

DESIGN AND SIMULATION OF AN AUTOMATED PROTOTYPE FOR MANUFACTURING POULTRY FOOD

Fredy Samael Arango Hernandez, Especialista en Instrumentación y Control Industrial¹

Jonathan Mauricio Granados Barrera, Especialista en Instrumentación y Control Industrial²

Javier Eduardo Martínez Baquero, Magister en Tecnología Educativa y Medios Innovadores para la Educación³

¹ *Escuela de Ingeniería, Universidad de los Llanos, Colombia, arangosamael@gmail.com*

² *Escuela de Ingeniería, Universidad de los Llanos, Colombia, ingjmgranados@gmail.com*

³ *Escuela de Ingeniería, Universidad de los Llanos, Colombia, jmartinez@unillanos.edu.co*

Abstract- This article presents the design, programming and simulation of an automated control system for a poultry feed manufacturing prototype; which based on the formulation selected among some previously stored in the system's memory, doses the components exactly, mixes and cooks, besides controlling the different variables that are required in the food manufacturing process; such as percentage of each component, temperature, weight and time; presenting an economic and practical solution for the small producer.

Keywords- Design, manufacturing, simulation, poultry feed, production.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.165>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN PROTOTIPO AUTOMATIZADO PARA FABRICACIÓN DE ALIMENTO AVICOLA

DESIGN AND SIMULATION OF AN AUTOMATED PROTOTYPE FOR MANUFACTURING POULTRY FOOD

Fredy Samael Arango Hernandez, Especialista en Instrumentación y Control Industrial¹

Jonathan Mauricio Granados Barrera, Especialista en Instrumentación y Control Industrial²

Javier Eduardo Martínez Baquero, Magister en Tecnología Educativa y Medios Innovadores para la Educación³

¹ Escuela de Ingeniería, Universidad de los Llanos, Colombia, arangosamael@gmail.com

² Escuela de Ingeniería, Universidad de los Llanos, Colombia, ingjmgranados@gmail.com

³ Escuela de Ingeniería, Universidad de los Llanos, Colombia, jmartinez@unillanos.edu.co

Abstract - En este documento se presenta el diseño, programación y simulación de un sistema de control automatizado para un prototipo de fabricación de alimento avícola; el cual basado en la fórmula seleccionada entre algunas previamente almacenadas en la memoria del sistema, dosifica de manera exacta los componentes, hace el mezclado y cocción, además de controlar las diferentes variables que se requieran en el proceso de la fabricación del alimento; tales como porcentaje de cada componente, temperatura, peso y tiempo; presentando así una solución económica y practica para el pequeño productor.

Palabras clave: Alimento avícola, diseño, fabricación, simulación, producción.

Abstract- This article presents the design, programming and simulation of an automated control system for a poultry feed manufacturing prototype; which based on the formulation selected among some previously stored in the system's memory, doses the components exactly, mixes and cooks, besides controlling the different variables that are required in the food manufacturing process; such as percentage of each component, temperature, weight and time; presenting an economic and practical solution for the small producer.

Keywords- Design, manufacturing, simulation, poultry feed, production.

I. INTRODUCCIÓN

En la pequeña y mediana industria, los procesos de fabricación y empaqueo de alimento por lo general se realizan de manera artesanal, presentando altos costos y baja productividad; una alternativa a lo anterior, es una producción mecanizada o automatizada que aumente la eficiencia de la producción, que al brindar la posibilidad de escoger entre las opciones ya establecidas, mejore la calidad del producto y disminuya las pérdidas propias del proceso evitando que el operario cometa errores en la manipulación de la máquina.

En producción avícola, uno de los rubros más altos está representado en el costo del alimento o concentrado para los animales, esto hace que un pequeño productor vea amenazada su sostenibilidad y competitividad, por lo tanto, en este trabajo, se expone el diseño y simulación de un sistema automatizado de bajo costo que en base a componentes alimenticios los cuales pueden ser cultivados en una pequeña extensión de terreno, se fabrique el alimento requerido buscando sostenibilidad y economía y una producción más orgánica ya que no se hace uso de concentrados o purinas como tal.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.165>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Con este diseño, se busca dar una solución económica y sencilla, donde el usuario que cultive los componentes principales del alimento, pueda efectuar la mezcla y cocción teniendo en cuenta la relación de peso de cada componente respecto a las opciones previamente formulados en la memoria del sistema y que como producto final obtenga el alimento preciso para cada etapa de crecimiento de las aves de corral.

Con respecto al alimento avícola es importante saber que se divide en 3 clases; levante, engorde y ponedoras; todas ellas contienen básicamente los mismos componentes pero en diferente proporción; la variación se tiene en los tipos, en las cantidades y concentraciones de aditivos empleados. Por ejemplo, un alimento para pollos de levante busca que el animal crezca fuerte y sano facilitando su ingesta debido al tamaño del grano y a la digestibilidad, por esto su contenido proteínico debe ser mayor; por el contrario, un alimento para pollos de engorde, busca que el animal gane peso por medio de una mayor conversión de alimento a carne, por lo que su porcentaje en carbohidratos debe ser mayor respecto a la formulación total.

