dr. Miguel Ángel Caraballo Núñez

Tribunal de grado: Ing. Jorge Luis Maldonado Correa, Mg. Sc.

Ing. Thuesman Estuardo Montaña Peralta, Mg. Sc.

Ing. José Fabricio Cuenca Granda, Mg. Sc.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mi familia: a mi esposa Maira, a mi hija Valeria, a mi mamá Alexandra y a mis abuelitos Juanita (+) y Rosauero. Cada esfuerzo y cada resultado son gracias a su formación y a su colaboración.

Carlos Calderón Córdova

AGRADECIMIENTO

Los objetivos cumplidos de una persona, son gracias a un cúmulo de esfuerzos provenientes de diversos actores cercanos a ella. En mi caso, los coprotagonistas de mis esfuerzos y resultados son principalmente mi afectuosa familia, mis colegas de la ingeniería y mis estudiantes de la Universidad Técnica Particular de Loja. Cada uno de estos actores me aporta de diferentes aristas, para cumplir la misión de ser un profesional de excelencia.

Con respecto al presente trabajo de titulación, particularmente quiero agradecer a los docentes de la Maestría en Electromecánica de la Universidad Nacional de Loja: Dr. Miguel Ángel Caraballo y al Mgtr. Jorge Luis Maldonado, por todo el apoyo prestado. También agradezco a los exalumnos de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Técnica Particular de Loja por ser pieza clave para la ejecución del proyecto: Ing. Alex Jaramillo e Ing. Crhistian Tinoco. Finalmente agradezco al Dr. Andreas Fries y al Departamento de Geología, Minas e Ingeniería Civil de la UTPL, por el financiamiento aportado para la ejecución del presente proyecto.

Carlos Calderón Córdova

TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	i
DECLARATORIA DE AUTORÍA	ii
CARTA DE AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
TABLA DE CONTENIDOS	vi
TÍTULO ..	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	3
1.3.1. Hipótesis.....	3
1.3.2. Objetivos	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
3. MATERIALES Y MÉTODOS	7
3.1. METODOLOGÍA.....	7
3.2. ARQUITECTURA DEL SISTEMA	8
3.3. MÓDULO ESTACIÓN METEOROLÓGICA	8
3.4. MÓDULO TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	9
3.4.1. Circuito del MTad	10
3.4.2. Algoritmo del MTad	13
3.5. MÓDULO DE COMUNICACIÓN	15
3.5.1. Esquema de comunicación.....	15
3.5.2. Módem de comunicación.....	16
3.6. MÓDULO CENTRAL DE MONITOREO.....	17
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
4.1. INTEGRACIÓN DEL TABLERO DE LA ESTACIÓN REMOTA.....	20
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	21
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	25
6. REFERENCIAS	27
7. ANEXOS	30

TÍTULO

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ARQUITECTURA Y
METODOLOGÍA APLICADAS AL MONITOREO REMOTO
DE VARIABLES METEOROLÓGICAS.**

RESUMEN

La medición de variables meteorológicas en las regiones montañosas de los Andes del Ecuador es de gran importancia para investigaciones medioambientales, hidrológicas y ecológicas. Dichas investigaciones revelan indicadores que contribuyen a la gestión innovadora del territorio, el cual se caracteriza por ser un patrimonio natural biodiverso del país. Debido a la heterogeneidad de la distribución de las precipitaciones y demás variables meteorológicas en dicha región, se manifiesta la necesidad de utilizar radares LAWR (Local Area Weather Radar) para construir mapas de variables de alta resolución temporal y espacial, sin embargo los datos de salida de estos sistemas radar se necesitan calibrar en tiempo real con nodos de medición terrena. En consecuencia, el radar LAWR instalado en la provincia de Loja-Ecuador destinado para investigaciones entre la Universidad (UTPL) y los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs), necesita complementarse con datos en tiempo real de las variables adquiridas por las estaciones meteorológicas de referencia ubicadas en la zona de estudio. En base a lo anterior, el objetivo del presente trabajo es el de diseñar, implementar y evaluar un sistema de monitoreo remoto, de bajo costo, flexible, y, en tiempo real de las variables meteorológicas adquiridas por las estaciones de medición terrena basadas en el equipo Davis Vantage Pro. El sistema implementado está basado en GPRS y suministra información confiable (error máx. 1.5%) y oportuna (cada 5 min.) que sirva como insumo para investigaciones aplicadas a la gestión inteligente del territorio.

Palabras Clave: monitoreo remoto; estaciones meteorológicas; redes GPRS; adquisición de datos; Davis Vantage Pro.

ABSTRACT

The measurement of weather variables in the Andes Mountains of Ecuador is of great importance for environmental, hydrological and ecological research. Such investigations reveal indicators that contribute to innovative management of Territories, which it is characterized as a biodiverse natural heritage. Due to heterogeneity of the distribution of rainfall and other weather variables in that region suggest the need to use radar systems LAWR (Local Area Weather Radar), to mapping of variables with high temporal and spatial resolution. However, the outputs of these radar systems are required to calibrate in real-time with ground nodes measurements. Therefore, the radar system LAWR, available in the province of Loja-Ecuador intended for research between the University (UTPL) and the autonomous governments (GADs), needs to be complemented with real-time monitoring of variables acquired by the reference weather stations located in the study area. Based on the above, the objective of this work is to design, implement and evaluate a remote real-time monitoring system of weather variables acquired by measuring ground stations based on Davis Vantage Pro. The implemented system is based on GPRS and provides reliable (max. error 1.5%) and timely (every 5 min.) information to enable to researchers intelligent management of territories.

Keywords: remote monitoring; weather stations; GPRS networks; data acquisition; Davis Vantage Pro.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA

La determinación de la cantidad de precipitación y demás variables meteorológicas en las regiones montañosas de los Andes del Ecuador es de gran importancia para investigaciones medioambientales, hidrológicas y ecológicas. Dichas investigaciones arrojan indicadores que contribuyen a la gestión innovadora del territorio, el cual se caracteriza por ser un patrimonio natural biodiverso del país. Debido a la heterogeneidad de la distribución de las precipitaciones y demás variables meteorológicas en dicha región y la incapacidad de la red nacional de proporcionar el servicio meteorológico adecuado, se manifiesta la necesidad de utilizar radares para poder construir mapas de precipitación de alta resolución temporal y espacial. Además de la pluviosidad, otras variables de interés son: la velocidad y dirección del viento, la temperatura, la humedad, la presión atmosférica, la radiación solar, entre otras [1]-[3]. Desde hace algunos años radares de bajo costo basados en la banda-X son disponibles como alternativa para países en desarrollo (por ejemplo Local Area Weather Radar, LAWR) [4], sin embargo, estos dispositivos suministran datos confiables si hay los suficientes nodos de medición terrena para calibrar las imágenes suministradas por los radares [5], [6].

La Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) realiza investigaciones basadas en las imágenes (100m x 100m por pixel) de precipitación provenientes del radar LAWR desarrollado por el DHI (Dansk Hydrologisk Institut, Instituto Hidrológico de Dinamarca), este sistema es un radar marino modificado con un radio de alcance de 60 km. Una limitación del LAWR DHI es que no proporciona información de la medida de la reflectividad Z, sino que cada pixel de la imagen del radar tiene asociado un valor numérico sin dimensiones de 8 bits (de 0 a 255), el cual está relacionado con la tasa de precipitación R [1], [2]. Los investigadores que necesitan estos mapas de precipitación para los diferentes análisis, tienen que buscar la correlación que existe entre los valores de cada pixel y los valores de precipitación registrados en las estaciones meteorológicas distribuidas en los cinco puntos de referencia que dispone la UTPL a través de sus nodos basados en las estaciones Davis Vantage Pro. Luego, a partir de esta correlación,

se obtiene una ecuación matemática que describe la relación Z/R , que permite convertir el índice de reflectividad Z del radar en tasa de precipitación R . Sin embargo, actualmente los datos de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio se recogen manualmente mediante visitas in-situ cada 15 días, es decir cada 15 días se calibran las imágenes resultantes del LAWR, obteniendo mapas de precipitación de los 15 días anteriores a la recolección de datos in-situ. El problema anterior sumado a los problemas de consumo de recursos económicos en movilización y en personal, así como consumo de tiempo en la recopilación de los datos de precipitación de los nodos de medición terrena, plantean la necesidad de diseñar e implementar un sistema de monitoreo en tiempo real, de bajo costo y flexible, de las estaciones meteorológicas de referencia, en consecuencia la plataforma desarrollada suministrará continuamente los datos recolectados permitirán determinar las funciones de calibración al menos cada 5 minutos en lugar de cada 15 días, así como también se dispondrá en tiempo real las funciones temporales de velocidad y dirección del viento, la temperatura, la humedad, la presión atmosférica, la radiación solar, entre otras variables de interés; finalmente se disminuirá el consumo de recursos, por lo tanto se concluye que el sistema planteado será una solución ante los problemas identificados.

1.2. JUSTIFICACIÓN

El objetivo del presente proyecto es desarrollar e implementar un sistema de monitoreo en tiempo real, de bajo costo y abierto, de variables meteorológicas, basado en GPRS, aplicado a la obtención automática de las funciones temporales necesarias para investigaciones y estudios medioambientales, hidrológicos y ecológicos. Se abordará el presente proyecto con el objetivo de proveer información confiable y oportuna para la optimización de recursos en la recolección de datos fuente para calibración de imágenes LAWR, una consecuencia complementaria es que ya no se subutilizará la infraestructura de monitoreo basada en Radares a la que tiene acceso la UTP. La arquitectura propuesta sería evaluada con los datos del radar descrito en [1] y [2], sin embargo podría ser aplicable a los 38 radares del mismo tipo que están instaladas alrededor del mundo por medio de instituciones u organizaciones públicas y privadas [7]. La solución

propuesta consiste en una arquitectura remota de monitoreo basada en un sistema microelectrónico, la transmisión de datos se la realizará por medio del sistema GPRS (General Packet Radio Service), finalmente la estación central de monitoreo permitirá la captura automática de los datos, los cuales serán compatibles con los algoritmos de determinación de las funciones Z/R que relacionan las Imágenes LAWR con los datos de las estaciones meteorológicas.

Finalmente con respecto a la viabilidad tecnológica y económica del proyecto es alta debido a que se investigará en una arquitectura de bajo costo y compatible con la red de estaciones meteorológicas que dispone la UTPL, con el objetivo de tener un mínimo impacto en futuras inversiones de la institución. El aporte científico y de innovación se evidencia ya que se propone cerrar el círculo entre la adquisición de variables meteorológicas con la calibración de imágenes LAWR, es decir se plantea una arquitectura que permita la obtención en tiempo real de las funciones reflectividad/precipitación Z/R.

1.3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

1.3.1. Hipótesis

Problema: Ineficiencia en el consumo de recursos económicos y logísticos para la recolección oportuna de los datos obtenidos por las estaciones de medición terrena de monitoreo meteorológico de la hoya de Loja-Ecuador utilizadas como referencia para imágenes LAWR.

Hipótesis: El sistema implementado proveerá información confiable (error máximo 1.5%) y oportuna (cada 5 minutos) para la optimización de recursos en la recolección de datos fuente para calibración de imágenes LAWR destinadas a la investigaciones medioambientales e hidrológicas que desarrolla la UTPL.

1.3.2. Objetivos

- Objetivo General (OG): Diseñar, implementar y evaluar una arquitectura aplicada al monitoreo remoto, de bajo costo, abierta, y, en tiempo real, de las variables meteorológicas adquiridas por las estaciones de medición terrena basadas en el equipo Davis Vantage Pro.
- Objetivo Específico (OE1): Diseñar la arquitectura del sistema de monitoreo remoto y en tiempo real de las variables meteorológicas instaladas en la Hoya de Loja.
- Objetivo Específico (OE2): Diseñar el sistema electrónico de adquisición automática de datos de la estación meteorológica Davis Vantage Pro.
- Objetivo Específico (OE3): Implementar, evaluar y analizar los resultados del sistema de monitoreo remoto de variables meteorológicas, e, integrarlo al sistema de calibración de imágenes LAWR.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

Para las etapas de diseño, implementación y evaluación de una arquitectura aplicada al monitoreo remoto en tiempo real de las variables meteorológicas, primeramente se recopiló línea base para establecer la metodología de trabajo.

La estación meteorológica utilizada en el presente proyecto es la estación Davis Vantage Pro II (DVP2) [8], la cual está formada por la consola de visualización y por la unidad de sensores integrados. Esta estación meteorológica es usada en proyectos de investigación similares por la confiabilidad del dispositivo y de la información adquirida, tal es el caso de la adquisición y registro de la radiación solar en la investigación experimental de sistemas fotovoltaicos para enfriamiento [9], así también la recolección de datos de precipitación con alta resolución temporal en [10], y la caracterización de la intensidad de precipitación en un territorio [11]; existen aún más aplicaciones de la DVP2 dirigidas a una diversidad de sistemas y estudios, sin embargo en la gran mayoría de aplicaciones se utiliza a la DVP2 como un datalogger off-line, en cambio en las aplicaciones de monitoreo remoto de las estaciones generalmente se elige módulos complementarios de comunicación y el software WeatherLink para recepción de datos, ambos complementos del proveedor Davis Instruments Corp., ello hace que la solución de monitoreo remoto sea cerrada y que no la podamos integrar automáticamente a otros sistemas o herramientas de análisis de datos, como es el ejemplo de las aplicaciones de corrección y calibración de imágenes LAWR a las que accede la UTPL.

Con respecto al sistema seleccionado para la comunicación entre los nodos de medición terrena basados en DVP2 y la estación central, el sistema GPRS (General Packet Radio Service) cumple con las características de cobertura sobre los nodos remotos, adicionalmente se recalca que es una tecnología para acceder a redes de paquetes de datos debido a que es una arquitectura basada en conmutación de paquetes en lugar de conmutación de circuitos, como consecuencia este sistema es permanentemente seleccionado para aplicaciones de monitoreo remoto y continuo debido a costos, velocidades de transmisión, cobertura de la red, calidad de servicio, entre otros [12]-

[15] documentan la implementación de sistemas de monitoreo remoto de variables ambientales mediante el sistema GPRS.

Con respecto a la aplicación de recepción y centralización de datos en la estación central de monitoreo, se optó por utilizar el lenguaje de programación LabVIEW debido a sus características de compatibilidad con conexiones TCP/UDP (Transmission Control Protocol/User Datagram Protocol) y con aplicaciones software de terceros, adicional a ello se recalca que la UTPL dispone de la licencia del software mencionado. Debido a las características mencionadas la plataforma de desarrollo LabVIEW es utilizada ampliamente en sistemas de centralización, visualización y procesamientos de datos monitoreados remotamente [16]-[18].

Finalmente se procesará los datos de las estaciones meteorológicas con el objetivo de calibrar las imágenes LAWR, en el procesamiento de datos se utiliza principalmente algoritmos de interpolación regularmente utilizados en este tipo de aplicaciones [1], [19]-[20].

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA

El objetivo principal del presente proyecto es desarrollar e implementar un sistema de monitoreo en tiempo real, de bajo costo y abierto, de variables meteorológicas, basado en GPRS, aplicado a la gestión inteligente de territorios. Para el cumplimiento de los objetivos del presente proyecto, se plantea seguir la siguiente secuencia de actividades:

- Investigación de línea base de sistemas de monitoreo remoto.
- Diseño de la arquitectura del sistema de monitoreo remoto.
- Diseño, programación y simulación del sistema electrónico de adquisición automática de datos.
- Fabricación del sistema electrónico de adquisición automática de datos.
- Integración del prototipo de Estación Remota para monitoreo de variables meteorológicas.
- Evaluación y análisis de desempeño del sistema de monitoreo remoto de variables meteorológicas.

La metodología para abordar las actividades propuestas se describe a continuación:

- Investigación bibliográfica en bases de datos científicas: IEEE Xplore y Scopus.
- Síntesis de requerimientos en una arquitectura hardware-firmware-software.
- Síntesis de los requerimientos funcionales de hardware y firmware en un sistema microelectrónico.
- Integración de los elementos del sistema de monitoreo y luego se realiza el análisis de error de los resultados, finalmente se evalúa la integración de los datos con el sistema de calibración de imágenes LAWR.

El sistema propuesto comprende algunos elementos los cuales se desglosan en las secciones del presente documento. La sección 3.2 describe la arquitectura del sistema de monitoreo propuesto. La sección 3.3 refiere a las características de la estación meteorológica de referencia. La sección 3.4 documenta el diseño y la implementación del módulo tarjeta de adquisición de datos. Las secciones 3.5 y 3.6 describen los

elementos del módulo de comunicación GPRS y del módulo central de monitoreo, respectivamente.

3.2. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Cada uno de los nodos en donde están ubicadas las estaciones meteorológicas, representan las estaciones remotas, la estación central está ubicada en las instalaciones de la UTPL. Cada Estación Remota (REst) está formada por los siguientes elementos: 1) módulo estación meteorológica, 2) módulo tarjeta de adquisición de datos, y, 3) módulo de comunicación GPRS. La Estación Central (CEst) está formada por el módulo central de monitoreo (Fig. 1).

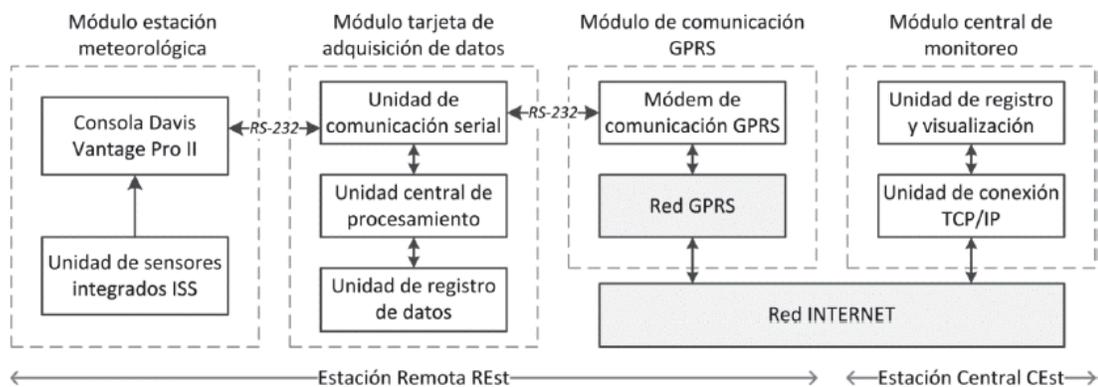


Figura 1. Arquitectura del Sistema de monitoreo remoto.

