

Ingeniería Básica y Conceptual Para Medición de Nivel en Ríos

Andrés Fernando Regalado Bucheli

*Facultad de Ingeniería, Departamento de Electrónica, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá,
Colombia*

aregalado@javeriana.edu.co

Abstract— La ingeniería básica y conceptual en el ámbito de la gestión de proyectos es la etapa principal en la que debe fundamentarse un nuevo emprendimiento.

El presente estudio está orientado a ofrecer una alternativa innovadora desde el punto de vista tecnológico y presupuestal para la implementación de un sistema de monitoreo de nivel de agua en ríos y canales abiertos.

Se investigaron, las mejores alternativas para implementar un sistema de monitoreo hidrográfico, tomando como caso de estudio a la ciudad de Pasto, debido a los inconvenientes económicos y sociales que se han derivado del desbordamiento del tramo del Río que atraviesa el casco urbano de la ciudad.

Las consideraciones que se tuvieron en cuenta para seleccionar los equipos que se ajustan adecuadamente al diseño de un sistema de alerta temprana, fueron de índole técnica, económica y de innovación científica, debido a que como se mencionó, hoy en día los equipos para monitorear las variables hidrológicas instalados en las estaciones de monitoreo, son muy costosos y no cuentan con las tecnologías adecuadas para efectuar una medición confiable ni con tecnologías transmisión de datos que garanticen un acceso rápido y cómodo a la información.

Para evaluar los equipos que finalmente fueron seleccionados, se compararon las tecnologías de medición y transmisión con las que cuenta cada uno de los dispositivos que se proyectaron como posibles elecciones, se consideró el costo que tendría la implementación del sistema con cada uno de los conjuntos de equipos y también se tuvo en cuenta el criterio de innovación tecnológica representado por las características de los medidores y los medios utilizados para realizar la transmisión de las lecturas de los datos.

Finalmente se realizó un presupuesto del costo que tendría la implementación del sistema con los equipos seleccionados, con el fin de que este documento sirva como una ingeniería básica y conceptual para las personas interesadas en el monitoreo hidrográfico.

I. INTRODUCCIÓN

La ingeniería básica en el marco de la gestión de proyectos es un aspecto fundamental de la planeación de la viabilidad desde el punto de vista práctico y económico y en la mayoría de los

casos define el éxito que tendrá la futura puesta en marcha de un nuevo emprendimiento.

En este trabajo, se hace un estudio acerca de la viabilidad que tendría la instalación de un sistema económico de monitoreo hidrológico, tomando como caso de estudio, el tramo del Río Pasto que atraviesa el casco urbano de la ciudad con el mismo nombre, enfatizando en la innovación tecnológica y considerando los factores económicos.

Colombia ha atravesado durante los últimos años por una enorme cantidad de eventos hidrometeorológicos extremos, provocados por la ola invernal y el cambio climático generado a nivel mundial por fenómenos como el calentamiento global, la contaminación y el efecto invernadero.

Las pérdidas humanas, materiales, ecológicas y ambientales relacionadas con sucesos de ocurrencia inesperada, como deslizamientos de suelos, inundaciones y desbordamientos provocados por la crecida súbita del nivel en ríos, podrían ser prevenidas oportunamente si las poblaciones, infraestructuras y ecosistemas ubicados en zonas aledañas a cuencas hidrográficas, contaran con un sistema adecuado de lectura y transmisión de datos, derivando en enormes beneficios de desarrollo a nivel local, departamental y nacional, debido a que los fondos invertidos por las administraciones regionales en la atención de desastres, podrían destinarse para solventar otra clase de necesidades importantes.

Un adecuado sistema de medición y transmisión de datos de nivel podría también ofrecer información en tiempo real, orientada a la modelación de estructuras hidroeléctricas y permitiría monitorear adecuadamente la dinámica de las fuentes hídricas generadoras de energía redundando en enormes beneficios de desarrollo económico para el país.

