

# Design proposal of an automated feeder for aquaculture

## Propuesta de diseño de un alimentador automatizado para la acuicultura

Oswaldo Vladimir Rodríguez-Leal<sup>\*1</sup>, Santiago Arceo-Díaz<sup>\*\*1</sup>, Elena Elsa Bricio-Barríos<sup>1</sup>, Ismael Amezcua-Valdovinos<sup>2</sup>, and Briand Alfredo Sánchez-Granada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Tecnológico Nacional de México campus Colima,*  
Maestría en Sistemas Computacionales,  
Av. Tecnológico No. 1, Colonia La Armonía, C.P. 28976 Villa de Álvarez, Colima, México.  
osvr113@gmail.com, {santiago.arceo, elena.bricio, 16460594}@colima.tecnm.mx

<sup>2</sup> *Universidad de Colima, Facultad de Telemática,*  
Av. Universidad No. 333, Colonia Las Víboras, C.P. 28040 Colima, Colima, México.  
ismaelamezcua@ucol.mx

### Abstract

We report the design of an automated feeder for tilapia fish (*Oreochromis niloticus*, var. Sterling). The feeder resembles a hopper that moves on a straight line over the pond's surface and liberates fish food by rotating an Archimedes screw. The mechanical parts were designed in SolidWorks and printed in PLA plastic (polylactic material). Two servo motors move the prototype and rotate the Archimedes screw when the signals of a microcontroller card are received. The internal memory allows the historical dosage data to be time-stamped and stored so that the fish farmers have reliable and accessible information. The current proposal produces a low-cost device, compared to those commercially available. The prototype allows fish farmers to perform a safe, permanent, and automated dosage of feed, a procedure that, if carried out successfully, minimizes the sedimentation of leftover feed at the bottom of the pond, which contributes to reducing the production of toxic nitrogen compounds in the water.

**Keywords**— Feeder, Tilapia, Automation, Embedded System.

### Resumen

Se presenta el diseño de un alimentador automático para peces tilapia (*Oreochromis niloticus*, var. Sterling). El alimentador se asemeja a una tolva que se mueve en línea recta sobre la superficie del estanque y libera alimento para peces girando un tornillo de Arquímedes. Las piezas mecánicas fueron diseñadas en SolidWorks e impresas en plástico PLA (material poliláctico). Dos servomotores mueven el prototipo y hacen girar el tornillo de Arquímedes cuando se reciben las señales de una tarjeta microcontroladora. La memoria interna permite que los datos históricos de dosificación sean sellados y almacenados para que los acuicultores tengan información confiable y accesible. La propuesta actual produce un dispositivo de bajo costo, en comparación con los que hay disponibles comercialmente. El prototipo permite a los acuicultores realizar una dosificación de croquetas segura, permanente y automatizada, procedimiento que, si se lleva a cabo con éxito, minimiza la sedimentación de los restos de alimento sobrante en el fondo del estanque, lo que contribuye a reducir la producción de nitrógeno tóxico.

**Palabras clave**— Alimentador, Tilapia, Automatización, Sistema Embebido.

\* Autor de correspondencia

\*\* Autor de correspondencia

## I. Introducción

La crianza de tilapia (*O. niloticus* Var. Stirling), con fines comerciales, es una de las actividades acuícolas de mayor importancia en el mundo [1]. Desde 2012, la acuicultura ha alcanzado un máximo histórico de producción, proporcionando casi la mitad del pescado destinado al consumo humano [2]. Así mismo, en el caso de México, desde 2016, la producción pesquera y acuícola ha superado los 1.7 millones de toneladas, de las cuales 388 mil son producidas por granjas acuícolas [3]. El éxito de la comercialización de tilapia, se debe a dos sectores productivos: i) la crianza de ornato para estanques de residencias, restaurantes, acuarios, etc. [4] y ii) la venta como producto alimenticio, cuyo proceso de fácil engorda ha permitido que sectores de bajos recursos dispongan de una fuente económica alterna para reducir el grado de pobreza/necesidades financieras [5]. Aunado al beneficio económico, el consumo de la carne de tilapia aporta sustancias con beneficios alimenticios como ácidos grasos Omega-3, que fortalecen el músculo cardíaco, vitaminas B, D y E, que favorecen el cuidado de la piel, fósforo y calcio, que fortalecen los huesos [6].