3.3. MÓDULO ESTACIÓN METEOROLÓGICA

El módulo estación meteorológica (MEsm) es particularmente la estación DVP2, el cual es un equipo que permite obtener mediciones fiables y precisas de variables climatológicas como: temperatura exterior, humedad exterior, presión barométrica, precipitación, radiación solar, radiación UV, velocidad y dirección del viento, está conformada por una unidad externa de sensores integrados (ISS) y una consola. La ISS es aquella que se encuentra directamente conectada con los sensores, esta unidad realiza el acondicionamiento de las señales y la transmisión inalámbrica de los datos hacia la

consola. Por otro lado la consola nos permite visualizar y registrar la data adquirida por la unidad ISS, así también posee sensores embebidos de temperatura, humedad y presión barométrica, posee memoria interna de 128 kB correspondiente a 2560 registros, por último posee un datalogger con conexión USB o serial para almacenamiento masivo de los datos. La conexión entre la consola y la unidad ISS soporta una distancia máxima de hasta 300 m [8].

Las características de resolución, rango y precisión de las variables adquiridas por la estación DVP2, se muestra en la Tabla I [8].

3.4. MÓDULO TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El módulo tarjeta de adquisición de datos (MTad) es el sistema electrónico que cumple las siguientes funciones:

- Recolectar las variables de la consola de la estación DVP2 mediante comunicación serial RS-232. La recolección se realiza mediante comandos seriales enviados a la consola, ésta responde con una trama de 99 bytes.
- Desentramar y analizar los datos recibidos, en base a la distribución y significado de cada byte recibido [21].
- Almacenar los datos obtenidos en una memoria externa tipo I2C, esta función se la utiliza como respaldo para que pueda ser descargada alternativamente de manera local.
- Enviar los datos obtenidos al módem GPRS para su transmisión a la Estación Central de monitoreo, a través de la red de datos GPRS.

En base a las funciones del MTad, se definió la arquitectura de los dispositivos que la conforman (Fig. 2).

TABLA I. RESOLUCIÓN, RANGO Y PRECISIÓN DE LAS VARIABLES ADQUIRIDAS POR LA ESTACIÓN DVP2

Variable	Resolución	Rango	Precisión
Evapotranspiración	0,1mm	Día: 999.9 mm	5%
Humedad de hojas	1	0 a 15	0,5
Humedad de suelo	1 cb	0 a 200 cb	--
Presión barométrica (rango de altitud -3000 a +3800 m (-1000 a +12500’))	0,1 mm Hg	660 a 810 mm Hg	0,8 mm Hg
	0,1 mb	880 a 1080 mb	1,0 mb
	0,1 hPa	880 a 1080 hPa	1,0 hPa
Humedad Interior	1%	10% a 90%	5%
Humedad Exterior	1%	0% a 100%	3%
Punto de Rocío	1°C	-76° a +54°C	1,5 °C
Lluvia caída	0,2 mm	Día : 0 a 9999 mm	4%
Tasa de lluvia caída	0,1 mm	0 a 1999,9 mm/h	5%
Radiación Solar	1 W/m ²	0 a 1800 W/m ²	5%
Energía Solar	PC: 0,1 J/cm ²	PC: 19999,9 J/cm ²	5%
Dosis de UV	0,1 dosis media	0 a 199 de dosis media	5%
Índice de UV	0,1	0 a 16	5%
Temperatura Interior	0,1°C	0° a 60°C	0,5 °C
Temperatura Exterior	0,1°C	-40° a +65°C	0,5 °C
Temperatura de Suelo	1°C	-40° a +65°C	0,5 °C
Índice de Temp-Hum-Sol-Viento	1°C	-79° a +54°C	1 °C
Dirección del viento	1°	0° a 360°	7°
Compás (Rosa de los vientos)	22,5°	16 puntos de compás	7°
Velocidad del Viento	0,1 m/s	1 a 67 m/s	5%
Dirección del Alta Velocidad	22,5°	16 puntos de compás	7°

3.4.1. Circuito del MTad

El diseño esquemático y la simulación del MTad se realizó en el software ISIS de la compañía Labcenter Electronics. En la Fig. 3 se presenta el diseño de la tarjeta de circuito impreso (Printed Circuit Board - PCB).

En la Fig. 4 se presenta la PCB implementada, en la cual: 1) es el microcontrolador PIC 18F4520, 2) es el circuito integrado MAX-232, 3) y 4) son los conectores DB9 para

conexión serial con el Módem y con la Consola respectivamente, por último 5) es la memoria externa tipo I2C, para almacenamiento de datos. Los elementos utilizados en el diseño e implementación del MTad, se detallan en la Tabla II.

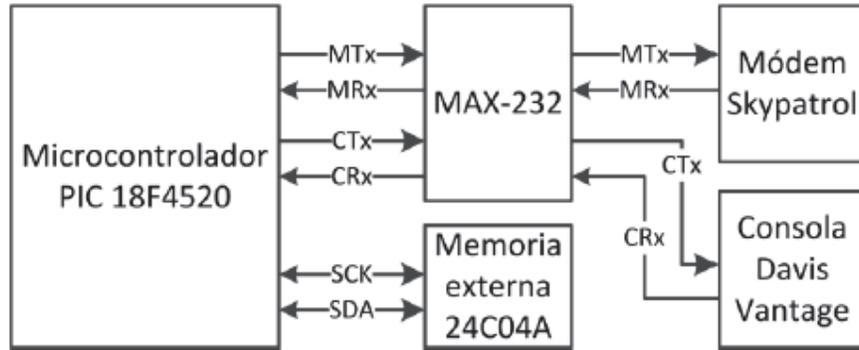


Figura 2. Arquitectura del módulo tarjeta de adquisición de datos.

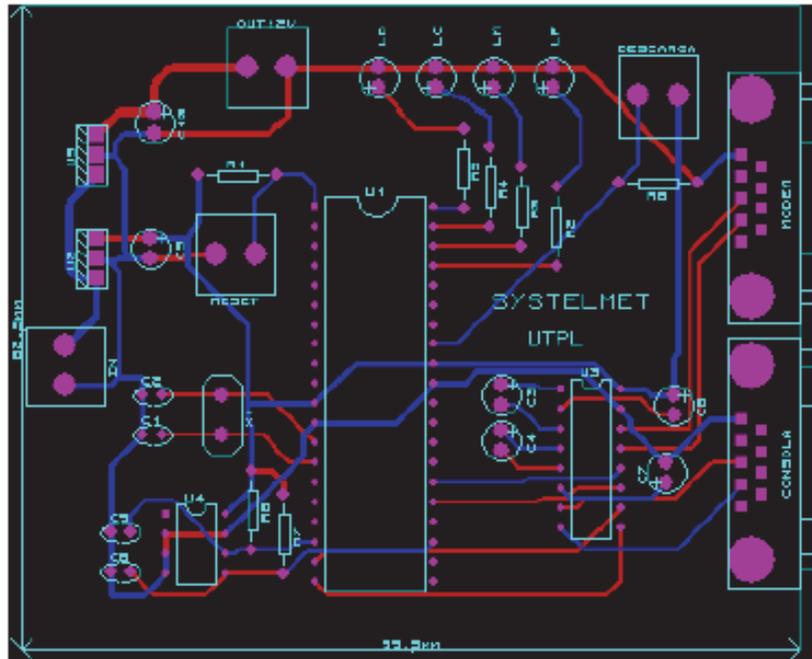


Figura 3. Diseño de la PCB del MTad.

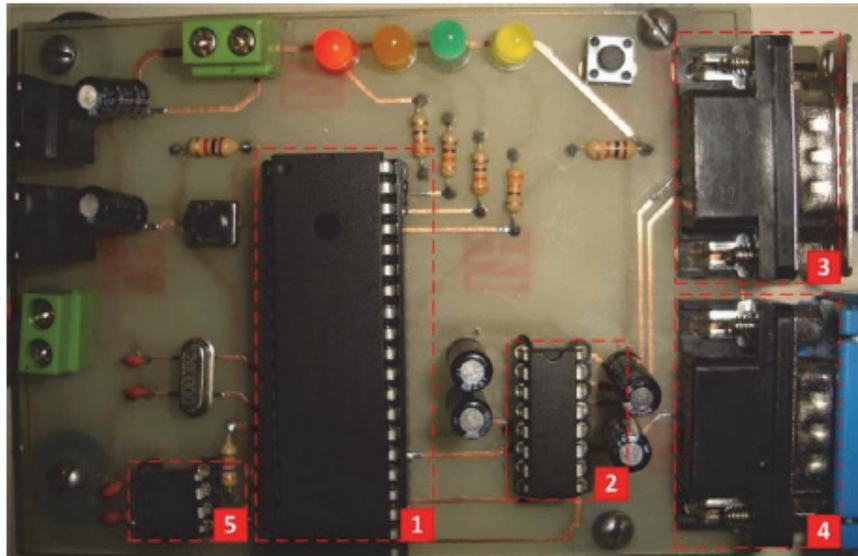


Figura 4. PCB del MTad implementada y ensamblada.

TABLA II. DISPOSITIVOS DEL MÓDULO TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Descripción	Nombre	Valor
Resistores	R2, R3, R4, R5	330 Ω
	R1, R8	1 k Ω
	R6, R7	4.7 k Ω
Borneras	IN, OUT12V	doble
Regulador de voltaje	U2	LM7805
	U5	74LS12
Capacitor electrolítico 16 V	C5, C10	4.7 μ F
	C3, C4, C6, C7	1 μ F
Capacitor cerámico	C1, C2	22 pF
	C8, C9	5.7 μ F
Pulsador	Reset, Descarga	Normalmente abierto
Memoria EEPROM	U4	24C04A
Driver comunicación serial	U3	MAX232
Microcontrolador	U1	PIC18F4550
Oscilador de cristal	X1	20 MHz
Diodos LED	LC, LF, LD, LM	--
Conector serial	Consola, Módem	DB9 macho

3.4.2. Algoritmo del MTad

El algoritmo principal del microcontrolador empieza con una definición de registros y variables, asignación de pines de entrada/salida y configuración de registros de comunicación serial asincrónica. La programación de las diferentes funciones se realiza a través de subrutinas específicas, entre las subrutinas que forman parte del programa se encuentran: rutina de configuración del modem celular para trabajar en modo GPRS, rutina de adquisición de datos, rutina de procesamiento de los datos, rutina de almacenamiento en memoria externa, y, rutina de encapsulamiento de datos y envío de la trama a la red GPRS. En la Fig. 5 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo principal del MTad.

La rutina de adquisición de datos se la realiza vía comunicación serial a través del USART del PIC a una velocidad de 9600 bps, se envía el comando LOOP 1 para que la consola responda con la trama de 99 bytes. Una vez recibida la trama, se procede a guardarla para su posterior interpretación y se incrementa en uno el contador de muestras de datos tomados, esto con la finalidad de obtener un dato seguro durante 10 segundos y 30 datos durante un periodo de 5 minutos.

La rutina de interpretación de datos implica identificar la posición y los valores de las variables en la trama de datos hexadecimales los cuales son convertidos a datos decimales. En base a [21], solamente 23 variables de la estación meteorológica se pueden obtener mediante este método, sin embargo el sistema comercial de la estación meteorológica y su respectivo software WeatherLink, adquieren 38 variables.

La rutina de procesamiento de datos involucra primeramente verificar si es un dato real o es un dato erróneo, esta verificación se la realiza con respecto al rango de cada variable adquirida, luego cada uno de estos datos es agregado al valor promedio respectivo. Por último todos los valores resultantes se encapsulan en una trama para ser almacenada y enviada a la red.

La rutina de almacenamiento de datos implica registrar la trama de los valores resultantes en una memoria externa EEPROM tipo I2C modelo 24C04A, esta rutina

también incluye el algoritmo de descarga directa de datos desde el MTad hacia un computador.

Finalmente, la rutina de envío de datos al módem GPRS se encarga de enviar la trama de valores resultantes hacia la red GPRS para que pueda ser registrada por la Estación Central.

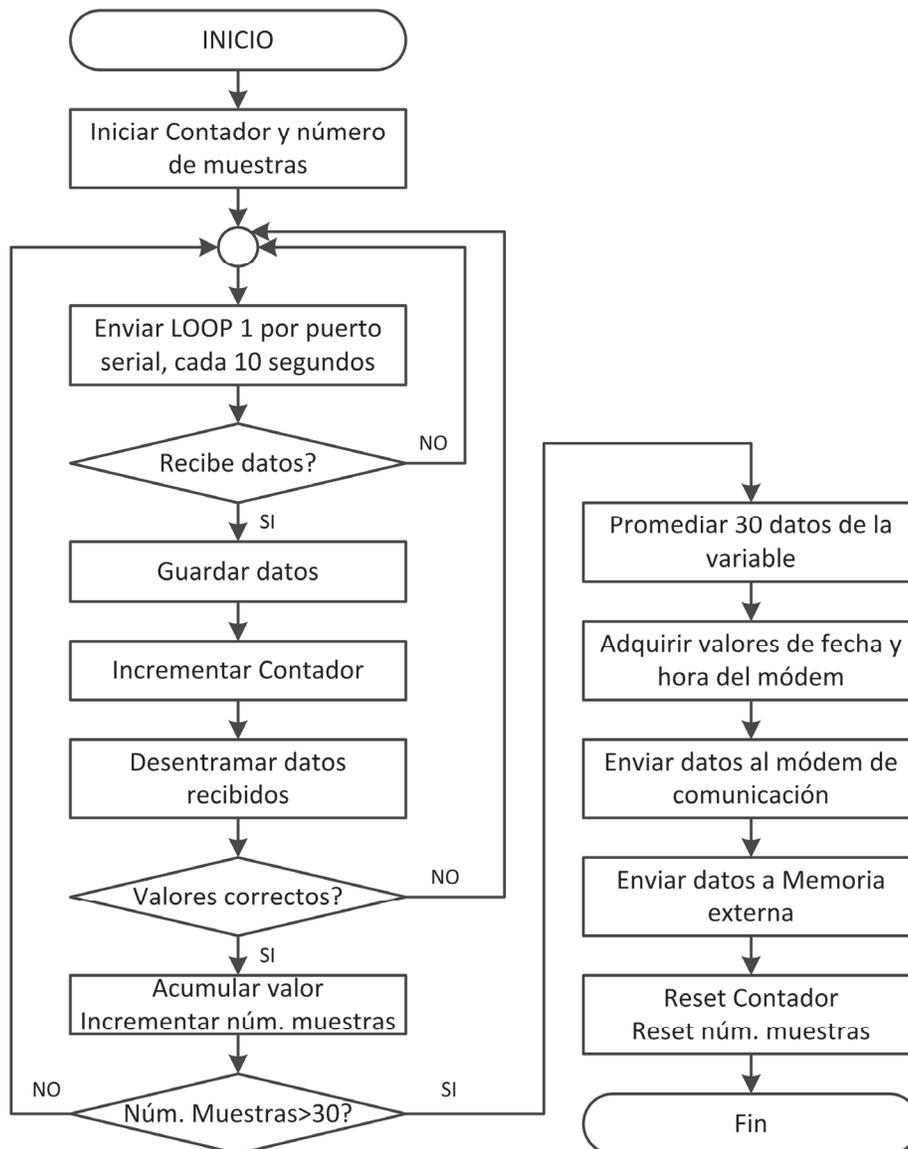


Figura 5. Diagrama de flujo del algoritmo principal del MTad.

3.5. MÓDULO DE COMUNICACIÓN

3.5.1. Esquema de comunicación

La red de comunicación encargada de permitir la conectividad entre las Estaciones Remotas (REst) y la Estación Central (CEst) es la red de datos GPRS. Todas las REst deben poseer un módem de comunicación, mientras que la CEst no necesita un módem debido a que, al estar ubicada dentro del Campus UTPL, posee conectividad a internet y su respectiva dirección IP pública. El proceso de comunicación se resume en lo siguiente: los módems reciben la información, éstos la transmiten hacia el servidor central que posee una dirección IP y un puerto definido, sin embargo la información se direccionará correctamente si el módem posee la puerta de enlace adecuada (gateway de la operadora móvil). El esquema de comunicación entre las REst y la CEst se muestra en la Fig. 6.

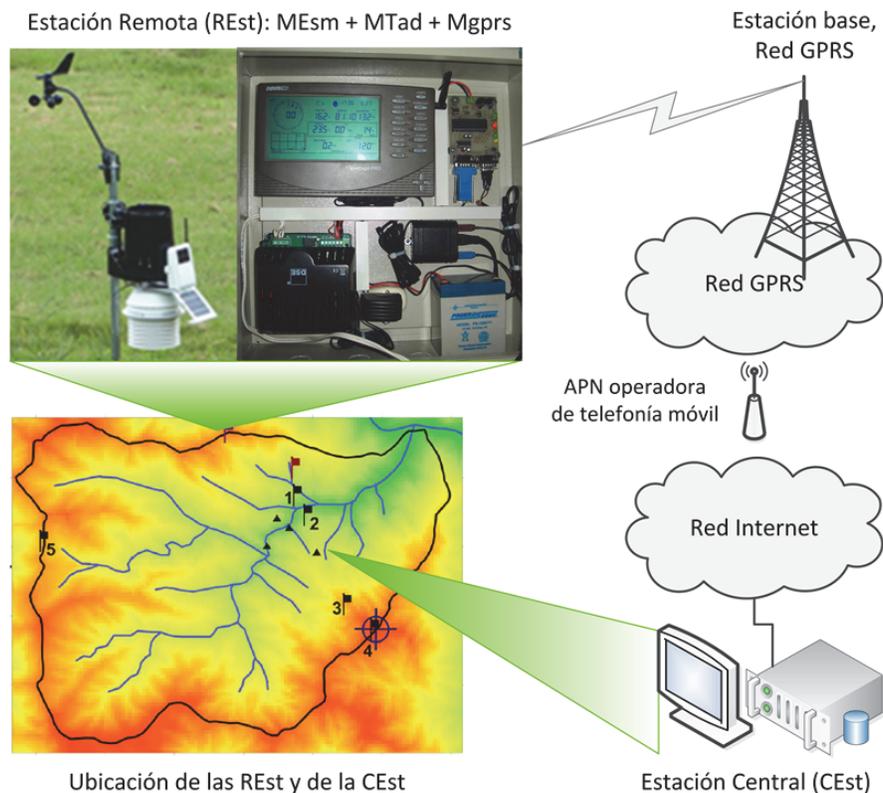


Figura 6. Esquema de comunicación entre las estaciones remotas y la estación central.

