Congr. Int. en Ing. Electrónica. Mem. ELECTRO, Vol. 39, pp. 241-247, Oct 2017, Chihuahua, Chih. México
http://electro.itchihuahua.edu.mx/memorias_electro/MemoriaElectro2017.zip
ISSN 1405-2172

SISTEMA OPTOELECTRÓNICO PARA LA CONTABILIZACIÓN DE PECES VIVOS

Mondaca-Santillán César Eligio[1], Inzunza-González Everardo[1], López-Bonilla Oscar Roberto[1], García-Guerrero Enrique Efrén[1], Hernández-Ontiveros Juan Miguel[1], Esqueda-Elizondo José Jaime[2]

[1]Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño.
Carretera Transpeninsular Ensenada-Tijuana 3917, Colonia Playitas, Ensenada, B.C., C.P. 22860
Tel.+52 (646) 175 -07-44, Fax. +52(646)174-43-33
cesar.mondaca@uabc.edu.mx, einzunza@uabc.edu.mx, olopez@uabc.edu.mx,
eegarcia@uabc.edu.mx, juan_miguel@uabc.edu.mx

[2]Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería.
Calzada Tecnológico 14418, Mesa de Otay, Tijuana, B.C., C.P. 22430
Tel.+52 (664) 682 1033 – 5800
Correo-e: jjesqueda@uabc.edu.mx

RESUMEN

En este trabajo se presenta el desarrollo e implementación de un sistema optoelectrónico para la contabilización automática de peces vivos. Se diseña a partir de un arreglo de sensores infrarrojos y una red tipo bus (I^2C) de microcontroladores. Los sensores se instalan a la entrada y salida de una serie de ductos que forman parte de una estructura hermética, que permiten el tránsito libre de peces entre un estanque y otro. Se contabiliza la cantidad de peces en una región, aumentando o disminuyendo la cantidad en relación a su tránsito. Los resultados del conteo los despliega *in situ* por medio de una pantalla de cristal líquido (LCD) o de manera remota mediante una interfaz gráfica desarrollada en entorno LabVIEW™, que además, registra en una base datos la hora y fecha del cruce de cada pez a través de cada ducto.

La contribución de este trabajo es el desarrollo de tecnología propia de bajo costo, de alta confiabilidad y rendimiento, no invasiva, y de fácil implementación para aplicaciones en piscicultura y acuacultura.

Palabras Clave: Contador de peces, Microcontroladores, Sensores optoelectrónicos, Piscicultura, Acuacultura.

ABSTRACT

In this paper, the development and implementation of an optoelectronic system for the automatic counting of live fish is presented. It is designed from an array of infrared sensors and a bus type network (I^2C) of microcontrollers. The sensors are installed at the entrance and exit of a series of ducts (fishway) forming part of an airtight structure, which allows the free transit of fish from one pond to another. The number of fish is counted in a pond, increasing or decreasing the amount in relation to its transit. The count results is displayed *in situ* by an liquid cristal display (LCD), or remotely via a graphical interface developed in LabVIEW™ environment, which also records in a database the time and date of the crossing of each fish through each duct (fishway).

The contribution of this work is the development of low-cost, high reliability and performance, non-invasive and of easy implementation own technology for applications in fish farming and aquaculture.

Keywords: Fish counter, Microcontrollers, Optoelectronic sensors, Pisciculture, Aquaculture.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores desafíos mundiales es lograr el sustento alimenticio de más de 9,000 millones de personas para el año 2050 en un contexto de cambio climático, incertidumbre económica, financiera y aumento de la competencia por los recursos naturales. La comunidad internacional adquirió compromisos sin precedentes en septiembre de 2015, cuando los Estados miembros de las Naciones Unidas aprobaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. En la Agenda 2030, se fijan objetivos relativos a la contribución y la práctica de la pesca y la acuicultura en pro de la seguridad alimentaria, la nutrición y utilización de los recursos naturales, de tal manera que se garantice un desarrollo sostenible en términos económicos, sociales y ambientales [1]. En las últimas décadas la piscicultura ha tenido un gran impacto en la aportación alimenticia mundial. A finales de la década de los 80s, la piscicultura tuvo un crecimiento del 11%, dando un primer indicativo del aporte que podría tener el cultivo de peces. En la actualidad, y con un registro al año 2014, se sabe que la piscicultura aporta el 44% de la producción mundial de peces, siendo China con una aportación de más del 60% el principal productor acuícola a nivel mundial [1]. Así mismo, el cultivo de peces se ha incrementado rápidamente y con los desarrollos tecnológicos se está logrando un mejor rendimiento y control de los procesos piscicolas de varias especies [2].

