

Automatización del proceso del pesaje de animales a través de la implementación del IoT

Luis Miguel Zapata Alvarado¹, José Francisco Hernández Serrano¹, Laura Elena Salcedo Bugarin¹
Julian Ramirez Carrillo¹ y Eloy Contreras de Lira²

¹ Universidad Tecnológica del Estado de Zacatecas, Dirección de Tecnologías de la Información, Carretera Zacatecas - Cd. Cuauhtémoc, KM 5. Ejido Cieneguitas C.P.98601 Guadalupe, Zac., México, lzapata@utzac.edu.mx, jhernandez@utzac.edu.mx, lsalcedo@utzac.edu.mx, jramirez@utzac.edu.mx

² Universidad Tecnológica del Estado de Zacatecas, Dirección de Tecnologías de la Información, Unidad Académica de Pinos, Calle Ayuntamiento s/n Esquina Colón, Colonia Guadalupe C.P. 98920 Pinos, Zac., México, econtrera@utzac.edu.mx

Resumen

En el artículo se presenta lo realizado durante el proceso de desarrollo de un sistema para automatizar el pesaje de ovinos en la empresa agrícola ganadera Rancho Victoria del Estado de Zacatecas, donde con el uso del Internet Of Things [1], se podrá tener en tiempo real la información de existencia, peso actual, reportes del despacho del ganado, y aplicar los datos obtenidos para optimizar recursos, mejorar las condiciones de manejo y evaluar los resultados de producción y financieros.

Palabras clave— Automatización, IoT, Optimización, Procesos.

I. INTRODUCCIÓN

En el año 2018, el propietario de un rancho agrícola ubicado al norte del Estado de Zacatecas, le solicitó a la Universidad Tecnológica del Estado de Zacatecas (UTZAC), que a través de algunos docentes se le pudiera asesorar, para ver la forma en que su empresa pudiera automatizar los procesos más rutinarios que son necesarios realizar en la empresa.

Se acudió a la empresa agrícola para hacer el levantamiento de los requerimientos, una vez que se planteó diversas situaciones que son necesarias atender para agilizar sus actividades cotidianas, se clasificaron por la dificultad que representan en tiempo, costo y número de empleados que se ocupan para realizar cada una de esas tareas, y el que se encontró como de mayor importancia para ser atendido fue el proceso del pesaje de animales. Una vez que se determinó iniciar por atender este proceso, se mostró cómo se realiza dicha faena, se observó el flujo del proceso, los datos que se requiere de cada ovino, lo que batallan los trabajadores para subir a la pesa uno por uno. La frecuencia con la que se realiza el pesaje es semanal y aproximadamente se pesan ochocientas ovejas, que se engordan para su venta ya sea en pie o en canal, de aquí la importancia de pesarlas de una forma adecuada y eficiente para reducir el estrés del ganado y reducir tiempos en los procesos [2].

Con la información obtenida después de realizar cada pesaje, el empresario puede tomar decisiones para cambiar la dieta de los animales, en caso de que no haya incremento de peso; también durante este proceso que se realiza de manera manual los trabajadores detectan enfermedades, a las ovejas que están preñadas o las que son infértiles, para separarlas al corral que les corresponde, vacunarlas y desparasitarlas, entre otras más situaciones que se presentan.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales que se utilizaron para construir el prototipo son los siguientes:

Componentes electrónicos

- Arduino Mega
- Sensor de proximidad impermeable
- Tornillo sin fin 4 hilos
- Mado JOG
- Sistema Motor NEMA 23
- Dos servomotores de torque 20 kg
- Cuatro celdas de carga de 50 kg c/u
- Combinador de Celdas de carga
- Controlador HX711

RFID y tableta electrónica

- Lector RFID UHF IMPINJ R120
- Lector RFID USB-UHF
- Fuente de poder R120
- Antena RFID PN8
- Aretes RFID para ganado
- Tableta electrónica Huawei Y5 2018
- Case uso rudo

Estructuras metálicas (Manga de manejo y báscula)

- Estructura metálica (manga de manejo)
- Placa de acero inoxidable para módulo pesaje

Servicios

- Servidor Web VPS (Hosting)
- Repositorio de datos Firebase

El método seleccionado fue el de la experimentación, a través de la heurística y de estar configurando los parámetros de los motores a prueba y error, hasta que encontramos el balance

adecuado a la velocidad promedio a la que pasan los ovinos por el sistema de pesaje.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