La red de datos GPRS realiza la función del transporte de los paquetes de información desde las REst hacia el servidor central de la CEst, su arquitectura física y lógica depende de la operadora de telefonía móvil. Sin embargo para la selección del esquema de comunicación se tomó en cuenta dos aspectos: determinar si los nodos de las estaciones remotas se encuentran dentro de la cobertura de la red de datos de la operadora, y, considerar la cantidad de tráfico generado por la red de estaciones remotas, con el objetivo de evaluar las tarifas para la sostenibilidad en el tiempo del presente sistema. La red de datos GPRS utilizada en el presente sistema es la perteneciente a la empresa de telefonía celular Movistar (Otecel S.A.), debido a que posee bajos costos para el tráfico de datos y las ubicaciones de las estaciones remotas están dentro de la cobertura de dicha red.

3.5.2. Módem de comunicación

Cada estación remota debe estar compuesta por un módem de comunicación GPRS conectado mediante interfaz serial al MTad. Para lograr que el módem se conecte satisfactoriamente a la red GPRS de la operadora de telefonía celular, se debe configurar el módem tomando en cuenta algunos aspectos importantes. En el presente proyecto se seleccionó el módem GPRS Skypatrol TT8750 [22]. Las configuraciones necesarias en el módem GPRS son:

- Configuración de la interfaz serial RS-232, en nuestro caso específico el módem está operando a 8N1 y 9600 bps [23].
- Configuración de acceso a la red GPRS, este comando permite establecer el tipo de comunicación y el nombre del punto de acceso de la red (APN), el cual es el Gateway de la operadora de telefonía celular.
- Configuración del protocolo, dirección IP y número de puerto del servidor, en nuestro caso específico se utiliza el protocolo TCP para la transmisión de los datos en la red GPRS, y, el número del puerto del servidor de la estación central de monitoreo es el 555.

El modo de operación de cada una de las estaciones remotas es de tipo B, es decir la estación remota se engancha a los servicios GPRS y GSM (Global System for Mobile communications).

3.6. MÓDULO CENTRAL DE MONITOREO

El núcleo del Módulo central de monitoreo es una aplicación desarrollada en LabVIEW, la cual la denominamos *Sistelmet*, en la Fig. 7 se muestra la interfaz gráfica de usuario de la aplicación. Las funciones que realiza la aplicación son:

- Leer los datos enviados por la estación remota, por medio del puerto 555 del servidor de la estación central.
- Visualizar gráficamente y numéricamente los datos meteorológicos adquiridos por la estación remota.
- Almacenar en ficheros diarios tipo hojas de cálculo, los datos adquiridos.
- Permitir consultar el historial de datos almacenados en el servidor.

La trama de los datos resultantes (Fig. 8) que envía la REst y que receipta el servidor de la CEst, contiene el identificador de REst, la fecha, la hora y los valores respectivos a las 23 variables adquiridas.

Luego de receiptada la trama, el servidor central segmenta los datos y procede a convertirlos a las unidades específicas que se necesita para las investigaciones ambientales y afines. En la Tabla III se muestra la estructura de la trama, la función de conversión y el valor final de los datos receiptados.

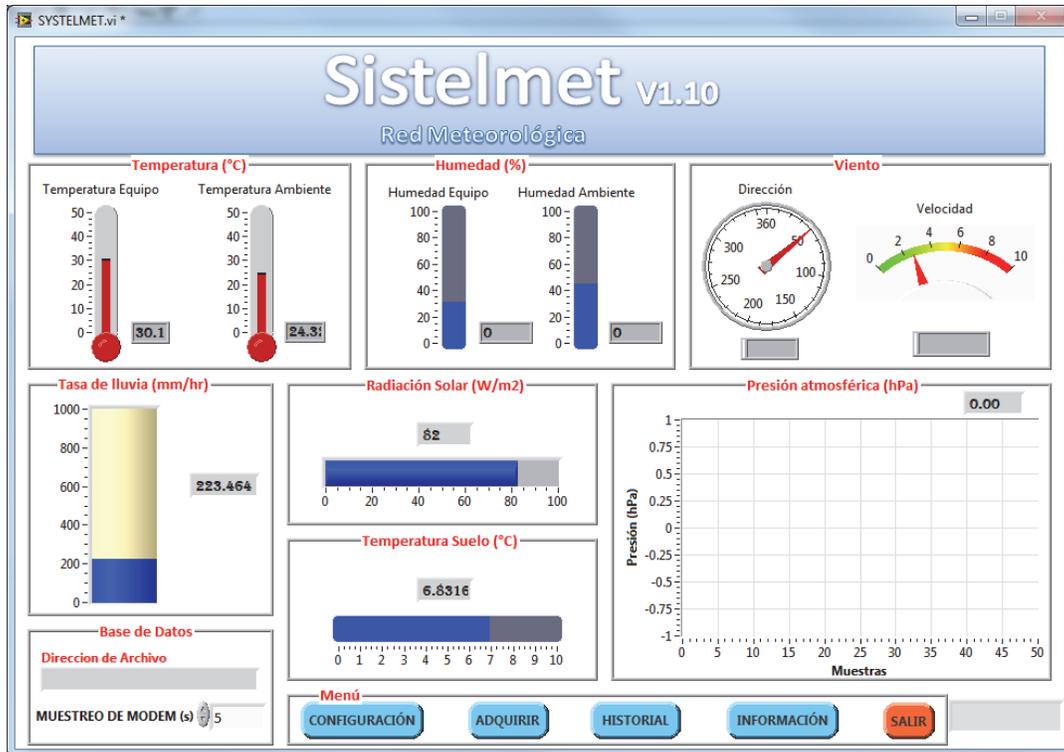


Figura 7. Interfaz de usuario gráfica de la aplicación *Sistelmet*.

```

**Id_REst**; fecha_aa,mm,dd; hora_hh,mm,ss; Pre
sion; TempInt; TempExt; HiTempExt; LowTempExt; Te
mpSuelo; HiTempSuelo; LowTempSuelo; HumInt; HumE
xt; HumSuelo; VelocViento; HiVelocViento; DirVie
nto; HiDirViento; Lluvia; HiLluvia; UV; HiUV; RadS
ol; HiRadSol; DayRain; DayET**

**01**; 15, 6, 3; 21, 27, 34; 29845; 65154; 60012; 6212
3; 58123; 152; 161; 148; 62; 74; 56; 1; 12; 83; 270; 200;
500; 40; 55; 84; 91; 6; 15**

```

Figura 8. Estructura de la trama (sup), trama de ejemplo (inf).

TABLA III. ESTRUCTURA DE LA TRAMA, FUNCIÓN DE CONVERSIÓN Y VALOR FINAL DE LOS DATOS RECEPTADOS

Variable	Etiqueta	Dato de la trama		Función de conversión	Valor final	Unidades
Presión	Presion	D1	29845	$(D1/1000)*33.8639$	1010,67	hPa
Temperatura interna	TempInt	D2	65154	$((D2/1000)-32)/1.8$	18,42	°C
Temperatura externa	TempExt	D3	60012	$((D3/1000)-32)/1.8$	15,56	°C
Temperatura externa máxima	HiTempExt	D4	62123	$((D4/1000)-32)/1.8$	16,74	°C
Temperatura externa mínima	LowTempExt	D5	58123	$((D5/1000)-32)/1.8$	14,51	°C
Temperatura del suelo	TempSuelo	D6	152	D6/10	15,2	°C
Temperatura del suelo máxima	HiTempSuelo	D7	161	D7/10	16,1	°C
Temperatura del suelo mínima	LowTempSuelo	D8	148	D8/10	14,8	°C
Humedad interna	HumInt	D9	62	D9	62,0	%
Humedad externa	HumExt	D10	74	D10	74,0	%
Humedad del suelo	HumSuelo	D11	56	D11	56,0	cb
Velocidad viento	VelocViento	D12	1	$D12*0.44704$	0,447	m/s
Velocidad viento máxima	HiVelocViento	D13	12	$(D13/10)*0.44704$	0,536	m/s
Dirección de viento	DirViento	D14	83	D14	83,0	°
Dirección viento máxima	HiDirViento	D15	270	D15	270,0	°
Tasa de lluvia	Lluvia	D16	200	$(D16/100)*25.4$	50,8	mm
Tormenta de lluvia	HiLluvia	D17	500	$(D17/100)*25.4$	127,0	mm
Ultravioleta	UV	D18	40	D18/10	4,0	índice
Ultravioleta máximo	HiUV	D19	55	D19/10	5,5	índice
Radiación solar	RadSol	D20	84	D20	84,0	Watt/m ²
Radiación solar máxima	HiRadSol	D21	91	D21	91,0	Watt/m ²
Day lluvia	DayRain	D22	6	D22/100	0,06	--
Day Evapotranspiración	DayET	D23	15	D23/1000	0,015	--

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de diseñar, configurar y desarrollar cada uno de los módulos del sistema de monitoreo remoto, en la presente sección se integra todos estos elementos con el objetivo de evaluar el desempeño del sistema.

4.1. INTEGRACIÓN DEL TABLERO DE LA ESTACIÓN REMOTA

El tablero (Fig. 9) consta de la interconexión de los elementos de la estación remota: 1) la consola de la estación meteorológica DVP2, 2) la tarjeta de adquisición de datos MTad, 3) el módem de comunicación GPRS Skypatrol, 4) la fuente de alimentación de la estación DVP2, 5) el módulo de carga de la batería, 6) la batería de 12V-5Ah, y, por último 7) las antenas GPRS y GPS (Sistema de posicionamiento global).

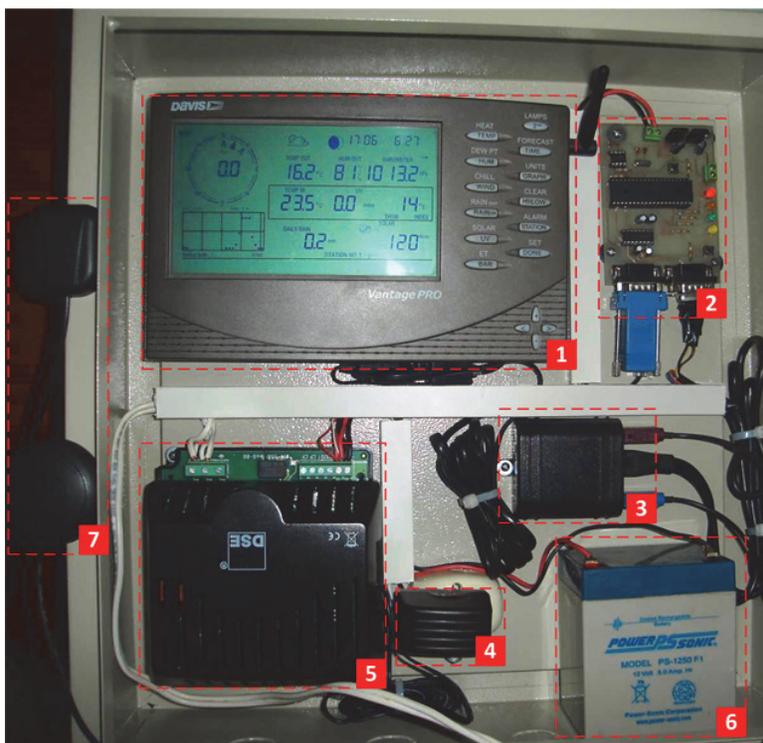


Figura 9. Interconexión de los elementos de la Estación Remota.

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis y comparación de resultados, se procedió a comparar los datos obtenidos por nuestro software *Sistemet* con los datos provenientes del software *WeatherLink*, el análisis realizado corresponde al cálculo del error relativo entre los conjuntos de datos. Se realizan dos ensayos para comparación: ensayo-día 1, desde las 10h30 hasta las 12h30 se obtienen 13 muestras de las variables meteorológicas; ensayo-día 2, desde las 16h25 hasta las 18h25.

En la Fig. 10a se presenta la gráfica de los datos de la variable Humedad Externa y el error relativo calculado, correspondiente al ensayo 1. El error máximo entre los datos es de 1.5 %. En la Fig. 10b se presenta la gráfica de los datos de la variable Temperatura Externa y el error relativo calculado, correspondiente al ensayo 2. El error máximo entre los datos es de 1.1 %.

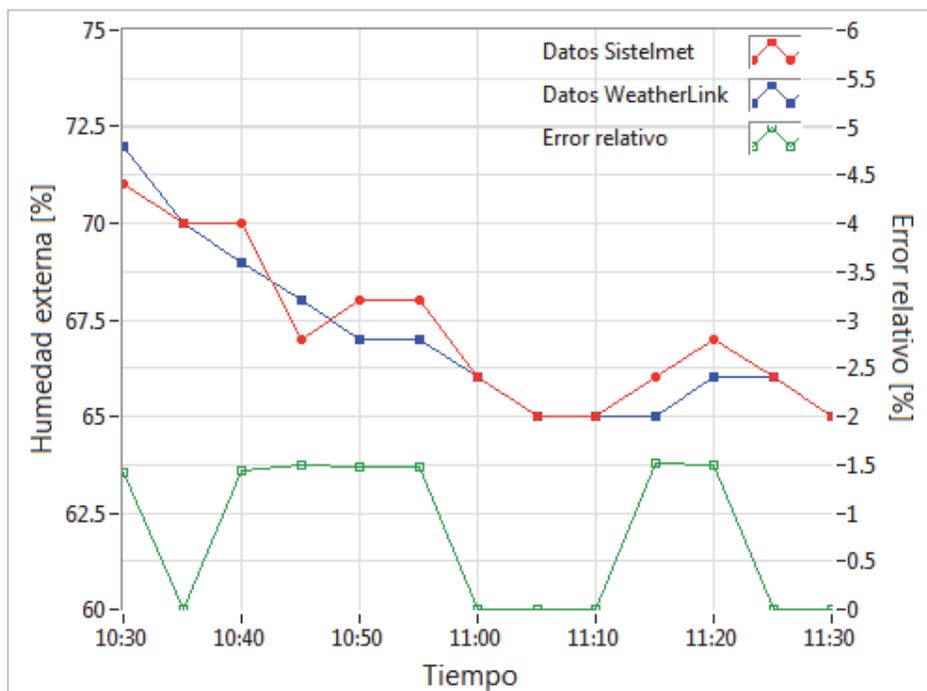


Figura 10a. Datos y errores del ensayo 1.

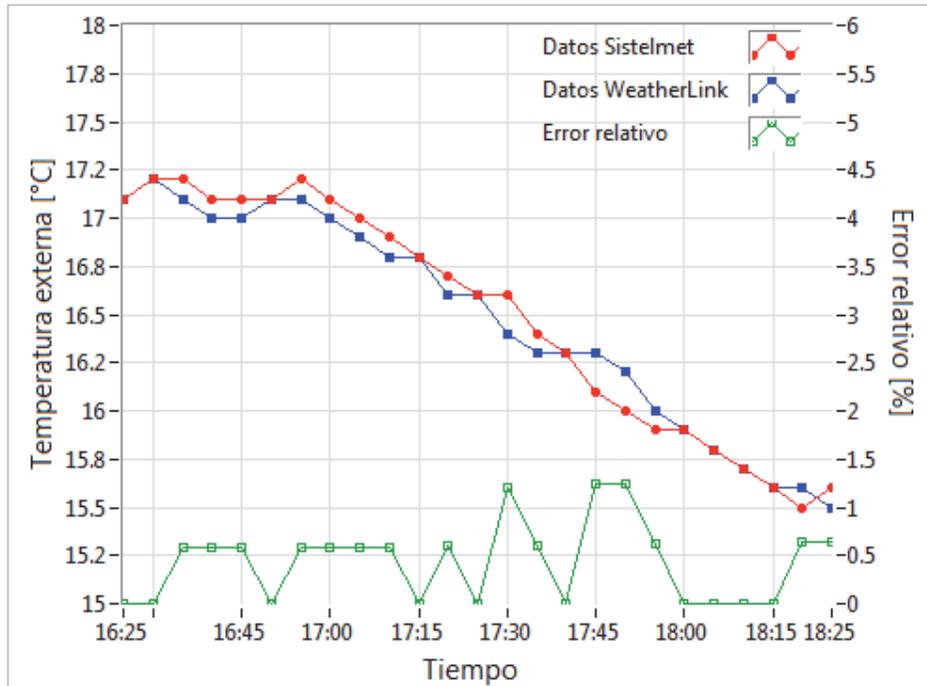


Figura 10b. Datos y errores del ensayo 2.

La causa principal de los errores radica en las muestras promediadas de la lectura de la consola, en nuestro sistema propuesto se obtiene una muestra cada 10 segundos para obtener el promedio cada 5 minutos, en el sistema comercial el muestreo se realiza cada 2.5 segundos.

Con respecto a los datos de precipitación adquiridos en tiempo real, el siguiente paso a desarrollar es integrar los datos al procedimiento (Fig. 11) propuesto en [1] para la calibración de las imágenes LAWR con el objetivo de que este procedimiento se ejecute cada 5 minutos y así obtener las funciones de calibración en tiempo real. Este desarrollo e integración se propone para trabajos futuros.

Los pasos que ejecuta el software para la calibración de las imágenes LAWR, son los siguientes:

- Adquirir los datos de las variables meteorológicas, cada 5 minutos.
- Extraer el vector de datos de precipitación medida con cada estación meteorológica.
- Adquirir el archivo de texto plano que contiene los datos de la imagen LAWR, cada 5 minutos.

- Extraer los valores adimensionales de la imagen LAWR, correspondiente a las posiciones geográficas de las estaciones meteorológicas.
- En base a un gráfico de dispersión (valores adimensionales de la imagen LAWR, valores de precipitación de las estaciones meteorológicas), extraer la función de calibración tomando en cuenta la minimización de los parámetros RSME (error cuadrático medio) y R-cuadrado (coeficiente de determinación).
- Aplicar la función de calibración a la imagen LAWR entrante.