Por su parte, la implementación de equipo electrónico en aplicaciones acuícolas ha sido de suma importancia, ya que con los diferentes sistemas desarrollados, se ha logrado emular ambientes controlados que se apegan a las condiciones del habitat natural de diferentes especies marinas, logrando así su cultivo. Por su parte, el conteo de peces vivos resulta ser una tarea compeja dentro de todo un proceso de cultivo y producción, o con fines netamente comerciales. En la literatura se han repotrado diversos trabajos para contabilizar peces empleando computadoras y sistemas de visión, entre otras técnicas [3-8]. Así mismo, en el ámbito comercial se pueden encontrar algunos equipos de conteo en tiempo real,

tal como los contadores Faivre y Vaki, los cuales son fabricados en el extranjejo siendo esto una importante limitante para piscicultores o instituciones dedicadas a la investigación del cultivo de diferentes especies.

En México aún es práctica común el conteo manual de peces vivos, lo que conlleva a errores de contabilidad y más aún, al ser un método de manipulación invasivo generalmente se les ocasiona estrés o incluso la muerte.

En este trabajo se propone un sistema optoelectrónico para la contabilización automática de peces vivos en estanques de cultivos, se caracteriza por ser de bajo costo, de fácil manipulación, confiable, funcional, escalable y de fácil adaptación a procesos específicos de producción. El sistema propuesto también opera de forma remota a través de una interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW^{TM} [9], generando un registro detallado en tiempo real, sobre la fecha y hora del conteo de peces. Este trabajo es continuación del articulo publicado previamente por [10], en donde se presentan algunas mejoras: a) detección del sentido del flujo de los peces, b) una red tipo bus I^{2}C de microcontroladores (μC's), c) varios ductos para el tránsito libre de peces y d) registro detallado del conteo en una base de datos. El presente trabajo se encuentra organizado de la siguiente manera: En la sección 2 se presenta y describe el sistema propuesto. La sección 3 muestra los resultados obtenidos. Por último, en las secciones 4 y 5 se presentan las conclusiones y agradecimientos del presente artículo.

2. SISTEMA PROPUESTO

2.1. Descripción general

La estructura mecánica del sistema propuesto, es un cajón hermético de acrílico provisto de ductos que lo atraviesan tal y como se muestra en la Figura 1. Las láminas empleadas son de 1/4" de espesor y los ductos son tubos de 3/4" de diámetro interno por 3" de longitud. La selección del diámetro interno y la longitud de los ductos está en relación directa con el rango en tallas de los peces por contabilizar. La estructura hermética divide un estanque en dos regiones, y a través de los ductos los peces pasan libremente de una región a otra, a la vez que se van contabilizando. El prototipo contabiliza los peces en una región aumentando o disminuyendo la cantidad en relación a su tránsito. Función que puede adecuarse a las necesidades de un proceso acuícola o de investigación.

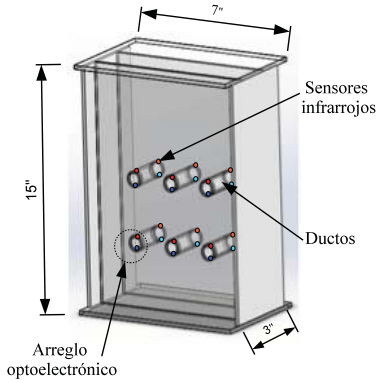

Figura 1. Estructura mecánica del sistema propuesto.