Dentro del territorio mexicano, Colima es uno de los estados del país cuyas condiciones térmicas e hidrológicas favorecen el cultivo de tilapia y con ello la generación de empleo y bienestar social y económico [7]. De acuerdo a los registros de CONAPESCA [3], en el 2017 Colima reportó que 2,200 familias de pescadores y acuicultores se dedican a esta actividad económica con una producción de ventas de pescados y mariscos por \$1,187 millones de pesos al año.

Aunado al monitoreo y control de los parámetros de calidad de agua en los estanques de engorda (como oxígeno disuelto, temperatura, pH, dureza, compuestos nitrogenados), la alimentación de la tilapia afecta la eficiencia del lote por cultivar. Por ejemplo, si un acuicultor no realiza el proceso de distribución de alimento, el pez perderá peso, ya que consumirá sus fuentes de grasa [udc] y si la ración diaria se mantiene constante durante el todo proceso de crianza, sin considerar el cambio en los requerimientos alimenticios causado por el crecimiento de los especímenes, éstos conservarán su tamaño y peso debido al bajo peso final del espécimen cosechado [8].

En cambio, si los peces son sobrealimentados, el exceso de heces fecales y orina generará compuestos nitrogenados que tornarán tóxico el medio acuático. Además, las altas concentraciones de compuestos nitrogenados favorecerán el crecimiento de algas que competirán por el oxígeno disuelto en el agua, ocasionando hipoxia, inhibición de crecimiento, irritabilidad del sistema nervioso, pérdida de color en las aletas, destrucción branquial [9]. Por tanto, es de interés la propuesta de dispositivos capaces de proveer alimento a la tilapia durante el proceso de

ganancia de peso bajo dos objetivos, maximizar la tasa de sobrevivencia y alcanzar el peso y talla aceptable del producto para su distribución y venta.

La anterior problemática ha sido abordada a través de la incorporación de sistemas de dosificación basados en la densidad de población en el interior del estanque, tiempo de residencia de la tilapia y condiciones de operación del sistema de crecimiento. Estos valores están disponibles en los bultos o costales de alimento, así como en los planes dietarios reportados por Programas Federales Acuícolas Mexicanos como CONAPESCA [3].

El diseño y construcción de alimentadores automáticos para tilapia no es un tema nuevo, estos dispositivos pueden adquirirse en tiendas especializadas y han mostrado ser alternativas confiables durante el proceso de crianza [10]. De los dispositivos disponibles, los de tipo péndulo, son capaces de abastecer alimento a estanques de dimensiones de 10 x 20 metros, poseen una geometría de una tolva donde el alimento, desciende por gravedad y a través de un microcontrolador es posible programar el volumen y periodos de dosificación que va desde los 10 hasta los 60 kg [10].

Por otro lado, dependiendo de la estructura de soporte se determinará la geometría, capacidad de almacenamiento y costo de adquisición. Por ejemplo, los sistemas estacionarios que permiten descender por gravedad y lanzar el alimento tienen un costo que oscila entre \$1,500 a \$3,500 USD y \$6,500 a \$8,000 USD, respectivamente. En cambio, el sistema automatizado de dosificación de alimento instalado sobre una boya tiene un costo de \$8,900 a \$11,000 USD, costos que, para algunos acuicultores artesanales pueden ser elevados.

Aunque de los alimentadores revisados, la construcción y costo de estos prototipos tienen un precio asequible para pocos acuicultores, el alimentador del tipo péndulo está limitado dado que, al estar anclado a un punto, el alimento descenderá en un área restringida y solo aquellas tilapias que se encuentren dentro de la vecindad serán alimentadas. Mientras que el resto de las tilapias no tendrá acceso al alimento, limitando su ganancia de peso.

Dado que, es de importancia proveer a los acuicultores artesanales las herramientas necesarias para que lleven a cabo el proceso de engorda de tilapia de forma adecuada y su producción sea exitosa, este trabajo propone el diseño de un alimentador automatizado para la distribución del alimento en los estanques de tilapia. Este prototipo ha sido diseñado con el objetivo de ser una alternativa de menor costo respecto a dispositivos automáticos que se encuentran disponibles en el mercado. Además, se planteó la creación de un dispositivo compacto, fácil de transportar e instalar, que asegure la dosificación alimenticia necesaria para los especímenes de tilapia.

