

SISTEMA DE MONITOREO AUTOMÁTICO PARA INUNDACIONES REPENTINAS

Radames Perdomo Figueroa, Rodney Nadal De Choudens,
Luz Estella Torres-Molina e Idalides Vergara

Universidad del Turabo, Puerto Rico.

E-mail: rperdomo1@email.suagm.edu, rmadal3@email.suagm.edu, torresl6@suagm.edu, ivergara@suagm.edu

Resumen

Este estudio se hizo con el objetivo de proporcionar un sistema de alerta de inundaciones en tiempo real para las islas del Caribe. Las precipitaciones intensas y repentinas en Puerto Rico dan como resultado una corriente súbita que llega de manera inesperada y puede arrastrar todo lo que tenga a su paso. Debido a la geografía de la isla y a su gran número de cuerpos de agua, este tipo de eventos es recurrente. El sistema propuesto es basado en mediciones de niveles de los ríos en tiempo real. Estas elevaciones de los ríos son monitoreadas y transmitidas para alertar a la comunidad sobre posibles inundaciones en sectores aguas abajo de la zona de monitoreo.

El sistema informático incluye un micro controlador conectado a tres sensores para medir nivel, caudal y precipitación en la estación. Debido a la ubicación es posible que la red celular no esté disponible cuando sea necesario. Por esta razón, el sistema usará una frecuencia de radio para transmitir señal hasta 1500 pies de distancia de la estación receptora. La estación receptora usará la red móvil para transmitir los datos del sensor a los servidores centrales y a la población afectada por el golpe de agua o la inundación. Otro de los atributos de este tipo de equipo es la posibilidad de archivar los datos para futuras investigaciones y predecir el comportamiento de los ríos monitoreados en épocas específicas del año. Con la implementación de este tipo de sistema se espera reducir los daños económicos ocasionados por las inundaciones repentinas, pero sobre todo reducir el número de víctimas.

Introducción

En las islas del Caribe es muy común que se presente inundaciones repentinas. Estas inundaciones son producto principalmente de precipitaciones convectivas (Torres-Molina, 2017), asociadas con la topografía, uso del terreno y problemas de planificación. El departamento de Recursos Naturales y ambientales de Puerto Rico (DRNA) estima que alrededor de 500 mil personas viven en áreas de inundación por desborde de ríos y quebradas; además, 100 mil personas son vulnerables a inundaciones por marejada ciclónicas.

Por su parte, el *United States Geological Survey* (USGS) es la agencia de gobierno encargada de tomar mediciones en los principales ríos de Estados Unidos incluyendo a Puerto Rico e islas vírgenes. USGS utiliza una estructura diseñada para alojar y proteger los instrumentos que se utilizan para medir caudal y elevación, (Figura 1). Las mediciones se hacen a través de tuberías que conectan la estructura llamada pozo o "stilling well" con el cuerpo de agua a la misma elevación. La elevación es medida dentro del pozo utilizando un flotador, un sensor de presión, óptico o acústico. La medida es almacenada cada 15 minutos con una precisión de ± 0.01 ft de precisión en la elevación. Variados tipos de sistemas telemétricos satelitales son usados para transmitir información desde una estación a la oficina. Sin embargo, no existe un sistema de alerta en tiempo real de inundaciones disponible para la ciudadanía. Cuando se estima que alrededor de 18% de la población está expuesta a inundaciones por precipitaciones repentinas se ve la necesidad de crear un sistema de monitoreo y de alerta automático para inundaciones.

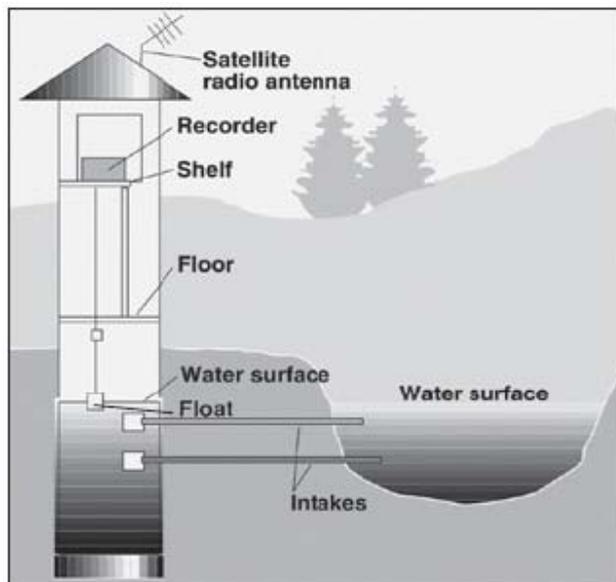


Figura 1.- Medidores de Flujo (Tomado desde USGS).