El sistema que se propone se forma por 6 ductos, y en cada uno de ellos se instala un arreglo optoelectrónico a la entrada y a la salida (ver Figura 1), a la vez que se le asocia un μC en configuración esclavo. Al momento de que un pez cruza por alguno de los ductos, se obstruye la barrera óptica generada por los sensores infrarrojos y se envía una señal al μC respectivo. Los 6 μC's configurados en modo esclavo son controlados por un μC configurado como maestro, el diagrama a bloques de este arreglo se muestra en la Figura 2. Los μC's forman una red en bus y se comunican empleando el protocolo de comunicación serial I^{2}C, donde el maestro, cada medio segundo solicita la información del conteo a cada μC esclavo. El conteo se muestra *in situ* en tiempo real en una LCD, o de manera remota mediante una interfaz gráfica desarrollada en entorno LabVIEW^{TM} como la que se muestra en la Figura 3, que además, registra en una base datos la hora y fecha del cruce de cada pez a través de cada ducto.

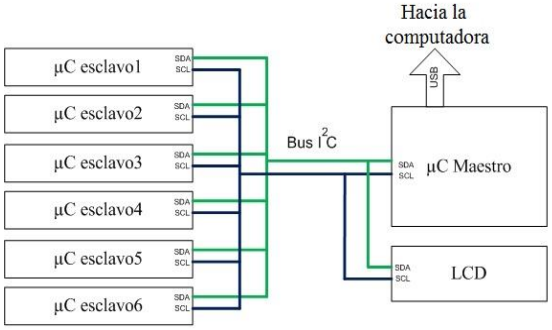

Figura 2. Diagrama a bloques del arreglo de μC's.

El registro de los datos de conteo, fecha y hora, en la base de datos, es almacenada en un archivo ASCII con formato CSV (Comma - Separated Values). Por otra parte, la instalación de la interfaz para un usuario potencial, se puede lleva acabo mediante un archivo ejecutable, el cual carga todos los recursos y archivos necesarios para operar el sistema contador sin problemas. Esto permite que finalmente sea a través de un solo cable USB, la conexión y operación del sistema contador de peces con una computadora con sistema operativo Windows.

Figura 3. Interfaz gráfica con el usuario.

2.2. Diseño del circuito optoelectrónico

El arreglo optoelectrónico se diseña y se ubica a la entrada y salida de cada uno de los 6 ductos por donde pueden transitar libremente los peces (ver Figura 1). El circuito se constituye básicamente por dos elementos: un led infrarrojo IR383 (emisor de luz) como el que se muestra en la Figura 4 y cuyas características se indican en la Tabla 1, y un fototransistor PT1302B/C2 configurado como detector óptico, como el que se muestra en la Figura 5 y sus especificaciones son las que se muestran en la Tabla 2.

Figura 4. Led infrarrojo IR383.

Tabla 1. Características del led infrarrojo IR383.

Parámetro	Valor
Corriente continua directa	100 mA
Temperatura de operación	$-40 \sim 80$ ℃
Longitud de onda pico	940 nm
Ángulo de vision	20°

Figura 5. Fototransistor PT1302B/C2.

Tabla 2. Características del fototransistor PT1302B/C2.

Parámetro	Valor
Corriente de colector	20 mA
Voltaje colector - emisor	5 V
Longitud de onda pico	980 nm
Temperatura de operación	$-25 \sim 85$ ℃
Velocidad de respuesta	15 μs

Como se representa en la Figura 6, los arreglos optoelectrónicos forman barreras ópticas en las entradas y salidas de los ductos, de tal forma que cuando un pez entra por alguno de los lados obstruye el haz de luz entre el led infrarrojo y el fototransistor, permitiendo al sistema en primera instancia detectar la presencia o cruce del pez, para después cuando el pez sale del ducto respectivo lo contabiliza en relación a su sentido de tránsito ya sea sumándolo o restándolo en cantidad del estanque de referencia.

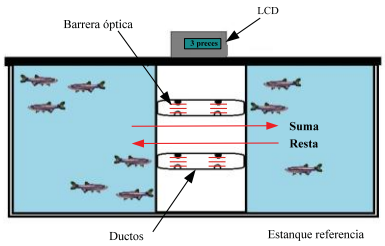

Figura 6. Vista frontal del sistema contador propuesto.

