

Diseño de una red de sensores para monitorizar una instalación acuícola

Javier Rocher, Lorena Parra, Miran Taha, Jaime Lloret

Instituto de Investigación para la Gestión Integrada de zonas Costeras.

Universidad Politécnica de Valencia, Spain

jarmacmo@alumni.upv.es, loparbo@doctor.upv.es, miab2@doctor.upv.es, jiloret@dcom.upv.es

Resumen- En las instalaciones acuícolas la monitorización de la calidad del agua es fundamental para la automatización de los procesos. En este artículo presentamos una red de sensores que realizan medidas de la turbidez y la temperatura en todos los tanques. Como nodo se ha empleado un Flyport que manda los datos a un servidor y cuenta con una serie de alarmas programadas. Se ha diseñado la topología de red y física atendiendo a la estructura típica de estas instalaciones. Se ha estudiado el rendimiento de la red en distintos escenarios. Se ha establecido que el número máximo de Flyports por punto de acceso antes de devaluar la calidad de la conexión es de 5 Flyports, con una tasa de paquetes perdidos cercana al 0.5% y una tasa de paquetes por segundo media de 86.47.

Palabras Clave- red inalámbrica; nodo sensor; calidad del agua; acuicultura; Flyport

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se está produciendo una sobreexplotación de los recursos pesqueros a nivel mundial [1]. Debido a esto, en los últimos años se ha producido una disminución de las capturas de pescado. No se están reduciendo los medios para realizar dichas capturas, sino que se están aumentando los medios para el aumento de las capturas [2]. Con el futuro aumento de la población y por ende el aumento de consumo de alimentos entre ellos el pescado, se debe asegurar una mayor cantidad de alimentos. Como no se puede extraer más peces del mar, es necesario aumentar la cantidad de peces criados mediante la acuicultura [3]. Está se puede desarrollar en mar abierto o en instalaciones en tierra. En las instalaciones en tierra el agua recibida pasa inicialmente a un tanque de recepción. En ese tanque de recepción el agua permanece cierto periodo de tiempo tras el cual es distribuida a los tanques de producción.

La ventaja de las instalaciones en tierra, es poder controlar el agua de los tanques de producción. Esto es importante, pues la calidad del agua puede afectar negativamente al rendimiento bioenergético de los peces. Los sólidos suspendidos tienen efectos abrasivos, reducen la visión y producen problemas en las agallas [4, 5]. La temperatura también se debe controlar debido a que una temperatura alta supone una bajada del oxígeno disuelto en el agua [6]. Además, la cantidad de alimento necesario para peces depende de la temperatura [7, 8]. El estudio de la calidad del agua es un problema que ha sido abordado por muchos autores [9 - 17]. Una de las principales limitaciones de las redes de sensores es el consumo energético [18].

Para monitorizar las variables físico-químicas que puedan causar efectos negativos en los peces, se están utilizando redes de sensores inalámbricos (WSN). Los sensores pueden colocarse en los tanques. Cuando algún parámetro del agua no es adecuado se realizan acciones correctivas. Sin embargo, puede resultar más interesante detectar de forma anticipada las entradas de agua con problemas. Si monitorizamos la calidad del agua en el tanque de recepción podremos aislar determinados tanques de producción. Puede ser interesante aislar tanques con peces más sensibles o por estar aplicando algún tratamiento especial.

En este artículo, presentamos el diseño de una red de sensores para monitorizar la calidad de agua de una piscifactoría en tierra firme. El sistema se basa en sensores que se ponen en una caja estanca. Los sensores empleados son de temperatura y de turbidez. La caja está atravesada por un tubo de vidrio por donde pasa el agua. Además, se instala un sensor de humedad dentro de la caja estanca para detectar una posible entrada de agua dentro de la caja. Cada grupo de 3 sensores estará conectado a un Flyport que se conectará a un punto de

acceso (PA) mediante una conexión WiFi. Los distintos PA de la planta se conectarán a un Switch con una salida a internet mediante un Router. Los datos recogidos por los Flyport son enviados a un servidor y serán accesibles tanto en local como en remoto.

El resto de este artículo se estructura de la siguiente forma. En la sección 2, se explican algunos trabajos relacionados con las redes de sensores WiFi y su uso para la monitorización de parámetros del agua. En la sección 3, se explican las partes de nuestro sistema, tanto los sensores utilizados como la topología. El rendimiento de la WSN se muestra en la sección 4. Por último, en la sección 5 mostraremos las conclusiones de nuestro trabajo.

II. ESTADO DEL ARTE

En esta sección se muestra el estado del arte. La utilización de redes de sensores Wireless es muy utilizada en la actualidad. Bri et al. [19] presentó los usos de las redes de sensores WiFi como son el monitoreo de la salud humana, la industria el medio ambiente, aplicaciones militares etc.

Un ejemplo de la utilización de redes de sensores para la agricultura de precisión lo presenta Sendra et al. [10] en su artículo de sensores utilizados para la protección de ovejas y cabras de ataques de lobos. Este sistema funciona midiendo la temperatura corporal y la frecuencia cardiaca de las ovejas (o cabras) y en caso de que se produzca un ataque, estos parámetros cambiarán. Lo que enviará una alarma y se tomarán las medidas oportunas para detener el ataque. Respecto a las redes de sensores para monitorizar el agua O'Flynn et al. [11] nos explica el proyecto Smartcoast un proyecto que tiene como objetivo el desarrollo redes de sensores Wireless que permitan observar los datos de los sensores de forma remota. El sistema se basa en sensores "Plug and play" que permite la integración de sensores con interfaz "Transducer Electronic datasheet". Estos sensores utilizarán un sistema de comunicación basado en Zigbee. Los resultados del estudio indicaron que era viable la utilización de estas redes con un bajo consumo eléctrico.

Estas redes de sensores se pueden instalar sobre boyas para el monitoreo en el mar como hizo Sendra et al. [12]. Los autores desarrollaron un sistema con sensores low cost para controlar las áreas con praderas de Posidonia. Estos sensores fueron montados sobre una boya y controlaban diferentes parámetros del agua que son la salinidad, turbidez, la presencia de hidrocarburos y temperatura además de medir parámetros meteorológicos. La boya cuenta con un sistema de paneles solares con una batería para alimentar todo el circuito eléctrico. Los datos obtenidos son procesados por un microcontrolador y enviados mediante WiFi al servidor central. Desde el servidor central son enviados mediante internet al móvil o pc de la persona encargada de la vigilancia.

Estas redes de sensores se pueden utilizar para el monitoreo de las mareas Parra et al. [13] diseñaron una red de sensores WiFi para el monitoreo del movimiento

del agua de las mareas en los estuarios. Esta información era útil para entender los cambios de flora y fauna en un estuario. El sistema propuesto se basa en un nodo con un sensor de salinidad basado en dos bobinas de cobre. Cada nodo envía la información a un servidor donde se almacena la información.

Otros ejemplos de la monitorización de agua son los presentados por, Simbeye et al. [14] y por Rasin y Abdullah [15]. Ambos, propusieron en sus artículos una red de sensores para la monitorización de distintos parámetros del agua. Estos dos sistemas constan de nodos de sensores, nodos de coordinación y un pc. Los nodos sensores controlan los distintos parámetros y transmiten la información al nodo coordinador utilizando los protocolos Zigbee y esta información es enviada al pc donde se mostrará de forma visual.

La utilización de software y hardware Open Source se puede utilizar para estas redes como hizo Rao et al. [16], que presentaron un sistema de sensores inalámbrico de detección de parámetros físico-químicos de bajo coste que funcionan de forma autónoma. Los diferentes sensores se conectaron a un Arduino Mega 2530. Estos sensores incluían la temperatura, el pH y el contenido en oxígeno. Según el autor, con la correcta calibración, se puede establecer un sistema de monitoreo confiable. Con una mayor resolución espacial que los actuales sistemas. Lo que ayudará a comprender el comportamiento de los seres acuáticos.

Por último, Santoshkumar and Hiremath [17] propuso un sistema basado en la medición de pH, salinidad y temperatura para la monitorización de la acuicultura utilizando un microcontrolador Arduino. Zigbee fue utilizado como protocolo de comunicación.

El sistema que proponemos se diferencia del resto en que no solo evaluamos la calidad del agua en los tanques de producción, sino también en la entrada del agua. En caso de que se produjera una entrada de contaminantes la red sería capaz de detectar esta entrada y se podrían aislar ciertos tanques de producción del circuito general.

III. PROPUESTA

En esta sección mostramos la RDI empleada en la monitorización. Inicialmente, mostramos el diseño, desarrollo y calibrado del sensor de turbidez. Más adelante, se presenta el despliegue y localización del sensor en el tanque de acuicultura. También se muestra en esta sección el nodo inalámbrico utilizado. Finalmente mostramos la topología empleada.

A. Desarrollo del sensor de turbidez

A continuación detallamos el diseño y calibrado del sensor óptico empleado para monitorizar la turbidez. Para crear este sensor se ha usado un emisor de luz infrarrojo (IR). El sensor está basado en el diseño presentado por Sendra et al. [12]. Como emisor de IR se ha empleado un LED IR con una longitud de onda pico de 850nm. Como detector se ha utilizado un fotodiodo sensible a IR con un rango de sensibilidad desde 790 a 1050nm. El emisor se ha establecido a

6.5cm del receptor en un Angulo de 180°. De los 6.5cm que los separan 2.7 son ocupados por un canal de agua.

Con el fin de calibrar el sensor, se han utilizado muestras con distinta turbidez. Estas muestras están compuestas por agua y sedimento de tamaño limo. El motivo por el que hemos utilizado sedimento tan fino es debido a que en condiciones normales las arenas sedimentan en el tanque de recepción en la instalación acuícola. Solo el material más fino puede llegar a los tanques de producción. Para calibrar el sensor 5 muestras de distinta turbidez se han generado. La muestra con menor turbidez contenía 0mg/L de limos. La muestra con mayor turbidez contenía 378.55mg/L de limos. Todas las muestras fueron homogenizadas antes de realizar las medidas. El modelo matemático que relaciona la respuesta del fotodiodo ($M\Omega$) con la turbidez (mg/L) y los datos del calibrado se ven en la Fig. 1 se detalla en la ecuación (1). Este modelo presenta un coeficiente de correlación de 0.999 con un error absoluto medio de 3.87mg/L. En la ecuación (1) $Turb$ representa la turbidez en mg/L, mientras que, IR hace referencia a la respuesta del fotodiodo en ($M\Omega$).

Tras la calibración, se ha llevado a cabo un proceso de verificación. Para este proceso, dos nuevas muestras fueron generadas de forma aleatoria dentro de los valores máximo y mínimo del calibrado. Se ha sustituido el valor de IR y se han obtenido los valores de turbidez teóricos según la ecuación (1). En la Tabla 1 podemos ver los resultados del proceso de verificación. El error absoluto máximo es de 4.76mg/l y el error relativo máximo de 4.37%. Por último se ha utilizado un circuito de acondicionamiento de la señal del fotodiodo que es alimentado a 9V para recibir la señal en el Flyport. Tras aplicar el nuevo circuito a equivalencia entre la Señal recibido por el Flyport y la turbidez del agua se muestra en la Ecuación (2)

$$Turb. \left(\frac{mg}{L}\right) = 377.36 + \frac{81.14}{IR (M\Omega) - 3.90} - 46.66 * IR(M\Omega) \quad (1)$$

$$Turb. \left(\frac{mg}{L}\right) = 408 + \frac{30.9}{Señal^2(V) - 214V} \quad (2)$$

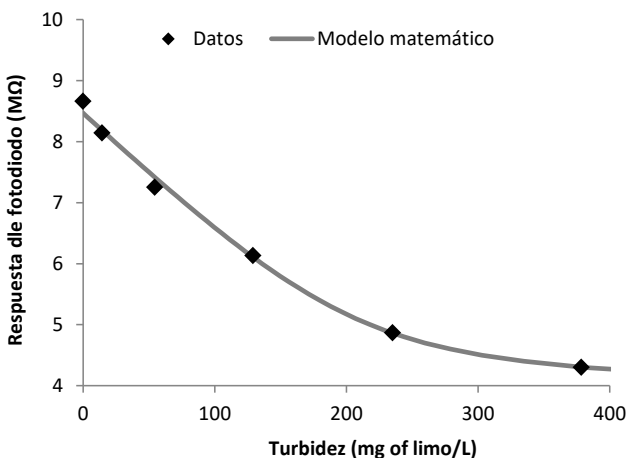


Fig. 1. Calibrado del sensor de turbidez

B. Nodo utilizado

En esta subsección, el nodo utilizado en la WSN se presenta. El nodo elegido es el módulo Flyport con es USB Nest (Ver Fig. 2). Está basado en la plataforma openPicus con código abierto.

Incluye un procesador de 16 Bits del PIC24FJ256, con 256K de flash y 16K of RAM. El Flyport es capaz de trabajar con el estándar 802.11 b/g/n. El tamaño del nodo es de 35x48x7mm y un peso de 11g. Puede proveer de alimentación para los sensores a 5 y a 3.3V. El principal motivo por el que elegimos este nodo es su gran flexibilidad y la gran cantidad de entradas y salidas disponibles. La posibilidad de combinar entradas analógicas y digitales es importante para futuras aplicaciones. Por último, la oportunidad para programar diferentes aplicaciones es crucial.

C. Implementación de la WSN

En esta subsección, el despliegue, localización y aislamiento de los sensores se va a mostrar. En primer lugar, se detallarán las labores realizadas para asegurar el aislamiento de los sensores y el módulo Flyport del agua. Posteriormente se presentará la localización de los nodos en la instalación acuícola.

Teniendo en cuenta que nuestro objetivo es monitorizar la turbidez del agua, será necesario depositar los sensores en el agua. Para ello debemos asegurarnos de lograr la estanqueidad del receptáculo para los sensores y el Flyport. Como la profundidad a las que estarán los sensores será inferior al metro de agua, se utilizarán juntas tóricas. Hemos empleado una caja estanca de termoplástico.

La caja tiene unas dimensiones de 17,5x11,5x7cm. Se ha modificado el cierre de la caja y hemos logrado que siga siendo estanca a 1.5m de profundidad en un tanque de acuicultura. Antes de esta comprobación se ha realizado dos aberturas para pasar una tubería de vidrio de 2.7cm de diámetro que permitirá el paso de agua para tomar las medidas de turbidez. Para sellar la unión entre la caja y la tubería de vidrio se emplea una silicona especial para soportar la humedad y la presión.

Tabla I. VERIFICACIÓN DEL CALIBRADO

Turbidez (mg/L)	Respuesta del fotodiodo (MΩ)	Turbidez calculada (mg/L)	Error absoluto (mg/L)	Error relativo (%)
108.86	6.36	113.62	4.76	4.372
373.14	4.32	369.78	-3.36	-0.90

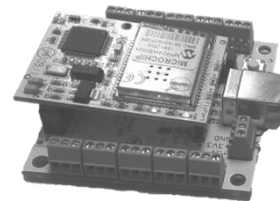


Fig. 2. Flyport module

Tres sensores se depositan en la caja protectora. En primer lugar, el sensor de turbidez que se sitúa en la parte donde se ha colocado la tubería de vidrio. El segundo sensor que utilizamos, es un sensor de temperatura basado en un diodo Zener de 2 terminales. Este sensor está previamente calibrado y tiene un error de 1°C. El sensor de temperatura se sitúa pegado a la tubería de vidrio. Se ha elegido esta ubicación ya que el vidrio transmite la temperatura mejor que el plástico. El motivo por el que hemos usado este sensor es debido a que la temperatura es también un parámetro crucial para el rendimiento bioenergético de los peces.

El último sensor utilizado, es un sensor de humedad. Este sensor se pondrá en la parte más baja de la caja. La función de este sensor será detectar de forma temprana una posible entrada de agua en la caja estanca. Para alimentar los tres sensores se utiliza una batería de 9V mientras que para alimentar el Flyport se utiliza una batería externa de 5V.

Los nodos se distribuirán en distintos puntos de la instalación, tanto en los tanques de producción como en el de recepción. En los tanques de producción se ubicará un nodo por tanque. En el de recepción se situarán dos nodos, a la entrada y a la salida de agua.

D. Arquitectura

En esta sección se muestra la topología utilizada en el desarrollo propuesto.

La topología de red utilizada en este caso está basada en la topología de estrella extendida. Los dispositivos Flyport se conectan a un punto de acceso (PA) con una conexión WiFi. Los PA se conectan a su vez a un Switch de capa 2 que tiene salida a internet a través de un Router. La topología de red puede verse en la Figura 3. Existen dos PA a los que se conectan los Flyports y un tercer PA al que se conectan otro tipo de dispositivos. Entre esos dispositivos se encuentran ordenadores, dispositivos móviles y un servidor. En el servidor se recoge toda la información de los sensores.

Los diferentes dispositivos podrán conectarse al servidor para visualizar la información de los sensores. Esta información podrá ser consultada tanto en local como en remoto.

La topología física está condicionada por la estructura de la instalación acuícola. En este artículo, se ha utilizado la estructura habitual de la mayoría de instalaciones acuícolas en tierra sin recirculación. Estas infraestructuras cuentan con un gran tanque de recepción de agua que habitualmente está en un nivel superior al que están los tanques de producción. Además tienen uno o más salas utilizadas como oficinas. Las condiciones habituales de estas instalaciones incluyen una alta humedad y grandes cantidades de agua fluyendo, que en algunos casos es agua salada. Estas condiciones se dan en la zona del tanque de recepción y en la zona de los tanques de producción. En ambas zonas es importante minimizar la cantidad de equipos expuestos. Por este motivo, los equipos como el Switch y el Router se localizarán en las oficinas. En las zonas del tanque de recepción y los tanques de producción solamente se dejarán los PA necesarios. Esta topología puede verse en la Figura 4.

En la entrada y salida de cada tanque existen llaves de paso para cortar el suministro de agua. Nuestra propuesta consiste en monitorizar los niveles de turbidez en el agua de los tanques y en caso de detectarse una subida de turbidez en el tanque de recepción cerrar la entrada de agua en los tanques en los que sea necesario. No todos los tanques contienen los mismos peces, ni todos los peces tienen las mismas necesidades.

Por otro lado, si el sensor de humedad registra un valor mayor al calor establecido como umbral (50% de humedad relativa), accionará un sistema para cortar la alimentación de todos los sistemas de esa caja. De esta forma se minimizarán los posibles daños causados por la humedad sobre los sistemas electrónicos.

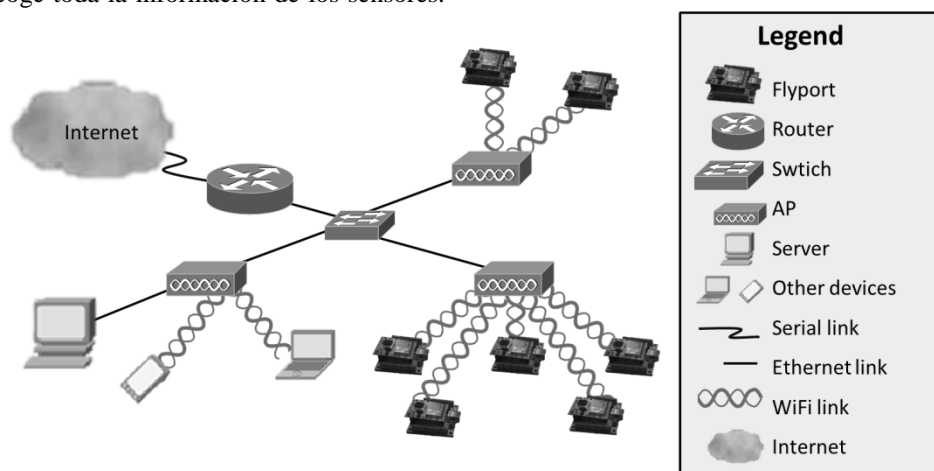


Fig. 3. Topología de red basada en estrella extendida

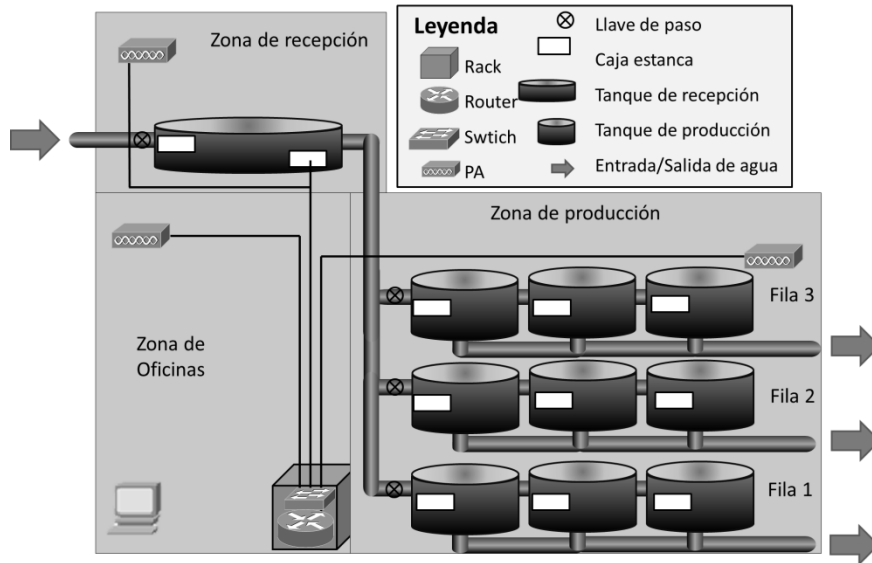


Fig. 4. Topología física adaptada a la infraestructura típica de las instalaciones acuícolas en tierra sin recirculación de agua

Finalmente, se detalla el algoritmo que regula el funcionamiento del sistema (Ver Fig. 5). En un primer momento, se definen las filas de tanques (TF_i) como Fila 1 ($TF1$), Fila 2 ($TF2$) y Fila 3 ($TF3$). Atendiendo a que cada fila tiene unos requerimientos mínimos de calidad de agua.

Una vez el Flyport recibe las señales de los sensores identifica la entrada como *Turbidez*, *Humedad* o *Temperatura*. Tras lo cual, los convierte en valores digitales y transmite los datos al servidor y a los usuarios por HTTP. Solo los valores de *Turbidez* y *Temperatura* son enviados. El dato de *Humedad* se utiliza solo como un mecanismo de seguridad para el Flyport. Si el dato de *Humedad* es mayor a un valor umbral (50% de humedad relativa) se accionara un proceso. En este proceso se enviará una alerta al personal de mantenimiento y se iniciará el apagado de emergencia para evitar daños electrónicos. En esa alarma se indica el tanque en el que se ha detectado la avería y un operario sustituye la caja estanca con todos los componentes por otra nueva. La caja que ha provocado la alarma se lleva a mantenimiento para comprobar si ha habido daños o no y volver a poner la caja en funcionamiento.

Por otro lado, si el nivel de *Turbidez* supera los umbrales establecidos de calidad de agua se procederá a detener el flujo de agua a los tanques. De forma previa, el responsable de producción establecerá para cada fila o grupo de filas cual es el valor umbral. Estos valores dependen de la especie cultivada y el estadio de desarrollo de los peces. En el momento en que una fila de tanques se quede aislada del tanque de recepción se pone en marcha un reloj. Este reloj marcará el tiempo que lleva el tanque aislado, la información servirá para el responsable de producción. El responsable podrá tomar la decisión de volver a iniciar el flujo de agua aunque la calidad siga siendo inferior a la deseada con el fin de evitar situaciones de baja concentración de oxígeno en los tanques. Así mismo el aviso de que una fila de tanques ha quedado aislada llega también a los

operarios que deberán prestar mayor atención a los tanques aislados.

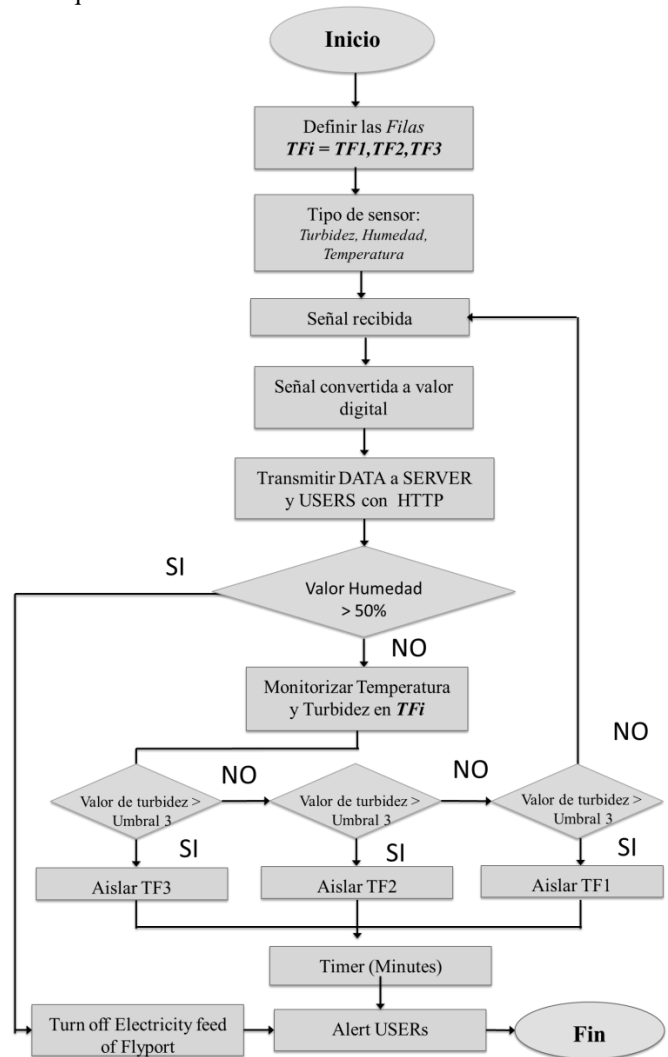


Fig. 5. Funcionamiento del sistema

IV. RENDIMIENTO DE LA WSN

En esta sección, vamos a analizar el rendimiento de la WSN. Nuestra mayor preocupación es asegurar un buen rendimiento de la red, proporcionando una baja tasa de paquetes perdidos. Sin embargo, necesitamos minimizar el número de PA desplegados en las zonas de los tanques. Para ello, vamos a realizar una serie de pruebas conectando distintas cantidades de Flyports a un único PA y analizaremos los parámetros de la red

Los parámetros de red estudiados incluyen el número de paquetes por segundo, la tasa de paquetes perdidos y los paquetes reenviados. Se han estudiado escenarios con distintas cantidades de Flyports conectados a un mismo PA. Los escenarios incluyen desde un solo Flyport por PA hasta 10 Flyports en cada PA. Primero, se analizan los resultados de los paquetes por segundo transmitidos en los distintos escenarios (Ver Fig. 6). Podemos observar como a medida que aumenta el número de Flyports conectados aumenta la cantidad de paquetes por segundo que son recibidos en el PA. La media de paquetes enviados por segundo con 3, 5 y 10 Flyports en un periodo de 60s es de 70.33, 86.47 y 95.42 pps respectivamente. La desviación típica para 3, 5 y 10 nodos es de 6.28, 4.55 y 3.43. Esto muestra como a menor cantidad de Flyports mayores son las fluctuaciones de tráfico, como podemos observar en la Fig. 6. Para tener más información de estas fluctuaciones analizamos los valores máximos y mínimos de paquetes por segundo transmitidos en cada escenario. Con una configuración de 3 Flyports el valor máximos alcanzado es de 80 pps mientras que el mínimo es de 60 pps. Los datos para 5 Flyports y 10 Flyports son de 80 y 95 pps y de 90 y 100 pps respectivamente.

A continuación, se procede a analizar la información obtenida de la tasa de paquetes perdidos en un intervalo de 60s. En este caso, las configuraciones utilizadas han ido desde solo 1 Flyport por PA hasta 10 Flyports por PA. El resultado aparece en la Fig. 7. Podemos observar que con 2 Flyports o menos no hay paquetes perdidos, entre 3 y 7 Flyports la tasa de paquetes perdidos es inferior o igual al 1%. A partir de 7 Flyports la tasa de paquetes perdidos se dispara llegando al 3.5% con 10 Flyports.

Por último, como el Flyport utiliza TCP para las transmisiones es capaz de reenviar los paquetes que han sido perdidos. La información sobre los paquetes reenviados se muestra en la Fig. 8. En este caso mostramos la información para 3, 5 y 10 Flyports. Se muestran los paquetes retransmitidos para intervalos de tiempo de 10 s. Se puede observar que para 3 Flyports solo en 2 intervalos es necesario reenviar paquetes y en ambos casos el número de paquetes retransmitidos es 1. Para 5 Flyports en 4 de los 6 intervalos de tiempo es necesario reenviar paquetes. La cantidad de paquetes retransmitidos va de 1 a 3. Finalmente, para la configuración con 10 Flyports, en 4 intervalos se hace necesario el reenvío de paquetes. A diferencia de la configuración de 5 Flyports en este caso el número de paquetes reenviados varía entre 2 y 5. En este caso,

podemos afirmar que a mayor cantidad de Flyports mayor es la tasa de paquetes reenviados y mayor es la variación en el número de paquetes reenviados por unidad de tiempo. En términos globales, el escenario con 3 Flyports ha producido el reenvío de 2 paquetes en un intervalo de 60 s, mientras que para 5 y 10 Flyports los valores son de 7 y 14 paquetes.

Podemos concluir que un máximo de 5 Flyports podrían ser conectados a un único PA sin que ello suponga una elevada tasa de paquetes perdidos, cercana al 0.5%. Tendremos una tasa de paquetes por segundo media de 86.47 pps con una desviación estándar de 4.55.

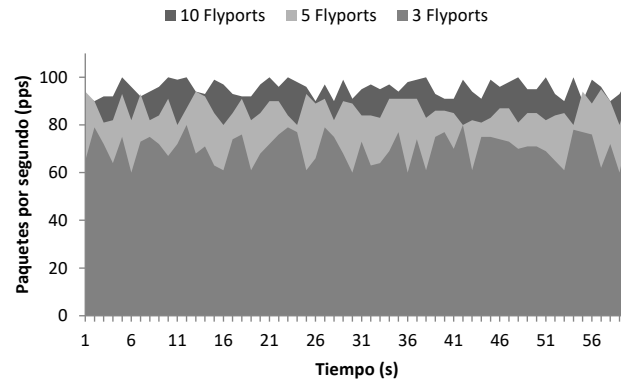


Fig. 6. Transmisión de paquetes por segundo en distintos escenarios

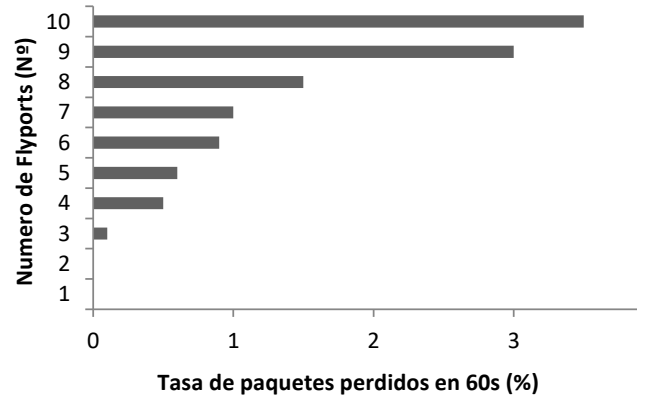


Fig. 7. Número de paquetes perdidos en distintos escenarios

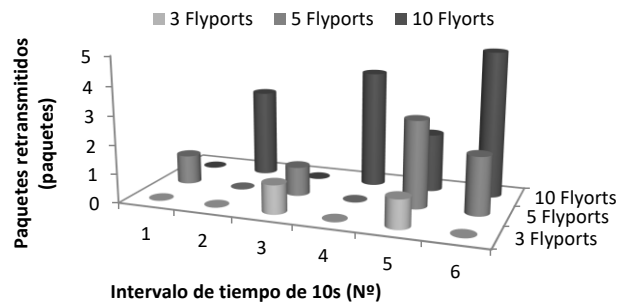


Fig. 8. Número de paquetes retransmitidos en distintos escenarios

V. CONCLUSIONES

En este artículo hemos mostrado el diseño de una red de sensores para monitorizar una instalación acuícola con un sistema abierto. Hemos mostrado el sensor que se ha desarrollado para monitorizar turbidez

como parámetro indicador de la calidad del agua. Hemos testado una caja estanca que contendrá el Flyport y los tres sensores que utiliza nuestro sistema. Se ha diseñado la topología física y de red atendiendo a la estructura típica de las instalaciones acuícolas. Los nodos mandarían la información al servidor y generarán alarmas cuando sea necesario. Y hemos evaluado el rendimiento de la red WiFi entre el PA y los Flyports con el fin de decidir cuantos Flyports podemos conectar a un mismo PA sin perder calidad en el rendimiento. Se ha tratado de minimizar el número de PA necesarios debido a las condiciones de humedad y corrosión que se da en las zonas de los tanques.

Como trabajos futuros, diseñaremos el servidor que recibirá y mostrará los datos recogidos por los sensores. Además, pretendemos dotar al servidor de seguridad, requiriendo de autenticación para acceder a la información. Además, se incluirá un cuarto sensor que obtendrá información de la salinidad. Se utilizará un sensor basado en el que se desarrolló en [20].

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado con un contrato pre-doctoral del programa Ayudas para contratos predoctorales de Formación del Profesorado Universitario FPU (Convocatoria 2014), con referencia FPU14/02953 del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

REFERENCIAS

- [1] R. Watson and U. R. Sumaila, "Food security implications of global marine catch losses due to overfishing," *Journal of Bioeconomics*, vol. 12, no. 3, pp. 183–200, 2010.
- [2] G. Pontecorvo and W. E. Schrank, "The continued decline in the world catch of marine fish," *Mar. Policy*, vol. 44, pp. 117–119, 2014.
- [3] J. F. Muir, J. Pretty, S. Robinson, S. M. Thomas, and C. Toulmin, "Food security: the challenge of feeding 9 billion people," *Science* vol. 327, no. February, 2010.
- [4] M. . Bruton, "The Effects of Fishing on Fish Habitat," *Hydrobiologia*, vol. 125(1), pp. 221–240, 1985.
- [5] D. H. Wilber and D. G. Clarke, "Biological Effects of Suspended Sediments: A Review of Suspended Sediment Impacts on Fish and Shellfish with Relation to Dredging Activities in Estuaries," *North Am. J. Fish. Manag.*, vol. 21, no. October 2012, pp. 855–875, 2001.
- [6] S. M. Greig, D. A. Sear, and P. A. Carling, "A review of factors influencing the availability of dissolved oxygen to incubating salmonid embryos," vol. 334, no. May 2006, pp. 323–334, 2007.
- [7] F. J. Sa, "Self-feeding of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.) under laboratory and farming conditions using a string sensor," *Hydrological processes* vol. 233, pp. 393–403, 2004.
- [8] S. O. Handeland, A. K. Imsland, and S. O. Stefansson, "The effect of temperature and fish size on growth, feed intake, food conversion efficiency and stomach evacuation rate of Atlantic salmon post-smolts," *Aquaculture* vol. 283, pp. 36–42, 2008.
- [9] H. Khaleeq, A. Abou-elnour, and M. Tarique, "A Reliable Wireless System for Water Quality Monitoring and Level Control," *Network Protocols and Algorithms* vol. 8, no. 3, pp. 1–14, 2016.
- [10] S. Sendra, F. Llario, L. Parra, and J. Lloret, "Smart Wireless Sensor Network to Detect and Protect Sheep and Goats to Wolf Attacks," *Recent Adv. Commun. Netw. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 91–101, 2013.
- [11] B. O'Flynn *et al.*, "SmartCoast A Wireless Sensor Network for Water Quality Monitoring B," *32nd IEEE Conf. Local Comput. Networks SmartCoast*, pp. 815–816, 2007.
- [12] S. Sendra, L. Parra, J. Lloret, and J. M. Jiménez, "Oceanographic multisensor buoy based on low cost sensors for posidonia meadows monitoring in mediterranean sea," *J. Sensors*, vol. 2015, 2015.
- [13] L. Parra, E. Karampelas, S. Sendra, J. Lloret, and J. J. P. C. Rodrigues, "Design and deployment of a smart system for data gathering in estuaries using wireless sensor networks," *2015 Int. Conf. Comput. Inf. Telecommun. Syst.*, pp. 1–5, 2015.
- [14] D. S. Simbeye, J. Zhao, and S. Yang, "Design and deployment of wireless sensor networks for aquaculture monitoring and control based on virtual instruments," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 102, pp. 31–42, 2014.
- [15] Z. Rasin and M. R. Abdullah, "Water Quality Monitoring System Using Zigbee Based Wireless Sensor Network," *Int. J. Eng. Technol. IJET*, vol. 9, pp. 24–28, 2009.
- [16] A. S. Rao, S. Marshall, J. Gubbi, M. Palaniswami, R. Sinnott, and V. Pettigrovat, "Design of low-cost autonomous water quality monitoring system," *Proc. 2013 Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Informatics, ICACCI 2013*, pp. 14–19, 2013.
- [17] Santoshkumar and V. Hiremath, "Design and Development of Wireless Sensor Network System to Monitor Parameters Influencing Freshwater Fishes," *Int. J. Comput. Sci. Eng.*, vol. 4, no. 6, pp. 1096–1103, 2012.
- [18] R. Azizi, "Consumption of Energy and Routing Protocols in Wireless Sensor Network," *Network Protocols and Algorithms* vol. 8, no. 3, pp. 76–87, 2016.
- [19] D. Bri, M. Garcia, J. Lloret, and P. Dini, "Real deployments of wireless sensor networks," *Proc. - 2009 3rd Int. Conf. Sens. Technol. Appl. SENSORCOMM 2009*, pp. 415–423, 2009.
- [20] L. Parra, S. Sendra, J. Lloret, I. Bosh, "Development of a conductivity sensor for monitoring groundwater resources to optimize water management in smart city environments," *Sensors*, vol.15, no. 9, pp.20990-21015, 2015