El Nivel [1] y el Caudal [2], son dos de las variables más importantes y de mayor influencia en los estudios hidrometeorológicos, hidrológicos e hidrométricos, orientados a la planificación del uso de los recursos hídricos.

II. ASPECTOS GENERALES ACERCA DE LA SITUACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA EN COLOMBIA [3]

Colombia es un país que se encuentra ubicado en el extremo norte de Sur América y aunque su posición geográfica privilegiada, le ofrece una inmensa variedad de bosques, corrientes de aire y riqueza en sus suelos, también se produce a lo largo de todo el territorio nacional, una dinámica meteorológica e hidrológica compleja. Esta dinámica es generada tanto por factores de índole planetaria, como por factores regionales y locales, haciendo de su previsión un enorme reto científico que demanda esfuerzos logísticos, económicos y de investigación.

La variabilidad hidrológica en nuestro país, hace parte de la vida cotidiana, y a pesar de generar durante el transcurso del año grandes beneficios, se presentan épocas y lugares en los que produce terribles desastres como sequías extremas e inundaciones que afectan la riqueza social, ambiental y económica del país.

La destrucción producida por las crecidas en los niveles de los ríos y cuencas hidrográficas y los períodos de estiaje que generan inundaciones y sequías, varía desde lesiones a personas, pérdidas masivas de ganado y cultivos, hasta daños a infraestructuras o efectos ambientales a gran escala.

III. IMPORTANCIA DE LAS MEDICIONES HIDROLÓGICAS EN EL SECTOR HIDROENERGÉTICO EN COLOMBIA [4]

La generación hidroeléctrica está directamente relacionada con la oferta de agua de las cuencas hidrográficas. Fenómenos de nivel mundial como el calentamiento global, están causando en el presente, alteraciones del régimen hidrológico de los ríos, lo que implica que el análisis empírico de la dinámica hidrológica, basado en datos proporcionados por tecnologías obsoletas de medición que de forma involuntaria introducen errores en las mediciones, tenga unos altos niveles de incertidumbre.

Las empresas productoras de hidroenergía, dependen del recurso hídrico para su funcionamiento. Sin embargo, muchas de estas empresas, carecen de una red hidro-climatológica propia, y en muchas ocasiones las entidades encargadas del monitoreo de variables hidrológicas publican los datos obtenidos de sus estaciones con muchos meses o incluso años de atraso, lo que imposibilita realizar pronósticos útiles orientados al manejo futuro de los recursos hídricos. Por lo tanto, es de suma importancia para

la empresa privada, contar con una red de estaciones meteorológicas que responda a las necesidades de contar con información detallada y oportuna de caudales de entrada y salida a los embalses y otros parámetros hidrológicos para apoyar la operación de los embalses, tanto para realizar predicciones, como para la toma de decisiones cuando se presenten eventualidades extremas.

IV. ANTECEDENTES ACERCA DE LA MEDICIÓN Y TRANSMISIÓN DE VARIABLES HIDROLÓGICAS EN COLOMBIA [5]

A. *La red hidrológica específica con fines de emisión de pronósticos hidrológicos [6]*

En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, opera dos tipos de estaciones hidrológicas: la red básica nacional, orientada a estudios con proyecciones a largo plazo y la red básica específica nacional cuya finalidad es ofrecer pronósticos y alertas en tiempo real por crecidas y sequías hidrológicas; las dos soportan decisiones del nivel nacional.

En la actualidad, la red de estaciones automáticas que opera el IDEAM, cuenta con estaciones satelitales, opera con cobertura nacional, y está diseñada para cubrir los grandes ríos del país, principalmente Cauca – Magdalena y Catatumbo con la finalidad de alertar a las poblaciones ribereñas acerca de la probabilidad del aumento o disminución de los niveles de agua.