## II. Metodología

Como banco de trabajo, se visitó durante seis meses la granja acuícola “San Buenaventura”, ubicada en el ejido de San Buenaventura, municipio de Manzanillo, Colima, México. En el interior de las instalaciones, se realizaron entrevistas al personal de la granja con el objetivo de conocer el proceso de crianza, engorda y reproducción de tilapia. Se encontró que los tanques de engorda eran los que se beneficiaría en mayor grado en la implementación de un alimentador automatizado. De los estanques disponibles, se eligieron un conjunto de tanques de geometría rectangular, con un área de 12 x 20 metros cuadrados y una altura de 1 metro que suelen albergar alrededor de 360 especímenes. Basado en la experiencia de los acuicultores locales, se estima que se requieren 5 kilogramos diarios de alimento para peces (croqueta marca Pellet Premium), dosificados en aproximadamente 240g cada 45 minutos.

Al determinar las necesidades consideradas como prioritarias por el personal de la granja acuícola, se procedió al diseño del prototipo a través de Solidworks (v. 2012). Este software fue seleccionado debido a su uso frecuente en el diseño de prototipos para el monitoreo de parámetros de calidad de agua en granjas acuícolas en el estado de Colima [11].

Por otro lado, para el diseño externo del dosificador de croquetas se tomó como referencia el alimentador de tipo péndulo y, basado en las desventajas de este dispositivo se realizaron algunas mejoras. Por ejemplo, el diseño de un vehículo con capacidad móvil que permita el desplazamiento a través de travesaños ubicados a 50 cm sobre el tanque de engorda, pudiendo distribuir el alimento con una baja perturbación de la superficie del cuerpo de agua. Referente a la distribución de alimento, se diseñó un tornillo de Arquímedes (también conocido como tornillo sinfín), cuya rotación, impulsada por un motor, permite la dosificación continua de los pellets. El movimiento constante, favorecerá el desplazamiento del alimento en el interior de la tolva y así se evitará aglomeraciones/estancamiento del alimento.

Finalmente, la automatización del sistema de dosificación, se incorporó un microcontrolador de bajo costo, marca Arduino cuya capacidad que puede realizar una serie de instrucciones básicas como: i) definir los tiempos de alimentación de acuerdo a las necesidades del acuicultor, ii) favorecer la dosificación homogénea alrededor de todo el estanque y iii) reducir las perturbaciones en el agua superficial del estanque y así, evitar estrés a las tilapias, así como rutinas más complejas y acoplamiento de más hardware compatible como: sensores, módulos de carga, reguladores, etc. [12].

## III. Resultados

Basado en la información obtenida, se eligió un dispositivo compacto que permitiera dosificar el alimento, de especímenes de tilapia en los tanques de engorda, de forma automática. El diseño y construcción del dispositivo se realizaron en el laboratorio de investigación aplicada e innovación del departamento de Posgrado en el Instituto Tecnológico de Colima, México. A continuación, se describe cada etapa del proceso.

### III.1. Construcción del chasis o vehículo alimentador

Se planteó el diseño de un alimentador móvil que permitiera distribuir las raciones de alimento sin perturbar las condiciones del estanque y que, al no estar en contacto directo con el agua, redujera el riesgo de daño en sus componentes. Así, se optó por un prototipo que pudiera desplazarse a través de un travesaño colocado a unos centímetros de la superficie del estanque de alimentación (Fig. 1).



**Figura 1:** Representación del Estanque en el que se muestra el travesaño sobre el que se desplaza el prototipo, elaboración propia

A partir del diseño en SolidWorks e impresión en PLA, se desarrolló un chasis conformado tres principales elementos: las llantas, la carcasa que protege la mayor parte de los componentes electrónicos y el contenedor de alimento (Fig. 2).



**Figura 2:** Vista en ángulo y lateral de los componentes del chasis, elaboración propia

Se planteó el utilizar un travesaño cuya cara de apoyo tuviera una curvatura positiva, de forma similar a un medio cilindro, pensando en la utilización de un material

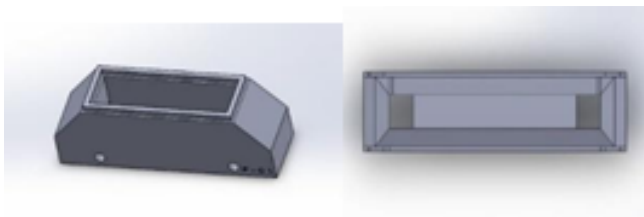
común como tubos de policloruro de vinilo (PVC). Mientras que, las llantas se diseñaron llantas con geometría cónica (Fig. 3).