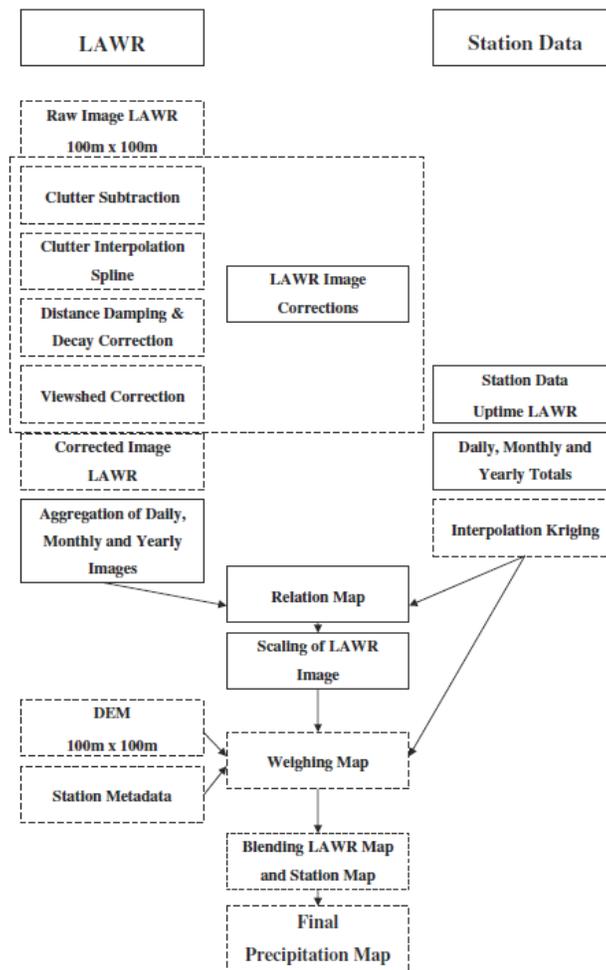


Figura 11. Procedimiento para la generación de mapas de precipitación aplicado a imágenes del LAWR [1].

En la Fig. 12 se muestra la ejecución de la secuencia de pasos antes mencionada para los datos de precipitación acumulada del día 30 de mayo del 2015, desde las 00h00 hasta las 24h00. La Fig. 12a representa la imagen LAWR de entrada, la Fig. 12b representa la imagen LAWR calibrada.

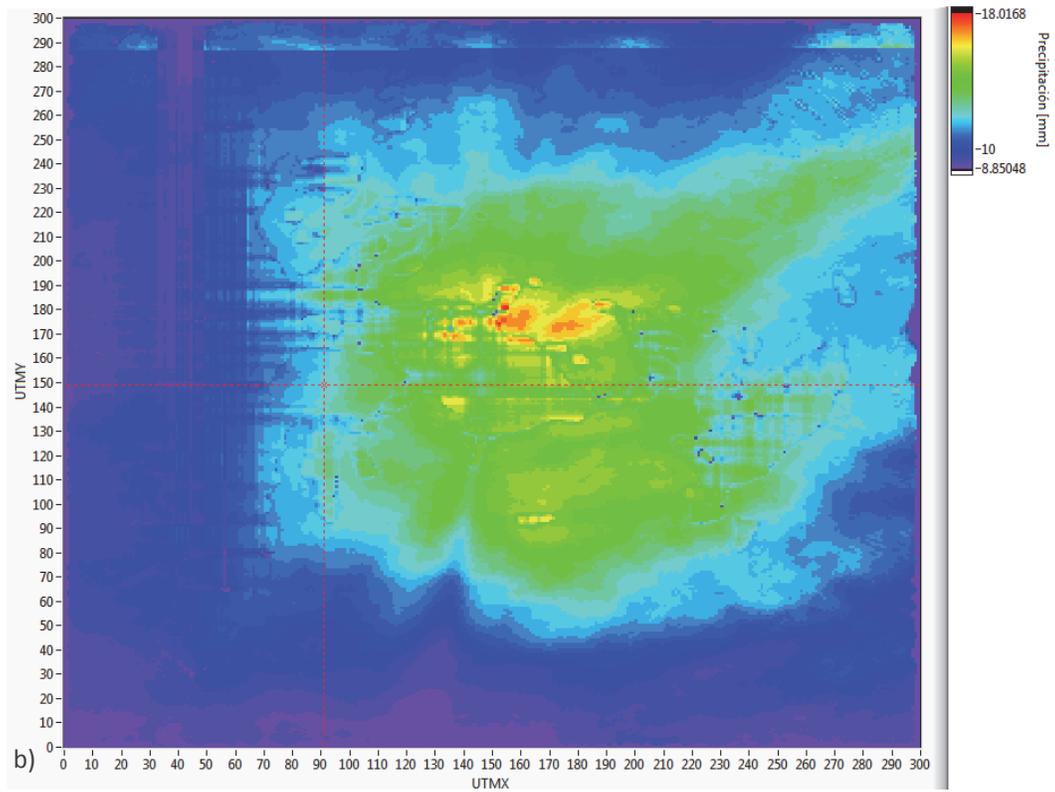
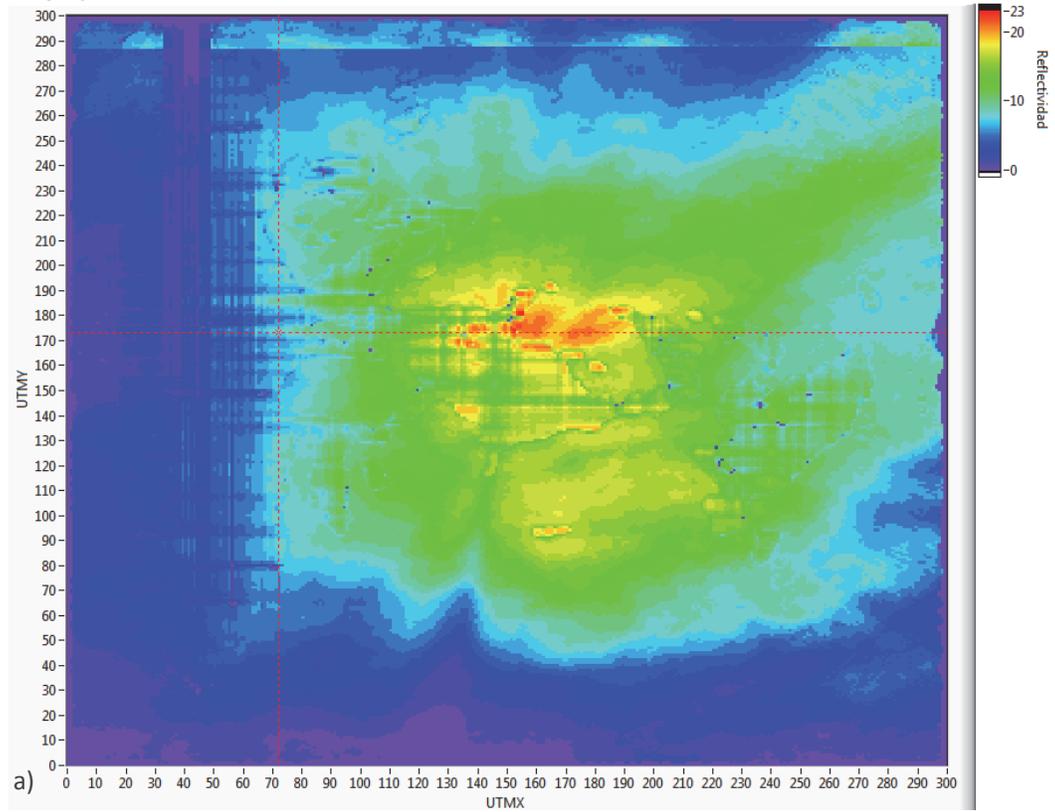


Figura 12. a) Imagen LAWR de entrada, b) Imagen LAWR calibrada.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se ha propuesto y evaluado una arquitectura de bajo costo y una metodología para la extracción de datos en tiempo real de las estaciones meteorológicas Davis Vantage Pro. Esta arquitectura y metodología forma parte del sistema de monitoreo remoto implementado para la adquisición de las variables meteorológicas medidas por las estaciones de medición terrena. Se aplicó el sistema propuesto al monitoreo en tiempo real de las estaciones terrenas de referencia del sistema de radar LAWR.
- El presente trabajo es una solución de bajo costo y flexible que aporta a disminuir el consumo de recursos económicos en movilización y personal, y, el consumo de tiempo en la recopilación de los datos de las estaciones terrenas. Así también este sistema suministrará continuamente (cada 5 minutos) los datos recolectados de precipitación que permitirán determinar las funciones de calibración aplicadas a los radares LAWR.
- El sistema de adquisición de datos y monitoreo remoto implementado, suministra información confiable (error máximo 1.5%) y oportuna (cada 5 minutos). El error máximo se lo determinó en las variables donde existe mayor desviación y a la vez cubre un mayor rango (Temperatura externa y Humedad externa).
- Se implementó el módulo tarjeta de adquisición de datos con las prestaciones necesarias y suficientes para este tipo de aplicaciones: Recolecta las variables de la consola de la estación DVP2 mediante comunicación serial RS-232. Desentrama y analiza los datos recibidos, en base a la distribución y significado de cada byte. Almacena los datos obtenidos en una memoria externa tipo I2C, y, envía los datos obtenidos al módem GPRS para su transmisión al módulo central de monitoreo, a través de la red de datos GPRS.

- Se desarrolló una aplicación que permite obtener la función calibración Z/R aplicado a las imágenes LAWR, basado en la optimización de los parámetros: RSME (error cuadrático medio) y R-cuadrado (coeficiente de determinación).

6. REFERENCIAS

- [1] Fries, R. Rollenbeck, B. Bayer, V. Gonzalez, F. Oñate-Valvieso, T. Peters, and J. Bendix, "Catchment precipitation processes in the San Francisco valley in southern Ecuador: combined approach using high-resolution radar images and in situ observations", *Meteorol. Atmos. Phys.*, Jun. 2014.R.
- [2] Rollenbeck and J. Bendix, "Rainfall distribution in the Andes of southern Ecuador derived from blending weather radar data and meteorological field observations", *Atmos. Res.*, Vol. 99, No. 2, Feb. 2011, pp. 277-289.
- [3] R. Rollenbeck and J. Bendix, "Experimental calibration of a cost-effective X-band weather radar for climate ecological studies in southern Ecuador", *Atmos. Res.*, Vol. 79, Iss. 3-4, Mar. 2006, pp. 296- 316.
- [4] N. E. Jensen, "X-band local area weather radar—preliminary calibration results", *Water Sci. Technol.*, 2002, Vol. 45, pp. 135-138.
- [5] Germann U, Galli G, Boscacci M, Bolliger M, "Radar precipitation measurement in a mountainous area". *QJR Meteorol. Soc.*, 2006, Vol. 132, pp. 1669–1692.
- [6] Delrieu G, Boudevillain B, Nicol J, Chapon B, Kirstetter PE, Andrieu H, Faure D, "Bolle'ne-2002 experiment: radar quantitative precipitation estimation in the Ce'vennes-Vivarais region", France, *J Appl Meteorol Climatol*, 2009, Vol. 48, pp. 1422–1447.
- [7] DHI LAWR Systems, "Local Area Weather Radar Installations Worldwide", pp. 1-19, October 2013.
- [8] Davis Instruments Corp., "Manual de la consola Vantage Pro2", pp. 1-100, 29 May 2012.
- [9] Farhana, Z.; Irwan, Y.M.; Azimmi, R.M.N.; Razliana, A.R.N.; Gomesh, N., "Experimental investigation of photovoltaic modules cooling system," in *Computers & Informatics (ISCI), 2012 IEEE Symposium on*, vol., no., pp.165-169, 18-20 March 2012.
- [10] Omotosho, T.V.; Willoughby, A.A.; Akinyemi, M.L.; Mandeep, J.S.; Abdullah, M., "One year results of one minute rainfall rate measurement at Covenant University, Southwest Nigeria," in *Space Science and Communication*

- (IconSpace), 2013 IEEE International Conference on, vol., no., pp.98-101, 1-3 July 2013.
- [11] O. M. Durodola, M. O. Ajewole and A. T. Adediji, "Study and characterization of rainfall intensities in Akure, Southwestern Nigeria," *General Assembly and Scientific Symposium (URSI GASS)*, 2014 XXXIth URSI, Beijing, 2014, pp. 1-4.
- [12] Liang Ying; Guo Yun-feng; Zhao Wei, "Greenhouse environment monitoring system design based on WSN and GPRS networks," in *Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*, 2015 IEEE International Conference on, vol., no., pp.795-798, 8-12 June 2015.
- [13] Kovacs, A.; Nicolcioiu, A.; Arhip, J.; Casu, G., "Design and implementation of a GPRS remote data logger for weather forecasting," in *Communications (COMM)*, 2014 10th International Conference on, vol., no., pp.1-4, 29-31 May 2014.
- [14] Li Dongjiang; Li Zhihong; Lou Xiaoyan; Yu JunHao, "Design and implementation of water well monitoring system based on GPRS," in *Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet)*, 2013 3rd International Conference on , vol., no., pp.221-224, 20-22 Nov. 2013.
- [15] Xue TianLiang; Zhong QingYao; Zhou Yunhai, "Design of a real-time monitoring system for transmission line galloping based on GPRS/CDMA," in *Advanced Power System Automation and Protection (APAP)*, 2011 International Conference on, vol.3, no., pp.1778-1781, 16-20 Oct. 2011.
- [16] M. Mekki, O. Abdallah, M. Amin, M. Eltayeb, T. Abdalfatah and A. Babiker, "Greenhouse monitoring and control system based on wireless Sensor Network", *2015 International Conference on Computing, Control, Networking, Electronics and Embedded Systems Engineering (ICCNEEE)*, pp. 384-387, 7-9 Sep. 2015.
- [17] C. Ahmed, M. Kassas and S. Ahmed, "LabVIEW Based PV Panel Online Characteristics and Parameters Estimation", *Procedia Computer Science*, vol. 52, pp. 876-882, 2-5 Jun. 2015.
- [18] F. Touati, M. Al-Hitmi, N. Chowdhury, J. Hamad and A. San Pedro Gonzales, "Investigation of solar PV performance under Doha weather using a customized measurement and monitoring system", *Renewable Energy*, vol. 89, pp. 564-577, 2016.

- [19] W. Luo, M. C. Taylor and S. R. Parquer, “A comparison of spatial interpolation methods to estimate continuous wind speed surfaces using irregularly distributed data from England and Wales”, *International Journal of Climatology*, vol. 28, no 7, pp. 947-959, 2008.
- [20] McVicar, T. R., Van Niel, T. G., Roderick, M. L., Li, L. T., Mo, X. G., Zimmermann, N. E., and Schmatz, D. R. “Observational evidence from two mountainous regions that near-surface wind speeds are declining more rapidly at higher elevations than lower elevations: 1960–2006”. *Geophysical Research Letters*, vol. 37, no. 6, 2010.
- [21] Davis Instruments Corp., “Vantage Pro2 Serial Communication Reference Manual”, pp. 1-60, 29 March 2013.
- [22] SkyPatrol LLC, “SkyPatrol TT8750 User Guide”, pp. 1-47, 15 August 2008.
- [23] SkyPatrol LLC, “SkyPatrol TT8750 AT command Reference”, pp. 1- 520, 18 March 2010.

7. ANEXOS

- Artículo científico indexado en SCOPUS
- Propuesta de proyecto de investigación
- Evidencia de indexación del artículo científico

ANEXO 1
ARTÍCULO CIENTÍFICO INDEXADO EN SCOPUS

Diseño e implementación de una arquitectura y metodología aplicadas al monitoreo remoto de variables meteorológicas

Design and implementation of an architecture and methodology applied to remote monitoring of weather variables

Carlos Calderon-Cordova^{1,2}, Alex Jaramillo¹, Christian Tinoco¹, Manuel Quiñones^{1,2}
Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica
Universidad Nacional de Loja, Área de Energía, Industrias y Recursos Naturales no Renovables
Loja, Ecuador

ccalderon@utpl.edu.ec, mquinonez@utpl.edu.ec

Resumen — La medición de variables meteorológicas en las regiones montañosas de los Andes del Ecuador es de gran importancia para investigaciones medioambientales, hidrológicas y ecológicas. Dichas investigaciones revelan indicadores que contribuyen a la gestión innovadora del territorio, el cual se caracteriza por ser un patrimonio natural biodiverso del país. Debido a la heterogeneidad de la distribución de las precipitaciones y demás variables meteorológicas en dicha región, se manifiesta la necesidad de utilizar radares LAWR (Local Area Weather Radar) para construir mapas de variables de alta resolución temporal y espacial, sin embargo los datos de salida de estos sistemas radar se necesitan calibrar en tiempo real con nodos de medición terrena. En consecuencia, el radar LAWR instalado en la provincia de Loja-Ecuador destinado para investigaciones entre la Universidad (UTPL) y los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs), necesita complementarse con datos en tiempo real de las variables adquiridas por las estaciones meteorológicas de referencia ubicadas en la zona de estudio. En base a lo anterior, el objetivo del presente trabajo es el de diseñar, implementar y evaluar un sistema de monitoreo remoto, de bajo costo, flexible, y, en tiempo real de las variables meteorológicas adquiridas por las estaciones de medición terrena basadas en el equipo Davis Vantage Pro. El sistema implementado está basado en GPRS y suministra información confiable (error máx. 1.5%) y oportuna (cada 5 min.) que sirva como insumo para investigaciones aplicadas a la gestión inteligente del territorio.

Palabras Clave – monitoreo remoto; estaciones meteorológicas; redes GPRS; adquisición de datos; Davis Vantage Pro.

Abstract — The measurement of weather variables in the Andes Mountains of Ecuador is of great importance for environmental, hydrological and ecological research. Such investigations reveal indicators that contribute to innovative management of

Territorie, which it is characterized as a biodiverse natural heritage.

Due to heterogeneity of the distribution of rainfall and other weather variables in that region suggest the need to use radar systems LAWR (Local Area Weather Radar), to mapping of variables with high temporal and spatial resolution. However, the outputs of these radar systems are required to calibrate in real-time with ground nodes measurements. Therefore, the radar system LAWR, available in the province of Loja-Ecuador intended for research between the University (UTPL) and the autonomous governments (GADs), needs to be complemented with real-time monitoring of variables acquired by the reference weather stations located in the study area. Based on the above, the objective of this work is to design, implement and evaluate a remote real-time monitoring system of weather variables acquired by measuring ground stations based on Davis Vantage Pro. The implemented system is based on GPRS and provides reliable (max. error 1.5%) and timely (every 5 min.) information to enable to researchers intelligent management of territories.

Keywords – remote monitoring; weather stations; GPRS networks; data acquisition; Davis Vantage Pro.

