

CARACTERIZACIÓN DEL HUEVO DE GALLINA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE CLASIFICACIÓN

CHARACTERIZATION OF HEN EGGS FOR THE DESIGNING OF AN AUTOMATIC CLASSIFICATION SYSTEM

Daniel Fernando Velazco Cáceres ¹
María Luisa Pinto Salamanca ²

Recibido: Septiembre 11 de 2012
Aceptado: Diciembre 06 de 2012

Resumen:

Los parámetros que definen la calidad de la producción en el sector avícola se relacionan con las características físicas de los huevos, por lo cual el proceso de clasificación para una empresa productora de huevos resulta crítico porque pueden presentarse pérdidas por fracturas del huevo, errores de pesaje, tiempos excesivos del proceso y escasa accesibilidad a la tecnología local. En el presente estudio se analizaron las características físicas del huevo de gallina para establecer la resistencia a la fractura en condiciones estáticas y dinámicas, así como los parámetros de energía para el posterior diseño de un sistema automático de clasificación para la empresa HUEVOS de Duitama Boyacá. Se encontró la relación entre el peso, el tamaño del huevo, la posición y la resistencia a la compresión del huevo de gallina. Igualmente, se presenta el diseño del sistema de clasificación automática con su control y supervisión. Se encontró que existe una relación directamente proporcional entre la clasificación por peso y el tamaño del huevo de gallina, pero no hay relación entre el tamaño del huevo y la resistencia a la compresión. El sistema mecánico diseñado impide las fracturas de los huevos sanos y el control del sistema automático permite una fácil instalación.

Palabras clave: Huevo de gallina, caracterización, clasificación automática.

Abstract:

The parameters that define the quality of production in the fowl sector are related to the physical characteristics of the eggs, so the classification process for a producer of eggs is critical, for which reason can cause losses because of egg fractures, weighing errors, excessive times for the process and low accessibility in local technology. In the present work, the physical characteristics of hen eggs are analyzed to define the fracture toughness under static and dynamic conditions as well as the energy parameters for the subsequent design of an automatic classification system for the company called HUEVOS located in Duitama Boyacá. The relationship between weight, egg size, position and the compressive strength of hen eggs was found. The design of an automatic classification system and its control and supervision is presented. There is a direct relationship between the classification for weight and size of hen eggs, but no relationship between egg size and compressive strength was found. The mechanical system designed prevents fractures in healthy eggs and the automatic control system allows easy installation in the proposed design.

Key words: Hen eggs, characterization, automatic classification.

¹ Estudiante de Ingeniería Electromecánica. E-mail: daniel.velazco@uptc.edu.co

² Ingeniera Electrónica, Magister en Ingeniería Automatización Industrial. Profesora Escuela de Ingeniería Electromecánica. UPTC. E-mail: marialuisa.pinto@uptc.edu.co

^{1,2} Grupo de Investigación de Energía y Nuevas Tecnologías GENTE. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Facultad Seccional Duitama. Carrera 18 Calle 22, Duitama, Boyacá, Colombia.

1. Introducción

En Colombia la industria avícola gira en torno a tres grandes actividades, las cuales se clasifican como: pollo de engorde, aves ponedoras y aves reproductoras, con una participación porcentual en galpones de 30%, 57% y 13% para cada actividad respectivamente, lo cual hace que la avicultura represente un renglón importante en el sector agropecuario, el cual ha mantenido en los últimos años un crecimiento promedio de 7%. La producción de huevo es el renglón más importante en este sector empresarial impulsando de manera directa dicho crecimiento al presentar un consumo per cápita de huevo en el territorio nacional que ha pasado de 160 en el año 2000 a 214 en el año 2010 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2011).

La ciudad de Duitama no es ajena a ese panorama nacional, contando con un aproximado de 27 galpones, el municipio se convierte en un sector avícola importante destacado en la producción de huevo, según el siguiente estimativo: 20 galpones de baja producción, generando de 1000 a 4000 huevos/día y 7 galpones de media producción, generando de 4000 a 12000 huevos/día (Empresa HUEVOS, 2009).