En el arranque del sistema, se polariza primeramente el led infrarrojo en el arreglo optoelectrónico, el cual emite una radiación de longitud de onda de 940 nm, y que debe llegar al fototransistor ubicado frente a él. En la región de la barrera óptica en la ausencia de algún pez, la potencia emitida por los rayos infrarrojos alcanzan el umbral de disparo del fototransistor quedando en un estado de conducción (saturación) generando un nivel de voltaje de 0.2V aproximadamente. Esta condición se considera como un nivel lógico bajo ("cero") para el μC esclavo. Por otro lado, cuando en alguno de los ductos la barrera óptica se intrrumpe por la presencia de un pez, la potencia de los rayos infrarrojos no alcanzan el umbral de disparo (corte) del al fototransistor, por lo que, a su salida se mantiene un voltaje de 5V aproximadamente ("uno lógico")). Esta condición se consiera como un nivel lógico alto para el μC esclavo respctivo. La polarización para los fototransistores proviene de cada uno de los reguladores de 5V de los μ C's asociados al ducto respectivo.

En la Figura 7 se presenta el circuito optoelectrónico correspondiente a los sensores infrarrojos y a la etapa de la lectura de la señal que procesa cada μC esclavo.

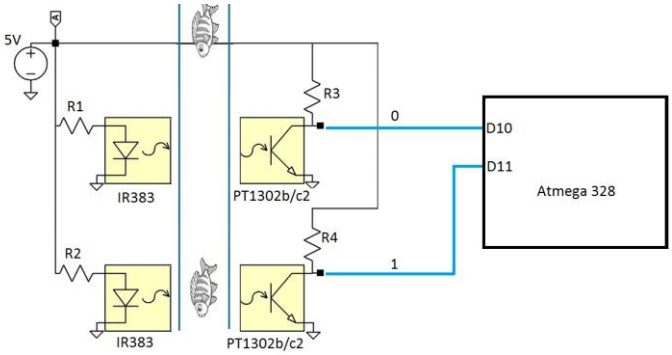

Figura 7. Circuito optoelectrónico de emisores y detectores infrarrojos.

2.3. Pantalla de cristal líquido (LCD) 20X4

Los datos del conteo se visualizan *in situ*, a través de una LCD 20X4. Esta pantalla brinda la facilidad de mostrar datos en sus 4 renglones, con una visualización de 20 espacios para los caracteres. Una ventaja adicional es la comunicación con ella a través del bus I^2C usando el módulo LCM2004.IIC, lo que permite ahorrar pines de entrada/salida digital en el μC. En la Figura 8 se muestra la LCD y el módulo I^2C empleados en este trabajo.

Figura 8. LCD con módulo de comunicación I^2C.

En la Tabla 3 se muestran algunas de las características de la LCD.

Tabla 3. Características de la LCD 20X4.

Parámetro	Valor
Tamaño de pantalla	12.3 cm x 4.3 cm
Total de pines (I^2C)	4
Color de fondo	Verde
Voltaje de operación	5 V
Corriente de operación	200 mA
Tipo de comunicación	Serial I^2C

Algunas de sus características del módulo LCM2004.IIC se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Características de módulo LCM2004.IIC.

Parámetro	Valor
Tamaño de pantalla	4.1 cm x 1.9 cm
Total de pins de entrada	4
Total de pins de salida	16
Voltaje de operación	5 V
Corriente de operación	200 mA
Tipo de comunicación	Serial I^2C

2.4. Programa principal en los microcontroladores esclavos

Para el procesamiento de cada una de las señales enviadas por el arreglo optoelectrónico relativo a cada uno de los ductos, así como para el despliegue de información a través de la LCD, se utilizan μC's ATmega328 fabricados por la compañia Atmel. En la Tabla 5 se muestran algunas de sus características más importantes.

Tabla 5. Características del microcontrolador Atmega 328.