**Figura 3:** Vista lateral y en ángulo de las llantas del prototipo, elaboración propia.

Esta forma geométrica permite que el alimento suministrado caiga directo al estanque (evitando que los pellets liberados desde el depósito se acumulen en la superficie del travesaño) y, usando las llantas cónicas como complemento, facilita la fijación del prototipo, evitando que este saliera del travesaño.

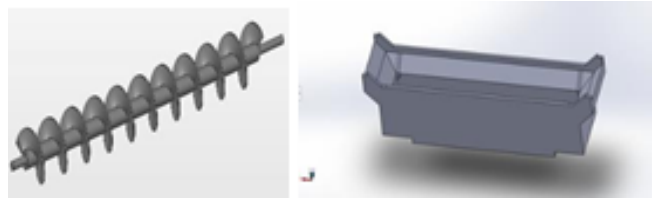
La Fig. 4 muestra la estructura, también construida en PLA, que contiene los componentes electrónicos y mecánicos y, sobre esta, se apoya el contenedor de alimento. La cara superior de este chasis está abierta, permitiendo la manipulación de los componentes electrónicos.



**Figura 4:** Diseño del chasis para la electrónica visto lateralmente (izquierda) y desde arriba (derecha), creación propia.

En la Fig. 4 el contenedor de alimento tiene capacidad para almacenar hasta 600 gramos. La dispersión de la comida se realiza a través de un “tornillo sinfín” que se aloja en el interior del contenedor de alimento. El eje del tornillo está alineado a la dirección longitudinal del contenedor. Uno de los extremos está sujeto a un pequeño servo motor que puede ajustar el sentido de giro del tornillo de acuerdo a su polaridad (la cual dependerá del desplazamiento del prototipo a lo largo del travesaño). En el extremo opuesto, el tornillo está sujeto a un balero que ofrece un punto de apoyo con rotación libre (Fig. 5).

Adicionalmente, la velocidad de dosificación de alimento puede controlarse al regular la velocidad de rotación de un pequeño motor, que tiene por función el desplazar los pellets ubicado en el depósito de almacenamiento y liberarlos sobre la superficie del estanque. La comida que sea desplazada por el tornillo saldrá del chasis por dos pe-



**Figura 5:** Vistas del contenedor para el tornillo dentro del chasis (izquierda) y del tornillo de paso simple usado para desplazar el alimento del contenedor a la superficie del estanque (derecha), elaboración propia.

queñas aberturas en su base, alineadas con los extremos del tornillo.

### III.2. Componentes electrónicos

El prototipo cuenta con tres motores: dos motores reductores de doble eje, tipo I, para el movimiento del vehículo y un motor de corriente directa de 3 a 6 V para la rotación del tornillo sinfín. Un microcontrolador conectado a ambos motores se encarga de su encendido y, en el caso del tornillo sinfín, la regulación de la velocidad de giro.

Se eligió al circuito integrado Atmega328 como microcontrolador. Este fue acoplado a un sistema de almacenamiento de datos con capacidad de 32 KB (ISP) con 1 KB de memoria EEPROM, 2 KB de SRAM, 23 líneas de E/S de propósito general, 32 registros de proceso general, tres temporizadores flexibles/contadores con modo de comparación, interrupciones internas y externas las cuales ayudan a no tener bloqueos por saturación de memorias o demasiado tiempo ejecución.

Para el montaje del microcontrolador se eligió una tarjeta Arduino uno, placa que permite la conexión, adaptación y acoplamiento de pines de entrada y salida y/o componentes electrónicos. Asimismo, se empleó un módulo Xbee para la comunicación con un dispositivo externo (como un teléfono móvil o una computadora personal), permitiendo el encendido, apagado y operación remota (Fig. 6).

### III.3. Programación

Mediante el lenguaje C y compilador de Arduino se programaron las instrucciones para el desplazamiento del prototipo y la rotación del tornillo sinfín, así como para la obtención, procesamiento y almacenamiento de datos. En esta etapa, el lenguaje de alto nivel da instrucciones en código máquina mediante los pines 4-7, enviado señales digitales de ON/OFF. Posteriormente, la señal es recibida al módulo L293D, un puente H de doble entrada y salida, que se encarga de activar los motores. En el caso de los dos motores reductores, la señal será la misma, puesto que cada motor controla el eje frontal o trasero.