La empresa HUEVOS posee uno de los mencionados galpones, se encuentra ubicada en el municipio de Duitama, Boyacá, y fue creada en el año 2005 con el apoyo de la fundación San Isidro (Empresa HUEVOS, 2006), para la producción y comercialización de huevos de mesa. En su fase inicial, mantuvo una producción de 300 huevos/día y con el paso del tiempo se ha convertido en una alternativa empresarial sólida, permitiendo la adquisición de sus instalaciones ubicadas en la vereda de Quebrada Becerras (Duitama), y la ampliación de su producción al tener actualmente 4000 aves con una producción diaria de 3785 huevos.

Según la Federación Nacional de Avicultores de Colombia, FENAVI, los huevos se pueden clasificar

en cinco categorías denominadas B, A, AA, AAA y yumbo, según su peso, por lo cual el proceso de clasificación para una empresa productora de huevos resulta crítico.

En la empresa HUEVOS, se llevan a cabo los procesos de alimentación, recolección, limpieza, clasificación, presentación y distribución. Sin embargo, particularmente para el proceso de clasificación se encontró la siguiente problemática:

Fracturas del huevo: ocurren en el transporte del huevo de la cubeta a la balanza digital (gramera) y viceversa, arrojando como pérdidas diarias del producto 10 unidades de huevos diarios.

Errores en la clasificación: se presentan en la estabilidad que tiene la balanza para producir un resultado fijo cuando se pesa el huevo y la lectura subjetiva que haga el operario sobre todo con jornadas extensas en esta labor. Esta falla ocurre con una frecuencia aproximada de 20 huevos mal pesados por día.

Tiempos excesivos de clasificación: lo cual obliga al operario a permanecer de pie y en un único proceso, durante un tiempo considerablemente extenso.

Escasa accesibilidad en la tecnología que presentan los equipos de clasificación producidos internacionalmente y malas experiencias previas con equipos mecánicos de origen nacional.

En el mercado existen varias alternativas para la clasificación de huevo, tanto extranjeras como de origen nacional. A nivel Internacional se encuentran fabricantes como Yemita (2009), que ofrece una clasificadora de gama media con una capacidad de 3600 huevos por hora; Aruas (2011) con una clasificadora de tipo industrial que cuenta con una capacidad de clasificación de 30 cajas por hora con 7 diferentes tamaños y velocidad variable de clasificación; Insavi (2011) con clasificadoras de tipo industrial con una capacidad de 18000 huevos

por hora; Intech (2011) con su máquina que clasifica de 18000 a 144000 huevos por hora; Yamasa (Jat, 2011) es una industria dedicada a la automatización, producción y distribución de productos avícolas, es una multinacional cuya sede principal se ubica en México, ofrece soluciones en la etapa de clasificación de tipo industrial. Por último Moba (2011) que ofrece tres tipos de clasificación automática de 14400 huevos por hora.

En el ámbito nacional las clasificadoras son de menor capacidad y aun no se encuentran de tipo automático. Algunos ejemplos comerciales son: Industrias Armen (2011) dedicada a la avicultura, porcicultura y especies menores, ofrece clasificadoras de tipo mecánico de formato lineal, con cinco tipos de clasificación; Zafiro (2011) que ofrece una máquina de tipo mecánico rotativo que clasifica desde 4200 a 6500 huevos por hora. El modelo 4200 de esta máquina, lo utilizan algunas empresas productoras de huevos en el municipio de Duitama y Santa Rosa De Viterbo.

A pesar de las diferentes alternativas comerciales para la clasificación de huevos, su adquisición no fue viable para la Empresa HUEVOS, por su capacidad de producción, y porque esta buscaba superar los problemas de experiencias previas con otras máquinas clasificadoras, contemplando además alternativas de automatización y supervisión integrables con los otros procesos de la empresa.