Para dar solución a éste problema de pesaje se pensó en automatizar el proceso utilizando una manga de manejo de ganado tradicional, es decir, la misma que operan de forma manual en el rancho, a la cual se le implementaron diversos sensores y motores eléctricos para su funcionamiento, el sistema se diseñó en cuatro etapas(módulos) que están controladas por una tableta electrónica que tiene cargada una aplicación desde la cual se da inicio al siguiente proceso:

- En la primera etapa, se detecta la presencia del animal por medio de un sensor de movimiento modelo JSN-SR04T de la marca Naylamp, el cual activa un servomotor HD-1235MG Servomotor gigante de la marca Power HD, para abrir la primera puerta(entrada), una vez que pasa el animal se cierra esta primera puerta.
- En la segunda etapa, se realiza la lectura del arete del animal con tecnología Radio Frequency Identification (RFID), para su identificación utilizando un lector LEC.IMP-R420 de la marca Speedway.
- En la tercera etapa, estando el animal sobre una placa con cuatro sensores de peso (galgas) sparkfun modelo hx711, se realiza el pesaje del ovino, los datos se envían a través de la propia tableta electrónica para ser almacenada en un servidor junto con su identificador (ID) del arete.
- En la última etapa, después de realizado el pesaje se activa otro servomotor del mismo modelo y marca mencionados para abrir la puerta de salida, cuando sale el animal se cierra la segunda puerta y se reinicia con el proceso de pesaje.

Para la solución del sistema de automatización del pesaje a través del IoT, se utilizó una base de acero inoxidable, con cuatro sensores de carga o también conocidas como galgas en cada esquina, estos sensores tienen la capacidad de medir hasta 50 kg cada uno, lo cual permite pesar hasta 200 kg, estos componentes envían la información de las medidas de peso a un dispositivo llamado load-cell-amplifier-hx711, que con los parámetros recibidos calcula el peso, para posteriormente ser enviado a una placa de adquisición y control de datos Arduino modelo Mega, la que a su vez enviará el dato a la tableta electrónica Huawei Y5 2018 con sistema operativo windows 10 y por medio de su tarjeta de red inalámbrica, que estará conectada a internet, se subirá a la nube. Simultáneamente se visualizará la información en la pantalla de la tableta y después de este proceso ya se podrá acceder a la información mediante smartphones, tabletas, computadoras de escritorio y portátiles que cuenten con conexión a internet y tengan instalada la aplicación que se desarrolló para la administración del sistema.

Una investigación documental de algunos de los modelos de cajas de pesaje, orientó a tomar la resolución de construir el sistema del prototipo tomando como base del modelo de la que actualmente encontró instalada y que se opera

manualmente sólo ajustando lo necesario para el acoplamiento de los motores de accionamiento y las celdas de carga.

El accionamiento para abrir y cerrar las compuertas en la manga, tomando en cuenta la velocidad de los movimientos de los ovinos y para evitar lesiones por aplastamiento o golpe, se resolvió con mecanismos en base de engranes rectos, sectores de engranaje y cremallera. Y dado el requisito inicial de operar con base en disponibilidad de energía con baterías de 12 Volts, los mecanismos se accionan con motores de Corriente Directa que están controlados en su velocidad y sentido de giro, torque, distancia, potencia y tiempos de accionamiento, por medio de tarjetas de control del ancho de banda de pulsos (PWM).

La solución se valoró sobre otras opciones y se aceptó, pues se evitó conectar, posicionar y dar mantenimiento a los sensores que se utilizarían si se realiza la secuencia con detección de posiciones límite. El enfoque de simplificación al diseño del sistema se aplicó entendiendo las problemáticas derivadas de la solución adoptada, en función de las ventajas de menos elementos expuestos a daño por las condiciones de uso, desajustes y daño por los operadores y apegándose estrictamente al requisito de opción de fuente de energía, y bajo la premisa del interés principal en tener los datos de los pesajes para la gestión del aprovechamiento ganadero. Sin embargo, en el desarrollo del prototipo se deberán valorar las ventajas y problemáticas de las soluciones de los elementos del sistema.

En el prototipo construido se adaptaron los mecanismos de accionamiento con elementos que se seleccionaron por su disponibilidad inmediata, construyendo otros con dimensiones especiales, ensamblando tarjetas con arreglos especiales por razón de disponibilidad de componentes; y se hizo necesario reajustar los parámetros de control de los motores durante las pruebas de operación; pues las estimaciones de velocidad para apertura y cierre de la manga resultaron en una problemática de entrada de dos ovinos, tensión a los mismos y retraso en el pesaje.