Diseño del sistema

Esta investigación presenta un sistema de monitoreo y alerta en tiempo real que permite a informar a la ciudadanía, vía mensaje de texto, cuando una inundación pueda ocurrir o esté en proceso. El sistema propuesto define un conjunto de estaciones de monitoreo que se ubican en las riberas a una distancia de 1,500 pies entre ellas con el objetivo de medir el flujo y nivel del río, y precipitación en tiempo real como se muestra en la figura 2. De igual forma, se define una estación central que recibe las lecturas enviadas por las estaciones de monitoreo y las reporta a un servidor vía red datos celular utilizando la tecnología GSM.

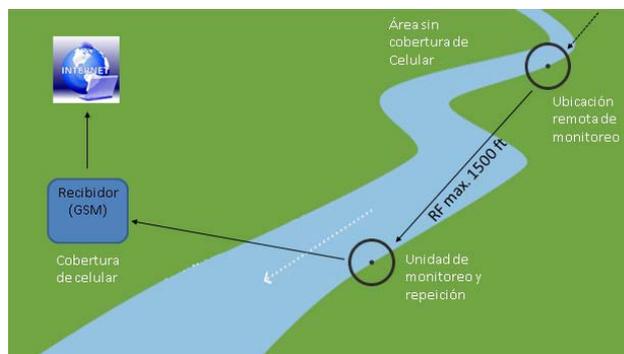


Figura 2.- Ubicación de las estaciones.

Cada estación de monitoreo cuenta con un sensor de flujo, un sensor de nivel y un pluviómetro conectados a un sistema de control. Además, dado que cada estación puede estar ubicada en un lugar de difícil acceso para proveerle electricidad, al estación cuenta con un sistema de generación de energía bimodal consistente en una turbina sumergida en el río y un sistema de

paneles solares conectados a controlador de energía y una batería de 12V. Este sistema de potencia provee la energía suficiente para operación de la estación de manera continua hasta 50 horas sin ser recargado. Es decir, en caso de que el panel solar y la turbina generadora fallen permanentemente. El Microprocesador utilizado como el cerebro de la estación es un Aduino UNO. Este microprocesador recoge las lecturas de los sensores y lo envía a través del módulo de transmisión el cual es un Xbee. La figura 3 presenta los componentes de cada estación.

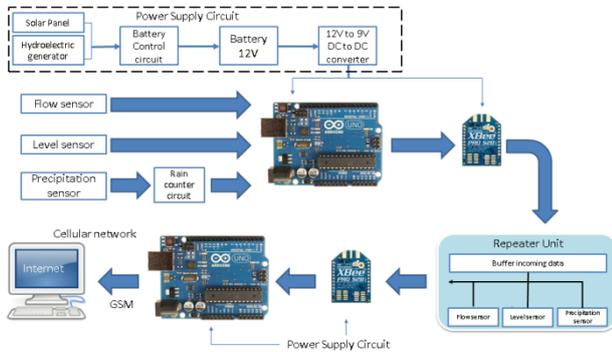


Figura 3.- Diagrama del diseño de transmisión de datos.

1. Sistema de sensores

Como se mencionó previamente, cada estación cuenta con un pluviómetro, sensor de nivel y uno de flujo. La selección de tecnología para la medición de flujo y elevaciones de flujo se basó en la precisión, toma y transmisión de datos en tiempo real, la portabilidad del equipo, el costo, el bajo consumo de energía, la resistencia al agua y el sistema de alerta, el cual no ha sido implementado en los cuerpos de agua de Puerto Rico. Para medir el nivel se utilizan tres sensores ultrasónicos que emiten una señal y por reflexión de la superficie del río, la onda regresa al sensor. Se utilizan tres (3) sensores de manera preventiva; en el caso que alguno de los 3 quedase fuera de servicio, se contará con dos (2) sensores para la validación de datos, descartando una falsa alarma.