Para dar solución a la problemática descrita, se propuso el diseño de una máquina clasificadora de huevos cuyos requerimientos, proceso de diseño y principales resultados se reportan a continuación. Igualmente se realizó la caracterización física de los huevos, a saber: resistencia a la compresión, tamaño del huevo y grosor de corteza y luminosidad, con el fin de utilizar esta información en el dimensionamiento de la máquina propuesta.

2. Materiales y Métodos

2.1 Requerimientos de diseño

Para el diseño del sistema de clasificación se planteó la ejecución de las siguientes etapas: establecer las características de comportamiento mecánico del huevo y las variables específicas del proceso de clasificación; realizar un diseño conceptual del proceso; diseñar el sistema mecánico y el sistema de control automático.

Se determinó como necesidad, el diseño de un producto que clasificará por lo menos 2000 unidades por hora, que generará un conteo electrónico general y por categorías; además, que almacenará información para llevar estadísticas de datos. Así mismo, que tuviera características físicas ligeras y prácticas en cuanto a su operación y mantenimiento; que operara de forma óptima en un área de trabajo de máximo 1.5m x 4m; que ofreciera alternativas de automatización y supervisión para la clasificación de huevos y que, finalmente, controlara la velocidad del sistema y el peso por medio electrónico.

Una vez se plantearon los aspectos generales de operación del sistema de clasificación, se abordó la caracterización del comportamiento mecánico del huevo con el fin de establecer parámetros de funcionamiento seguro de la máquina, como: dimensiones, ángulos de inclinación, potencia, torques, velocidades de desplazamiento, entre otros. Para esto, se determinó la relación entre la clasificación por peso y el tamaño del huevo, su resistencia a la compresión, el grosor de la cáscara y el grosor de la membrana.

Algunos trabajos preliminares ya planteaban resultados útiles para el proyecto. Nedomova et al., (2009) y Coucke et al., (2003) definen las características del huevo en estado estático y dinámico, respectivamente. Perianu et al., (2010)

da a conocer modelos matemáticos que simulan los esfuerzos que sufre el huevo a compresión.

Los resultados propuestos por Nedomova et al., (2009) sugieren que la fuerza de ruptura del huevo y otras magnitudes relacionadas con el daño de la cáscara de huevo (desplazamiento a la ruptura del cascarón, deformación específica, energía absorbida durante la deformación y firmeza) dependen de la orientación de la fuerza de carga durante la compresión de los huevos; que las constantes elásticas son independientes de la forma de huevo; y que existe una mínima tensión de ruptura, la cual es independiente de la geometría, tamaño, grosor de la cáscara del huevo y orientación de la fuerza aplicada, pero probablemente si es dependiente de los materiales con los que está constituida la corteza.

El estudio desarrollado por Coucke et al., (2003) revela que el huevo se puede someter a vibraciones con un ancho de banda de 2 a 7 KHz, rango en el que durante la vibración, la amplitud de la deformación de la cáscara se concentra principalmente cerca de la zona ecuatorial y disminuye hacia los polos del huevo, lo cual explica la diferencia en la rigidez mecánica entre los polos y el ecuador. Debido a la diferencia en la curvatura y el espesor de la cáscara, los polos del huevo son mucho más rígidos que la zona ecuatorial y por lo tanto la deformación en los polos es más pequeña.

Perianu et al., (2010) desarrolló un modelo tridimensional para simular el comportamiento dinámico de la cáscara del huevo y la carga de líquido dentro del mismo. Su objetivo fue analizar los efectos de las variaciones de ciertos parámetros geométricos y materiales del huevo en función de una respuesta estructural por variaciones de frecuencia acústicas. Se encontró que las modificaciones geométricas (grosor de la cáscara, el tamaño del huevo) tenían una influencia considerable sobre la estructura del fluido, pero que en general, las variaciones de las características del material no influyen en el

comportamiento dinámico del huevo.