Las tarjetas de control para los motores se operan desde el programa establecido en el microprocesador; condición que da estabilidad de la ejecución de la tarea en las condiciones programadas pero que en el proyecto y en la operación continua, en algún momento, presentarán la necesidad de conectar una interface para intervenir en el programa del microprocesador cuando hubiera que reparar o ajustar, con la dificultad relativa de identificar alguna falla y de hacer pruebas de funcionamiento; en los eventos de posible sobrecarga o ajustes de posicionamiento mecánico se puede presentar algunas dificultades para ajustar las condiciones en el programa.

Una vez que se optó por emplear una réplica de la manga de manejo, primeramente se hizo una simulación a través de un software de diseño en donde se colocaron los sensores, los servomotores, luego los engranajes giratorios para mover las puertas. Ya que se analizó y se observó el buen

funcionamiento de la manga en el simulador, se procedió a realizar el armado en físico. Se le montó la báscula y se hizo la conectividad de todas las terminales o conectores a los pines de entrada y de salida del Arduino y se procedió a ponerla en funcionamiento con la tableta.

Luego se realizó un test de recepción de datos de la báscula y también se hicieron las pruebas pertinentes para la apertura y cierre de las puertas para verificar su correcto funcionamiento en las instalaciones de la UTZAC. Después de realizar varias pruebas de cada uno de los elementos que se describieron anteriormente y por separado, se recabaron los datos e información de su funcionamiento correcto en lo individual.

IV. PROTOTIPO

Para inicios del año 2019, al empresario se le presentó el diseño de la solución que se desarrolló y la aceptó, se adquirieron los insumos necesarios para replicar una manga de manejo y sobre ésta se procedió a realizar las adecuaciones y la instalación de los componentes electrónicos necesarios para detectar la presencia de las ovejas, identificar a cada uno de a través de la tecnología RFID, abrir las puertas del módulo donde se pesará al animal, una vez que se toma el peso y se mandan los datos a la nube.

Ahora el empresario tiene en su dispositivo móvil la información a la mano, del número de animales en stock, el porcentaje de incremento del peso en general y en lo individual, sabe cuántos animales están enfermos, cuántas ovejas están preñados, las que son infértiles, con lo que toma decisiones con mayor oportunidad y por lo tanto generando una mayor rentabilidad para su empresa[3].

Durante la instalación y configuración del prototipo, los primeros problemas que se encontraron, fue la velocidad a la que trabajaban los servomotores, ya que abrían muy lento y esto permitía que al momento de abrir la primer puerta de entrada se pasaran más de un animal, ya que estos son muy rápidos al momento de querer avanzar, además de que la puerta abría más de lo requerido, por lo que se configuró con una velocidad más apropiada, para darles mayor rapidez y que la apertura fuera la mínima necesaria para dar paso a una oveja a la vez, también se reprogramaron los servomotores para que el cierre fuese más rápido y detener al ovino que venga en seguida.

Otro de los problemas fue a la hora de que el borrego estaba en la placa de pesaje, lo primero que se tenía que hacer en la calibración en base a un factor de ecuación lineal para tomar el peso de la placa y poder sumarlo al peso del animal por medio de una ecuación polinomial de calibración, por lo cual se tuvo que estar buscando y cambiando algunos datos hasta encontrar los correctos y tener un margen de error de 50 a 100 gramos en el pesaje de cada ovino.

De los cuatro módulos del sistema, el pesaje fue la parte más compleja, dado que detección del animal funcionó a la

primera, del módulo de detección y de lectura RFID sólo se tuvo que ampliar el rango de lectura para que abarcara una distancia de aproximadamente 50 cm y que fuera funcional en el prototipo, el envío de los datos obtenidos en la tarjeta de adquisición de datos y la comunicación con la tableta electrónica trabajaron de forma correcta desde el inicio, así como el envío de datos a la nube, para ser procesados por la aplicación del sistema.