En términos generales, un sensor de movimiento de los niveles del agua, que se encuentra en cada una de las estaciones hidrológicas automáticas, efectúa la medición del nivel del río cada hora y envía la señal al satélite americano GOES, que retransmite la información y luego es captada por antenas receptoras ubicadas en el IDEAM en Bogotá. (Figura 1).



Fig. 1 Estación automática con transmisión satelital en tiempo real, en Nariño – río Magdalena

V. APROXIMACIÓN TEÓRICA A LAS METODOLOGÍAS DE MEDICIÓN DE NIVEL EN RÍOS Y CANALES ABIERTOS [7]

A. Estaciones de medición de nivel de agua

Es posible obtener el registro de un tramo, mediante la observación sistemática de una regla de medición o con un medidor automático que registre las lecturas. Las ventajas de la regla de medición son, el bajo costo inicial y la facilidad de instalación. Las desventajas son la necesidad de un observador y la baja precisión. Para operaciones a largo plazo, las ventajas de un medidor automático son mucho mayores que las de una simple regla de medición de nivel.

Cada estación de medida, requiere por lo menos dos puntos de referencia, es decir, puntos permanentes de elevación conocida, que son independientes de la estructura de la medición. El nivel del punto de medida es periódicamente verificado desde los puntos de referencia, a los instrumentos de medida de la estación, rutinariamente, al menos una vez al año.

B. Selección de lugares de medición

Para escoger el sitio de medición y la instalación de un instrumento de medición, deben tenerse en cuenta los siguientes requerimientos:

- El lugar debe ser accesible a un lector de la medición, quien pueda fácilmente leer el instrumento, y (a menos que se esté utilizando un instrumento que lleve registros automáticamente) el lector de la medición, debe estar disponible durante la mayor parte del tiempo.
- Durante niveles extremadamente bajos de agua, el instrumento todavía debería permanecer en conexión abierta con el río y no ser desecado.
- Incluso durante niveles extremadamente altos de agua, el instrumento no debería ser inundado.
- Deben ser prevenidos los daños del medidor por causa de embarcaciones, escombros flotantes o deslizamientos de la orilla del río. La localización de un sitio de medición, debe ser tal que no se sientan influencias de los efectos de aguas estancadas debidas a confluencias, etc.
- Preferiblemente la localización, debe ser escogida justo aguas arriba de una sección de control para evitar la influencia de detergentes o suciedad local y sedimentación.

- Uno o dos puntos de referencia nivelados deben encontrarse cerca, para una verificación constante y regular del dato de medición.

C. Diferentes tipos de instrumentos para medir el nivel

1) *Sensor ultrasónico:* Los sensores ultrasónicos (o acústicos) son utilizados para medidas continuas sin contacto, de nivel en canales abiertos. El sensor emite pulsos ultrasónicos a cierta frecuencia. Las ondas de sonido inaudibles son reflejadas por la superficie del agua y recibidas por el sensor.

El tiempo de ida y vuelta – es decir el tiempo transcurrido entre la transmisión y la recepción del eco – es medido electrónicamente y aparece como una señal de salida proporcional al nivel.

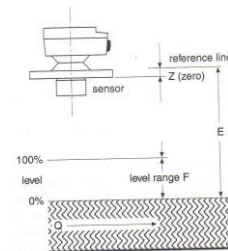


Fig. 2 Sensor Ultrasónico

2) *Transductores de presión:* Los transductores de presión, se refieren también a sensores de presión, sondas de presión y transmisores de presión.

Con estos dispositivos, el nivel de agua se mide como una presión hidrostática y se transforma en una señal eléctrica, en la mayoría de los casos con un sensor semiconductor (transductor de presión piezo-resistivo). El valor medido corresponde al nivel actual de agua captado por el sensor.

V. ESPECIFICACIONES

El documento redactado cumple con la función de constituirse en una ingeniería básica y conceptual orientada hacia las entidades públicas y privadas que hagan uso del estudio y manejo de los recursos hídricos para planeamiento de proyectos o para el servicio de la comunidad.