A pesar de los estudios previos, no se encuentra una caracterización de los huevos de gallina en las condiciones en que son producidos en el entorno regional, por lo cual se plantearon pruebas que permitieran establecer como punto de partida un valor de transferencia energética que pudiera experimentar un huevo si romperse y que comprobaran las conclusiones de otros trabajos útiles para el sistema de clasificación a diseñar.

2.2 Materiales para la caracterización

Para el desarrollo de las pruebas de caracterización, se tomaron 160 huevos del galpón II el cual contaba con 800 gallinas ponedoras de raza Catalana Prat, las cuales presentaban una edad de 55 semanas. Las muestras se tomaron un día después de la postura, previa limpieza y clasificación por parte de la empresa, distribuyéndose de manera equitativa entre las clasificaciones dadas por FENAVI (2011) según el peso del huevo: B (46.0g-52.9g), A (53.0g-59.9g), AA (60.0g-66.9g), AAA (67.0g-77.9g). Estas muestras pasaron por el proceso de verificación en su integridad física lo cual desechó la posibilidad de introducir errores en la medición por fracturas previas.

Para las mediciones se utilizaron los siguientes instrumentos: comparador de carátula con 10 μ m/división, luxómetro 20 lx/división, pie de rey 1mm/división y báscula digital de 1g/división. Adicionalmente se construyó un sistema hidráulico de desplazamiento vertical regulable el cual se muestra en la figura 1 con el propósito de realizar mediciones de la resistencia a la compresión del huevo, cuyas marcas y posiciones se realizaron según la figura 2.

El análisis estadístico se realizó de acuerdo a mediciones muestrales de la media, rango, medidas de dispersión, varianza, desviación estándar e intervalos de confianza.

A través de Solid Edge® St4, se validó el diseño mecánico. Con MPLAB® Ide v8.00 bajo el compilador de Visual Basic: se diseñó el sistema de control automático y con Proteus ISIS 7 Professional se realizaron las simulaciones que

verificaban el comportamiento del sistema. Mediante LabVIEW® 2010 versión de prueba, se diseñó el sistema de supervisión, el cual permitió integrar una interfaz intuitiva tipo SCADA.