Parámetro	Valor
Voltaje de operación	5 V
Frecuencia de reloj	16 MHz
Pines de entrada/salida digital	14
Pines de entrada analógica	5
EEPROM	1 KB
Canales ADC	6
Puertos UART	1
SRAM	2 KB
Memoria Flash	32 KB

Una de las principales características del μC empleado y que se ajusta bien al diseño e implementación del contador de peces propuesto, es que cuenta con puertos de comunicación I^2C y que además en relación a la solución planteada en este trabajo, puede ser configurado en modo maestro-esclavo. Se configuran 6 μC en modo esclavo cada uno asociado a uno de los ductos de sistema (ver Figura 1), los cuales obtienen e interpretan la información de cada una de las señales enviadas por el arreglo optoelectrónico a la entra o salida de cada ducto respectivo. Cada μC esclavo opera de manera independiente. Por otra parte, se configura un μC como maestro quien es el encargado de solicitar a cada μC esclavo la información obtenida del conteo de peces para integrarla y enviar el resultado vía el bus de comunicación I^2C a la LCD para su despliegue. Más aún, el μC maestro envía información relativa del conteo, hora y fecha a un equipo de cómputo vía USB para ser almacenada en una base de datos. En la Figura 9, se muestra el programa principal desarrollado e implementado en cada μC esclavo. A continuación se describen brevemente los principales procesos que ejecutan los μC esclavos:

a) Inicializar las bibliotecas necesarias para ejecutar la comunicación I^2C y las variables a utilizar en cada puerto por leer.

b) Lectura de los datos.

b.1) Los μC's esclavos leen e interpretan las señales enviadas por los arreglos optoelectrónicos. Cuando el pez obstruye un haz de luz se envia una señal nivel "alto" al μC, el cual analiza la entrada y salida del pez por el ducto, para ejecutar un conteo ya sea sumando o restando según sea el caso (sentido de flujo).

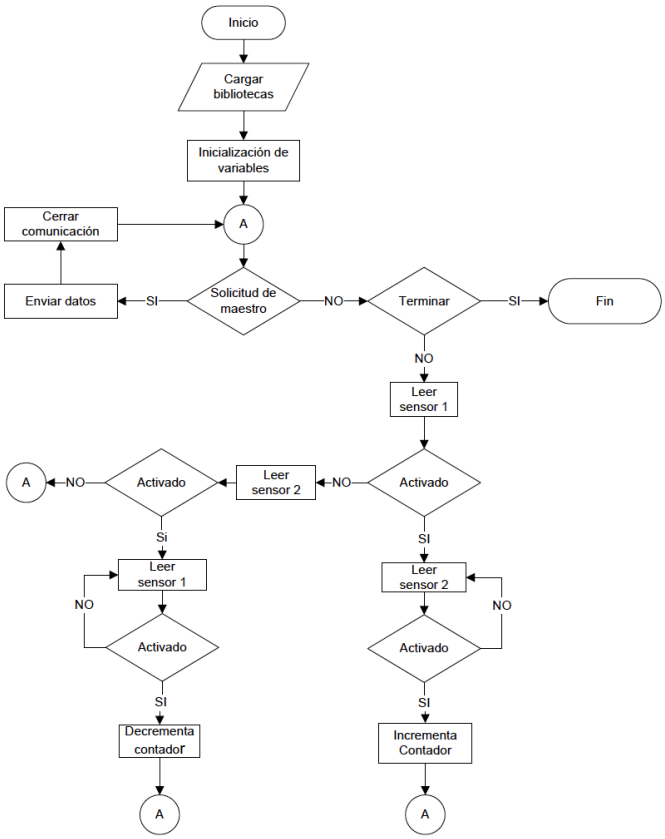

Figura 9. Diagrama de flujo del programa de los microcontroladores esclavos.

b.2) El μC maestro solicita la información obtenida individualmente a cada microcontrolador esclavo mediante comunicación I^2C.

c) El μC maestro suma el valor obtenido del conteo de cada μC esclavo y envía la información a la LCD mediante comunicación I^2C para su despliegue. Si el sistema se encuentra conectado a una computadora por medio de cable USB, se envia además información relativa a la fecha y hora por evento para su registro en la base de datos.