Los instrumentos seleccionados efectúan la medición del nivel en ríos (Se analizó el caso hipotético del río Pasto) y permiten realizar la estimación del caudal a partir de las mediciones

de nivel, haciendo uso de las herramientas matemáticas utilizadas por los hidrólogos.

Los equipos seleccionados que conforman el sistema de monitoreo (medición y transmisión), cumplen con la normas vigentes que regulan las metodologías que deben utilizarse para realizar este tipo de mediciones y representan un avance tecnológico, debido a que se seleccionó equipos que integran innovaciones desde el punto de vista de medición y comunicación de datos.

VI. DESARROLLOS

Para llevar a cabo la investigación, como etapa preliminar se consultó bibliografía relacionada con el estado del arte en el que se encuentran los estudios hidrológicos en el país y a nivel mundial.

Posteriormente se estudió los diferentes sistemas de medición y transmisión que existen para la medición de nivel, referidos en el marco teórico y se realizó una búsqueda de los equipos de los que es posible disponer en el país o cuya importación desde otros países no resulta costosa, para implementar el sistema de monitoreo y que resultan interesantes desde el punto de vista tecnológico.

VII. ANALISIS DE LA UBICACIÓN FÍSICA DEL LUGAR DE MONTAJE DEL SISTEMA

Para efectos de predicción de eventos hidrológicos extremos, con base en el documento de donde se extrajo la información referida en el primer párrafo de este capítulo, se considera que los detectores de nivel deberían estar situados en tres puntos importantes del cauce urbano del río.

El primero, en el sector de Centenario, que corresponde al tramo superior del río, el segundo en el sector del barrio Las Cuadras, que correspondería al tramo medio del río y el tercero en el sector de la Universidad de Nariño, que corresponde al tramo inferior del río. Además, debería ubicarse un cuarto sensor en el sector de suroriental de la ciudad que es un punto en el cual los estragos producidos por el aumento de nivel en la quebrada afluente son evidentes.

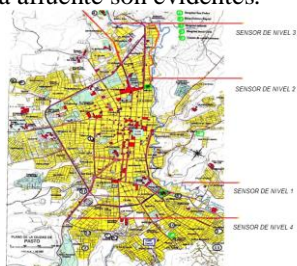


Fig. 3 Mapa de la ciudad de Pasto en donde aparece la ubicación de los sensores de nivel

VIII. SISTEMA DE MONITOREO CONVENCIONAL CON SENSORES ULTRASÓNICOS O DE RADAR

La solución que se escogió como objeto de estudio basándose en el análisis de la mayoría de consultorías convocadas por las empresas públicas y privadas interesadas en la medición de variables hidrológicas, se fundamenta en una arquitectura como la que se muestra en la Figura 4. En la cual se emplean estaciones remotas y estaciones de monitoreo.

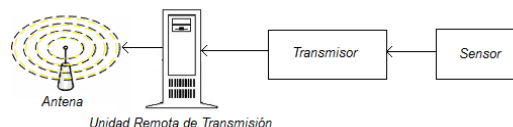


Fig. 4 Arquitectura básica de un sistema de monitoreo hidrológico convencional

IX. ESTUDIO DE LA RED DE SENSORES Y SERVICIOS DE TRANSMISIÓN

La opción más interesante es la utilización del sensor LOE Remote Monitoring Ultrasonic Sensor, que no requiere de una unidad de adquisición de datos, por tratarse de un módulo integrado que efectúa todas las aplicaciones contenidas dentro del mismo sensor, enlazando directamente los datos a una aplicación de Internet.

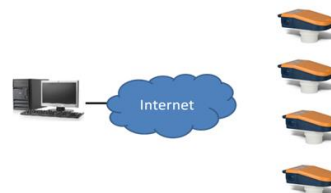


Fig. 5. Red con sensor ultrasónico LOE Remote Monitoring Ultrasonic Sensor

El sensor LOE Remote Monitoring Ultrasonic Sensor de APG sensors es una opción económica que permite el monitoreo a través de Internet y no requiere la compra de módulos de adquisición y transmisión de datos.