Estas tres formulaciones tienen en común algunos componentes; sin embargo, varían en los aditivos y su porcentaje en peso, como las proteínas incorporadas y en el tamaño del grano elaborado, a continuación se describen sus características:

Maíz

Es muy utilizado en alimentación animal, bien sea solo o como componente de concentrados; por esto, cerca del 40% del maíz producido en los países tropicales está destinado para tal fin, ya que proporciona la más alta tasa de conversión a carne, leche y huevos comparados con otros granos usados para tal fin porque sus contenidos alto en almidón y bajo en fibra hacen que sea una alta fuente de energía para la producción avícola, suplementado con otras fuentes de vitaminas o proteínas [1].

Soja

La soja es una leguminosa especialmente nutritiva porque contiene un elevado porcentaje de proteínas, casi 37 g de proteínas por cada 100 g de soja; es decir, contiene el doble de proteínas que la carne y 4 veces las proteínas de la leche [2].

Otros componentes

Son otros ingredientes del alimento que aportan nutrientes adicionales aparte de los dos principales; tales como vitaminas, fibra, minerales, grasa y otros como antibióticos y medicamentos, aunque estos últimos preferiblemente deben ser naturales, ya que existe una conocida tendencia a que los microorganismos y las enfermedades generen resistencia e inmunidad a los medicamentos [3].

Acero Inoxidable

Por normatividad, los materiales en contacto directo con la fabricación de alimentos y la fabricación de éstos deben ser fabricados en acero inoxidable para evitar su corrosión y posterior contaminación al producto.

Sistemas de control automatizado

Para ahorro de tiempo y costos de producción los ingenieros buscan un sistema automatizado; capaz de reaccionar de forma automática (sin la intervención del operario).

Transductores y sensores

Un transductor es un dispositivo que transforma la energía, Un sensor es un dispositivo que con la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es función de la variable medida. [4][5].

Controlador lógico programable (PLC)

Es un dispositivo electrónico diseñado para controlar procesos de secuencia automatizadas, mediante programas diseñados. Este se utiliza en áreas industriales y comerciales; Su función básica consiste en ser programable, en detectar señales, elaborar y enviar acciones [6]

Protocolos de comunicación

Se necesita un formato de transmisión estándar conocido en la industria como bus de campo para que un proceso sea controlado autónomamente; entre ellos se encuentran los protocolos de comunicación más importantes para la industria, los cuales son 4-20mA-HART, FOUNDATION fieldbus, Profibus DP-PA, Device Net, Modbus, Wireless HART, entre otros [7].

A continuación se tienen las consideraciones propias de diseño del prototipo, se divide en dos componentes, componente mecánico y componente electrónico.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se describen a continuación las etapas llevadas a cabo para el diseño y simulación del prototipo.

Como primera medida se detalla el diseño de los componentes mecánicos.

Tolvas de grano

El prototipo comprende 4 tolvas, maíz, soja, componentes verdes y agua. Se debe tener en cuenta que al tratarse de productos directamente relacionados con alimentación, deben ser construidos con material inerte; siendo acero inoxidable el más adecuado. En la figura 1 se muestra el diseño de las tolvas, el cual facilita el cargue y descargue de los componentes del alimento a elaborar.

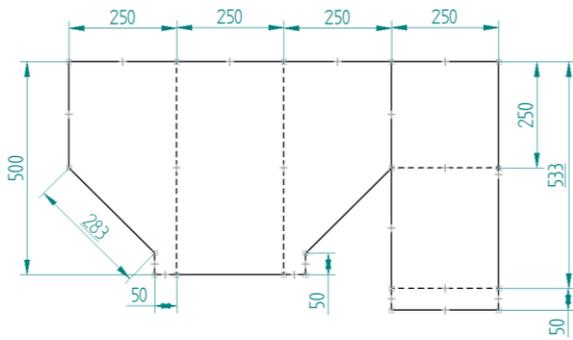


Figura 1. Tolva de grano

A continuación, en la ecuación (1), se realiza el cálculo del volumen de la tolva

$$V = (25\text{cm})^3 + \frac{(25\text{cm})^3}{2} \quad (1)$$

$$V = 23,4 \text{ Litros}$$

En la ecuación (2) se calcula la capacidad en peso aproximada:

$$\text{Cap} = 820 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}} \times 23,4\text{L} \quad (2)$$

$$\text{Cap} = 20\text{kg}$$

Dosificador de tolva

El dosificador se compone por un tornillo sinfín en un canaleta movido por un motorreductor a 12 VDC con alto par y bajas revoluciones, como se observa en la figura 2.