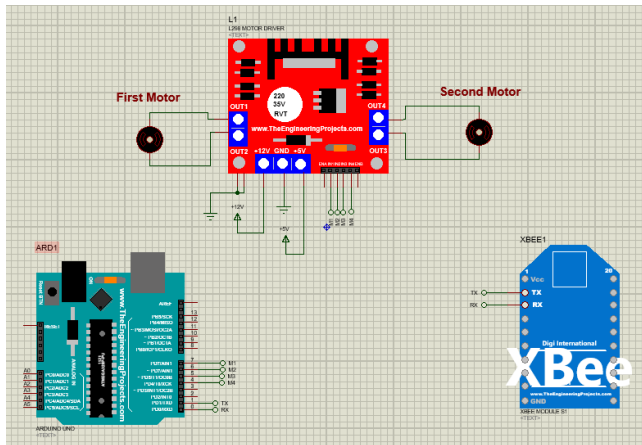


Figura 6: Diagrama de componentes simulados en el software Proteus, elaboración propia.

Al activarse los motores, el prototipo avanza hasta llegar a un cierto punto, marcado ya en la programación con la relación de RPM (Revoluciones Por Minuto) x distancia, en el que se emite una orden de OFF en las entradas del módulo del puente H de ambos motores reductores y se comienza con la etapa de dosificación de alimento mediante el giro del tornillo sinfín colocado en el depósito. Al concluir la dosificación de alimento, se reanuda el desplazamiento del prototipo hasta llegar al extremo opuesto del travesaño. Análogamente, en el trayecto de retorno se invierte el giro de los motores reductores hasta llegar al punto ya programado. Mientras que el motor que acciona al tornillo sinfín, se utiliza el módulo L293D para manipular el cambio de giro, en el cual las entradas estarán conectadas a los pines 4 a 7 de la tarjeta Arduino. La dirección de giro del tornillo puede ajustarse de forma que solo se libere alimento en el extremo contrario a la dirección del movimiento, evitando interferencia con las llantas del prototipo. De igual forma, mediante la programación, se regulan los pulsos que recibe cada motor para poder controlar las RPM sin necesidad de usar transistores adicionales. El suministro energético se realiza a través de un conjunto de baterías, conectadas en paralelo para obtener un mayor desempeño. Ya que el puente H brinda una salida de 12 V, esto permite cumplir con los 5 V que requieren los motoredutores. Asimismo, la salida del puente H, al estar interconectado al puente lógico, permite el disponer de 5V adicionales para activar el motor conectado al tornillo sinfín. Por otra parte, las baterías se cargarán mediante un panel solar de 1 W el cual irá conectado con las pilas para estar en constante carga y así poder seguir laborando durante la noche/madrugada. En la Fig. 7 se muestra el funcionamiento del dispositivo propuesto y etapa de verificación.

El prototipo ensamblado, con los componentes electrónicos ya conectados, se muestra en la Fig. 8. En esta

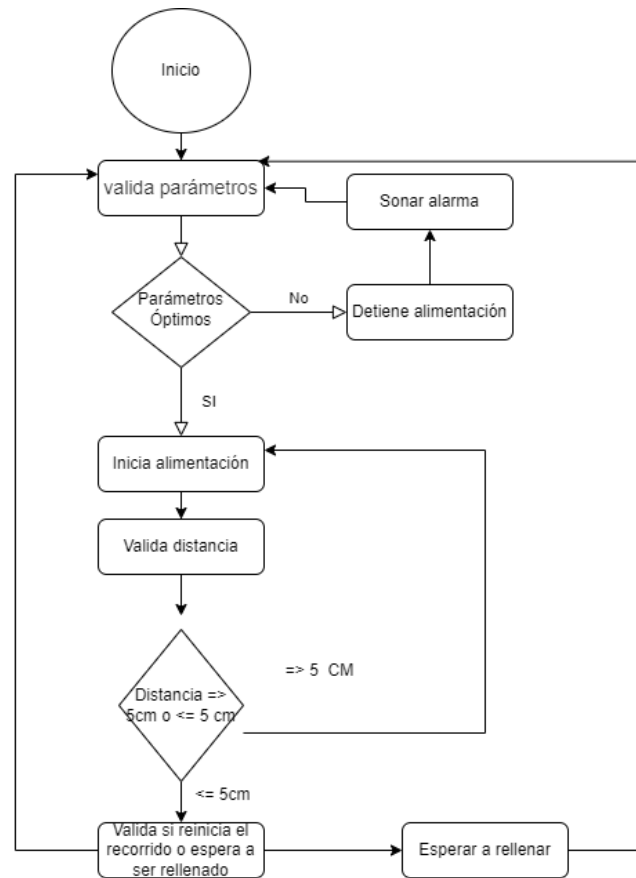
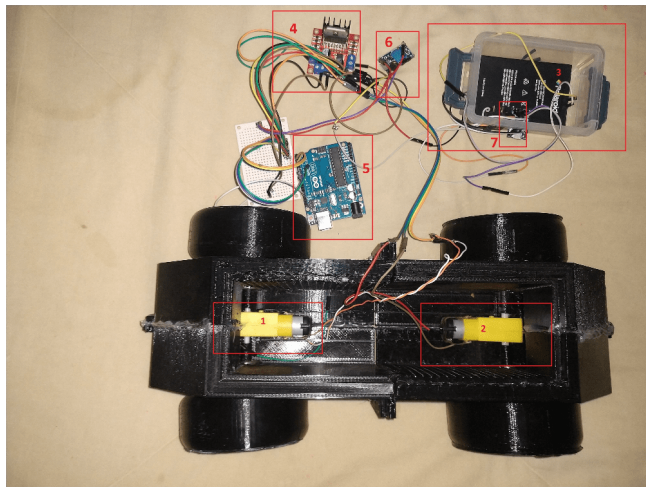


Figura 7: Diagrama de flujo que ilustra las etapas de funcionamiento del prototipo, elaboración propia

figura, los recuadros marcados con los números 1 y 2 muestran los motores reductores. El recuadro marcado con el 3 muestra la batería de celular, de 3.7 V y 2800 mAh, que se utilizó para alimentar al prototipo durante las pruebas realizadas (aunque este mostro una pérdida de energía después de unas pruebas, por lo que se continuó con un eliminador de 12 V a 2 Ah para mantener firme la tensión del voltaje). El recuadro marcado con el número 4 muestra el Puente H L298n, que sirve como controlador para los motores reductores conectados al Arduino (5). El recuadro marcado con el número 6 corresponde al módulo para aumentar el voltaje de salida, alimentado con 3.7 V. En el recuadro marcado con 7 se muestra el módulo cargador para baterías de litio Tp4056 18650, para recargar la batería de celular. Mientras que el sistema de desplazamiento para el servo motor fue codificado en el entorno de programación propio de Arduino.



**Figura 8:** Prototipo en física conexión electrónica, elaboración propia.

La Fig. 9 muestra una parte del código desarrollado bajo el esquema de motor en suspensión y movimiento.

```
static int function3(struct pt *pt)
{
  static unsigned long lastTimeBlink = 0;

  PT_BEGIN(pt);

  lastTimeBlink = millis();
  PT_WAIT_UNTIL(pt, millis() - lastTimeBlink > 5000);
  digitalWrite(in1, HIGH);
  digitalWrite(in2, LOW);
  digitalWrite(in3, HIGH);
  digitalWrite(in4, LOW);
  Serial.println("Motores avanzan.");
  Serial.println("esperaavanzando");

  lastTimeBlink = millis();
  PT_WAIT_UNTIL(pt, millis() - lastTimeBlink > 5000);

  PT_END(pt);
}
```

**Figura 9:** Código para activar el servo motor mientras no está en movimiento.

La Fig. 10 muestra la parte del código que controla la rotación del servomotor, mientras los motores se encuentran en "LOW" (variables in1, in2, ...) lo que equivale a detenerlos. También podemos encontrar en la Fig. 10 dentro de la función de código, la activación del movimiento de las llantas, mientras que el servo motor se mantiene suspendido en un ángulo fijo de 90° lo que equivale a permanecer en reposo.

Finalmente, la incorporación del chasis, elementos mecánicos y eléctricos en conjunto requirieron una inversión de \$1,891.00 pesos mexicanos, aproximadamente \$95 USD, mientras que el diseño, impresión y ensamblado de los componentes que conforman el prototipo requirió cerca de 150 horas hombre.

Con el prototipo ensamblado, se procedió a realizar pruebas sobre el funcionamiento básico. Como primera prueba, se revisó la velocidad de desplazamiento y el

```
static int function1(struct pt *pt)
{
  static unsigned long lastTimeBlink2 = 0;

  PT_BEGIN(pt);

  lastTimeBlink2 = millis();
  Serial.println("espera1");
  PT_WAIT_UNTIL(pt, millis() - lastTimeBlink2 > 10000);

  digitalWrite(in1, LOW);
  digitalWrite(in2, LOW);
  digitalWrite(in3, LOW);
  digitalWrite(in4, LOW);
  Serial.println("Motor stop");
  posser++;
  myservo.write(posser);
  //myservo.writeMicroseconds(1500);

  lastTimeBlink2 = millis();
  PT_WAIT_UNTIL(pt, millis() - lastTimeBlink2 > 11000);
  Serial.println("espera2");
  PT_END(pt);
}
```

**Figura 10:** Función para desplazar el prototipo.

tiempo de carga de batería del prototipo cargado con 380 g de alimento (equivalente al doble de la ración que se suministra a los especímenes por hora). Se encontró que con los 380 g el prototipo tarda cerca de 8 s en recorrer una distancia de 6 m (equivalente a la longitud de los tanques de engorda).

Posteriormente, se procedió a las pruebas para determinar la velocidad de descarga de alimento. Se realizaron 20 pruebas en las que se rellenó el tanque de almacenamiento de comida con 380 g de alimento y se midió el tiempo necesario para que el tornillo sinfín descargara todo el contenido. Se observó que existían pequeñas diferencias en la velocidad de descarga, dependiendo de la dirección de giro del tornillo: cuando el giro era en dirección opuesta al tornillo, el tiempo necesario para descargar el alimento fue de 35.8 s (con una desviación estándar de 8.2 s), mientras que al invertir el sentido el tiempo promedio fue de 41 s (con una desviación estándar de 7.2 s). En cada prueba, una parte de los 380 g no era descargada hacia las salidas del contenedor de alimento. En promedio, esta cantidad corresponde a 40 g (cerca del 11% de contenido total). Las mermas de alimento se producían debido a la diferencia de forma entre las caras internas del contenedor, las cuales forman un perfil rectangular, y el contorno circular del tornillo. A partir de la cantidad efectiva de alimento suministrado (el cual se obtuvo al restar las mermas al contenido inicial), se calculó la velocidad promedio de descarga, medida en gramos por segundo. En las pruebas en las que el alimento era impulsado en dirección contraria al motor, la velocidad de descarga fue de 8.2 g por segundo, mientras que si se invertía el sentido bajaba a 7.2 g

por segundo. Considerando que la carga completa del prototipo para un viaje es de 190 g y que en un viaje se consideran 3 puntos de alimentación, el prototipo tarda, en promedio, 8.2 s en descargar una dosis. Esto unido al tiempo necesario para recorrer los 6 m de los estanques de engorda nos da un tiempo estimado para un viaje de alimentación de alrededor de 40 s. Por lo que se segmentó el proceso de distribución en 3 tiempos, avanzando 66.66 m/s, después haciendo una pausa de 10s en el desplazamiento mientras el contenedor libera un tercio del alimento.

#### IV. Conclusiones

Este trabajo reporta el diseño y construcción de un alimentador automatizado, para el sector acuícola. Este desarrollo tecnológico de bajo costo, respecto a los dispositivos en el mercado, puede ser considerado como una alternativa asequible para los acuicultores artesanales.

La tolva de alimentación permite contener un volumen de croquetas para pez superior a la ración habitual en la granja acuícola "San Buenaventura". Además, la dosificación de alimento puede realizarse de forma automática a través de la rotación de un tornillo sinfín. La rotación de este tornillo desplaza el alimento hacia las salidas del contenedor para caer hacia la superficie del agua.

Como trabajo a futuro, se plantea el rediseño del depósito de alimento para evitar que las croquetas se aglomeren en los vértices interiores de la tolva. También, es necesario identificar un servomotor de bajo consumo energético o bien, incorporar un panel solar que provea una fuente energética alterna de mayor duración. Así mismo, se planea el utilizar las mediciones de ciertos parámetros de calidad del agua para regular la dosificación de alimento, mediante la transmisión de datos en tiempo real del módulo Xbee. Los valores de parámetros como el pH y la temperatura pueden ser empleados para la medición indirecta de la concentración de oxígeno disuelto y de compuestos tóxicos como el amonio total y no-ionizado. Esto permitirá evaluar la calidad de la agua del estanque y potenciales riesgos durante el proceso de engorda del espécimen.