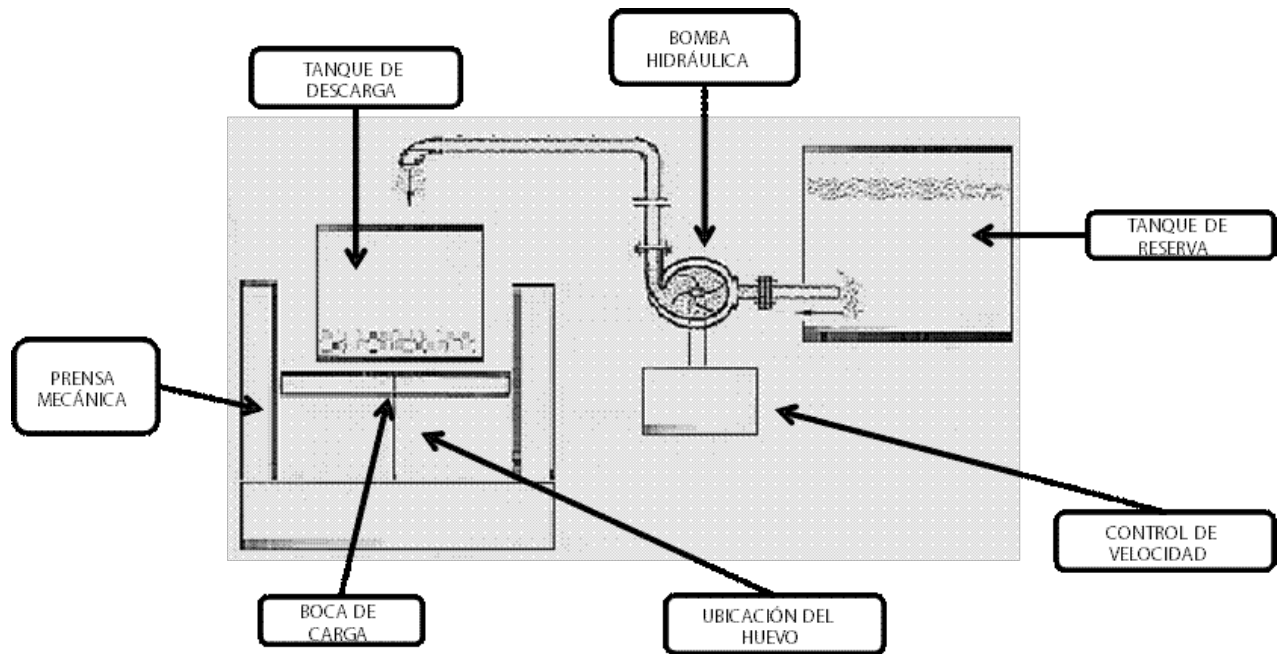


Figura 1. Esquema del sistema hidráulico de desplazamiento vertical regulable

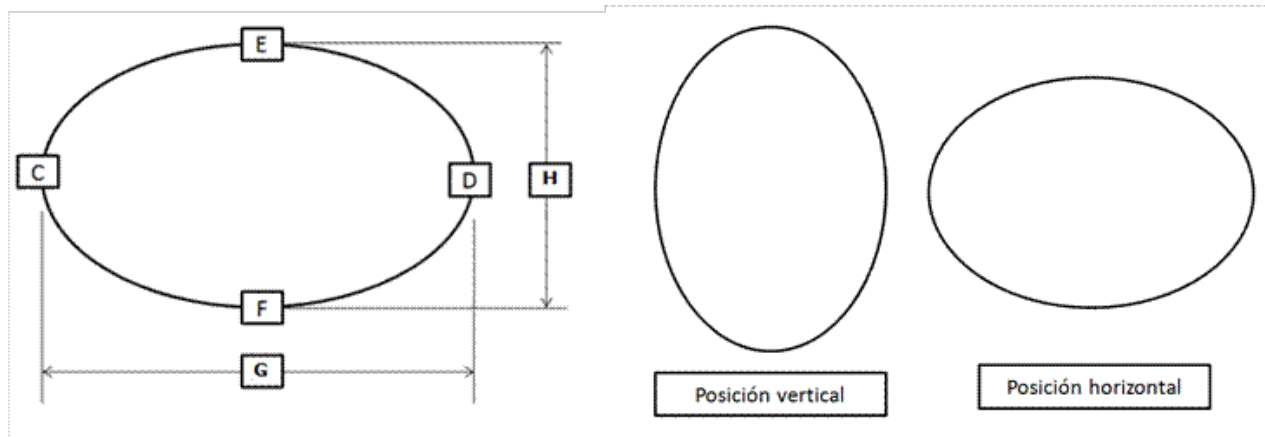


Figura 2. Marcas y Posiciones específicas de compresión del huevo

2.3 Medición de características físicas

Tamaño del huevo y grosor de corteza: El objetivo fue determinar las relaciones existentes entre la clasificación, el tamaño, la resistencia a la fractura, grosor de la cáscara y de la membrana del huevo. Para lograrlo, en cada muestra se midió la distancia G y H, marcando los puntos de contacto C-D-E-F, como se indica en la figura 2.

Luminosidad de la cáscara del huevo: se realizó con el fin de medir los cambios de luminosidad en los extremos C y D del huevo (figura 2); así como para determinar la diferencia de luminosidad que existe en la clasificación (B, A, AA y AAA) y la existencia de relación entre luminosidad y resistencia a la compresión del huevo. Para esto, se construyó con una lámina de triplex de 9mm un recinto cerrado de 17 cm x 16cm x 54cm. En un extremo de dicho recinto se ubicó un foco de luz "sealbeamwagner 5001 12 V 50W luz de alta incandescencia" y en el otro extremo se instaló un escalón de 5cm de altura y 10cm de ancho para soportar una base cónica con radio superior de 4cm en la que se alojaron los huevos como lo muestra la figura 3.