La parte de programación de la pesa se desarrolló en la Integrated Development Environment (IDE) de Arduino y se utilizaron librerías del sensor hx711, que están disponibles de manera libre en internet, para la obtención del peso, primero se tiene que contar con el factor de calibración[4], el cual se baja con un sketch llamado SparkFun_HX711_Calibration, después de haber obtenido el factor de calibración, después entrará en función el método que nos dará un dato tipo float, con la información del peso que se obtuvo de la pesa en kg.

```
#include "HX711.h" //Esta libreria la puedes obtener de https://librariansmanager.com/files/HX711

/*
 Este valor puede variar dependiendo si quieres obtener Libras o Kilogramos
 y lo podras obtener con el SparkFun_HX711_Calibration sketch
 */
#define calibration_factor -7050.0 //se declara la variable de calibration_factor y se le da un valor
#define LOADCELL_DOUT_PIN 3 //Declara el pin 3 con el nombre de LOADCELL_DOUT_PIN
#define LOADCELL_SCK_PIN 2 //Declara el pin 2 con el nombre de LOADCELL_SCK_PIN

HX711 scale; //carga la función scale desde la libreria de HX711

void setup() {
  Serial.begin(9600); //Inicializa el puerto serial
  Serial.println("HX711 Modulo de pesaje"); //Imprime una linea con el nombre del modulo

  scale.begin(LOADCELL_DOUT_PIN, LOADCELL_SCK_PIN); //inicializa los pines 2 y 3
  scale.set_scale(calibration_factor); //carga el valor de calibración en la funcion de set_scale
  scale.tare(); //carga la funcion tare()
}

Serial.println("Leyendo galgas:"); //Imprime un mensaje mientras se obtiene el peso
}

void loop() {
  Serial.print("Peso: ");
  Serial.print(scale.get_units(), 1); //scale.get_units() Nos regresa un float con el valor del peso
  Serial.print(" Kg "); //Imprime la abreviatura Kg, despues del valor que nos devuelve con el peso
  Serial.println(); //Imprime un espacio
}
```

Fig. 1. Sección de código del módulo de pesaje.

Lo que redujo los cálculos matemáticos y físicos que los servomotores de cremallera aplican en cuestión de velocidad, Ec. (1), distancia, torque-potencia, Ec. (2) y el tiempo, Ec. (3) de apertura y cierre de las puertas, que están representadas de las siguientes fórmulas [5]:

$$\text{Velocidad de giro: } n_{in} = \frac{60}{p \cdot z} V_L \quad (1)$$

$$\text{Par de fuerza: } m_{in} = \frac{p \cdot z}{2\pi} \cdot \frac{F_L}{n} \quad (2)$$

Par adicional para aceleración constante (variación de la velocidad Δn_{in} durante el tiempo Δt_a)

$$M_{in,\infty} = \left(J_{in} + J_p + \frac{m_l + m_z}{n} \cdot \frac{p^2 \cdot z^2}{4\pi^2} \right) \cdot \frac{\pi}{30} \cdot \frac{\Delta n_{in}}{\Delta t_a} \quad (3)$$

Holgura error de posición

$$\Delta\varphi_{in} = \Delta S_L \cdot \frac{2\pi}{p \cdot z} \quad (4)$$

Y que en otros lenguajes de programación se tendrían que implementar en varias líneas de código.

En esta etapa de pruebas, se comenzó también con la detección de posibles mejoras en el diseño de la réplica de la manga. Por ejemplo, para apertura de las puertas se tienen varias mejoras que se han implementado en un software de simulación. Dado que las ovejas son muy ágiles, de diferente tamaño, diferente ancho y por supuesto son impredecibles en su manera de actuar al estar sometidas a estrés; son motivos por los cuales se tuvieron que hacer varias pruebas con los sensores de presencia, para que no permitieran que se pasaran más de dos ovejas a la vez; ya que el sistema está programado para que recabe la información de un sólo animal a la vez, y se de lectura de los códigos RFID y la báscula pueda pesarla y enviar los datos del peso al servidor. En sí, como es de imaginarse esta calibración de los sensores, el ajuste de las puertas, la calibración de galgas de la pesa y el envío y recepción de datos requirió de cientos de pruebas para corregir los errores Ec. (4).

Se tuvieron algunos problemas con los sensores de carga (galgas), ya que tienen que calibrarse cada vez que se mueve la manga de manejo animal para que nos arrojen los resultados correctos de los pesajes, ya que como cualquier báscula tiene que estar en una superficie uniforme.

Como todo sistema, es susceptible de mejorarse aún más, sobre todo en la configuración de los motores, para hacerlos funcionar más rápido, también nos faltó hacer pruebas con tecnología neumática, y realizar una comparativa y para determinar cuál de las dos es más eficiente, así como utilizar sensores de pesaje más robustos, más precisos y de esta manera poder realizar un producto comercial que cumpla con las normas que se requieren en México.

En la tabla 1, se muestran los resultados obtenidos, donde se puede apreciar que con el prototipo desarrollado se logró optimizar el proceso y se demuestra que en varios rubros se ahorran recursos.

TABLA I
ESTIMACIÓN DE AHORROS

Concepto	Sin el sistema	Con el sistema
Tiempo	8 horas	1 hora
Trabajadores	4 personas	1 persona
Captura de datos	1 día	En tiempo real
Análisis de la información	Una semana	En tiempo real
Estrés en la ovejas	Mucho	Poco
Calidad de la carne	Regular	Buena

Rubros en los que se optimizaron y se ahorró recursos.

V. CONCLUSIONES

Para el año 2020 se logró realizar las pruebas de campo y se comprobó la funcionalidad y viabilidad del sistema de pesaje

de animales automatizado. Con la implementación de este prototipo, se le dio solución a la detección y lectura del registro de los animales al momento de ser ingresados a la manga de manejo automatizada. Y con los datos obtenidos del pesaje fue posible tener registros de peso y crecimiento de los animales.

La valoración de los criterios para la selección de las celdas de carga se concentró en utilizar los elementos de mayor accesibilidad, disponibilidad y compatibilidad con los elementos que discretizan los datos; por el enfoque de la aplicación del proyecto. Es necesario revalorar la necesidad de una resolución específica y la exactitud del pesaje para la adecuada selección de los elementos de medición y considerar la opción de adaptar sistemas probados en la colección de los datos.

El análisis de la problemática encontrada en el desarrollo del prototipo y las pruebas señalan la necesidad de revisar las opciones de accionamiento con una visión diferente, que permita la conversión rápida de opción manual a automática para el control de acceso a la báscula; verificar el soporte adecuado y protección para las celdas de carga y establecer rutinas de comprobación del pesaje, con opciones simplificadas de ajustar lo necesario; así como la revisión de la accesibilidad a la información registrada, presentación y resguardo de la misma de acuerdo a estándares y requerimientos adicionales que han apuntado los usuarios que han podido ver el funcionamiento del prototipo.

Así como se mencionó anteriormente la importancia de pasar de manera manual a automatizar todo el mecanismo; también es muy conveniente el incluir y acondicionar botones para hacer funcionar de manera manual cada parte de la manga; desde la apertura y cierre de puertas, el correcto funcionamiento de los sensores de presencia y revisar la calibración de la pesa para revisar de vez en cuando que funcionen correctamente cada parte.

Debido a la pandemia se detuvieron los trabajos sobre la segunda versión, de la cual ya se cuenta con un rediseño de la manga de manejo, el cual facilitará la apertura y cierre de las puertas.

También es muy conveniente el cambiar el sistema de control del Arduino a un sistema de control mediante un Controlador Lógico Programable (PLC); recomendable pues la manga de manejo normalmente se requiere que esté a la intemperie (en lugares cálidos, lugares secos, lugares con demasiado polvo, lugar donde el terreno quizá sea inestable, etc.) Y como es bien sabido que los PLC son dispositivos electrónicos de uso rudo[6], así como muy amigables en su programación y adecuación en los sistemas, aparatos, componentes, dispositivos, y demás componentes que se requieren controlar. Por lo cual son una muy buena opción para los sistemas automatizados de uso rudo e industrial.

También hablando de uso rudo en cuestión de apertura y cierre de puertas se puede optar por este mecanismo, el uso de sistemas neumáticos en vez del sistema de engranaje; ya que

son más robustos los pistones que los engranajes. Y a parte los engranes se pueden llenar de polvo entre las estrías y poco a poco se pueden dañar y con el tiempo no abrir o cerrar correctamente. Esto, claro si la manga se encuentra en la intemperie; aunque también este daño de las estrías se puede prevenir con un buen plan de mantenimiento preventivo de limpieza de engranes.

REFERENCIAS

- [1] Madakam, S., Lake, V., Lake, V., & Lake, V. (2015). Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(05), 164.
- [2] Izquierdo, A. C., Lang, C. G. R., Oaxaca, J. A. S., Campos, V. X., Suárez, S. C., Mendoza, M. M., ... & Liera, E. G. (2009). Importancia del bienestar animal en las unidades de producción animal en México. *REDVET. Revista electrónica de Veterinaria*, 10(12).
- [3] Negrete, J. C. (2018). Internet of things in Mexican agriculture; a technology to increase agricultural productivity and reduce rural poverty. *Research and Analysis Journal*, 1(2).
- [4] Alarcón, H. E., & Becerra, L. O. (2016) Aplicación de un diseño ortogonal para la calibración de un conjunto de pesas de 1 kg a 100 g.
- [5] Braun, J. A. U. N. (2013). *Libro de Fórmulas-Maxon Academy*. Sachseln-Suiza: Maxon Academy.
- [6] Pérez, M. R., Mendoza, M. A., Suárez, M. J. (2019). Paradigma IoT: desde su conceptualización hacia su aplicación en la agricultura. *Paradigma*, 40(18).