I. INTRODUCCIÓN

La determinación de la cantidad de precipitación y demás variables meteorológicas en las regiones montañosas de los Andes del Ecuador es de gran importancia para investigaciones medioambientales, hidrológicas y ecológicas. Dichas investigaciones arrojan indicadores que contribuyen a la gestión innovadora del territorio, el cual se caracteriza por ser un patrimonio natural biodiverso del país. Debido a la heterogeneidad de la distribución de las precipitaciones y demás variables meteorológicas en dicha región y la incapacidad de la red nacional de proporcionar el servicio meteorológico adecuado, se manifiesta la necesidad de utilizar

radars para poder construir mapas de precipitación de alta resolución temporal y espacial. Además de la pluviosidad, otras variables de interés son: la velocidad y dirección del viento, la temperatura, la humedad, la presión atmosférica, la radiación solar, entre otras [1]-[3]. Desde hace algunos años radares de bajo costo basados en la banda-X son disponibles como alternativa para países en desarrollo (por ejemplo Local Area Weather Radar, LAWR) [4], sin embargo, estos dispositivos suministran datos confiables si hay los suficientes nodos de medición terrena para calibrar las imágenes suministradas por los radares [5], [6].

La Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) realiza investigaciones basadas en las imágenes (100m x 100m por pixel) de precipitación provenientes del radar LAWR desarrollado por el DHI (Dansk Hydroloisk Institut, Instituto Hidrológico de Dinamarca), este sistema es un radar marino modificado con un radio de alcance de 40 km. Una limitación del LAWR DHI es que no proporciona información de la medida de la reflectividad Z, sino que cada pixel de la imagen del radar tiene asociado un valor numérico sin dimensiones de 8 bits (de 0 a 255), el cual está relacionado con la tasa de precipitación R [1], [2]. El investigador tiene que buscar la correlación que existe entre los valores de cada pixel y los valores de precipitación registrados en las estaciones meteorológicas distribuidas en los cinco puntos de referencia. Luego, a partir de esta correlación, se obtiene una ecuación matemática que describe la relación Z/R, que permite convertir el índice de reflectividad Z del radar en tasa de precipitación R. Sin embargo, actualmente los datos de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio se recogen manualmente mediante visitas in-situ cada 15 días, es decir cada 15 días se calibran las imágenes resultantes del LAWR, obteniendo mapas de precipitación de los 15 días anteriores a la recolección de datos in-situ. El problema anterior sumado a los problemas de consumo de recursos económicos en movilización y en personal, así como consumo de tiempo en la recopilación de los datos plantean la necesidad de diseñar e implementar un sistema de monitoreo en tiempo real, de bajo costo y flexible, de las estaciones meteorológicas de referencia, en consecuencia la plataforma desarrollada suministrará continuamente los datos recolectados permitirán determinar las funciones de calibración al menos cada 5 minutos en lugar de cada 15 días, así como también se dispondrá en tiempo real las funciones temporales de velocidad y dirección del viento, la temperatura, la humedad, la presión atmosférica, la radiación solar, entre otras variables de interés.

El sistema GPRS (General Packet Radio Service) es una tecnología para acceder a redes de paquetes de datos, ya que es una arquitectura basada en conmutación de paquetes en lugar de conmutación de circuitos, como consecuencia este sistema es continuamente seleccionado para aplicaciones de monitoreo continuo debido a costos, velocidades de transmisión, cobertura de la red, calidad de servicio, entre otros. [7]-[10] documentan la implementación de sistemas de monitoreo remoto de variables ambientales mediante el sistema GPRS.

El objetivo del presente proyecto es desarrollar e implementar un sistema de monitoreo en tiempo real, de bajo costo y abierto, de variables meteorológicas, basado en GPRS, aplicado a la gestión inteligente de territorios, el desarrollo del

sistema comprende algunos elementos los cuales se desglosan en las secciones del presente documento. La Sección II describe la arquitectura del sistema de monitoreo propuesto. La Sección III refiere a las características de la estación meteorológica de referencia. La Sección IV documenta el diseño y la implementación del módulo tarjeta de adquisición de datos. Las Secciones V y VI describen los elementos del módulo de comunicación GPRS y del módulo central de monitoreo, respectivamente. En la Sección VII se presenta la implementación y el análisis de resultados. Finalmente, las conclusiones principales del trabajo de investigación son resumidas en la Sección VIII.

II. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Cada uno de los nodos en donde están ubicadas las estaciones meteorológicas, representan las estaciones remotas, la estación central está ubicada en las instalaciones de la UTPL. Cada Estación Remota (REst) está formada por los siguientes elementos: 1) módulo estación meteorológica, 2) módulo tarjeta de adquisición de datos, y, 3) módulo de comunicación GPRS. La Estación Central (CEst) está formada por el módulo central de monitoreo (Fig. 1).

La estación meteorológica utilizada en el presente proyecto es la estación Davis Vantage Pro II (DVP2) [11], la cual está formada por la consola de visualización y por la unidad de sensores integrados. Esta estación meteorológica es usada en proyectos de investigación similares por la confiabilidad del dispositivo y de la información adquirida, tal es el caso de la investigación experimental de sistemas fotovoltaicos [12], y la recolección de datos de lluvia con alta resolución temporal [13]. Existen otras aplicaciones a una diversidad de sistemas, sin embargo para el monitoreo remoto de las estaciones DVP2 utilizan tecnología hardware y software (WeatherLink) del proveedor Davis Instruments Corp. Ello hace que la solución de monitoreo remoto sea cerrada y que no la podamos integrar automáticamente a otros sistemas o herramientas de análisis de datos. Nuestro dispositivo de interfaz entre la estación DVP2 y el sistema de comunicación basado en GPRS es una tarjeta electrónica desarrollada localmente. Esta tarjeta de adquisición de datos se desarrolló como uno de los objetivos específicos del presente proyecto, dicha tarjeta cuenta con capacidades de comunicación basada en el protocolo RS-232, para la conectividad de la consola de la estación meteorológica DVP2 con el módem de comunicación GPRS Skypatrol (SKP), así también la tarjeta posee la función de registro de la información recolectada. El módulo central de monitoreo está formado por una aplicación basada en el lenguaje de programación LabVIEW, que se conecta remotamente con el módem de comunicación SKP, visualiza los datos y los registra el conjunto de variables en archivos de hojas de cálculo.

III. MÓDULO ESTACIÓN METEOROLÓGICA

El módulo estación meteorológica (MEsm) es particularmente la estación DVP2, el cual es un equipo que permite obtener mediciones fiables y precisas de variables climatológicas como: temperatura exterior, humedad exterior, presión barométrica, precipitación, radiación solar, radiación UV, velocidad y dirección del viento, está conformada por una unidad externa de sensores integrados (ISS) y una consola. La ISS es aquella que se encuentra directamente conectada con los

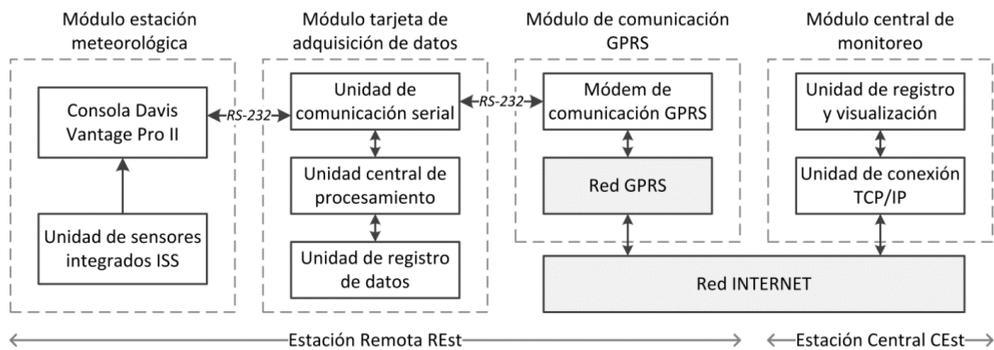


Figura 1. Arquitectura del Sistema de monitoreo remoto.

sensores, esta unidad realiza el acondicionamiento de las señales y la transmisión inalámbrica de los datos hacia la consola. Por otro lado la consola nos permite visualizar y registrar la data adquirida por la unidad ISS, así también posee sensores embebidos de temperatura, humedad y presión barométrica, posee memoria interna de 128 kB correspondiente a 2560 registros, por último posee un datalogger con conexión USB o serial para almacenamiento masivo de los datos. La conexión entre la consola y la unidad ISS soporta una distancia máxima de hasta 300 m [11].

Las características de resolución, rango y precisión de las variables adquiridas por la estación DVP2, se muestra en la Tabla I [11].

TABLA I. RESOLUCIÓN, RANGO Y PRECISIÓN DE LAS VARIABLES ADQUIRIDAS POR LA ESTACIÓN DVP2

Variable	Resolución	Rango	Precisión
Evapotranspiración	0,1mm	Día: 999,9 mm	5%
Humedad de hojas	1	0 a 15	0,5
Humedad de suelo	1 cb	0 a 200 cb	--
Presión barométrica (rango de altitud -3000 a +3800 m (-1000 a +12500"))	0,1 mm Hg	660 a 810 mm Hg	0,8 mm Hg
	0,1 mb	880 a 1080 mb	1,0 mb
	0,1 hPa	880 a 1080 hPa	1,0 hPa
Humedad Interior	1%	10% a 90%	5%
Humedad Exterior	1%	0% a 100%	3%
Punto de Rocío	1°C	-76° a +54°C	1,5 °C
Lluvia caída	0,2 mm	Día : 0 a 9999 mm	4%
Tasa de lluvia caída	0,1 mm	0 a 1999,9 mm/h	5%
Radiación Solar	1 W/m ²	0 a 1800 W/m ²	5%
Energía Solar	PC: 0,1 J/cm ²	PC: 19999,9 J/cm ²	5%
Dosis de UV	0,1 dosis media	0 a 199 de dosis media	5%
Índice de UV	0,1	0 a 16	5%
Temperatura Interior	0,1°C	0° a 60°C	0,5 °C
Temperatura Exterior	0,1°C	-40° a +65°C	0,5 °C
Temperatura de Suelo	1°C	-40° a +65°C	0,5 °C
Índice de Temp-Hum-Sol-Viento	1°C	-79° a +54°C	1 °C
Dirección del viento	1°	0° a 360°	7°
Compás (Rosa de los vientos)	22,5°	16 puntos de compás	7°
Velocidad del Viento	0,1 m/s	1 a 67 m/s	5%
Dirección del Alta Velocidad	22,5°	16 puntos de compás	7°

IV. MÓDULO TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El módulo tarjeta de adquisición de datos (MTad) es el sistema electrónico que cumple las siguientes funciones:

- Recolectar las variables de la consola de la estación DVP2 mediante comunicación serial RS-232. La recolección se realiza mediante comandos seriales enviados a la consola, ésta responde con una trama de 99 bytes.
- Desentramar y analizar los datos recibidos, en base a la distribución y significado de cada byte recibido [14].
- Almacenar los datos obtenidos en una memoria externa tipo I2C, esta función se la utiliza como respaldo para que pueda ser descargada alternativamente de manera local.
- Enviar los datos obtenidos al módem GPRS para su transmisión a la Estación Central de monitoreo, a través de la red de datos GPRS.

En base a las funciones del MTad, se definió la arquitectura de los dispositivos que la conforman (Fig. 2).

A. Circuito del MTad

El diseño esquemático y la simulación del MTad se realizó en el software ISIS de la compañía Labcenter Electronics. En la Fig. 3 se presenta el diseño de la tarjeta de circuito impreso (Printed Circuit Board - PCB).

En la Fig. 4 se presenta la PCB implementada, en la cual: 1) es el microcontrolador PIC 18F4520, 2) es el circuito integrado MAX-232, 3) y 4) son los conectores DB9 para conexión serial con el Módem y con la Consola respectivamente, por último 5) es la memoria externa tipo I2C, para almacenamiento de datos. Los elementos utilizados en el diseño e implementación del MTad, se detallan en la Tabla II.

B. Algoritmo del MTad

El algoritmo principal del microcontrolador empieza con una definición de registros y variables, asignación de pines de entrada/salida y configuración de registros de comunicación serial asincrónica. La programación de las diferentes funciones se realiza a través de subrutinas específicas, entre las subrutinas que forman parte del programa se encuentran: rutina de configuración del módem celular para trabajar en modo GPRS, rutina de adquisición de datos, rutina de procesamiento de los

datos, rutina de almacenamiento en memoria externa, y, rutina de encapsulamiento de datos y envío de la trama a la red GPRS. En la Fig. 5 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo principal del MTad.

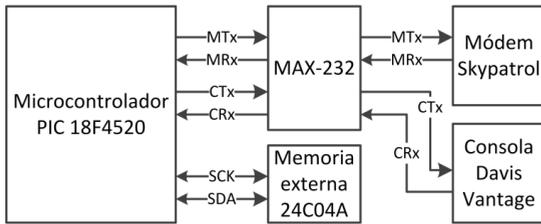


Figura 2. Arquitectura del módulo tarjeta de adquisición de datos.

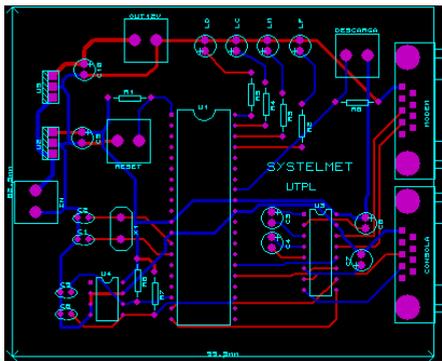


Figura 3. Diseño de la PCB del MTad.

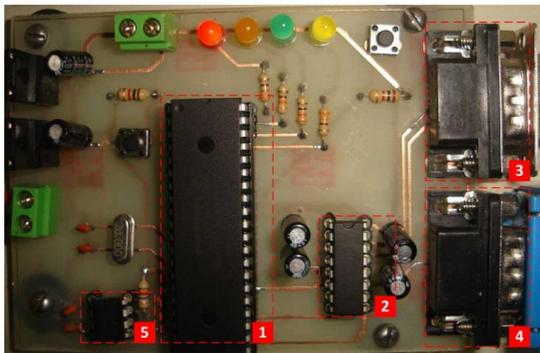


Figura 4. PCB del MTad implementada y ensamblada.

La rutina de adquisición de datos se realiza vía comunicación serial a través del USART del PIC a una velocidad de 9600 bps, se envía el comando *LOOP 1* para que la consola responda con la trama de 99 bytes. Una vez recibida la trama, se procede a guardarla para su posterior interpretación y se incrementa en uno el contador de muestras de datos tomados, esto con la finalidad de obtener un dato seguro

durante los 10 segundos y 30 datos durante un periodo de 5 minutos.

TABLA II. DISPOSITIVOS DEL MÓDULO TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Ítem	Descripción	Nombre	Valor
1	Resistores	R2, R3, R4, R5	330 ohm
		R1, R8	1kohm
2	Bornera	R6, R7	4k7ohm
		IN, OUT12V	doble
3	Regulador de voltaje	U2	LM7805
		U5	74LS12
4	Capacitor electrolítico 16V	C5, C10	4.7 uF
		C3, C4, C6, C7	1 uF
5	Capacitor cerámico	C1, C2	22 pF
		C8, C9	5.7 uF
6	Pulsador	Reset, Descarga	normal
7	Memoria EEPROM	U4	24C04A
8	MAX-232	U3	MAX232
9	Microcontrolador	U1	PIC18F4550
10	Oscilador de cristal	X1	20MHz
11	Diodos LED	LC, LF, LD, LM	1A
12	Conector serial	Consola, Módem	DB9 macho

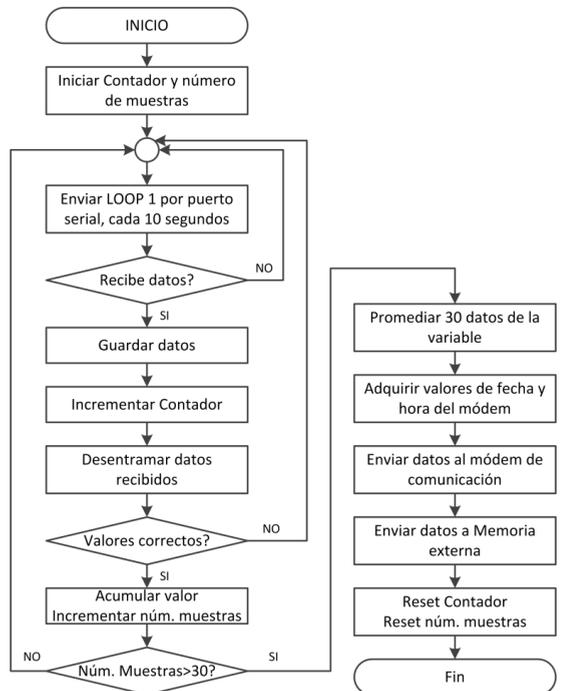


Figura 5. Diagrama de flujo del algoritmo principal del MTad.

La rutina de interpretación de datos implica identificar la posición y los valores de las variables en la trama de datos hexadecimales los cuales son convertidos a datos decimales. En base a [14], solamente 23 variables de la estación meteorológica se pueden obtener mediante este método, sin

embargo el sistema comercial de la estación meteorológica y su respectivo software WeatherLink, adquieren 38 variables.

La rutina de procesamiento de datos involucra primeramente verificar si es un dato real o es un dato erróneo, esta verificación se la realiza con respecto al rango de cada variable adquirida, luego cada uno de estos datos es agregado al valor promedio respectivo. Por último todos los valores resultantes se encapsulan en una trama para ser almacenada y enviada a la red.

La rutina de almacenamiento de datos implica registrar la trama de los valores resultantes en una memoria externa EEPROM tipo I2C modelo 24C04A, esta rutina también incluye el algoritmo de descarga directa de datos desde el MTad hacia un computador.

La rutina de envío de datos al módem GPRS se encarga de enviar la trama de valores resultantes hacia la red GPRS para que pueda ser registrada por la Estación Central.

V. MÓDULO DE COMUNICACIÓN

A. Esquema de comunicación

La red de comunicación encargada de permitir la conectividad entre las Estaciones Remotas (REst) y la Estación Central (CEst) es la red de datos GPRS. Todas las REst deben poseer un módem de comunicación, mientras que la CEst no necesita un módem debido a que, al estar ubicada dentro del Campus UTPL, posee conectividad a internet y su respectiva dirección IP pública. El proceso de comunicación se resume en lo siguiente: los módems reciben la información, éstos la transmiten hacia el servidor central que posee una dirección IP y un puerto definido, sin embargo la información se direccionará correctamente si el módem posee la puerta de enlace adecuada (gateway de la operadora móvil). El esquema de comunicación entre las REst y la CEst se muestra en la Fig. 6.