2.5. Diagrama a bloque desarrollado en lenguaje G para la interfaz gráfica de usuario

Se desarrolla una interfaz gráfica para el usuario a partir del software LabVIEW™. Este software es una herramienta de programación orientada para aplicaciones de monitoreo y control de equipos electrónicos. Se emplea en el desarrollo de sistemas de instrumentación, lo que se conoce como instrumentación virtual [11-12]. El lenguaje de programación se conoce como lenguaje G, donde la G simboliza lenguaje gráfico. La interfaz gráfica desarrollada (ver Figura 3) se instala en una computadora personal (PC) mediante un archivo ejecutable desarrollado a partir del programa propuesto, siendo ésta una manera amigable y cómoda de estar visualizando el conteo de peces. La interfaz despliega información de la cantidad de peces contabilizados en tiempo real, el nombre de la especie ingresada manualmente por el usuario y crea una base de datos en el disco duro local donde se puede acceder cuando se desee. En la base de datos quedan registrados el total de peces, así como su fecha y hora en la que fue registrado el cambio en el conteo de peces, lo cual permite identificar el tiempo en el que hubo movimiento supervisando el proceso del conteo de peces.

A continuación se describe la programación desarrollada empleando máquinas de estado del funcionamiento de la interfaz gráfica con el usuario. En la Figura 10 se muestra la sección donde se solicita al usuario que coloque la comunicación USB de la computadora con el sistema contador.

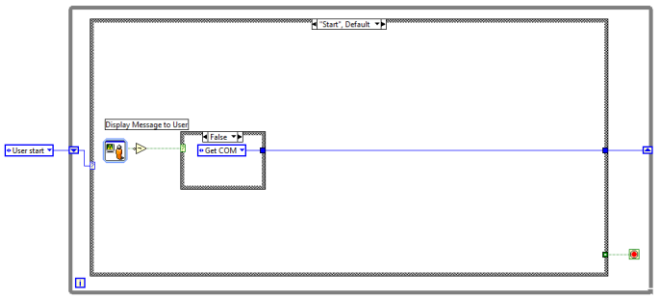

Figura 10. Máquina de estado inicio.

Una vez conectado el sistema, el programa continúa con la búsqueda del puerto del sistema con la PC. El programa realiza la asignación automáticamente en la etapa mostrada en la Figura 11.

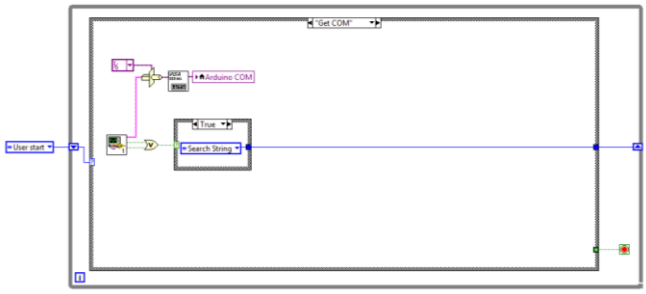

Figura 11. Máquina de estado para buscar puerto.

Luego, se solicita la información al μC mediante el puerto serial y se analiza el "string" o cadena de caracteres recibidos separando los datos y mostrando el total de peces en el monitor. En la Figura 12 se observa el algoritmo desarrollado para analizar los datos.

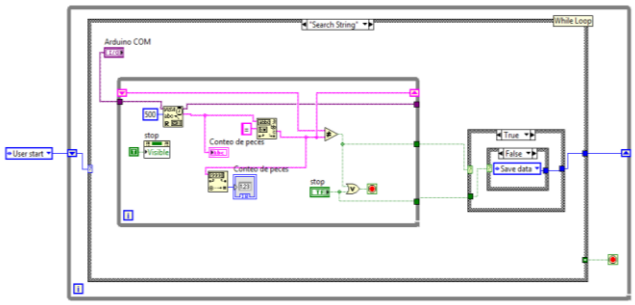

Figura 12. Máquina de estado para analizar los datos recibidos.