X. DISPOSICIÓN DE EQUIPOS, CASETAS Y CABLEADO

La instalación de los sensores ultrasónicos debe hacerse en estructuras que además de proteger al sensor, funcionen como estructuras de control del nivel del agua. Se trata de una sección tubular o rectangular de unos cuantos metros de alta.

Las casetas con puerta metálica en las que deben estar ubicados los módulos de adquisición y transmisión de datos, las baterías y los paneles solares, deben estar situadas cerca de la orilla del río en un punto estable en el que el suelo no sea susceptible de riesgo por deslizamiento.

El cableado del sensor debe ir por un ducto ubicado bajo la superficie del suelo y debe tener una longitud conveniente.

El gabinete metálico con llave que albergará a los módulos de adquisición de datos debe ir ubicado dentro de la caseta.

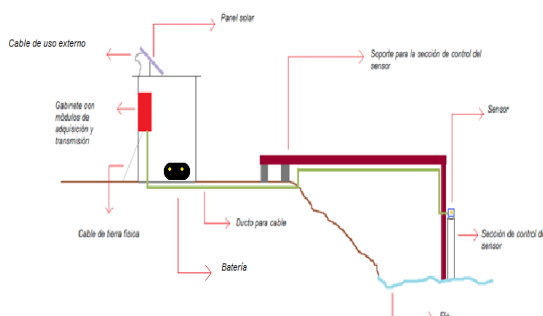


Fig. 6 Disposición de equipos, caseta y sensores para sistema de monitoreo con sensores ultrasónicos

XI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis comparativo de cada uno de los equipos seleccionados, de los métodos que utilizan para la medición y el monitoreo del nivel de agua y de las consideraciones de índole presupuestal para la implementación real de un sistema de monitoreo en el que la inversión no sea demasiado elevada y cuya aplicación sea útil e innovadora, se realizó por medio de tablas en las que se consignaron las características de cada sensor, sus ventajas y desventajas y una comparativa presupuestal para poder determinar la mejor alternativa para la puesta en marcha del proyecto.

XII. CONCLUSIONES

De las tablas comparativas realizadas en el análisis de resultados en las que se estudian las características de los equipos, se llegó a la conclusión que en el momento actual, el dispositivo que mejor se ajusta desde el punto de vista innovador y práctico a la implementación de un sistema de monitoreo novedoso, es el sensor LOE Remote Monitoring Ultrasonic Sensor, producido por el fabricante APG con sede en Utah U.S.A.

Este sensor, además de integrar todo el sistema de programación y conectividad dentro de un solo dispositivo, permite la programación a través de internet, y también la recepción de alarmas y eventos de monitoreo en tiempo real a través de este servicio.

Es el sensor más económico que se encuentra en el mercado, con todas estas posibilidades. Sus dimensiones son apropiadas para una cómoda instalación en estructuras tubulares de control y por el hecho de no necesitar de una unidad RTU, su utilización conlleva a un gran ahorro de inversión en equipos de adquisición y transmisión.

El acceso a las aplicaciones de monitoreo, puede hacerse desde cualquier computador con acceso a Internet y desde cualquier lugar del mundo, su sencillo cableado (solo se hace necesario conectarlo a través de un cable de Ethernet) lo hace aun más atractivo.

Si se contrata además un plan de acceso a internet y telefonía a través de un proveedor telefónico, se tiene la opción de monitorear el sistema a través de teléfonos inteligentes.

En la etapa final del proyecto se realizó un contacto diario a través del chat de la empresa fabricante, con un asesor técnico, debido a que todas las ventajas que ofrece este sensor, despertaron algunas inquietudes y gracias a su amable asesoría, se fue descubriendo cómo este dispositivo representa una verdadera innovación en la manera en que se miden las variables hidrológicas y por eso fue seleccionado como el dispositivo ideal para hacer una ingeniería básica de un sistema de monitoreo que cumpla con los objetivos planteados en este estudio.