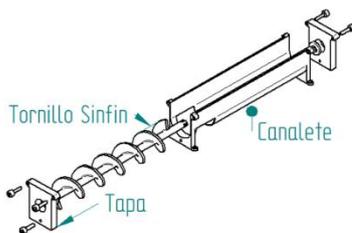


Figura 2. Dosificador de tolva

La capacidad de transporte del dosificador se calcula como se observa en la ecuación (3)

Área de relleno del canaleta: área que ocupa el material a mover:

$$S = \lambda \times \frac{\pi \phi^2}{4} \quad (3)$$

$$S = 0,4 \times \frac{\pi \times 0,057^2}{4} = 0,001\text{m}^2$$

Donde:

S es el área de relleno del transportador, en m^2

ϕ Es el diámetro del canaleta del transportador, en m

λ es el coeficiente de relleno de la sección (0,4 para harinas)

Por otra parte, la velocidad de desplazamiento del transportador, es decir la velocidad con la que se desplaza el material en la dirección longitudinal del eje del tornillo se muestra en la ecuación (4)

$$v = \frac{p \times n}{60} \quad (4)$$

$$v = 0,14 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Donde:

v es la velocidad del transportador, en m/s

p es el paso de la hélice, en m

n es la velocidad de giro en rpm, para el diseño se tomó una velocidad de 150 rpm que es comercial (sobredimensionando los cálculos)

Con respecto al flujo de material, establecido como la capacidad de transporte del conjunto de tornillo sinfín, se debe aplicar la ecuación (5).

$$Q = 3600 \times S \times v \times \rho \times i \quad (5)$$

$$Q \approx 0,42 \frac{\text{Ton}}{\text{h}} \approx 420 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Donde:

Q es el flujo de material transportado, en Ton/h

S es el área de relleno del transportador, en m^2 ,

v es la velocidad de desplazamiento del transportador, en m/s,

ρ es la densidad del material transportado, en t/m^3

i es el coeficiente de disminución del flujo de material debido a la inclinación del transportador, para una inclinación de cero, $i = 1$

De acuerdo a los anteriores cálculos, el transportador sinfín diseñado puede mover 420 kg/hora trabajando de manera continua.

Ahora, la potencia de accionamiento, potencia necesaria para que el transportador pueda cumplir su trabajo, usada para calcular el motorreductor se basa en la ecuación (6)

$$P = P_H + P_N + P_i \quad (6)$$

En donde la potencia para desplazamiento horizontal del material PH se calcula usando la ecuación (7)

$$P_H = c_0 \times \frac{Q \times L}{367} \quad (7)$$

Donde:

Q: es el flujo de material transportado, en t/h

L: longitud del transportador en m

c0: es el coeficiente de resistencia del material transportado, para harinas y productos granulosos es 1,2.

Por lo tanto

$$P_H = 4,5W$$

Para el cálculo de la Potencia para accionamiento del tornillo en vacío PN, se emplea la ecuación (8).

$$P_N = \frac{\emptyset \times L}{20} \quad (8)$$

Donde:

∅ es el diámetro de la sección del canaleta el transportador en m

L es la longitud del transportador, en m

Por lo tanto

$$P_N = 1W$$

Finalmente, la Potencia para accionamiento del tornillo sinfín inclinado, teniendo $P_i = 0$ para este caso:

$$P = 4,5W + 1W + 0 = 5,5W$$

Los cálculos anteriores muestran que se requiere un motor de 5,5 W para mover el sistema; para estos cálculos se debe tener en cuenta el peso del tornillo sinfín como tal y por ende, se debe aumentar la potencia requerida.

Tanque de agua del proceso

La forma del tanque es similar al de las tolvas, para buscar una forma simétrica en el diseño de la máquina; se puede fabricar en lámina de acero inoxidable calibre 16, como se observa en la figura 3.

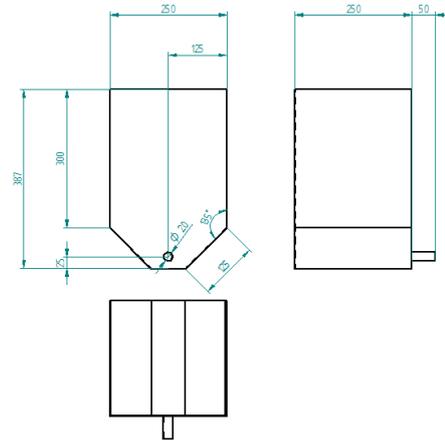


Figura 3. Tanque de agua

A continuación, en la ecuación (9) se realiza el cálculo del volumen del tanque:

$$V = \frac{(38,7 \times 25^2) - (8,7^2 \times 25)}{1000} \approx 22 \text{ Litros} \quad (9)$$

Tolva de pesado

La función de la tolva de pesado consiste en albergar los componentes suministrados por las tolvas anteriores, hasta que alcancen el peso adecuado y una vez que esto ocurra, se abrirá la compuerta que los libera por gravedad a la marmita de mezclado. Se puede fabricar en lámina de acero inoxidable calibre 16.