#### Agradecimientos

Los autores de este trabajo quieren agradecer al laboratorio de investigación aplicada e innovación del Instituto Tecnológico de Colima por los recursos y el espacio brindado para el desarrollo de este proyecto.

#### Referencias

- [1] Julia Marisol Murillo Arteaga. «Plan de negocios para la venta de alevines de tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) y tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en la Unidad de Acuicultura Daniel E. Meyer Zamorano, Honduras». En: 2017, págs. 7-8. URL: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5961/1/AGN-2016-T034.pdf>.
- [2] CONAPESCA. «Buenas perspectivas para la exportación de pescados y mariscos mexicanos, al concluir la Seafood Expo Norteamérica: Ciudad de México 2018». En: *Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca*. 2018. URL: <https://www.gob.mx/conapesca/articulos/buenas-perspectivas-para-la-exportacion-de-pescados-y-mariscos-mexicanos-al-concluir-la-seafood-expo-norteamerica-conapesca-151187>.
- [3] CONAPESCA. «Produce acuicultura mexicana más de 400 mil toneladas de pescados y mariscos. Ciudad de México 2018». En: 2018. URL: <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/produce-acuicultura-mexicana-mas-de-400-mil-toneladas-de-pescados-y-mariscos-172466>.
- [4] Germán Muñoz-Córdova. «Food and Agriculture Organization of the United Nations; Beneficios Acuicultura». En: 2020. URL: [https://www.fmvz.unam.mx/fmvz/centros/ceiegt/archivos/Manual\\_Pargo\\_UNAM.pdf](https://www.fmvz.unam.mx/fmvz/centros/ceiegt/archivos/Manual_Pargo_UNAM.pdf).
- [5] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). «El estado mundial de la pesca y acuicultura». En: 2018. URL: [https://www.fmvz.unam.mx/fmvz/centros/ceiegt/archivos/Manual\\_Pargo\\_UNAM.pdf](https://www.fmvz.unam.mx/fmvz/centros/ceiegt/archivos/Manual_Pargo_UNAM.pdf).
- [6] Laura Luchini. «Beneficios Nutricionales y de salud del producto "pescado"». En: 2010. URL: [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/difusion/\\_archivos//000001\\_Material%5C%20institucional/101210\\_Beneficios%5C%20nutricionales%5C%20y%5C%20de%5C%20salud%5C%20del%5C%20producto%5C%20pescado.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/difusion/_archivos//000001_Material%5C%20institucional/101210_Beneficios%5C%20nutricionales%5C%20y%5C%20de%5C%20salud%5C%20del%5C%20producto%5C%20pescado.pdf).
- [7] Alfredo Mena Herrera. «Relación entre la gasometría y las variables productivas de tilapia roja *Oreochromis Niloticus* durante la adaptación y cultivo a diferentes salinidades». En: 2010. URL: [https://sistemas.uco1.mx/tesis\\_posgrado/resumen1588.htm](https://sistemas.uco1.mx/tesis_posgrado/resumen1588.htm).

- [8] Alejandro Navarro Hurtado. «Ensayo de dos modelos depolicultivo empleando Bagre, tilapia híbrida y langostino en estanques semi-gusticos caso Jocotec, Jalisco. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad de Colima». En: 2018. URL: [https://sistemas.ucol.mx/tesis\\_posgrado/resumen1481.htm](https://sistemas.ucol.mx/tesis_posgrado/resumen1481.htm).
- [9] Yang Yi. «A bioenergetics growth model for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) based on limiting nutrients and fish standing crop in fertilized ponds». En: 1998. URL: [https://sistemas.ucol.mx/tesis\\_posgrado/resumen1481.htm](https://sistemas.ucol.mx/tesis_posgrado/resumen1481.htm).
- [10] José Luis Coba Robalino y Bryan Nicolás Hernández Angulo. «Implementación de un sistema autónomo inalámbrico para la alimentación de tilapia, basado en supervisión de variables climáticas y control de calidad de agua». En: 2018. URL: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/209245/1/108T0266.pdf>.
- [11] Genaro Martín Soto Sarazua. «Desarrollo de un sistema de monitorización y control de OD, temperatura y alimentación configurable para cultivo intensivo acuícola». En: 2018. URL: <http://ring.uaq.mx/handle/123456789/557>.
- [12] Sergio Martín Casco. «Raspberry Pi, Arduino y Beaglebone Black Comparación y Aplicaciones». En: 2018. URL: <http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/MiniPCs.pdf>.