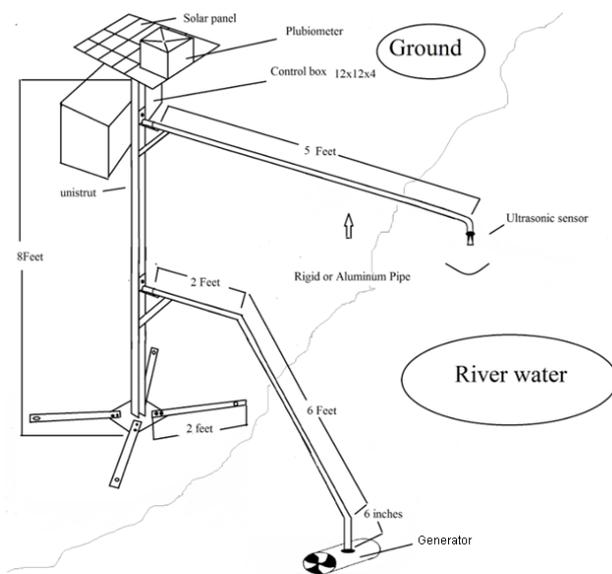


Figura 4.- Prototipo implementado.

Para el sensor de flujo tres opciones fueron evaluadas. La primera opción evaluada incluye un sensor de presión hidrostática sumergible que usa un transductor de presión que

convierte los movimientos o cambios mecánicos en una señal eléctrica. Fue descartado porque puede obstruirse con sedimentos al colocarse en el fondo del río. La segunda opción evaluada fue una turbina para medir la cantidad de flujo. Finalmente, la tercera opción seleccionada reemplazó la turbina por un tubo pitot en combinación con los sensores ultrasónicos. El tubo pitot es un sensor usado en muchas aplicaciones algunos de ellos se utiliza para medir velocidad de vuelo en aviones, también se utiliza en los botes midiendo la velocidad del agua.

2. Sistema de comunicación

Una de partes claves del sistema es el sistema de comunicación para alertar a la ciudadanía. El sistema propuesto define una red inalámbrica de medición (Wireless Sensor Network - WSN). La idea detrás de una WSN es proveer una mayor cobertura utilizando sensores de bajo costo.

En una WSN hay dos tipos de nodos: los nodos de medición (sensor nodes) y el nodo central (Sink node). Cada nodo de medición ejecuta el proceso de medición y reporta al nodo central. Usualmente, para mejorar la cobertura del sistema, los nodos de medición se convierten en repetidores o enrutadores de la señal recibida por nodos de medición que no pueden conectarse directamente con el nodo central.

En nuestro caso, el sistema está diseñado para que cada nodo de medición, o estación de monitoreo, funcione como un enrutador de la señal enviada por un nodo río arriba que no puede conectarse con el nodo central, o estación central. Para ello cada estación utiliza un módulo Xbee conectado al Arduino. Los Xbee son módulos inalámbricos que permiten la comunicación y transmisión de datos entre dispositivos, reemplazando cables en comunicación serial. La transmisión de datos se hace por la banda de 2.4 GHz, por ser libre en todo el mundo. El uso de este módulo se centra en la sencillez, el bajo costo y alcance de la señal. Cada módulo Xbee tiene un alcance de 1500 pies, determinando la distancia entre estación y estación. Entonces, cada estación de monitoreo está continuamente midiendo el nivel y el flujo del río, además de la precipitación y reportando estos valores a la estación central. En caso de estar fuera del área de cobertura de la estación central, la estación de monitoreo envía su reporte a la siguiente estación de monitoreo río abajo. Cada estación de monitoreo que recibe un mensaje de otra estación, repite dicho mensaje ya sea a una siguiente estación de monitoreo o a la estación central. Cuando la estación central recibe los reportes de las estaciones de monitoreo, procede a agregarlos y generar un reporte, el cual es enviado vía GSM al servidor para su procesamiento.

Conclusión

El sistema de alerta por golpe de agua e inundaciones se realiza a través de datos recibidos por vía GSM. El usuario puede conectarse al nodo principal y recibir datos de caudal, elevación y precipitación en tiempo real de cada una de las estaciones. Este proyecto demuestra que es posible construir un sistema económico, autónomo y confiable para monitorear las condiciones de un río en un área remota, además de utilizarse como un sistema de alerta de inundaciones con libre acceso.

Referencias

- Torres-Molina, L.E** (2017). *Flood Alert System Using High Resolution Radar Rainfall Data*. Book series: Innovations in Agricultural and Biological Engineering, by Apple Academic Press, Inc
- U.S. Geological Survey**, 2018, National Water Information System data available on the World Wide Web (USGS Water Data for the Nation), accessed [April 10, 2018], at URL [http://waterdata.usgs.gov/nwis/].