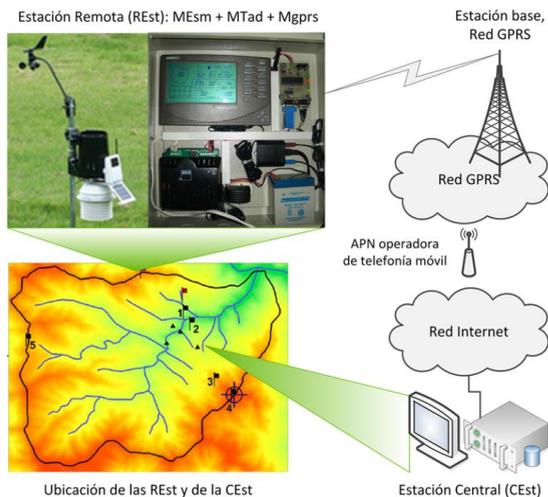


Figura 6. Esquema de comunicación GPRS entre las estaciones remotas y la estación central.

La red de datos GPRS realiza la función del transporte de los paquetes de información desde las REst hacia el servidor central de la CEst, su arquitectura física y lógica depende de la operadora de telefonía móvil. Sin embargo para la selección del esquema de comunicación se tomó en cuenta dos aspectos: determinar si los nodos de las estaciones remotas se encuentran dentro de la cobertura de la red de datos de la operadora, y, considerar la cantidad de tráfico generado por la red de estaciones remotas, con el objetivo de evaluar las tarifas para la sostenibilidad en el tiempo del presente sistema.

La red de datos GPRS utilizada en el presente sistema es la perteneciente a la empresa de telefonía celular Movistar (Otecel S.A.), debido a que posee bajos costos para el tráfico de datos y las ubicaciones de las estaciones remotas están dentro de la cobertura de dicha red.

B. Módem de comunicación

Cada estación remota debe estar compuesta por un módem de comunicación GPRS conectado mediante interfaz serial al MTad. Para lograr que el módem se conecte satisfactoriamente a la red GPRS de la operadora de telefonía celular, se debe configurar el módem tomando en cuenta algunos aspectos importantes. En el presente proyecto se seleccionó el módem GPRS Skypatrol TT8750 [15]. Las configuraciones necesarias en el módem GPRS son:

- Configuración de la interfaz serial RS-232, en nuestro caso específico el módem está operando a 8N1 y 9600 bps [16].
- Configuración de acceso a la red GPRS, este comando permite establecer el tipo de comunicación y el nombre del punto de acceso de la red (APN), el cual es el Gateway de la operadora de telefonía celular.
- Configuración del protocolo, dirección IP y número de puerto del servidor, en nuestro caso específico se utiliza el protocolo TCP para la transmisión de los datos en la red GPRS, y, el número del puerto del servidor de la estación central de monitoreo es el 555.

El modo de operación de cada una de las estaciones remotas es de tipo B, es decir la estación remota se engancha a los servicios GPRS y GSM (Global System for Mobile communications).

VI. MÓDULO CENTRAL DE MONITOREO

El núcleo del Módulo central de monitoreo es una aplicación desarrollada en LabVIEW, la cual la denominamos *Sistemet*, en la Fig. 7 se muestra la interfaz gráfica de usuario de la aplicación. Las funciones que realiza la aplicación son:

- Leer los datos enviados por la estación remota, por medio del puerto 555 del servidor de la estación central.
- Visualizar gráficamente y numéricamente los datos meteorológicos adquiridos por la estación remota.
- Almacenar en ficheros diarios tipo hojas de cálculo, los datos adquiridos.
- Permitir consultar el historial de datos almacenados en el servidor.

La trama de los datos resultantes (Fig. 8) que envía la REst y que recibe el servidor de la CEst, contiene el identificador

de REst, la fecha, la hora y los valores respectivos a las 23 variables adquiridas.

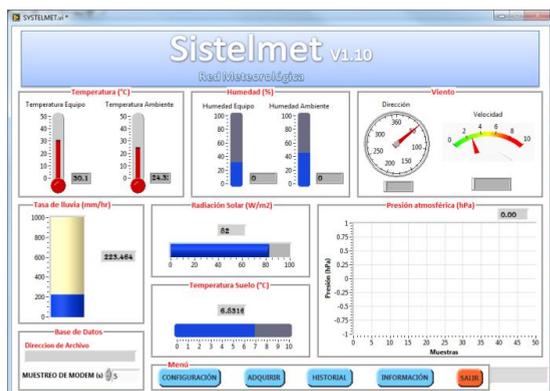


Figura 7. Interfaz de usuario gráfica de la aplicación Sistelmet.

```

**Id_REst** ; fecha_aa,mm,dd; hora_hh,mm,ss; Presion; TempInt; TempExt; HiTempExt; LowTempExt; TempSuelo; HiTempSuelo; LowTempSuelo; HumInt; HumExt; HumSuelo; VelocViento; HiVelocViento; DirViento; HiDirViento; Lluvia; HiLluvia; UV; HiUV; RadSol; HiRadSol; DayRain; DayET**

**01** ; 15, 6, 3; 21, 27, 34; 29845; 65154; 60012; 62123; 58123; 152; 161; 148; 62; 74; 56; 1; 12; 83; 270; 200; 500; 40; 55; 84; 91; 6; 15**
    
```

Figura 8. Estructura de la trama (sup), trama de ejemplo (inf).

Luego de receptada la trama, el servidor central segmenta los datos y procede a convertirlos a las unidades específicas que se necesita para las investigaciones ambientales y afines. En la Tabla III se muestra la estructura de la trama, la función de conversión y el valor final de los datos receptados.

VII. IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de diseñar, configurar y desarrollar cada uno de los módulos del sistema de monitoreo remoto, en la presente sección se integra todos estos elementos con el objetivo de evaluar el desempeño del sistema.

A. Integración del tablero de la Estación Remota

El tablero (Fig. 9) consta de la interconexión de los elementos de la estación remota: 1) la consola de la estación meteorológica DVP2, 2) la tarjeta de adquisición de datos MTad, 3) el módem de comunicación GPRS Skypatrol, 4) la fuente de alimentación de la estación DVP2, 5) el módulo de carga de la batería, 6) la batería de 12V-5Ah, y, por último 7) las antenas GPRS y GPS (Sistema de posicionamiento global).

B. Análisis de resultados

Para el análisis y comparación de resultados, se procedió a comparar los datos obtenidos por nuestro software Sistelmet con los datos provenientes del software WeatherLink, el análisis realizado corresponde al cálculo del error relativo entre los conjuntos de datos. Se realizan dos ensayos para comparación: ensayo-día 1, desde las 10h30 hasta las 12h30 se obtienen 13 muestras de las variables meteorológicas; ensayo-día 2, desde las 16h25 hasta las 18h25.

En la Fig. 10a se presenta la gráfica de los datos de la variable Humedad Externa y el error relativo calculado, correspondiente al ensayo 1. El error máximo entre los datos es de 1.5 %. En la Fig. 10b se presenta la gráfica de los datos de la variable Temperatura Externa y el error relativo calculado, correspondiente al ensayo 2. El error máximo entre los datos es de 1.1 %.

TABLA III. ESTRUCTURA DE LA TRAMA, FUNCIÓN DE CONVERSIÓN Y VALOR FINAL DE LOS DATOS RECEPTADOS

Variable	Etiqueta	Dato de la trama	Función de conversión	Valor final	Unidades
Presión	Presion	D1 29845	(D1/1000)*33.8639	1010.67	hPa
Temperatura interna	TempInt	D2 65154	((D2/1000)-32)/1.8	18.42	°C
Temperatura externa	TempExt	D3 60012	((D3/1000)-32)/1.8	15.56	°C
Temperatura externa máxima	HiTempExt	D4 62123	((D4/1000)-32)/1.8	16.74	°C
Temperatura externa mínima	LowTempExt	D5 58123	((D5/1000)-32)/1.8	14.51	°C
Temperatura del suelo	TempSuelo	D6 152	D6/10	15.2	°C
Temperatura del suelo máxima	HiTempSuelo	D7 161	D7/10	16.1	°C
Temperatura del suelo mínima	LowTempSuelo	D8 148	D8/10	14.8	°C
Humedad interna	HumInt	D9 62	D9	62.0	%
Humedad externa	HumExt	D10 74	D10	74.0	%
Humedad del suelo	HumSuelo	D11 56	D11	56.0	cb
Velocidad viento	VelocViento	D12 1	D12*0.44704	0.447	m/s
Velocidad viento máxima	HiVelocViento	D13 12	(D13/10)*0.44704	0.536	m/s
Dirección de viento	DirViento	D14 83	D14	83.0	°
Dirección viento máxima	HiDirViento	D15 270	D15	270.0	°
Tasa de lluvia	Lluvia	D16 200	(D16/100)*25.4	50.8	mm
Tormenta de lluvia	HiLluvia	D17 500	(D17/100)*25.4	127.0	mm
Ultravioleta	UV	D18 40	D18/10	4.0	índice
Ultravioleta máximo	HiUV	D19 55	D19/10	5.5	índice
Radiación solar	RadSol	D20 84	D20	84.0	Watt/m ²
Radiación solar máxima	HiRadSol	D21 91	D21	91.0	Watt/m ²
Day lluvia	DayRain	D22 6	D22/100	0.06	--
Day Evapotranspiración	DayET	D23 15	D23/1000	0.015	--



Figura 9. Interconexión de los elementos de la Estación Remota.

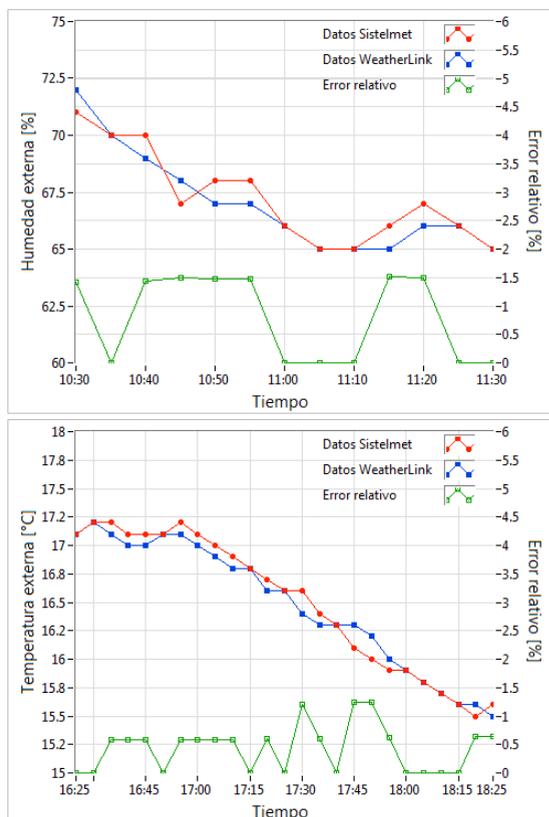


Figura 10. a) datos y errores del ensayo 1, b) datos y errores del ensayo 2.

La causa principal de los errores radica en las muestras promediadas de la lectura de la consola, en nuestro sistema propuesto se obtiene una muestra cada 10 segundos para obtener el promedio cada 5 minutos, en el sistema comercial el muestreo se realiza cada 2.5 segundos.

Con respecto a los datos de precipitación adquiridos en tiempo real, el siguiente paso a desarrollar es integrar los datos al procedimiento (Fig. 11) propuesto en [1] para la calibración de las imágenes LAWR con el objetivo de que este procedimiento se ejecute cada 5 minutos y así obtener las funciones de calibración en tiempo real. Este desarrollo e integración se propone para trabajos futuros.

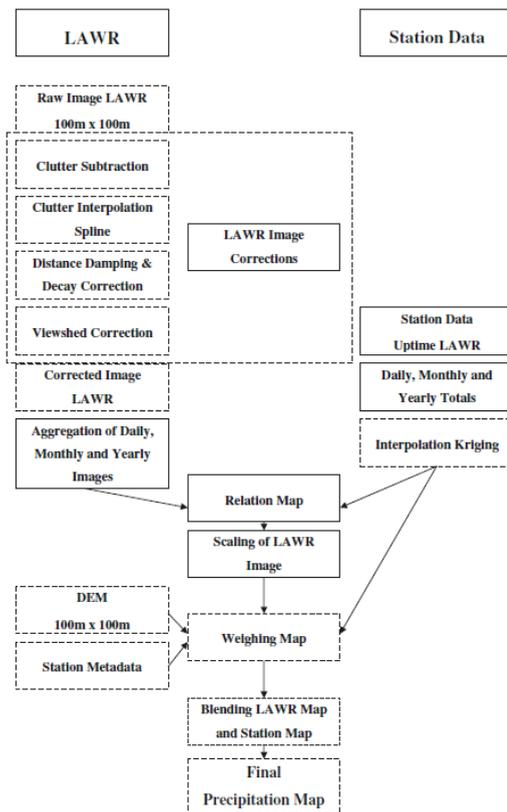


Figura 11. Procedimiento para la generación de mapas de precipitación aplicado a imágenes del LAWR [1].

VIII. CONCLUSIONES

Se ha propuesto y evaluado una arquitectura de bajo costo y una metodología para la extracción de datos en tiempo real de las estaciones meteorológicas Davis Vantage Pro. Esta arquitectura y metodología forma parte del sistema de monitoreo remoto implementado para la adquisición de las variables meteorológicas medidas por las estaciones de medición terrena. Se aplicó el sistema propuesto al monitoreo

en tiempo real de las estaciones terrenas de referencia del sistema de radar LAWR.

El presente trabajo es una solución de bajo costo y flexible que aporta a disminuir el consumo de recursos económicos en movilización y personal, y, el consumo de tiempo en la recopilación de los datos de las estaciones terrenas. Así también este sistema suministrará continuamente (cada 5 minutos) los datos recolectados de precipitación que permitirán determinar las funciones de calibración aplicadas a los radares LAWR.

El sistema de adquisición de datos y monitoreo remoto implementado, suministra información confiable (error máximo 1.5%) y oportuna (cada 5 minutos). El error máximo se lo determinó en las variables donde existe mayor desviación y a la vez cubre un mayor rango (Temperatura externa y Humedad externa).

Se implementó el módulo tarjeta de adquisición de datos con las prestaciones necesarias y suficientes para este tipo de aplicaciones: Recolecta las variables de la consola de la estación DVP2 mediante comunicación serial RS-232. Desentrama y analiza los datos recibidos, en base a la distribución y significado de cada byte. Almacena los datos obtenidos en una memoria externa tipo I2C, y, envía los datos obtenidos al módem GPRS para su transmisión al módulo central de monitoreo, a través de la red de datos GPRS.

AGRADECIMIENTOS

El equipo de trabajo agradece al Dr. Andreas Fries y al Departamento de Geología, Minas e Ingeniería Civil, por el financiamiento aportado para la ejecución del presente proyecto.

REFERENCIAS

[1] Fries, R. Rollenbeck, B. Bayer, V. Gonzalez, F. Oñate-Valvieso, T. Peters, and J. Bendix, "Catchment precipitation processes in the San Francisco valley in southern Ecuador: combined approach using high-resolution radar images and in situ observations", *Meteorol. Atmos. Phys.*, Jun. 2014.

[2] R. Rollenbeck and J. Bendix, "Rainfall distribution in the Andes of southern Ecuador derived from blending weather radar data and meteorological field observations", *Atmos. Res.*, Vol. 99, No. 2, Feb. 2011, pp. 277-289.

[3] R. Rollenbeck and J. Bendix, "Experimental calibration of a cost-effective X-band weather radar for climate ecological studies in southern Ecuador", *Atmos. Res.*, Vol. 79, Iss. 3-4, Mar. 2006, pp. 296-316.

[4] N. E. Jensen, "X-band local area weather radar—preliminary calibration results", *Water Sci. Technol.*, 2002, Vol. 45, pp. 135-138.

[5] Germann U, Galli G, Boscacci M, Bolliger M, "Radar precipitation measurement in a mountainous area". *QJR Meteorol. Soc.*, 2006, Vol. 132, pp. 1669–1692.

[6] Delrieu G, Boudevillain B, Nicol J, Chapon B, Kirstetter PE, Andrieu H, Faure D, "Bolle'ne-2002 experiment: radar quantitative precipitation estimation in the Ce'vennes-Vivarais region", France, *J Appl Meteorol Climatol*, 2009, Vol. 48, pp. 1422–1447.

[7] Liang Ying; Guo Yun-feng; Zhao Wei, "Greenhouse environment monitoring system design based on WSN and GPRS networks," in *Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*, 2015 IEEE International Conference on, vol., no., pp.795-798, 8-12 June 2015.

[8] Kovacs, A.; Nicolciou, A.; Arhip, J.; Casu, G., "Design and implementation of a GPRS remote data logger for weather forecasting," in *Communications (COMM)*, 2014 10th International Conference on, vol., no., pp.1-4, 29-31 May 2014.

[9] Li Dongjiang; Li Zhihong; Lou Xiaoyan; Yu Junhao, "Design and implementation of water well monitoring system based on GPRS," in *Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet)*, 2013 3rd International Conference on, vol., no., pp.221-224, 20-22 Nov. 2013.

[10] Xue TianLiang; Zhong QingYao; Zhou Yunhai, "Design of a real-time monitoring system for transmission line galloping based on GPRS/CDMA," in *Advanced Power System Automation and Protection (APAP)*, 2011 International Conference on, vol.3, no., pp.1778-1781, 16-20 Oct. 2011.

[11] Davis Instruments Corp., "Manual de la consola Vantage Pro2", pp. 1-100, 29 May 2012.

[12] Farhana, Z.; Irwan, Y.M.; Azimmi, R.M.N.; Razliana, A.R.N.; Gomes, N., "Experimental investigation of photovoltaic modules cooling system," in *Computers & Informatics (ISCI)*, 2012 IEEE Symposium on, vol., no., pp.165-169, 18-20 March 2012.

[13] Omotosho, T.V.; Willoughby, A.A.; Akinyemi, M.L.; Mandeep, J.S.; Abdullah, M., "One year results of one minute rainfall rate measurement at Covenant University, Southwest Nigeria," in *Space Science and Communication (IconSpace)*, 2013 IEEE International Conference on, vol., no., pp.98-101, 1-3 July 2013.

[14] Davis Instruments Corp., "Vantage Pro2 Serial Communication Reference Manual", pp. 1-60, 29 March 2013.

[15] SkyPatrol LLC, "SkyPatrol TT8750 User Guide", pp. 1-47, 15 August 2008.