3. RESULTADOS

El sistema fue probado para el conteo de peces del tipo cebra con tamaños de 8 a 14 mm de longitud y pez dorado 2 a 4 cm de largo. En la Figura 13, se muestra una imagen de la LCD desplegando el resultado de la contabilización de peces efectuada durante algunas de las pruebas experimentales. Se despliega la cantidad de peces que se han contabilizado hasta el momento y a su vez es enviada la información a la interfaz gráfica.

Figura 13. Ejemplo de despliegue del conteo de peces en la LCD.

En la Figura 14 se presenta un gráfico de barras que muestra un historial de eventos de conteo. Para validar el sistema se presenta una comparación de la cantidad real de peces en el estanque original versus el total de peces contabilizados por el sistema propuesto. La cantidad real de peces se representan por la barras azules, mientras que los peces contabilizados por el sistema propuesto son las barras de color rojo.

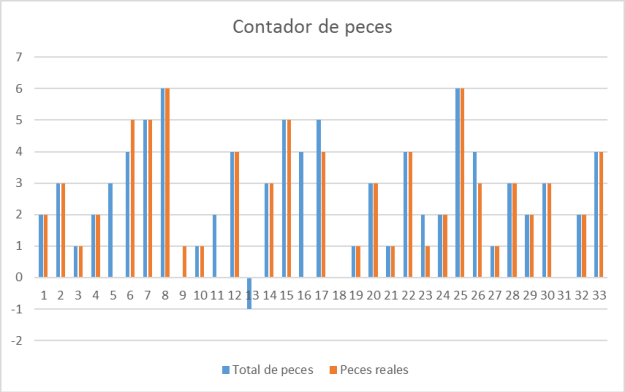

Figura 14. Gráfica comparativa de conteo de peces.

La validación experimental del dispositivo toma en consideración varios aspectos, entre ellos están: a) el margen de tolerancia entre el diámetro de los ductos y el rango de tallas de los peces por contabilizar, b) la efectividad del principio físico instrumentado para la detección de los peces por medio de barreras ópticas generadas por los arreglos optoelectrónicos del instrumento, c) el comportamiento del libre tránsito de los peces, sin ningún tipo de estimulo externo y e) la funcionalidad de la lógica operacional del sistema referente al conteo en relación al sentido de tránsito de los peces. En relación a todas las validaciones llevadas acabo en el instrumento y con el análisis de resultados, el sistema resulta ser confiable y con un nivel de exactitud del 95%.

En la Figura 15 se presenta una imagen del arreglo experimental implementado en este trabajo. Del lado izquierdo se puede apreciar la sección de la pecera con algunos peces tipo cebra y dorados. En el centro se aprecia la estructura hermética de acrílico con el arreglo de sensores optoelectrónicos. En la parte superior de la estructura de acrílico se encuentra una caja de control en donde se coloca la los microcontroladores y LCD para desplegar *in situ* el resultado del conteo. Del lado derecho se observa una computadora personal (PC) donde se ejecuta la interfaz gráfica de usuario. El sistema que se presenta es no invasivo, permitiendo la libertad de tránsito de los peces de un sección a otra de la pecesa, a la vez de contabilizarlos en relación al sección inicialmente vacía.

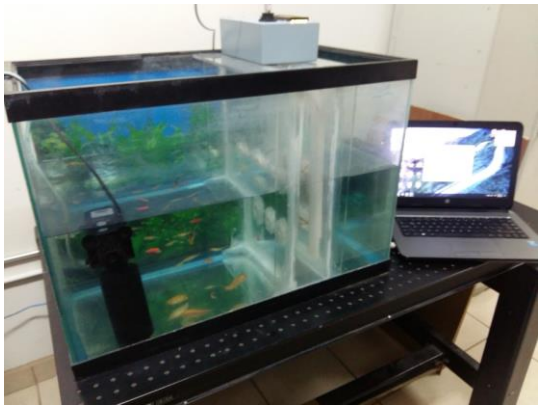

Figura 15. Arreglo experimental del sistema propuesto.

En esta etapa del desarrollo del proyecto, se trabajó en la configuración lógica operacional del sistema, permitiendo llevar un conteo real en relación al tránsito libre de los peces.