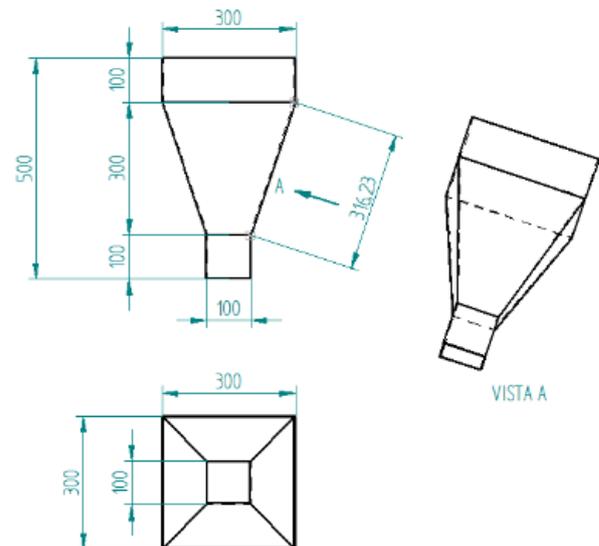


Figura 4. Tolva de pesado

Con los datos de la figura 4, se calcula el volumen con la ecuación (10) y la capacidad en peso de la tolva de pesado con la ecuación (11):

$$V = 25000 \text{ cm}^3 \times \frac{1L}{1000\text{cm}^3} = 25 \text{ Litros} \quad (10)$$

$$Cap = \frac{25L \times 20kg}{23,4L} \approx 21,4 kg \quad (11)$$

En la parte inferior de la tolva de pesado, debe haber una compuerta junto con un sensor de peso, de manera que una vez alcanzado el peso en porcentaje de cada componente a mezclar, esta active y desactive los respectivos motores que muevan los transportadores dosificadores de cada tolva; por último, cuando se han cumplido los ciclos de dosificado, el sensor emite la respectiva señal para que una compuerta tipo persiana o guillotina, sea activada por un actuador y los componentes caigan por gravedad a la marmita.

Marmita de mezclado y cocción

Está se diseña también en acero inoxidable calibre 12, en la figura 5 se puede apreciar la forma, la cual facilita el mezclado y el vaciado de la misma mediante la compuerta inferior; la cual conduce a la siguiente fase del proceso

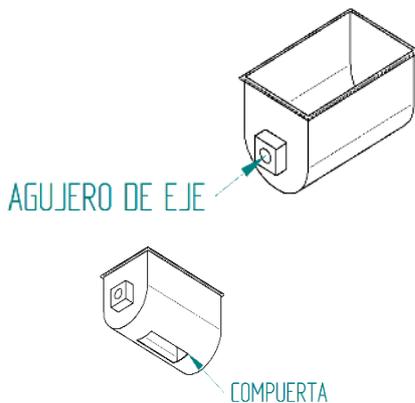


Figura 5. Tolva de mezclado y cocción

Mediante la ecuación (12) se realiza el cálculo del volumen peso de la marmita:

$$V = \left[\frac{\pi \times 15^2}{2} + (20 \times 30) \right] \times 50 \quad (12)$$

$$V = 47,6 \text{ Litros}$$

Según la ecuación anterior, la marmita tendría una capacidad de 47,6 litros, a lo cual hay que descontarle el sistema mezclador; su capacidad en peso se puede utilizar calcular asumiendo que la densidad se ha incrementado a 900 kg/m^3 , de esta manera mediante la ecuación (13) se calcula la capacidad de dicha marmite.

$$Cap = 900 \frac{kg}{m^3} \times \frac{1m^3}{1000L} = 0,9 \frac{kg}{L} \times 47,6L \approx 43 kg \quad (13)$$

$$Cap = \approx 43 kg$$

Método de calentamiento y mezclado de la marmita:

Con respecto al calentamiento, inicialmente el diseño se plantea para que el calor del proceso sea suministrado mediante una resistencia alrededor de la marmita; al no necesitarse un control preciso de temperatura, se puede controlar mediante un comando on/off. Solo se requiere el calor necesario para alcanzar la temperatura de cocción y conformado del producto, aproximadamente 100°C

En relación al sistema de mezclado, se tiene un eje con aspas o paletas enfrentadas, como se muestra en la figura 6, las cuales al moverse mezclan los componentes del producto y en combinación con el calor suministrado por la resistencia, realizan la cocción.

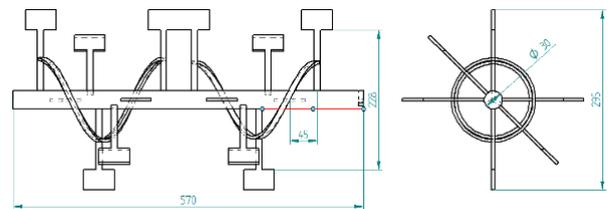


Figura 6. Mezclador de marmite

Sistema de peletizado del alimento elaborado

Consiste en un tornillo sinfín de paso variable, figura 7, que a medida que gira, el avance extruye el producto a través de una rejilla intercambiable para regular el tamaño del pellet, que es una porción de producto elaborado formado por medio de la compresión producida entre el tornillo sinfín y la rejilla de extrusión.

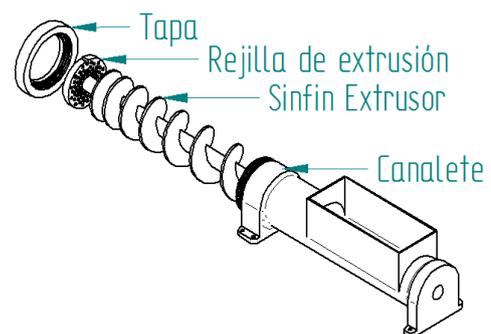


Figura 7. Extrusor peletizador

Bastidor y montaje total

Se puede construir en tubo cuadrado estructural de Acero 1020 o 1040 (Coll Rolled) de $40 \times 40 \times 2$ cubierto por capa de pintura; no es necesario construirlo en acero inoxidable ya que este no está en contacto directo con el producto elaborado. En las figuras 8 y 9, se muestra el armado total del prototipo.

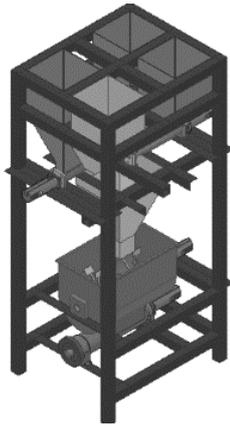


Figura 8. Vista isométrica del bastidor

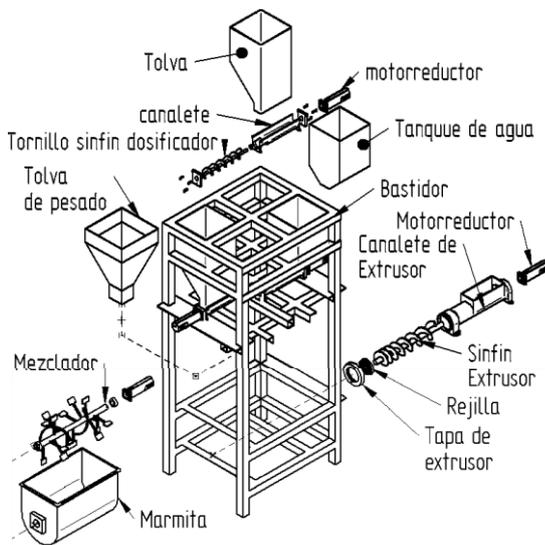


Figura 9. Conjunto armado del prototipo

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Con respecto al diseño mecánico, se encontró que se requiere poca potencia para su funcionamiento; la capacidad de procesamiento al ser de aproximadamente 120 kg/h otorga una buena productividad para una pequeña y hasta mediana empresa dedicada a la crianza de aves de corral; adicionalmente, los componentes le otorgan robustez y versatilidad.

Los requerimientos de potencia calculados indican que se pueden utilizar motorreductores de 12 V DC con alto torque, los cuales comercialmente son más económicos que otros en AC y prestan misma utilidad y bajo consumo.

Es importante tener en cuenta que al estar los componentes más importantes fabricados en acero inoxidable, el prototipo cumple con las normas de

buenas prácticas de manufactura en el segmento de alimentos y por lo tanto, después de hacer ajustes en su funcionamiento puede recibir el aval del Invima y los entes de control para su aplicación.

Programación del prototipo

La programación y simulación se realiza en bloques mediante TIA PORTLAL versión 14.

Cabe decir que para facilitar el trabajo, el programa se realizó en base a 1 kg como unidad a procesar. Inicialmente se diseña la programación correspondiente al arranque y parada del sistema, como se muestra en la figura 10.

Arranque y parada del sistema

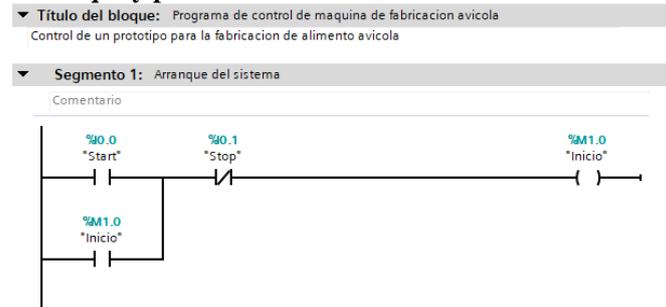


Figura 10. Arranque y parada

Posteriormente, se debe seleccionar el alimento a fabricar, especificando la etapa, como es levante, engorde o ponedoras, como se puede ver en la figura 11.

Selección del tipo de alimento a fabricar.

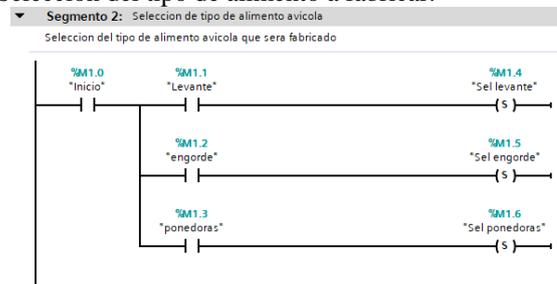


Figura 11. Selección de alimento

Dosificación de los componentes en caso de la selección del alimento de levante, se aprecia en la figura 12.

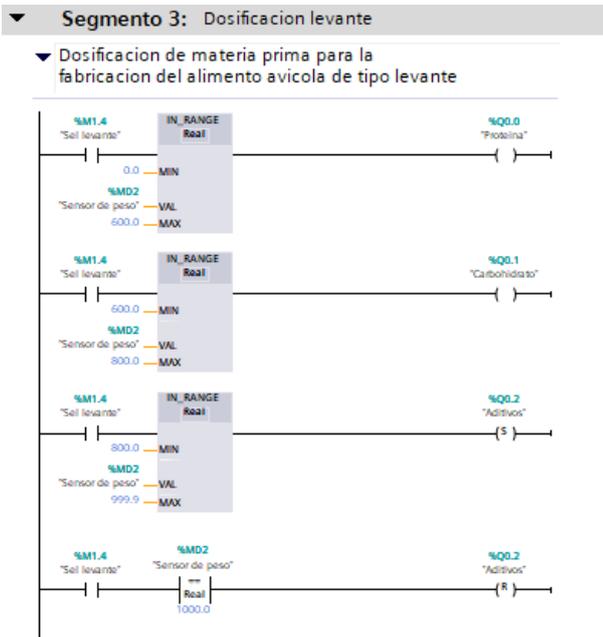


Figura 12. Bloque de dosificación levante

En caso que la dosificación del alimento sea de engorde se realiza la selección de la figura 13.

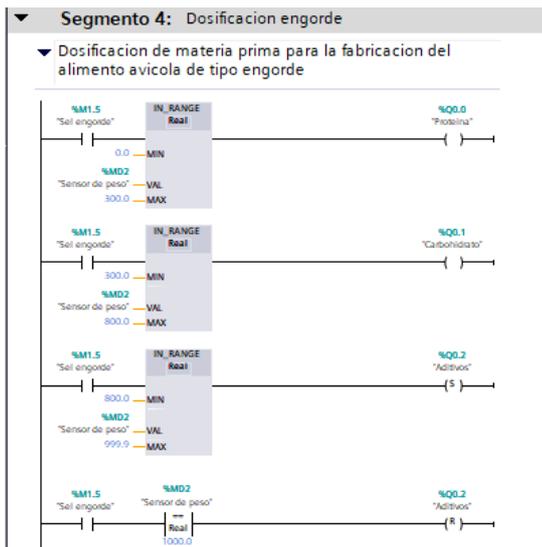


Figura 13. Bloque de dosificación engorde

Finalmente la dosificación de los componentes en caso de la selección del alimento de ponedoras se observa en la figura 14.

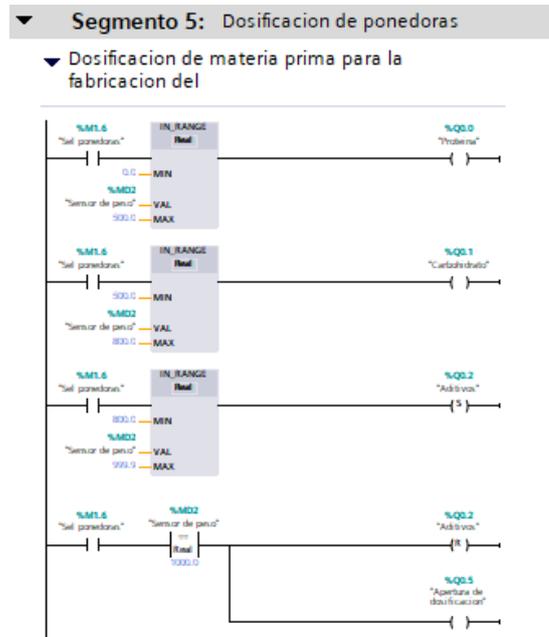


Figura 14. Bloque dosificación ponedora

Uno de los aspectos importantes del proceso hace referencia a la dosificación del agua proceso para cualquiera de las selecciones, lo que se evidencia en la figura 15.

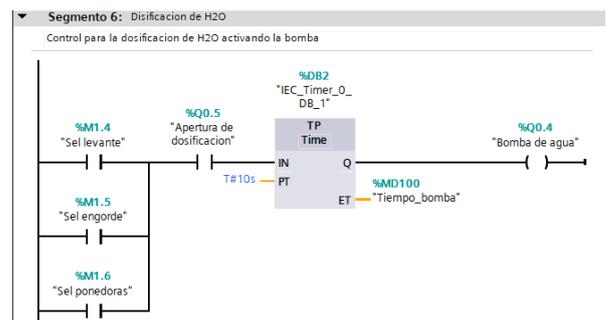


Figura 15. Dosificación agua del proceso

En la figura 16 se presenta el inicio del proceso de mezclado y cocción de los componentes.

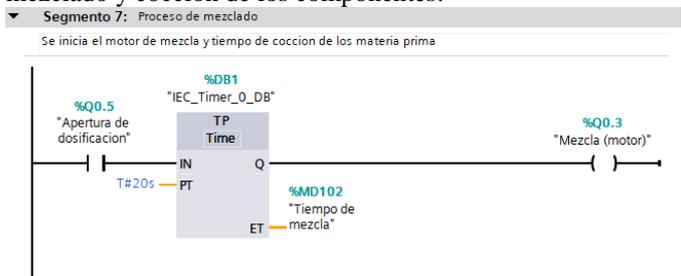


Figura 16. Bloque de mezclado

Con respecto al control de temperatura para la resistencia de la marmita de cocción, se ha seleccionado un control ON/OFF.

La programación establecida permite controlar adecuadamente las variables del proceso y una vez escalado correctamente los sensores, el prototipo puede ser usado por un operario con entrenamiento básico.

Es importante resaltar que el proyecto realizado hasta este momento corresponde al diseño, tanto de los componentes mecánicos como del proceso de selección, mezclado y la interfaz. La etapa siguiente corresponde a la implementación, se pueden ampliar aún más los resultados obtenidos; ya que se tendría datos reales de funcionamiento y esto permite efectuar ajustes.

En el diseño se tuvo en cuenta la seguridad para el operario al dejar las partes móviles ocultas y protegidas evitando así accidentes con consecuencias catastróficas para la empresa.

En las figuras 17 y 18 se muestra la apariencia que tendría el programa para el prototipo en una pantalla HMI

Primero, en la figura 17 se debe seleccionar “Start” y posteriormente, seleccionar el tipo de alimento a elaborar, según la etapa requerida.

En la pantalla HMI también se establece el botón “Stop”, para detener el proceso una vez finalice o en caso de emergencia.

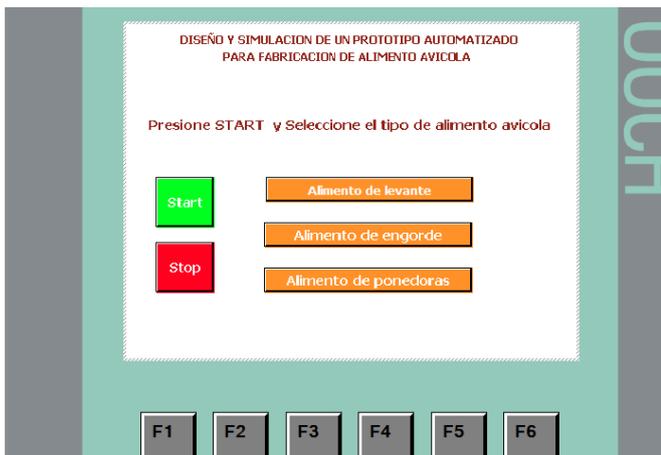


Figura 17. Pantalla inicio
Fuente: Los Autores

En la imagen 18 se presentan las lecturas para el sensor de peso, temperatura y las alarmas visuales para cada uno de los subprocesos.

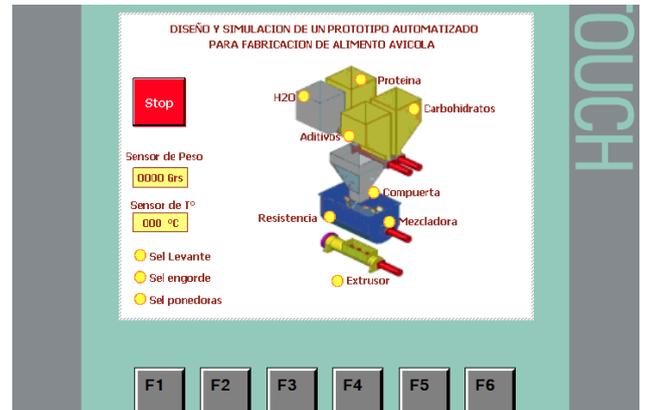


Figura 18 Pantalla variables

CONCLUSIONES

Se debe tener en cuenta que los cálculos realizados son teóricos, basándose en tablas y literatura consultada, por ende, los requerimientos de potencia y los flujos de material se deben ajustar al momento de realizar la implementación, pese a que se trabajó con medidas sobredimensionadas.

Debido a que se planteó un prototipo, el programa es fácilmente modificable y mejorable; cabe anotar que para simplicidad del modelo, se tuvo en cuenta cantidades en base a 1 kg a pesar de que con los cálculos mecánicos se encontró que se pueden procesar cantidades de 0 a 20 kg de alimento por vez.

Como inicialmente se tiene que los componentes del alimento a fabricar están pre molidos, el prototipo se puede mejorar añadiendo una fase de molienda al inicio y una de empaclado al final, automatizando aún más el proceso de producción.

Inicialmente se contempló usar un PLC serie S7 1200; sin embargo, al mejorar el programa se puede utilizar un recurso mejor como el PLC serie S7 1500, un nuevo diseño modular que permite adecuarse a las necesidades de diseño optimizando el uso de los recursos.

El prototipo diseñado es una buena opción para la creación o el mejoramiento de una pequeña empresa agroindustrial dedicada a la crianza y levante de animales de cualquier clase, ya que el diseño al ser versátil permite su adaptación para fabricar alimento para otra clase de animales.

Realizar un buen diseño y simulación, teniendo en cuenta los cálculos constitutivos consignados en el paper para la construcción del prototipo, también se pueden realizar cambios y corregir errores en busca de un mejoramiento continuo.

Este prototipo sirve como base para una automatización mayor de una pequeña industria; con el fin de hacer uso más eficiente de los recursos disponibles, aumentar la producción y hacerla más orgánica y saludable debido a que se puede contar con alimento fresco en cualquier momento, preparando las cantidades, evitando desperdicios y reduciendo el uso de preservantes y conservantes que atenten contra el sabor y el contenido nutricional de la carne del animal alimentado.

Una buena nutrición se logra cuando se unen los elementos necesarios para llenar los requerimientos de las aves teniendo en cuenta la etapa de desarrollo donde se encuentran, ya sea iniciación; crecimiento o finalización. A su vez no solo es importante que una ración lleve todos los ingredientes que el ave necesita sino también la forma en que se use sea la indicada.

También se pueden revisar métodos alternativos para mover los dosificadores; debido a que podría revisarse la relación costo – beneficio de cambiar los motorreductores eléctricos por motores hidráulicos movidos por una sola electrobomba mayor; lo mismo se puede ver en cuanto al calentamiento de la marmita, ya que inicialmente se consideró una resistencia eléctrica como fuente de calor, se tiene la posibilidad de usar quemadores de gas. jmartinez@unillanos.edu.co, reduciendo el costo en cuanto a energía eléctrica.

El diseño del mezclador se puede mejorar investigando más a profundidad en el tema, lo que permitiría un mejor mezclado y homogenización de los componentes procesados

REFERENCIAS

[1] R. Paliwal, G. Granados, H. Lafitte. & A. Violic. *Usos del Maíz*. En el maíz en los trópicos Mejoramiento y producción. Colección FAO: Producción y protección vegetal N° 28 Roma: FAO. 2001. pp 77. Consultado de: <http://www.fao.org/3/x7650s00.htm>

[2] J, Echegaray. *La Soja Integral en la Alimentación Avícola*, Asociación Española de Ciencia Avícola - AECA – WPSA. 2017. Consultado de: https://www.wpsa-aeca.es/aeca_imgs_docs/05_06_51_SojaIntegral.pdf

[3] La Finca de Hoy; Antibióticos naturales en los pollos. 2017. Consultado de: <https://www.pinterest.com.mx/pin/653725702141162095/>

[4] D, Ashlock, A, Warren. *Guía de acondicionamiento de señales para ingenieros*. National Instruments. 2015 Consultado de: <https://www.pinterest.com.mx/pin/653725702141162095/>

[5] R, Pallas. *Sensores y acondicionadores de señal*. 4 ed. España: Marcombo S.A. 2003. pp. 3

[6] M. Pérez. *Autómatas Programables y Sistema de Automatización*. México. Alfaomega. 2010. pp 30-60

[7] D, Riaño. *Estudio sobre integración de redes de instrumentación digitales en sistemas de control para el mejoramiento de procesos industriales*. Bogotá. Universidad EAN. 2010. Consultado en: <https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/328/RianoDiana2010.pdf;jsessionid=4B9E6940119C6C3C37E653F81371C813?sequence=1>

[8] C. Pinto, H. Durán. *Diseño, modelamiento y simulación de maquina dosificadora de alimento granulado para animales*. Universidad de la Salle. 2010. Consultado en: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1077&context=ing_automatizacion

[9] R, Piedrafita Moreno. *Ingeniería de la Automatización Industrial*. México. Alfaomega, 2010. 2da Edición ampliada y actualizada. pp 59-80.

[10] A, Creus. *Instrumentación Industrial*. México. Alfaomega Marcombo. 2011. Octava edición. pp 105-230.

[11] K. Ogata. *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid. Pearson Educación. 2010.

[12]. A. Morales Sánchez. *Instrumentación Básica de Procesos Industriales*. México. International Society of Automation (ISA). 2007.