Figura 3. Prueba de luminosidad de la cáscara del huevo

Resistencia compresión del huevo: prueba realizada para medir la deformación del huevo y la carga hidráulica que soporta; determinar la posición del huevo que soporta más carga estática; determinar la energía que puede soportar un huevo antes de fractura. Para lograr esos objetivos, se construyó un sistema hidráulico de desplazamiento vertical regulable, ver figura 1, que consta de los siguientes elementos: una Bomba EW-3T3 WASHER para llenar gradualmente el tanque de descarga; un sistema de control de velocidad por modulación de ancho de pulso PWM para graduar la velocidad del motor DC de la bomba; una báscula digital para medir la diferencia de peso en la bomba hidráulica; una prensa mecánica para deformar el huevo aplicando fuerza de compresión.

3. Resultados y discusión

3.1 Características físicas del huevo

Los resultados de medición de tamaño del huevo se presentan en la tabla 1, la cual evidencia que existe una relación directamente proporcional entre la clasificación por peso y el tamaño del huevo.

TIPO DE HUEVO	PROMEDIO DE DISTANCIA [mm]	
	G	H
B	53,4	42,1
A	55,8	43,3
AA	57,9	44,5
AAA	59,7	45,9

Tabla 1. Característica física del tamaño de huevos según clasificación por peso

Para establecer el grosor de la corteza, se realizaron mediciones directas en los puntos C, D, E y F de las cuales se encontró ningún tipo de relación entre el grosor de corteza ni de membrana con el tamaño o tipo de huevo (B, A, AA y AAA). Con respecto a las características de luminosidad, las mediciones se realizaron en los puntos C y D de la figura 1, en contraste con una fuente de luz. Esto permitió evidenciar que la tonalidad del huevo no

es uniforme destacándose el punto D, ya que por la presencia de una cámara de aire, allí se encuentra un tono más oscuro. Se evidencia una clara relación entre la clasificación y el color del huevo como se describe en la tabla 2, aumentando la luminosidad en ambos extremos a medida que aumenta su peso.

TIPO DE HUEVO	PROMEDIO LUMINOSIDAD [Lx]	
	C	D
B	119,9	115,3
A	141,8	135,8
AA	146,7	139,5
AAA	160,9	148,5

Tabla 2. Característica física de luminosidad.

En la tabla 3 se presentan los resultados de la energía absorbida por el huevo y la deformación experimentada, según la clasificación por peso en la prueba de compresión desarrollada con el huevo en posición vertical y horizontal. Se encuentra que a excepción del huevo tipo B, existe una tendencia a absorber más energía y una menor deformación en posición vertical, por tanto una mejor capacidad para soportar cargas con menor riesgo de quiebre en dicha posición.

TIPO DE HUEVO	PRUEBA HORIZONTAL		PRUEBA VERTICAL	
	ENERGÍA [mJ]	DEFORMACIÓN MÁXIMA [X10µm]	ENERGÍA [mJ]	DEFORMACIÓN MÁXIMA [X10µm]
B	12.252	76	9.025	58
A	8.359	65	10.307	58
AA	8.583	63	9.979	58
AAA	8.712	65	8.840	50

Tabla 3. Energía de absorción y deformación del huevo según su posición

3.2 Diseño mecánico del sistema de clasificación

A partir de las características físicas determinadas para el huevo y de acuerdo con las indicaciones del proceso real de la Empresa Huevo, donde era requerido el sistema de clasificación, se procedió a realizar el diseño mecánico de la máquina, cuyo

resultado se presenta en la figura 4. Se realizó el diseño de ejes, chavetas, anillos de fijación, piñones, engranajes, tornillos, cadenas de rodillos, láminas de soporte y resortes como base para poder comprobar los esfuerzos admisibles observando si las características físicas eran cumplidas con los esfuerzos requeridos, en caso que algún elemento no cumpliera fue necesario modificar las dimensiones o el material propuesto.