Se decidió hacer el presupuesto y el montaje del sistema con el sensor que se menciona en este capítulo, de la manera en que se muestra en la Figura 7. Y escogiendo el plan de conexión a internet y el plan de datos telefónico más económico.

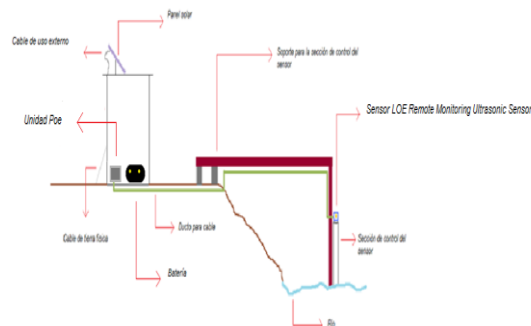


Fig. 7 Sistema de monitoreo hidrológico con el sensor LOE Remote Monitoring Ultrasonic Sensor

TABLA I
COSTO TOTAL DEL PROYECTO

Inversión Total en Equipos (Excluyendo el teléfono celular)	\$ 17,383,700
Inversión en infraestructura	\$ 3,400,000
Inversión en planes de telefonía e internet	\$ 164,000
COSTO TOTAL DEL PROYECTO	\$ 20,947,700

London, U.K: ANTONY ROWE (A CPI-group Company), Chippenham, Wiltshire, 2008. 247p.

RECONOCIMIENTOS

Agradezco de manera especial, a la Secretaría de Gestión Ambiental de la Ciudad de Pasto por la útil información suministrada para el desarrollo de este trabajo.

De igual manera, agradezco a la Corporación Autónoma Regional de Nariño, CORPONARIÑO por permitirme acceder a los diferentes documentos e informes referidos en este libro y que fueron de enorme utilidad en la etapa final de la investigación.

A las empresas Maser Ltda de Colombia Instrumentos para el medio ambiente, Balluff de México, Solid Applied Technologies Ltd. de Israel, DNK Water de Chile, por la información técnica suministrada acerca de sus equipos de medición.

Agradezco de manera especial a la compañía estadounidense APG Automation Products Group, Inc, por su asesoría y por el suministro de información acerca de sus productos.

REFERENCIAS

- [1] CHOW, Ven Te, MAIDMENT, David R y MAYS Larry W. HIDROLOGÍA APLICADA: Bogotá, D.E: McGRAW-HILL, 2000. 582 p.
- [2] CHOW, Ven Te, MAIDMENT, David R y MAYS Larry W. HIDROLOGÍA APLICADA: Bogotá, D.E: McGRAW-HILL, 2000. 582 p.
- [3] IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. PROTOCOLO PARA LA EMISIÓN DE LOS PRONÓSTICOS HIDROLÓGICOS: Bogotá, D.E: Imprenta Nacional de Colombia, 2008. 119 p.
- [4] EPSA, COMPRAS, LOGÍSTICA Y SERVICIOS PETICIÓN DE OFERTA EPSA E.S.P. No. PO-2000003042-2011 ANEXO No.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS: Cali: Empresa de Energía del Pacífico S.A, 2011, 24 p.
- [5] IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. PROTOCOLO PARA LA EMISIÓN DE LOS PRONÓSTICOS HIDROLÓGICOS: Bogotá, D.E: Imprenta Nacional de Colombia, 2008. 119 p.
- [6] IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. PROTOCOLO PARA LA EMISIÓN DE LOS PRONÓSTICOS HIDROLÓGICOS: Bogotá, D.E: Imprenta Nacional de Colombia, 2008. 119 p.
- [7] BOITEN, Wubbo. HIDROMETRY A comprehensive introduction to the measurement of flow in open channels: