

# Construcción de un sistema de Instrumentación de caudal y temperatura en una granja porcícola en el municipio de Marsella, Risaralda

Construction of a system of flow and temperature instrumentation on a porcine farm in the municipality of Marsella, Risaralda

<sup>1</sup> Carlos Alberto Henao Baena, <sup>2</sup> Luis Alberto González Santamaría, <sup>3</sup> Mauricio Alexander Álvarez López

<sup>1</sup> Línea de Electrónica y Telecomunicaciones Tecnoparque Nodo Pereira-Sena, Pereira, Colombia.

<sup>2</sup> Investigador Independiente, Dosquebradas, Colombia.

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias de la computación, Universidad de Sheffield, Inglaterra.

chenaob@sena.edu.co, lags\_1@hotmail.com, mauricio.alvarez@sheffield.ac.uk

**Resumen**— Se describe un sistema de monitoreo local de temperatura y caudal en una granja porcícola. El método consiste en diseñar un sistema de instrumentación y medida, este utiliza una red de sensores inalámbrica (WSN) basada en el estándar ZigBee, la WSN envía los datos recolectados a un servidor que almacena la información en una base de datos con el propósito de consultar (en forma local), en cualquier momento, los datos leídos usando los dispositivos electrónicos. Los resultados preliminares muestran que las lecturas pueden ser utilizadas para inferir comportamiento de las variables bajo estudio, además el prototipo es escalable, eficiente, lo cual hace que sea fácilmente adaptable a cualquier granja porcícola.

**Palabras clave**— Industria Porcícola, Microcontrolador, Red de sensores inalámbrica (WSN), ZigBee, XBee Pro S2.

**Abstract**— We present a local monitoring system of temperature and caudal in a pig farm. The method consists of designing an instrumentation and measurement system, this uses a wireless sensor network (WSN) based on the ZigBee standard. The WSN sends the gathered data to a server that stores the information in a database with the purpose of consulting (local queries) at any time the data that have been measured by the electronic devices. The preliminary results show that the data we can be used to infer behavior of the variables under study, besides the prototype is scalable, efficient, that makes it easily adaptable to any pig farm.

**Key Word** — Pig industry, Microcontroller, Wireless sensor network (WSN), ZigBee, XBee Pro S2.

## I. INTRODUCCIÓN

En años recientes los sistemas basados en la tecnología WSN han sido ampliamente aplicados en diferentes campos de la industria, la agricultura, la medicina, la minería y en otras áreas del sector productivo [1]. Según diferentes estudios se pronostica que una de las grandes aplicaciones de la tecnología inalámbrica será el monitoreo de variables ambientales en la industria agropecuaria y en la investigación [2]. Es así como la industria porcícola se ha visto estimulada a innovar en el proceso de levante de los animales debido a la gran demanda de carne de cerdo, donde las nuevas soluciones buscan modelar y volver más competitivos los procesos técnicos en las granjas, por ejemplo, correlacionar las variables ambientales relacionadas con el ciclo crianza de cerdo, cuantificar los vertimientos que genera la actividad porcícola, entre otros [3].

Para gestionar la producción y el manejo ambiental de la actividad porcícola, una estrategia consiste en el monitoreo en los sitios de crianza, donde se toman lecturas de diferentes variables físicas. Gran cantidad de trabajos han sido desarrollados bajo tal enfoque, donde se proponen diferentes métodos que permiten supervisar la salud, el peso, brote de enfermedades, a partir de datos de consumo de agua, temperatura, humedad ambiente, captura de imágenes entre otras, si bien estos desarrollos son robustos, es necesario que el diseño sea escalable y pueda ser replicado en pequeñas, medianas y grandes granjas [4-6]. Otros desarrollados utilizan tecnología UHF-RFID, con la cual, es posible determinar el estado de salud, el crecimiento, los patrones de alimentación y sueño del animal, además estos equipos poseen grandes

ventajas técnicas, la primera es que estos son de fácil instalación debido a que operan bajo una comunicación inalámbrica, son escalables ya que se pueden adicionar cuantas tarjetas RFID se requieran, sin embargo los costos de inversión inicial son altos, utilizándose principalmente en granjas con un alto volumen de cerdos, el sistema de gestión es complejo, vulnerable a colisiones y al fraude [7-9].

Similarmente existe gran cantidad de trabajos que están enfocados en brindar herramientas digitales al poricultor. Estos buscan liberar el estrés que se origina en el proceso de engorde de los animales a través de plataformas y mecanismos para la gestión de la granja, los cuales permiten controlar las variables ambientales de los galpones, emitir alarmas, realizar consultas, generación de gráficos de las dinámicas censadas, entre otras funciones. Se utiliza generalmente tecnología inalámbrica basada en estándar ZigBee para la transmisión y recepción de los datos, desde y hacia el servidor, el cual generalmente está conectado a la nube permitiendo interconectar otros dispositivos como celulares, laptop entre otros equipos, y así poder acceder a los datos desde zonas apartadas a la granja, ajustar valores de referencia si es necesario, sin embargo estos trabajos asumen que la granja posee acceso a la red, lo cual, es un limitante en zonas aisladas donde no se cuenta con este recurso, además de que la tecnología que se utiliza no es de fácil acceso [10]. Por otro lado a pesar de la abundante información aún no está claro como involucrar la escalabilidad del sistema en el diseño del equipo [11-15].

En este documento se propone un sistema de instrumentación y medida inalámbrico para monitorear temperatura y consumo de recurso hídrico en una granja porcícola, con el propósito de brindar una solución simple y sencilla desde el diseño, por medio de tecnología de fácil acceso, que utiliza en la etapa de hardware un microcontrolador PIC16F886 y módulos inalámbricos XBee. En la etapa de software se propone una estrategia que permite que el prototipo sea escalable en el tiempo. El funcionamiento del prototipo se valida en las instalaciones de la granja San Miguel en el municipio de Marsella Risaralda. Los resultados obtenidos muestran que el equipo permite monitorear las variables de interés y realizar algunos análisis preliminares en función de la información recopilada los cuales pueden ser útiles para el poricultor.

Este documento está organizado como sigue, en la parte 2 se describe la metodología y el procedimiento diseño de cada una de las etapas metodológicas, así como los esquemas de circuito utilizados y la estrategia de validación. En la sección 3 se enseña los resultados obtenidos a partir del procesamiento de las lecturas obtenidas. Por último, se presentan las conclusiones de la experiencia.

## II. METODOLOGÍA

La metodología consiste en diseñar e implementar cada una de las etapas del diagrama de bloques que se enseña en la figura

1 [11,16]. Los nuevos aportes de este trabajo se concentran en las etapas de software que gobierna el equipo. El primero, la construcción de un algoritmo que permita disminuir el consumo energético de la etapa de procesamiento en estado estacionario. En segundo lugar el desarrollo metodológico involucra una estrategia de hardware y software con el propósito de ir vinculando nuevos instrumentos de medida a la plataforma, estas características son importantes debido a que la red debe ser eficiente y escalable sin pérdida de generalidad.

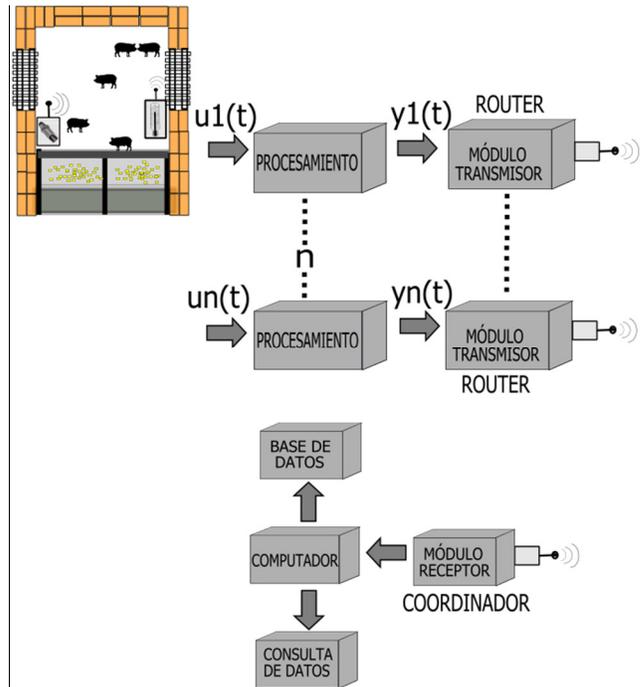


Figura 1. Sistema de instrumentación a diseñar Fuente los Autores.

### A. Etapa de sensado

Esta etapa consiste en medir las señales  $[u_1(t) \dots u_n(t)]$ , para medir temperatura se hizo uso de un LM35. La selección de este medidor (LM35) se debe básicamente a su fácil acceso, universal, presenta una respuesta lineal de  $10\text{mV}/^\circ\text{C}$  [17]. El sensor utilizado para medir el consumo de recurso hídrico en la presente aplicación fue el medidor de caudal MTK – AM, lo anterior se debe a que este elemento posee un emisor de pulsos tipo REED el cual se activa sin necesidad de una fuente energía externa cada vez que mide 10 litros de agua. Algunas características de interés de este equipo son, fácil instalación, es un equipo hermético y es instrumento de fácil acceso [18].

### B. Etapa de procesamiento

Esta se conforma por microcontrolador PIC16F886, la selección de este puede ser arbitraria, aunque se sugiere que el elemento de control posee las siguientes características mínimas a nivel de hardware.

- Conversión análogo a digital (A/D) mayor o igual a 10 bits.
- Poseer un módulo mejorado Transmisor-Receptor Asíncrono Universal EUSART.
- Poseer una función de interrupción externa por flanco activo en terminales de la máquina.

El diagrama de circuito que vincula la etapa de medición y procesamiento de la temperatura de enseña en la figura 2 (lado izquierdo). Por otro lado, el diagrama de circuito del medidor de caudal se enseña en la figura 2 (lado derecho), es de notar que la función de esta etapa consiste en digitalizar las lecturas suministradas por el instrumento de medición. Por otro lado, es de aclarar que no se vincula una etapa de acondicionamiento de señal para el LM35 debido a que con el módulo A/D del microcontrolador se puede medir valores de temperatura cercanos a 0.5°C, lo cual es suficiente para monitorear temperatura ambiente [19]

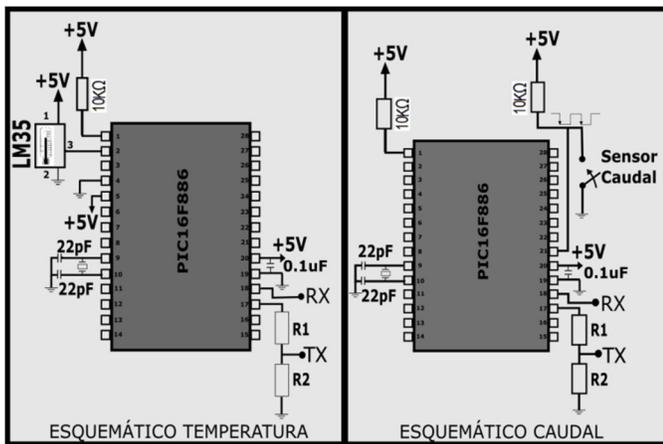


Figura 2. Diagrama de circuito equipo medición de temperatura Fuente los Autores.

C. Módulo transmisión.

Se propone utilizar la red inalámbrica denominada en la literatura como red punto a multipunto [20, 21]. Básicamente está compuesta de un dispositivo coordinador (servidor de la red) y varios Router. La comunicación en este caso es uno con todos, es decir, la información transmitida por el coordinador puede ser recibida por cada uno de los Router de la red, y la información transmitida por este converge únicamente al coordinador de la red.

El módulo XBee PRO S2, la cual opera bajo el estándar ZigBee, fue seleccionada para actuar como dispositivo coordinador y Router. La selección de esta tecnología se debe a características técnicas y comerciales. Algunas características técnicas de interés se enuncian a continuación [21].

- Alcance en ambientes abiertos desde 100m hasta 1500m.
- Puerto de comunicación serial asíncrono USART.

- Compatibilidad con la trama API
- Posibilidad de vincular hasta 65535 antenas al mismo coordinador

El diagrama de circuito para el equipo XBee coordinador se enseña en la figura 3 (lado derecho). Básicamente se conforma de un XBee Pro 2 y un módulo adaptador, el cual permite transferir información desde y hacia la XBee por medio de un conector USB [22].

Por otro lado, el circuito para los Router se enseña en la figura 4 (lado izquierdo), donde se hace uso de los terminales de la puerta serial asíncrona con el objetivo de entablar una comunicación bidireccional entre la antena y el microcontrolador.

La comunicación entre el coordinador y los Routers de la red se realiza por medio de la trama API, la cual, es un estándar de comunicación propio que permite potencializar las funcionalidades de los equipos XBee marca Digi por medio de las direcciones MAC de cada una de las antenas, este únicamente está disponible para los equipos XBee Pro S2 [21]. En esta aplicación el coordinador opera en modo API y cada uno de los Router en comandos AT, debido a que estos no intercambian información entre sí. El formato de la trama API puede ser consultado en [20], particularmente se hace uso del comando solicitud de transmisión ZigBee [23] para el establecimiento de comunicación con cada uno de los Routers.

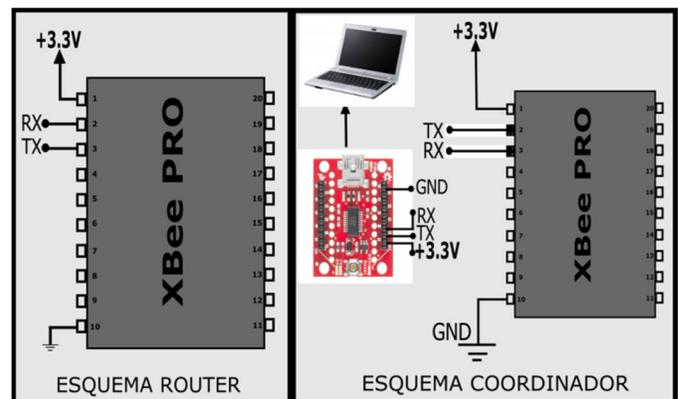


Figura 3. Diagrama de circuito módulo Coordinador. Fuente los Autores.

La utilización de la trama API es importante para llevar un registro organizado de las lecturas, teniendo en cuenta que se conoce con anticipación y luego de esta, el Router que transmite información. Por último, se tiene el software encargado de programar y configurar los módulos XBee en aras de construir la red punto a multipunto en modo API. Para ello se hace uso del aplicativo X-CTU, el cual, es una herramienta computacional de libre acceso ofrecida por Digi International [24].

D. Algoritmos de control de hardware

Básicamente para los controladores a nivel de hardware se divide así. En primer lugar, se tiene el algoritmo asociado a la etapa de lectura de temperatura y en segundo lugar el vinculado al medidor de caudal. Estos fueron desarrollados en PIC C una adaptación de lenguaje C a los microcontroladores PIC [19]. En el caso del medidor de temperatura, la lógica de programa se enseña en la figura 4. El lector puede consultar a [19] para conocer la forma en que opera. Nótese, como se vincula una interrupción por recepción de dato en la EUSART por medio de señalizador del controlador WUE [25]. El objeto de esta consiste en inhabilitar el modo de bajo consumo energético del microcontrolador en el momento en que el coordinador envié la orden de transmisión de información. Lo anterior es una tarea imprescindible para aumentar el desempeño y la eficiencia de los equipos de medición, debido a que la operación del equipo no es continua. Similarmente para el medidor de caudal se utiliza el algoritmo enseñado en la figura 5. El modelo matemático que relaciona el consumo de recurso hídrico por intervalo viene dado por la ecuación 1.

$$Q = 10\#PULSOS, \tag{1}$$

donde Q, es el caudal (en litros) y el parámetro #PULSOS es el número pulsos que envía el instrumento en el intervalo de medida.

```
//Rutina Principal
Begin
do
Sleep
While (.duerme == 0)
If(token == 1)
Conversion → Leer_A/Q()
Temperatura → k*Conversion
Transmite_Temperatura()
duerme → 1
token → 0
end
end
while(true)
end

//Rutina de Interrupción
begin
if(duerme == 1)
while (.WUE == 1)
duerme → 0
data → getch()
else
data → getch()
if (data == 'y')
token → 1
end
end
Retorna
```

Figura 4. Algoritmo de operación medidor de temperatura. Fuente los Autores.

El intervalo corresponde al tiempo que demora el coordinador de la red en solicitar al Router la información de caudal, esta medida es acumulativa, sin embargo, el controlador debe estar en la capacidad de salir de modo hibernación cuando el medidor de caudal detecta 10litros de agua, para ello se implementa una interrupción externa por flanco activo en el terminal RB0 [25].

```
//Rutina Principal
Begin
do
Sleep
While (.duerme == 0)
If(token == 1)
caudal → 10*j
Transmite_Temperatura()
j → 0
duerme → 1
token → 0
end
end
while(true)
end

//Rutina de Interrupción
// Por recepción de datos
begin
if(duerme == 1)
while (.WUE == 1)
duerme → 0
data → getch()
else
data → getch()
if (data == 'y')
token → 1
end
end
Retorna

// Rutina de Interrupción Externa
begin
j → j+1
Retorna
```

Figura 5. Algoritmo de operación medidor de caudal. Fuente los Autores.

E. Computador, bases de datos y consulta de datos

Básicamente este se divide en la construcción de dos softwares. En primer lugar el programa encargado de almacenar la información enviada por los equipos de medición y en segundo lugar el que permite la iteración entre el porcicultor y el sistema de medición. El diagrama de casos de usos se enseña en la figura 6.

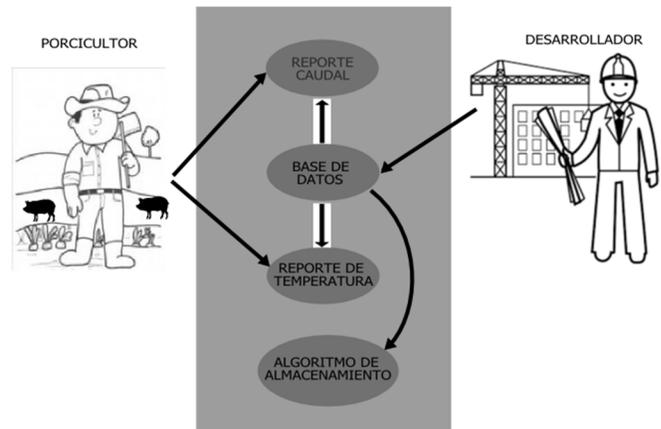


Figura 6. Diagramas de casos de usos. Fuente los Autores.

Una granja para la cría de cerdos se diseña por módulos (galpones) secciones (divisiones del galpón) donde en cada sección generalmente se encuentran animales con pesos y edades similares, este proceso no es estático, por lo que el propósito es ir rotando el animal a medida que aumenta su peso por las demás secciones del módulo, de esta forma la granja clasifica los cerdos por edad y peso. Con estos atributos se puede definir una base de datos precisando unentidad módulos, esta a su vez contiene las secciones, las cuales tienen asociados los instrumentos de medición, así se realiza un almacenamiento de las lecturas en función de la edad del animal.

En la figura 7, se enseña el procedimiento que almacena la información por los equipos de medida. Es de notar como el flujo de programa articula la base de datos con el propósito de determinar con que dispositivos se debe comunicar el servidor

del sistema en cierto instante de tiempo, determinando la MAC del Router específico (la cual es almacenada y consultada desde la base de datos) para luego construir la trama API e iniciar el proceso de comunicación. De esta manera se descartan actualizaciones de software para la introducción de nuevos instrumentos de medición [26,27] debido a que la plataforma permite introducir las direcciones seriales de fábrica de las nuevas antenas (en teoría 65535) que se vinculan paulatinamente al proceso.

Finalmente se tiene el software con que interactúa el porcicultor, este permite realizar consultas especificando la fecha, el módulo y la sección de la granja, con estos, el algoritmo extrae la información de todos los sensores ubicados en este lugar, luego esta es organizada y entregada en una hoja de cálculo donde se discrimina el tipo de medida (caudal o temperatura), el nombre del equipo y la hora en que fue tomada la lectura.

```

// Rutina Principal

Input Database
Output Data_Sensores_Modulo_Sección_Fecha
Begin
de
  Modulos_ID → Numero_Modulos()           // Número de módulos granja
  For j = 1 to Modulos_ID do
    fecha → Obtener_fecha();                // Se Obtiene la fecha Actual
    Secciones_ID → Numero_Secciones()      // Número de secciones del módulo i
    For j = 1 to Secciones_ID do
      // Número de sensores modulo i sección j
      Sensor_ID → Numeros_Sensores(j, i)
      For w = 1 to Sensor_ID do
        // Validar se encuentra activo
        If(Activo_ID(w))
          // Se consulta la dirección MAC del dispositivo
          Serial_ID → Serial_Sensor(j, w)
          // Se inicia con el proceso de comunicación con el respectivo Router
          // Transmisión y Recepción
          Medida_ID = Transmite_Dato(Serial_ID)
          If (Transmite != None)
            // Se obtiene la hora
            Hora → Hora_ID()
            // Guardar información en la base de datos especificando, hora, fecha, sección
            // Módulo y datos
            Guardar_id(w, Hora, Fecha, Medida, j, i)
          else
            Output Error de Comunicación
          end
        end
      end
    end
  end
  While(true)
end

```

Figura 7. Algoritmo de operación sistema de almacenamiento Fuente los Autores.

Finalmente se tiene el software con que interactúa el porcicultor, este permite realizar consultas especificando la fecha, el módulo y la sección de la granja, con estos, el algoritmo extrae la información de todos los sensores ubicados en este lugar, luego esta es organizada para ser entregada en una hoja de cálculo donde se discrimina el tipo de medida (caudal o temperatura), el nombre del equipo y la

hora en que fue tomada la lectura. Es de aclarar que estos algoritmos fueron desarrollados en entorno de programación Python, en el desarrollo de los algoritmos se utilizó la librería presentada en [28].

#### F. Métricas de evaluación.

Para que el sistema pueda operar en un ambiente real los instrumentos deben ser sometidos a calibración. Particularmente para el instrumento que mide temperatura se utiliza la preparación hielo seco comúnmente utilizada para aplicaciones de baja dinámica. Esta preparación consta de hielo común, mezclado con sal de cocina, ubicada alrededor de las paredes de un recipiente, de tal forma que quede un orificio o cavidad en el centro. Con este sistema es posible lograr temperaturas cercanas a los 0°C [29]. El equipo patrón seleccionado durante la etapa de calibración corresponde a Fluke 289 true RMS [30]. Posteriormente se emplea una termo resistencia con el fin de variar lentamente la temperatura de la preparación de hielo seco hasta temperatura cercanas a 55°C. No es de interés temperaturas mayores debido a que es poco probable que temperaturas ambientes superen este valor.

Para el instrumento que mide caudal se procede adicionar una bocina en el terminal RB0 del microcontrolador PIC16F886 (ver figura 3). Una vez el medidor de caudal detecta 10 litros, el contacto tipo REED debe cerrarse aproximadamente por un segundo [21], tiempo por el cual la bocina también debe encenderse. El propósito es obtener una relación lineal con pendiente unitaria entre el número de encendidos de la bocina contra el número de flancos negativos detectados por el sistema propuesto (ver ecuación 1).

Para validar el funcionamiento de los instrumentos se realizará pruebas de alcance, cantidad de pérdida de paquetes de datos, demanda energética en modo estable y en modo hibernación. Para cuantificar la pérdida de paquetes de datos, se diseñó un experimento que consiste en transmitir una cantidad de lecturas sintéticas, con el objetivo de evaluar el número de datos registrados por el servidor, en este caso se utilizó el software X-CTU [24] para determinar la cantidad de paquetes que arribaban a la plataforma, luego se repite el experimento aumentando la distancia lineal entre el Router y el Coordinador. En el lugar de servidor se pretende realizar diferentes pruebas para verificar el desempeño de esta, en primer lugar se realiza un test que consiste en ir agregando nuevos equipos al sistema y observar si el programa de almacenamiento y del consulta vinculaba los nuevos equipos agregados, por otro lado, se almacenan datos sintéticos para todos los equipos vinculados a la base de datos para luego verificar el funcionamiento de la interfaz de usuario.

Finalmente, se hace un análisis de la función de correlación cruzada entre las señales de temperatura  $x[n]$  y la señal de caudal  $y[n]$ , donde cada una de las muestras está separada entre sí una cantidad  $t_s$ , correspondiente al período de

muestreo. Este análisis se realiza para aquellos días para los cuales las mediciones se obtuvieron de forma secuencial. La función de correlación cruzada para señales de tiempo discreto [31] se define mediante la ecuación 2.

$$R[m] = \frac{1}{N-m} \sum_{n=0}^{N-m-1} x[n+m]y[n], \quad m \geq 0, \quad (2)$$

donde  $N$  es el tamaño de las señales. La función  $R[m]$  es una función par con respecto a  $m$ . En este contexto,  $m$  también se conoce como el desfase entre las señales  $x[n]$  y  $y[n]$ .

### III. RESULTADOS

El error efectivo RMS [32] entre el sistema de patrón y el sistema de temperatura fue de 5.45%. Para el caso de medidor de caudal se obtuvo una relación lineal con pendiente unitaria entre el número de encendidos de la bocina contra el número de flancos negativos detectados por el instrumento.

Por otro lado, se determinó el alcance del sistema (en términos de longitud) en un ambiente semiurbano, la distancia aproximada lograda fue de 235m, el consumo energético de los módulos de medida en modo hibernación fue de 48mA mientras que en modo estable fue de 70mA lo cual muestra las bondades de los algoritmos de las figuras 4 y 5.

Para distancia entre 0 y 190m se obtuvo una pérdida de paquetes de datos en promedio del 8% mientras que para distancias cercanas a los 235m la pérdida fue del 88%, lo anterior sugiere que para aumentar la confiabilidad de la plataforma es necesario que el servidor de la red envíe varias solicitudes al instrumento de medición, con el propósito de disminuir la probabilidad de que se produzca fallo en la comunicación [33].

El análisis de correlación entre datos de temperatura y de caudal recolectados durante un lapso de 20 días. En parte superior de la figura 8, se muestran los datos recolectados durante uno de estos 20 días para la variable temperatura y caudal, la temperatura se mide en grados centígrados, el caudal en litros por cada 10 minutos, la hora usa la nomenclatura AM, PM. Los tiempos que aparecen en la figura 8, se refieren a PM.

Un análisis exploratorio de los datos muestra que durante los días que se tomaron las muestras para el análisis, las temperaturas máximas oscilaron entre los valores de 24 a 38 grados, entre las horas de 12:30 PM a 5:30 PM. Así mismo, los mayores caudales de agua consumidos durante estos días varían en el rango de 90 litros a 400 litros por cada 10 minutos, entre un rango de horas similares a los valores máximos de temperatura.

Un análisis de correlación lineal muestra que la correlación tiene en promedio un valor de 0.69 durante los 20 días. El valor positivo de la correlación indica que a medida que una

de las variables aumenta su valor, la otra variable también lo hace. Intuitivamente, se espera entonces una relación de causalidad en la que un aumento de la temperatura genera un aumento del consumo de agua por parte de los cerdos.

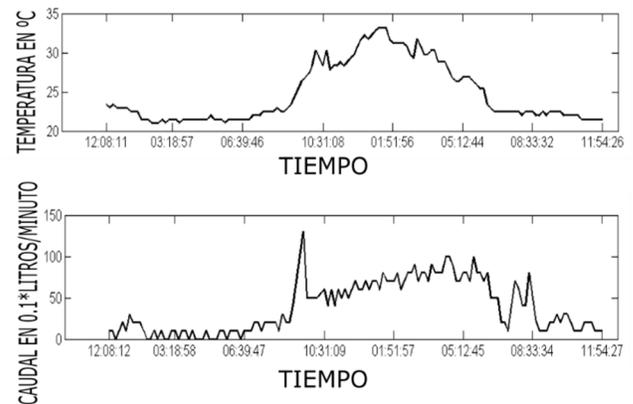


Figura 8. Datos de temperatura medidos y caudal en uno de los días de prueba. Fuente los Autores.

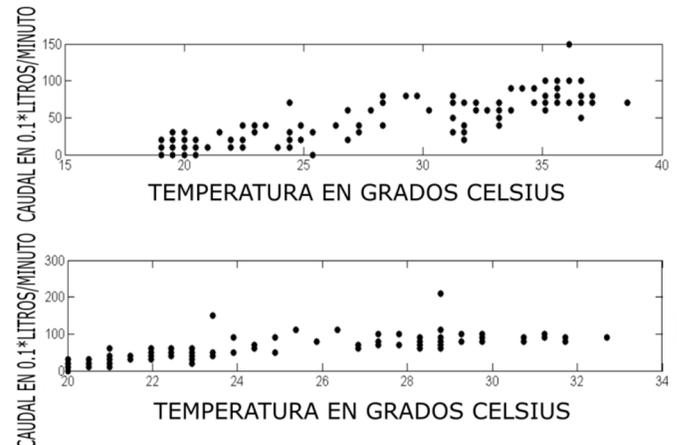


Figura 9. Diagrama de dispersión entre la variable temperatura y la variable caudal para los dos días de análisis. Fuente los Autores.

Usando un test estadístico basado en la distribución t-Student también se verifica que los valores de correlación son significativos con un valor  $p=0.05$ . Es decir, se verifica que la correlación es significativamente diferente de cero para los valores obtenidos [31]. La Figura 9, muestra un diagrama de dispersión de las variables temperatura y caudal para dos días diferentes. El coeficiente de correlación lineal para el ejemplo que se enseña en la parte superior de la imagen es igual a 0.86. Para el segundo día (parte inferior del gráfico) el coeficiente de correlación lineal es igual a 0.82. Se puede observar la correlación lineal positiva entre ambas variables.

Las Figura 10 enseña los histogramas del caudal y temperatura. En la tabla 1, se resume sus valores medios y su desviación estándar en función de diferentes intervalos de tiempo. Esta información es importante para el poricultor puesto que le ayuda a establecer los niveles de caudal

necesarios para mantener un determinado número de cerdos en la respectiva sección.

Variable	12am – 8am	8am – 4pm	4pm – 12am
Caudal en 0.1 litros/minuto	10.71 ± 8.37	70.00 ± 37.95	58.55 ± 37.69
Temperatura en °C	20.85 ± 1.00	30.17 ± 4.34	24.31 ± 3.12

Tabla 1. Valores promedios y desviación estándar para las variables medidas Fuente los Autores.

El análisis de datos anterior no pretende ser exhaustivo, sino que busca ilustrar cómo diferentes índices estadísticos pueden ser de utilidad para el porcicultor a la hora de monitorear el funcionamiento de la granja, y poder evaluar alternativas para mejorar la productividad de la misma.

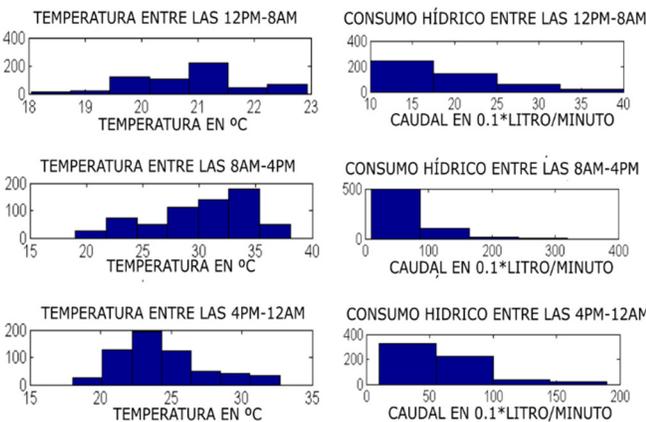


Figura 10. Histogramas de temperatura y caudal para diferentes instantes de tiempo Fuente los Autores.

#### IV. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se diseñó, construyó un sistema de instrumentación y medida inalámbrico simple, funcional, eficiente, portable, escalable, de fácil instalación que permite monitorear temperatura ambiente, consumo de recurso hídrico en las secciones de una granja, el diseño utiliza la metodología estándar establecida en la literatura, sin embargo la estrategia a nivel de hardware y software propuesta permite adicionar un recurso adicional que permite el crecimiento de la plataforma sin la necesidad de desarrollo de software adicional.

A nivel de hardware se vincula una estrategia que permite disminuir el consumo energético de los nodos de sensores por medio del concepto de interrupciones, en la etapa del servidor se articula la base de datos para gestionar el almacenamiento/consulta de información y la vinculación de nuevos equipos al sistema, permitiendo construir un equipo adaptativo y escalable, lo anterior es sumamente importante debido a que no siempre es posible modificar la estructura de la granja, además resulta de interés para el porcicultor que el

sistema de monitoreo pueda crecer en función del tiempo sin la necesidad de modificar el software de control de programa.

De manera exploratoria el procesamiento de las lecturas reveló una correlación entre las variables monitoreadas en la presente experiencia, de esta forma el porcicultor podría implementar estrategias en los horarios en que la temperatura presenta sus valores más elevados, con el fin de disminuir el consumo de recurso hídrico por parte de los cerdos, lo anterior toma relevancia al pretender disminuir el impacto ambiental que pueda generar la actividad al explotar este recurso natural.

Como limitantes el sistema propuesto es vulnerable a los cortes de energía, debido a que el servidor de la plataforma siempre debe estar disponible, aunque se cuenta con equipo generador de emergencia su operación depende en gran medida en la forma en que opera la granja, lo cual juega en contra de sistema desarrollado. Por otro lado, como trabajo futuro resulta de interés vincular otras variables para ser medidas y almacenadas, toma importancia monitorear humedad relativa del medio, consumo de alimento por parte de los animales como el caudal por vertimientos. Las dos primeras variables podrían asociarse a la productividad de la granja debido a que una alta humedad relativa puede causar muerte en los cerdos, en segundo lugar, el consumo de alimento se asocia con el peso ganado por el animal, la tercera variable se relaciona al impacto ambiental que realiza la actividad porcícola, cuantificar esta variable toma importancia en el caso de introducir la producción de carne en mercados internacionales.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado en el grupo de investigación de Automática de Universidad Tecnológica de Pereira y financiado por la empresa Agrocercos S.A y el programa de Jóvenes investigadores e innovadores “Virginia Gutiérrez de Pineda” de Colciencias año 2012.

#### VI. BIBLIOGRAFÍA

[1] Gao, Zhiyuan, et al. "A design of temperature and humidity remote monitoring system based on wireless sensor network technology." *Control Engineering and Communication Technology (ICCECT), 2012 International Conference on.* IEEE, 2012.

[2] Wang, Ning, Naiqian Zhang, and Maohua Wang. "Wireless sensors in agriculture and food industry—Recent development and future perspective." *Computers and electronics in agriculture* 50.1 (2006): 1-14.

- [3] Ministerio De Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España Magrama. El Sector de la Carne de Cerdo en Cifras Principales Indicadores Económicos en 2014. Marzo del 2015.
- [4] Madsen, Thomas Nejsum, and Anders Ringgaard Kristensen. "A model for monitoring the condition of young pigs by their drinking behaviour." *Computers and electronics in agriculture* 48.2 (2005): 138-154.
- [5] Kashiha, Mohammadamin, et al. "Automatic weight estimation of individual pigs using image analysis." *Computers and Electronics in Agriculture* 107 (2014): 38-44.
- [6] Madsen, Thomas Nejsum, Søren Andersen, and Anders Ringgaard Kristensen. "Modelling the drinking patterns of young pigs using a state space model." *Computers and Electronics in Agriculture* 48.1 (2005): 39-61.
- [7] Voulodimos, Athanasios S., et al. "A complete farm management system based on animal identification using RFID technology." *Computers and electronics in agriculture* 70.2 (2010): 380-388.
- [8] Adrion, Felix, et al. "Novel approach to determine the influence of pig and cattle ears on the performance of passive UHF-RFID ear tags." *Computers and Electronics in Agriculture* 140 (2017): 168-179.
- [9] Adrion, Felix, et al. "Monitoring trough visits of growing-finishing pigs with UHF-RFID." *Computers and Electronics in Agriculture*. 144. 144-153. 2009
- [10] Llario, Ferran, et al. "Detection and protection of the attacks to the sheep and goats using an intelligent wireless sensor network." *Communications Workshops (ICC), 2013 IEEE International Conference on*. IEEE, 2013.
- [11] Othman, Al-Khalid, et al. "Wireless sensor networks for swift bird farms monitoring." *Ultra Modern Telecommunications & Workshops, 2009. ICUMT'09. International Conference on*. IEEE, 2009
- [12] Zhang, Hui-yi, et al. "Design of pig farm environmental parameters monitoring system based on wireless sensor networks." *System Science, Engineering Design and Manufacturing Informatization (ICSEM), 2012 3rd International Conference on*. Vol. 1. IEEE, 2012.
- [13] Hwang, Jeong-hwan, and Hyun Yoe. "Design and implementation of ubiquitous pig farm management system using iOS based smart phone." *International Conference on Future Generation Information Technology*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011.
- [14] Lee, Ho-chul, and Hyun Yeo. "Design and implimentation of pig farm monitoring system for ubiquitous agriculture." *Information and Communication Technology Convergence (ICTC), 2010 International Conference on*. IEEE, 2010.
- [15] Ma, Congguo. "Intelligent Monitoring System of Quality Pig Breeding Environment." *Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), 2008 International Conference on*. Vol. 1. IEEE, 2008.
- [16] Frost, A. R., et al. "A review of livestock monitoring and the need for integrated systems." *Computers and electronics in agriculture* 17.2 (1997): 139-159.
- [17] Texas Instruments, LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors, Texas Instruments, USA, 1999, p.1.
- [18] Minol Instruments, "MTK Especificaciones", Minol Instruments, Alemania.
- [19] Baena, Carlos Alberto Henao, Hugo Armando Gallego Becerra, and William Ardila Ureña. Libro guía para el estudio de las interrupciones. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias Básicas, 2010.
- [20] Faludi, Robert. *Building wireless sensor networks: with ZigBee, XBee, arduino, and processing*. "O'Reilly Media, Inc.", 2010.
- [21] Digi International Inc, Hoja de datos XBee®/XBee-PRO® RF Modules, p. 5-8, 23-25, 57-63 2009.
- [22] Suconel, Módulo Adaptador XBee USB Mini.
- [23] Díaz, L. G. M, Programación de Microcontroladores PIC – XBEE, Editorial Luis Rodrigo Giraldo Gómez. 2013
- [24] Digi International. (2015), X-CTU Program, versión 5.2.8.6. [Programa de computador]. USA.
- [25] Microchip Technology Inc, PIC16F882/883/884/886/887, Microchip Technology Inc, USA, 2007.
- [26] Silberschatz, Abraham, et al. *Fundamentos de diseño de bases de datos*. McGraw-Hill, 2007.

- [27] Andy Oppel, Robert Sheldon, Carlos Fabián Jiménez Castillo, Fundamentos de SQL (2010), McGraw-Hill.
- [28] Paul Malmsten, python-xbee Documentation Release 2.1.0, (2010).
- [29] Coneo, Jorge González, Bernardo Nuñez Pérez, and Pablo Vilorio Molinares. "Sistema de monitoreo en tiempo real para la medición de temperatura." *Scientia et Technica* 2.50 (2012): 128-132.
- [30] FLUKE, 287/289 True-rms Digital Multimeters Users Manual, USA, 2007.
- [31] Kay, Steven. *Intuitive probability and random processes using MATLAB®*. Springer Science & Business Media, 2006.
- [32] Bishop, C. M. (2006). *Pattern recognition. Machine Learning*, 128, 1-58.
- [33] Kotz, David, Calvin Newport, and Chip Elliott. "The mistaken axioms of wireless-network research." (2003).