[16] SkyPatrol LLC, "SkyPatrol TT8750 AT command Reference", pp. 1-520, 18 March 2010.

ANEXO 2
PROPUESTA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE ENERGÍA, INDUSTRIAS Y RECURSOS NATURALES
NO RENOVABLES

Diseño e Implementación de una arquitectura y metodología aplicadas al monitoreo de variables meteorológicas

Carlos Calderón Córdova^{1,2}

¹Área de Energía, Industrias y Recursos Naturales no Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja-Ecuador.

²Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja-Ecuador.

Agosto 2016

TABLA DE CONTENIDOS

1. TEMA	3
2. PROBLEMÁTICA Y PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
3. JUSTIFICACIÓN	4
4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	5
4.1. HIPÓTESIS	5
4.2. OBJETIVOS	5
4.3. MATRIZ DE CONSISTENCIA GENERAL.....	6
4.4. MATRIZ DE OPERATIVIDAD DE OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
5. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
6. METODOLOGÍA.....	8
7. CRONOGRAMA	9
8. PRESUPUESTO Y FINANCIAMIENTO.....	10
9. BIBLIOGRAFÍA.....	11

1. TEMA

Diseño e Implementación de una arquitectura y metodología aplicadas al monitoreo de variables meteorológicas

Carlos Calderón Córdova^{1,2}

¹Área de Energía, Industrias y Recursos Naturales no Renovables, Universidad Nacional de Loja, Loja-Ecuador.

²Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja-Ecuador.

cacalderon@utpl.edu.ec

2. PROBLEMÁTICA Y PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La determinación de la cantidad de precipitación y demás variables meteorológicas en las regiones montañosas de los Andes del Ecuador es de gran importancia para investigaciones medioambientales, hidrológicas y ecológicas. Dichas investigaciones arrojan indicadores que contribuyen a la gestión innovadora del territorio, el cual se caracteriza por ser un patrimonio natural biodiverso del país. Debido a la heterogeneidad de la distribución de las precipitaciones y demás variables meteorológicas en dicha región y la incapacidad de la red nacional de monitoreo (representada por el INAMHI) de proporcionar el servicio meteorológico adecuado, se manifiesta la necesidad de utilizar radares para poder construir mapas de precipitación de alta resolución temporal y espacial. Además de la pluviosidad, otras variables de interés son: la velocidad y dirección del viento, la temperatura, la humedad, la presión atmosférica, la radiación solar, entre otras [1]-[3]. Desde hace algunos años los radares de bajo costo basados en la banda-X son disponibles como alternativa para países en desarrollo para el monitoreo de la precipitación pluvial principalmente, por ejemplo en Ecuador se están utilizando los radares tipo LAWR (Local Area Weather Radar) [4], sin embargo, estos dispositivos suministran datos confiables si hay los suficientes nodos de medición terrena para calibrar las imágenes suministradas por estos radares LAWR [5], [6].

La Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) realiza investigaciones hidrológicas y ecológicas basadas en imágenes de precipitación (100m x 100m por pixel) provenientes del radar LAWR desarrollado por el DHI (Dansk Hydrolosk Institut, Instituto Hidrológico de Dinamarca). Este sistema es un radar marino modificado con un radio de alcance de 40 km. Una limitación del LAWR DHI es que no proporciona información de la medida de la reflectividad Z, sino que cada pixel de la imagen del radar tiene asociado un valor numérico relacionado con la reflectividad, sin dimensiones y con un tamaño de 1 byte (8 bits, rango de 0 a 255), el cual está relacionado con la

Proyecto de Investigación

tasa de precipitación R [1], [2]. Los investigadores que necesitan estos mapas de precipitación para los diferentes análisis, tienen que buscar la correlación que existe entre los valores de cada pixel y los valores de precipitación registrados en las estaciones meteorológicas distribuidas en los cinco puntos de referencia que dispone la UTPL a través de sus nodos basados en las estaciones Davis Vantage Pro. Luego, a partir de esta correlación, se obtiene una ecuación matemática que describe la relación Z/R , que permite convertir el índice de reflectividad Z del radar en tasa de precipitación R . Sin embargo este procedimiento se no es continuo en el tiempo debido a que actualmente los datos de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio se recogen manualmente mediante visitas in-situ cada 15 días, es decir cada 15 días se calibran las imágenes resultantes del LAWR, obteniendo mapas de precipitación de los 15 días anteriores a la recolección de datos in-situ, en consecuencia se está subutilizando las imágenes LAWR debido a que los datos suministrados por este sistema de información son atemporales y prácticamente inoportunos. El problema anterior sumado a los problemas de consumo de recursos económicos en movilización y en personal, así como el consumo de tiempo en la recopilación de los datos de precipitación de los nodos de medición terrena, plantean la necesidad de diseñar e implementar un sistema de monitoreo en tiempo real, de bajo costo y abierto aplicado a las estaciones meteorológicas de referencia, en consecuencia la plataforma desarrollada suministrará continuamente los datos recolectados que permitirán determinar las funciones de calibración Z/R al menos cada 5 minutos en lugar de cada 15 días, así como también se dispondrá en tiempo real las funciones temporales de velocidad y dirección del viento, la temperatura, la humedad, la presión atmosférica, la radiación solar, entre otras variables de interés; finalmente se disminuirá el consumo de recursos, por lo tanto se concluye que el sistema planteado será una solución ante los problemas identificados.

3. JUSTIFICACIÓN

El objetivo del presente proyecto es desarrollar e implementar un sistema de monitoreo en tiempo real, de bajo costo y abierto, de variables meteorológicas, basado en GPRS, aplicado a la obtención automática de las funciones temporales necesarias para investigaciones y estudios medioambientales, hidrológicos y ecológicos. Se abordará el presente proyecto con el objetivo de proveer información confiable y oportuna para la optimización de recursos en la recolección de datos fuente para calibración de imágenes LAWR, una consecuencia complementaria es que ya no se subutilizará la infraestructura de monitoreo basada en Radares a la que tiene acceso la UTPL. La arquitectura propuesta sería evaluada con los datos del radar descrito en [1] y [2], sin embargo podría ser aplicable a los 38 radares del mismo tipo que están instaladas alrededor del mundo por medio de instituciones u organizaciones públicas y privadas [7]. La solución propuesta consiste en una arquitectura remota de monitoreo basada en

Proyecto de Investigación

un sistema microelectrónico, la transmisión de datos se la realizará por medio del sistema GPRS (General Packet Radio Service), finalmente la estación central de monitoreo permitirá la captura automática de los datos, los cuales serán compatibles con los algoritmos de determinación de las funciones Z/R que relacionan las Imágenes LAWR con los datos de las estaciones meteorológicas.

Finalmente con respecto a la viabilidad tecnológica y económica del proyecto es alta debido a que se investigará en una arquitectura de bajo costo y compatible con la red de estaciones meteorológicas que dispone la UTPL, con el objetivo de tener un mínimo impacto en futuras inversiones de la institución. El aporte científico y de innovación se evidencia ya que se propone cerrar el círculo entre la adquisición de variables meteorológicas con la calibración de imágenes LAWR, es decir se plantea una arquitectura que permita la obtención en tiempo real de las funciones reflectividad-precipitación Z/R.

4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

4.1. HIPÓTESIS

Problema: Ineficiencia en el consumo de recursos económicos y logísticos para la recolección oportuna de los datos obtenidos por las estaciones de medición terrena de monitoreo meteorológico de la hoya de Loja-Ecuador utilizadas como referencia para imágenes LAWR.

Hipótesis: El sistema implementado proveerá información confiable (error máximo 1.5%) y oportuna (cada 5 minutos) para la optimización de recursos en la recolección de datos fuente para calibración de imágenes LAWR destinadas a la investigaciones medioambientales e hidrológicas que desarrolla la UTPL.

4.2. OBJETIVOS

- Objetivo General (OG): Diseñar, implementar y evaluar una arquitectura aplicada al monitoreo remoto, de bajo costo, abierta, y, en tiempo real, de las variables meteorológicas adquiridas por las estaciones de medición terrena basadas en el equipo Davis Vantage Pro.
- Objetivo Específico (OE1): Diseñar la arquitectura del sistema de monitoreo remoto y en tiempo real de las variables meteorológicas instaladas en la Hoya de Loja.
- Objetivo Específico (OE2): Diseñar el sistema electrónico de adquisición automática de datos de la estación meteorológica Davis Vantage Pro.
- Objetivo Específico (OE3): Implementar, evaluar y analizar los resultados del sistema de monitoreo remoto de variables meteorológicas, e, integrarlo al sistema de calibración de imágenes LAWR.

4.3. MATRIZ DE CONSISTENCIA GENERAL

TABLA I. MATRIZ DE CONSISTENCIA GENERAL

Problema.- Ineficiencia en el consumo de recursos económicos y logísticos para la recolección oportuna de los datos obtenidos por las estaciones de medición terrena de monitoreo meteorológico de la hoya de Loja-Ecuador utilizadas como referencia para imágenes LAWR.			
Tema	Objeto	Objetivo	Hipótesis
Diseño e implementación de una arquitectura y metodología aplicadas al monitoreo remoto de variables meteorológicas.	Estaciones de medición terrena de monitoreo meteorológico de la hoya de Loja-Ecuador.	Diseñar, implementar y evaluar una arquitectura aplicada al monitoreo remoto, de bajo costo, abierta, y, en tiempo real, de las variables meteorológicas adquiridas por las estaciones de medición terrena utilizadas como referencia para imágenes LAWR.	El sistema implementado proveerá información confiable (error máximo 1.5%) y oportuna (cada 5 minutos) para la optimización de recursos en la recolección de datos fuente destinados a la investigaciones medioambientales e hidrológicas que desarrolla la UTPL.

4.4. MATRIZ DE OPERATIVIDAD DE OBJETIVOS ESPECÍFICOS

TABLA II. MATRIZ DE OPERATIVIDAD DE LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo Específico 1: Diseñar la arquitectura del sistema de monitoreo remoto y en tiempo real de las variables meteorológicas instaladas en la Hoya de Loja.						
Actividad o Tarea	Metodología	Fecha		Responsables	Presupuesto	Resultados esperados
		inicio	final			
Investigación de línea base de sistemas de monitoreo remoto.	Investigación bibliográfica en bases de datos: IEEE Xplore y Scopus.	02-Mayo-2016	13-Mayo-2016	C. Calderón	0.00	Lista de referencias bibliográficas sobre sistemas similares
Diseño de la arquitectura del sistema de monitoreo remoto.	Síntesis de requerimientos en una arquitectura hardware-firmware-software.	14-Mayo-2016	27-Mayo-2016	C. Calderón	0.00	Diseño de la arquitectura del sistema de monitoreo remoto.
Objetivo Específico 2: Diseñar del sistema electrónico de adquisición automática de datos de la estación meteorológica Davis Vantage Pro.						
Actividad o Tarea	Metodología	Fecha		Responsables	Presupuesto	Resultados esperados
		inicio	final			
Diseño, programación y simulación del sistema electrónico de adquisición automática de datos.	Síntesis de los requerimientos de hardware y firmware en un sistema	28-Mayo-2016	17-Junio-2016	C. Calderón A. Jaramillo C. Tinoco	1000.00	Archivos fuente del firmware diseñado, y simulación esquemática del sistema electrónico.
Fabricación del sistema electrónico de adquisición automática de datos.	microelectrónico.	18-Junio-2016	01-Julio-2016	C. Calderón A. Jaramillo C. Tinoco	100.00	Prototipo fabricado y ensamblado del sistema electrónico de adquisición automática de datos.
Objetivo Específico 3: Implementar, evaluar y analizar los resultados del sistema de monitoreo remoto de variables meteorológicas, e, integrarlo al sistema de calibración de imágenes LAWR.						
Actividad o Tarea	Metodología	Fecha		Responsables	Presupuesto	Resultados esperados
		inicio	final			
Integración del prototipo de Estación Remota para monitoreo de variables	Integrar los elementos del sistema de	02-Julio-2016	15-Julio-2016	C. Calderón A. Jaramillo C. Tinoco	1000.00	Prototipo de Estación Remota, ensamblado e

Proyecto de Investigación

meteorológicas.	monitoreo y luego se realiza el análisis de error de los resultados, finalmente se evalúa la integración de los datos con el sistema de calibración de imágenes LAWR.					instalado in-situ.
Evaluación y análisis de desempeño del sistema de monitoreo remoto de variables meteorológicas.		16-Julio-2016	25-Julio-2016	C. Calderón A. Jaramillo C. Tinoco	100.00	Informe de evaluación de desempeño del sistema de monitoreo remoto de variables meteorológicas.
Realizar publicación de los resultados en una revista/evento indexado en SCOPUS.		02-Mayo-2016	31-Julio-2016	C. Calderón A. Jaramillo C. Tinoco	600.00	Manuscrito aceptado para publicación en revista/evento indexado.

5. REVISIÓN DE LITERATURA

Para las etapas de diseño, implementación y evaluación de una arquitectura aplicada al monitoreo remoto en tiempo real de las variables meteorológicas, primeramente se recopiló línea base para establecer la metodología de trabajo

La estación meteorológica utilizada en el presente proyecto es la estación Davis Vantage Pro II (DVP2) [8], la cual está formada por la consola de visualización y por la unidad de sensores integrados. Esta estación meteorológica es usada en proyectos de investigación similares por la confiabilidad del dispositivo y de la información adquirida, tal es el caso de la adquisición y registro de la radiación solar en la investigación experimental de sistemas fotovoltaicos para enfriamiento [9], así también la recolección de datos de precipitación con alta resolución temporal en [10], y la caracterización de la intensidad de precipitación en un territorio [11]; existen aún más aplicaciones de la DVP2 dirigidas a una diversidad de sistemas y estudios, sin embargo en la gran mayoría de aplicaciones se utiliza a la DVP2 como un datalogger off-line, en cambio en las aplicaciones de monitoreo remoto de las estaciones generalmente se elige módulos complementarios de comunicación y el software WeatherLink para recepción de datos, ambos complementos del proveedor Davis Instruments Corp., ello hace que la solución de monitoreo remoto sea cerrada y que no la podamos integrar automáticamente a otros sistemas o herramientas de análisis de datos, como es el ejemplo de las aplicaciones de corrección y calibración de imágenes LAWR a las que accede la UTPL.

Con respecto al sistema seleccionado para la comunicación entre los nodos de medición terrena basados en DVP2 y la estación central, el sistema GPRS (General Packet Radio Service) cumple con las características de cobertura sobre los nodos remotos, adicionalmente se recalca que es una tecnología para acceder a redes de paquetes de datos debido a que es una arquitectura basada en conmutación de paquetes en lugar de conmutación de circuitos, como consecuencia este sistema es permanentemente seleccionado para aplicaciones de monitoreo remoto y continuo debido a costos, velocidades de transmisión, cobertura de la red, calidad de servicio, entre otros [12]-[15]

Proyecto de Investigación

documentan la implementación de sistemas de monitoreo remoto de variables ambientales mediante el sistema GPRS.

Con respecto a la aplicación de recepción y centralización de datos en la estación central de monitoreo, se optó por utilizar el lenguaje de programación LabVIEW debido a sus características de compatibilidad con conexiones TCP/UDP (Transmission Control Protocol/User Datagram Protocol) y con aplicaciones software de terceros, adicional a ello se recalca que la UTPL dispone de la licencia del software mencionado. Debido a las características mencionadas la plataforma de desarrollo LabVIEW es utilizada ampliamente en sistemas de centralización, visualización y procesamientos de datos monitoreados remotamente [16]-[18].

Finalmente se procesará los datos de las estaciones meteorológicas con el objetivo de calibrar las imágenes LAWR, en el procesamiento de datos se utiliza principalmente algoritmos de interpolación, los algoritmos de interpolación regularmente utilizados para estas aplicaciones son Kriging e IDW (Inverse Distance Weighting) [1], [19]-[20].

6. METODOLOGÍA

El objetivo principal del presente proyecto es desarrollar e implementar un sistema de monitoreo en tiempo real, de bajo costo y abierto, de variables meteorológicas, basado en GPRS, aplicado a la gestión inteligente de territorios. Para el cumplimiento de los objetivos del presente proyecto, se plantea seguir la siguiente secuencia de actividades:

- Investigación de línea base de sistemas de monitoreo remoto.
- Diseño de la arquitectura del sistema de monitoreo remoto.
- Diseño, programación y simulación del sistema electrónico de adquisición automática de datos.
- Fabricación del sistema electrónico de adquisición automática de datos.
- Integración del prototipo de Estación Remota para monitoreo de variables meteorológicas.
- Evaluación y análisis de desempeño del sistema de monitoreo remoto de variables meteorológicas.

La metodología para abordar las actividades propuestas se describe a continuación:

- Investigación bibliográfica en bases de datos: IEEE Xplore y Scopus.
- Síntesis de requerimientos en una arquitectura hardware-firmware-software.
- Síntesis de los requerimientos funcionales de hardware y firmware en un sistema microelectrónico.

Proyecto de Investigación

- Integración de los elementos del sistema de monitoreo y luego se realiza el análisis de error de los resultados, finalmente se evalúa la integración de los datos con el sistema de calibración de imágenes LAWR.

7. CRONOGRAMA

TABLA III. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO

Actividad	Fecha inicio	Fecha final
Objetivo Específico 1		
A1: Investigación de línea base de sistemas de monitoreo remoto.	02-Mayo-2016	13-Mayo-2016
A2: Diseño de la arquitectura del sistema de monitoreo remoto.	14-Mayo-2016	27-Mayo-2016
Objetivo Específico 2		
A1: Diseño, programación y simulación del sistema electrónico de adquisición automática de datos.	28-Mayo-2016	17-Junio-2016
A2: Fabricación del sistema electrónico de adquisición automática de datos.	18-Junio-2016	01-Julio-2016
Objetivo Específico 3		
A1: Integración del prototipo de Estación Remota para monitoreo de variables meteorológicas.	02-Julio-2016	15-Julio-2016
A2: Evaluación y análisis de desempeño del sistema de monitoreo remoto de variables meteorológicas.	16-Julio-2016	25-Julio-2016
A3: Realizar publicación de los resultados en una revista/evento indexado en SCOPUS.	02-Mayo-2016	31-Julio-2016

8. PRESUPUESTO Y FINANCIAMIENTO

NOMBRE DEL PROYECTO: Diseño e Implementación de una arquitectura y metodología aplicadas al monitoreo de variables meteorológicas.