Para aplicaciones potenciales, el estado acual del prototipo puede coadyuvar en investigaciones relativas al estudio del comportamiento de las especies a estímulos específicos. Analizando el comportamiento grupal de algunas especies particulares. O bien para fines de conteo, el sistema se puede adaptar a estanques con flujo de agua controlada en un sólo sentido (re-circulación forzada). Así mismo, el sistema se puede ajustar para diferentes tallas de pez, así como incrementar el número de ductos acorde a necesidades específicas.

Se hace relevante que el sistema puede operar *in situ* o de manera remota en relación a las necesidades de conteo o estudio. Para cuando se requiera una aplicación remota se hace importante el hecho que se puede implementar el sistema en una PC bajo un solo archivo ejecutable, lo que es de gran beneficio y ayuda evitando las complicaciones inherentes de un Software especializado.

4. CONCLUSIONES

En relación a los resultados experimentales obtenidos con el sistema optoelectrónico contador de peces, se potencializa el desarrollo de tecnología nacional enfocada a un campo de alto crecimiento a nivel mundial, como es la acuacultura. El sistema que se propone, puede motivar que empresas piscicultoras desarrollen tecnología propia, evitando la dependencia tecnológica en el conteo de peces vivos en tiempo real. El sistema propuesto presenta varias ventajas con respecto a otros sistemas similares: es confiable, de fácil manipulación e implementación, funcional, no invasivo, escalable tecnológicamente y de bajo costo, sin embargo, sólo permite el tránsito libre de peces en un rango estrecho de tallas.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por el proyecto de investigación aprobado en la 18ª Convocatoria Interna de Proyectos de Investigación de la UABC, con el número 485 y vigente para los años 2015-2017. Al PRODEP por el apoyo de Fomento a la Generación y Aplicación Innovadora del Conocimiento otorgado al investigador Dr. Everardo Inzunza González para el periodo 2016-2017. Los investigadores C.E.M.S. y J.M.H.O. fueron apoyados por CONACyT para realizar sus estudios de posgrado.

6. REFERENCIAS

[1] FAO, Estado mundial de la pesca y acuicultura, Organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura, 2016.

[2] Claude E. Boyde, Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level, Aquaculture, Vol. 226, octubre 2003, pp. 101 - 112.

[3] Zion, B., The Use of Computer Vision Technologies in Aquaculture – A review, Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 88, 2012, pp. 125-132.

[4] Fan, L. y Liu, Y., Automate Fry Counting using Computer Vision and Multi-class least squares support Vector Machine, Aquaculture, Vol. 380-383, 2013, pp. 91-98.

[5] M. Beveridge, Malcom, Cage Aquaculture, Blackwell Publishin, 2004, pp. 1-6,32 - 40.

[6] Barnabé Gilber, Acuacultura, Ediciones Omega, Vol 2, 1991.

[7] Sébastien Cadieux, Francois Michaud and Francois Lalonde, Intelligent System For Automated Fish Sorting and Counting, Intelligent Robots and Systems, Takamatsu, 2000, pp. 1279 - 1284.

[8] Paul F. Newbury, Philip F. Culverhouse and Derek A. Pilgrim. Automatic fish population counting by artificial neural network, Aquaculture, Vol. 133, mayo 1995, pp. 45 - 55.

[9] Hee C. Lim, Sensors Interfacing with LabVIEW™ – A practical guide to sensors and actuators data acquisition using NI myRIO™.

[10] Navarro Rodríguez A., García Guerrero E. E., Inzunza-González E., Liera Grijalva C. A., López Bonilla O. R., Sistema Automático para el conteo de peces utilizando sensores infrarrojos y comunicación inalámbrica, Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica Memoria Electro 2014, Vol. 36, pp. 176-181.

[11] Robert Bishop, LabVIEW 2009 Students Edition, Pretience Hall, pp. 172-193.

[12] José Rafael Lajara Vizcaíno, José Pelegrí Sebastia, LabVIEW: Entorno gráfico de programación, Barcelona, España, Marcombo, 2011, 47.