DEPARTAMENTO/DEPENDENCIA EJECUTORA: CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN Y ELECTRÓNICA

DURACIÓN DEL PROYECTO: Desde: 02/05/2016 Hasta: 31/07/2016

RESUMEN DEL PRESUPUESTO

DETALLE DE GASTOS				UTPL	Contraparte
ITEM	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL	2016	
HONORARIOS (*)			1000.00	1000.00	0.00
Personal subcontratado			1000.00	1000.00	
Técnico electrónico. Desarrollo electrónico. Tipo: Analista 2.	500	1	500.00	500.00	
Técnico electrónico. Desarrollo electrónico. Tipo: Analista 2.	500	1	500.00	500.00	
Servicios varios			0.00	0.00	
NA	0	0	0.00	0.00	
VIATICOS			0.00	0.00	0.00
VIATICOS Y SUBSISTENCIAS/NACIONAL			0.00	0.00	
NA	0	0	0.00	0.00	
VIATICOS Y SUBSISTENCIAS/INTERNACIONAL			0.00	0.00	
NA	0	0	0.00	0.00	
CAPACITACION			0.00	0.00	0.00
NA	0	0	0.00	0.00	
MATERIALES/SUMINISTROS/EQUIPOS/BIBLIOGRAFIA			1200.00	1200.00	0.00
1. Equipos			700.00	700.00	
De laboratorio. Tarjetas electrónicas.	700	1	700.00	700.00	
2. Materiales , Reactivos y Suministros			500.00	500.00	
Materiales de laboratorio: insumos electrónicos, materiales para ensamblaje.	500	1	500.00	500.00	
3. Bibliografía			0.00	0.00	
NA	0	0	0.00	0.00	
GASTOS VARIOS			600.00	600.00	0.00
Pago de publicaciones científicas.	600	1	600.00	600.00	
TOTAL GASTOS DIRECTOS			2800.00	2800.00	0.00
TOTAL PROYECTO			2800.00	2800.00	0.00
Responsable del proyecto:					
Loja, 2 de mayo de 2016		Nombre: Carlos Calderón Córdova			
		Firma:			

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Fries, R. Rollenbeck, B. Bayer, V. Gonzalez, F. Oñate-Valvieso, T. Peters, and J. Bendix, "Catchment precipitation processes in the San Francisco valley in southern Ecuador: combined approach using high-resolution radar images and in situ observations", *Meteorol. Atmos. Phys.*, Jun. 2014.
- [2] R. Rollenbeck and J. Bendix, "Rainfall distribution in the Andes of southern Ecuador derived from blending weather radar data and meteorological field observations", *Atmos. Res.*, Vol. 99, No. 2, Feb. 2011, pp. 277-289.
- [3] R. Rollenbeck and J. Bendix, "Experimental calibration of a cost-effective X-band weather radar for climate ecological studies in southern Ecuador", *Atmos. Res.*, Vol. 79, Iss. 3-4, Mar. 2006, pp. 296-316.
- [4] N. E. Jensen, "X-band local area weather radar—preliminary calibration results", *Water Sci. Technol.*, 2002, Vol. 45, pp. 135-138.
- [5] Germann U, Galli G, Boscacci M, Bolliger M, "Radar precipitation measurement in a mountainous area". *QJR Meteorol. Soc.*, 2006, Vol. 132, pp. 1669–1692.
- [6] Delrieu G., Boudevillain B., Nicol J., Chapon B., Kirstetter P. E., Andrieu H., Faure D., "Bollevé-2002 experiment: radar quantitative precipitation estimation in the Cévennes-Vivarais region", France, *J Appl Meteorol Climatol*, 2009, Vol. 48, pp. 1422–1447.
- [7] DHI LAWR Systems, "Local Area Weather Radar Instalations Worldwide", pp. 1-19, October 2013.
- [8] Davis Instruments Corp., "Manual de la consola Vantage Pro2", pp. 1-100, 29 May 2012.
- [9] Farhana, Z.; Irwan, Y.M.; Azimmi, R.M.N.; Razliana, A.R.N.; Gomesh, N., "Experimental investigation of photovoltaic modules cooling system," in *Computers & Informatics (ISCI), 2012 IEEE Symposium on*, vol., no., pp.165-169, 18-20 March 2012.
- [10] Omotosho, T.V.; Willoughby, A.A.; Akinyemi, M.L.; Mandeep, J.S.; Abdullah, M., "One year results of one minute rainfall rate measurement at Covenant University, Southwest Nigeria," in *Space Science and Communication (IconSpace), 2013 IEEE International Conference on*, vol., no., pp.98-101, 1-3 July 2013.
- [11] O. M. Durodola, M. O. Ajewole and A. T. Adediji, "Study and characterization of rainfall intensities in Akure, Southwestern Nigeria," *General Assembly and Scientific Symposium (URSI GASS), 2014 XXXIth URSI*, Beijing, 2014, pp. 1-4.
- [12] Liang Ying; Guo Yun-feng; Zhao Wei, "Greenhouse environment monitoring system design based on WSN and GPRS networks," in *Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER), 2015 IEEE International Conference on*, vol., no., pp.795-798, 8-12 June 2015.
- [13] Kovacs, A.; Nicolcioiu, A.; Arhip, J.; Casu, G., "Design and implementation of a GPRS remote data logger for weather forecasting," in *Communications (COMM), 2014 10th International Conference on*, vol., no., pp.1-4, 29-31 May 2014.
- [14] Li Dongjiang; Li Zhihong; Lou Xiaoyan; Yu JunHao, "Design and implementation of water well monitoring system based on GPRS," in *Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), 2013 3rd International Conference on*, vol., no., pp.221-224, 20-22 Nov. 2013.
- [15] Xue TianLiang; Zhong QingYao; Zhou Yunhai, "Design of a real-time monitoring system for transmission line galloping based on GPRS/CDMA," in *Advanced Power System Automation*

Proyecto de Investigación

- and Protection (APAP), 2011 International Conference on , vol.3, no., pp.1778-1781, 16-20 Oct. 2011.
- [16] M. Mekki, O. Abdallah, M. Amin, M. Eltayeb, T. Abdalfatah and A. Babiker, "Greenhouse monitoring and control system based on wireless Sensor Network", *2015 International Conference on Computing, Control, Networking, Electronics and Embedded Systems Engineering (ICCNEEE)*, pp. 384-387, 7-9 Sep. 2015.
- [17] C. Ahmed, M. Kassas and S. Ahmed, "LabVIEW Based PV Panel Online Characteristics and Parameters Estimation", *Procedia Computer Science*, vol. 52, pp. 876-882, 2-5 Jun. 2015.
- [18] F. Touati, M. Al-Hitmi, N. Chowdhury, J. Hamad and A. San Pedro Gonzales, "Investigation of solar PV performance under Doha weather using a customized measurement and monitoring system", *Renewable Energy*, vol. 89, pp. 564-577, 2016.
- [19] W. Luo, M. C. Taylor and S. R. Parquer, "A comparison of spatial interpolation methods to estimate continuous wind speed surfaces using irregularly distributed data from England and Wales", *International Journal of Climatology*, vol. 28, no 7, pp. 947-959, 2008.
- [20] McVicar, T. R., Van Niel, T. G., Roderick, M. L., Li, L. T., Mo, X. G., Zimmermann, N. E., and Schmatz, D. R. "Observational evidence from two mountainous regions that near-surface wind speeds are declining more rapidly at higher elevations than lower elevations: 1960–2006". *Geophysical Research Letters*, vol. 37, no. 6, 2010.

ANEXO 3
EVIDENCIA DE INDEXACIÓN EN SCOPUS, DEL ARTÍCULO
CIENTÍFICO

Author details

The Scopus Author Identifier assigns a unique number to groups of documents written by the same author via an algorithm that matches authorship based on a certain criteria. If a document cannot be confidently matched with an author identifier, it is grouped separately. In this case, you may see more than 1 entry for the same author.

[Print](#) | [E-mail](#)

Calderon-Cordova, Carlos

Universidad Tecnica Particular de Loja,
Department of Electronics and Computer Science,
Loja, Ecuador

Author ID: 56755362100

<http://orcid.org/0000-0002-7071-7088>

[About Scopus Author Identifier](#) | [View potential author matches](#)

Other name formats: Calderón-Córdova, Carlos
Calderon-Cordova, Carlos A.

Documents: 9

[Analyze author output](#)

Citations: 3 total citations by 3 documents

[View citation overview](#)

h-index: 1

[View *h*-graph](#)

Co-authors: 24

Subject area: Computer Science , Engineering [View More](#)

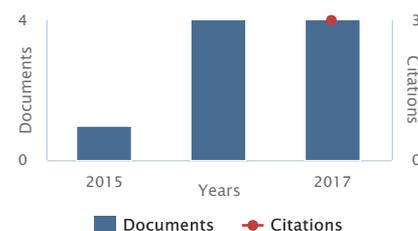
Follow this Author

Receive emails when this author publishes new articles

[Get citation alerts](#)

[Add to ORCID](#)

[Request author detail corrections](#)



9 Documents | Cited by 3 documents | 24 co-authors

9 documents [View in search results format](#)

Sort on: **Date** [Cited by](#) [...](#)

[Export all](#) | [Add all to list](#) | [Set document alert](#) | [Set document feed](#)

Design and Deployment of Grasp Control System applied to robotic hand prosthesis	Calderon-Cordova, C.A., Ramirez, C., Barros, V., Punin, G.	2017	IEEE Latin America Transactions	0
View at Publisher				
Detection of the characters from the license plates by cascade classifiers method	Barba-Guaman, L., Quezada-Sarmiento, P.A., Calderon-Cordova, C., Lopez, J.P.O.	2017	FTC 2016 - Proceedings of Future Technologies Conference	0
View at Publisher				
EMG signal patterns recognition based on feedforward Artificial Neural Network applied to robotic prosthesis myoelectric control	Calderon-Cordova, C., Ramirez, C., Barros, V., Quezada-Sarmiento, P.A., Barba-Guaman, L.	2017	FTC 2016 - Proceedings of Future Technologies Conference	1
View at Publisher				
Bootstrap-based frequency estimation method	Hernández, W., Calderón-Córdova, C., González-Posada, V., (...), Zato, J.G., Sergiyenko, O.Y.	2017	Measurement: Journal of the International Measurement Confederation	0
View at Publisher				
A method of verifying the statistical performance of electronic circuits designed to analyze the power quality	Hernandez, W., Calderón-Córdova, C., Brito, E., (...), González-Posada, V., Zato, J.G.	2016	Measurement: Journal of the International Measurement Confederation	1
View at Publisher				
Design and implementation of an architecture and methodology applied to remote monitoring of weather variables [Diseño e implementación de una arquitectura y metodología aplicadas al monitoreo remoto de variables meteorológicas]	Calderon-Cordova, C., Jaramillo, A., Tinoco, C., Quinones, M.	2016	Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI	0
View at Publisher				
Development of hardware architecture applied to real-time monitoring in drinking water distribution system of the Loja city [Desarrollo de la arquitectura hardware aplicada al monitoreo en tiempo real del Sistema de Distribución de Agua Potable de la ciudad de Loja]	Calderon-Cordova, C., Quichimbo, L., Reyes, F.	2016	Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI	0
View at Publisher				

Author History

Publication range: 2015 - Present

References: 181

Source history:

[Measurement: Journal of the International Measurement Confederation](#) [View documents](#)

[FTC 2016 - Proceedings of Future Technologies Conference](#) [View documents](#)

[Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI](#) [View documents](#)

[Show Related Affiliations](#)

Design of a machine vision applied to educational board game	Calderon-Cordova, C., Guajala-Michay, M., Barba-Guaman, R., Quezada-Sarmiento, P.	2016	2016 6th International Workshop on Computer Science and Engineering, WCSE 2016	1
Low-cost measurement for a secondary mode S radar transmitter	Parra-Cerrada, Á., González-Posadas, V., Jiménez-Martín, J.L., (...), Hernandez, W., Calderón-Córdova, C.	2015	IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement	1

[View at Publisher](#)

Display: results per page

Page 1

[Top of page](#)

The data displayed above is compiled exclusively from articles published in the Scopus database. To request corrections to any inaccuracies or provide any further feedback, please [contact us](#) (registration required). The data displayed above is subject to the privacy conditions contained in the [privacy policy](#).

About Scopus

[What is Scopus](#)
[Content coverage](#)
[Scopus blog](#)
[Scopus API](#)
[Privacy matters](#)

Language

[日本語に切り替える](#)
[切换到简体中文](#)
[切换到繁體中文](#)

Customer Service

[Help](#)
[Live Chat](#)
[Contact us](#)

ELSEVIER

[Terms and conditions](#) [Privacy policy](#)

Copyright © 2017 Elsevier B.V. All rights reserved. Scopus® is a registered trademark of Elsevier B.V.

Cookies are set by this site. To decline them or learn more, visit our [Cookies page](#).

 RELX Group™

Documents

Calderon-Cordova, C., Jaramillo, A., Tinoco, C., Quinones, M.

Design and implementation of an architecture and methodology applied to remote monitoring of weather variables [Diseño e implementación de una arquitectura y metodología aplicadas al monitoreo remoto de variables meteorológicas]

(2016) *Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI*, 2016-July, art. no. 7521465, .

DOI: 10.1109/CISTI.2016.7521465

Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica, Universidad Nacional de Loja, Área de Energía, Loja, Ecuador

Abstract

The measurement of weather variables in the Andes Mountains of Ecuador is of great importance for environmental, hydrological and ecological research. Such investigations reveal indicators that contribute to innovative management of Territories, which it is characterized as a biodiverse natural heritage. Due to heterogeneity of the distribution of rainfall and other weather variables in that region suggest the need to use radar systems LAWR (Local Area Weather Radar), to mapping of variables with high temporal and spatial resolution. However, the outputs of these radar systems are required to calibrate in real-Time with ground nodes measurements. Therefore, the radar system LAWR, available in the province of Loja-Ecuador intended for research between the University (UTPL) and the autonomous governments (GADs), needs to be complemented with real-Time monitoring of variables acquired by the reference weather stations located in the study area. Based on the above, the objective of this work is to design, implement and evaluate a remote real-Time monitoring system of weather variables acquired by measuring ground stations based on Davis Vantage Pro. The implemented system is based on GPRS and provides reliable (max. error 1.5%) and timely (every 5 min.) information to enable to researchers intelligent management of territories. © 2016 AISTI.

Author Keywords

data acquisition; Davis Vantage Pro; GPRS networks; remote monitoring; weather stations

References

- Rollenbeck, F.R., Bayer, B., Gonzalez, V., Oñate-Valvieso, F., Peters, T., Bendix, J.
Catchment precipitation processes in the San Francisco valley in southern Ecuador: Combined approach using highresolution radar images and in situ observations
(2014) *Meteorol. Atmos. Phys.*, Jun
- Rollenbeck, R., Bendix, J.
Rainfall distribution in the Andes of southern Ecuador derived from blending weather radar data and meteorological field observations
(2011) *Atmos. Res.*, 99 (2), pp. 277-289.
Feb
- Rollenbeck, R., Bendix, J.
Experimental calibration of a costeffective X-band weather radar for climate ecological studies in southern Ecuador
(2006) *Atmos. Res.*, 79, pp. 296-316.
3-4, Mar
- Jensen, N.E.
X-band local area weather radar-preliminarycalibration results
(2002) *Water Sci. Technol.*, 45, pp. 135-138.
- Germann, U., Galli, G., Boscacci, M., Bolliger, M.
Radar precipitation measurement in a mountainous area
(2006) *QJR Meteorol. Soc.*, 132, pp. 1669-1692.
- Delrieu, G., Boudevillain, B., Nicol, J., Chapon, B., Kirstetter, P.E., Andrieu, H., Faure, D.

Bolléne-2002 experiment: Radar quantitative precipitation estimation in the Cévennes-Vivarais region", France

(2009) *J Appl Meteorol Climatol*, 48, pp. 1422-1447.

- Ying, L., Yun-Feng, G., Wei, Z.
Greenhouse environment monitoring system design based on WSN and GPRS networks
 (2015) *Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER) 2015, IEEE International Conference on*, pp. 795-798.
 8-12 June
- Kovacs, A., Nicolcioiu, A., Arhip, J., Casu, G.
Design and implementation of a GPRS remote data logger for weather forecasting
 (2014) *Communications (COMM) 2014 10th International Conference on*, pp. 1-4.
 29-31 May
- Dongjiang, L., Zhihong, L., Xiaoyan, L., JunHao, Y.
Design and implementation of water well monitoring system based on GPRS
 (2013) *Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet) 2013 3rd International Conference on*, pp. 221-224.
 20-22 Nov
- TianLiang, X., QingYao, Z., Yunhai, Z.
Design of a real-Time monitoring system for transmission line galloping based on GPRS/CDMA
 (2011) *Advanced Power System Automation and Protection (APAP) 2011 International Conference on*, 3, pp. 1778-1781.
 16-20 Oct
- (2012) *Davis Instruments Corp. Manual de la Consola Vantage Pro2*, pp. 1-100.
 29 May
- Farhana, Z., Irwan, Y.M., Azimmi, R.M.N., Razliana, A.R.N., Gomesh, N.
Experimental investigation of photovoltaic modules cooling system
Computers & Informatics (ISCI) 2012 IEEE Symposium on, pp. 165-169.
 18-20 March 2012
- Omotosho, T.V., Willoughby, A.A., Akinyemi, M.L., Mandeep, J.S., Abdullah, M.
One year results of one minute rainfall rate measurement at covenant university, southwest Nigeria
 (2013) *Space Science and Communication (IconSpace) 2013 IEEE International Conference on*, pp. 98-101.
 1-3 July
- (2013) *Vantage Pro2 Serial Communication Reference Manual*, pp. 1-60.
 Davis Instruments Corp, 29 March
- (2008) *SkyPatrol TT8750 User Guide*, pp. 1-47.
 SkyPatrol LLC 15 August
- (2010) *SkyPatrol TT8750 at Command Reference*, pp. 1-520.
 SkyPatrol LLC 18 March

Editors: Rocha A., Reis L.P., Cota M.P., Goncalves R., Suarez O.S.

Sponsors:

Publisher: IEEE Computer Society

Conference name: 11th Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI 2016

Conference date: 15 June 2016 through 18 June 2016

Conference code: 123024

ISSN: 21660727

ISBN: 9789899843462

Language of Original Document: Spanish

Abbreviated Source Title: Iberian Conf. Inf. Syst. Technol., CISTI
Document Type: Conference Paper
Source: Scopus

ELSEVIER

Copyright © 2017 Elsevier B.V. All rights reserved. Scopus® is a registered trademark of Elsevier B.V.

 **RELX Group™**