El sistema completo está compuesto de algunas partes representativas como: la bandeja entrada de cubetas, la bandeja de huevos clasificados, un eje de entrada, un eje de transmisión principal, un eje de banda de salida, la zona pesado y la zona de clasificación. Para cada una de ellas se realizaron las siguientes pruebas: análisis de fuerzas estáticas, análisis de elementos finitos, y análisis dinámicos para determinar la potencia total del sistema.

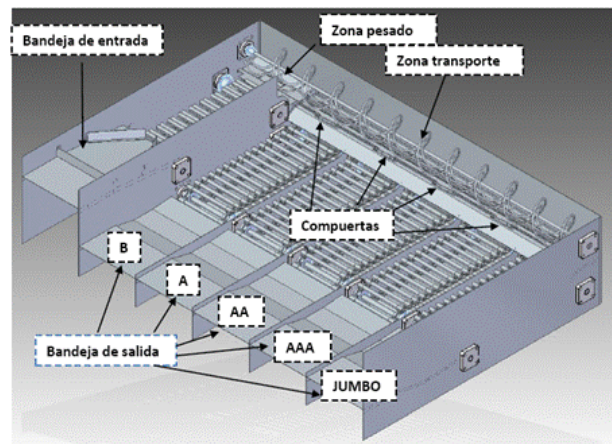


Figura 4. Vista isométrica clasificadora de huevos diseñada

El sistema diseñado presenta una zona especial la cual le permite al operario ubicar la cubeta en la zona de ingreso para luego incorporar las unidades sin clasificar a la bandeja de entrada, esta bandeja surtirá a la banda de entrada, la cual separa y transporta el huevo, de manera individual, a la zona de pesado; allí el huevo hace una pausa de 0.5s aproximadamente, esto permite que la señal en la celda de carga se estabilice para que sea censada en el control del sistema automático.

La selección y distribución de los huevos se realiza después de que el sistema registra y categoriza por peso, esto se lleva a cabo por medio de un sistema helicoidal que permite el movimiento por una serie de rieles y compuertas que aprueban el acceso a la categoría correspondiente. Las compuertas son activadas por medio de un mecanismo de palanca, conectado directamente al solenoide, que la abre o cierra dependiendo de las órdenes del controlador.

La zona de descarga se compone de una serie de bandas transportadoras, las cuales llevan los huevos a la bandeja de descarga. Esta zona también tiene una bandeja en la cual se ubican las cubetas vacías y una bandeja de acopio la cual almacena los huevos clasificados de cada categoría.

En el diseño mecánico por el análisis de elementos finitos, se determinó que el mayor esfuerzo lo realizó el eje de la banda de ingreso el cual se produce en la zona de aplicación de la fuerza. Este cuenta con un factor de seguridad de 1.73 lo cual garantiza que no va a sufrir ninguna fractura trabajando en condiciones normales. El elemento que presenta un mayor número de fuerzas aplicadas es el eje de banda de salida, sin embargo este tiene un factor de seguridad superior a 2 lo que garantiza una buena durabilidad y confiabilidad.

La potencia total del sistema y el torque inicial se calcularon considerando la energía que puede soportar el huevo sin presentar fractura, y un análisis dinámico independiente para la banda de entrada, transportadora helicoidal, y la banda de huevos clasificados. Las características generales de la máquina propuesta se presentan en la tabla 4.

3.3 Diseño del sistema de control y supervisión

El sistema de control partió de la determinación de variables de entrada y salida distribuidas así: 1 sensor de peso para determinar el tipo de huevo a

CARACTERÍSTICA	VALOR
Potencia (Kg ^f *cm)/s	53.905
Torque (Kg ^f *cm)	78.37
Factor de seguridad menor	1.73
Dimensiones (m)	1.3 X 0.4 X 1.8
Ángulo de inclinación máximo en puertas	5°
Volumen de clasificación (huevo/h):	2500
Velocidad de la banda (m/s)	4 – 5
Observaciones:	La parte que sufre mayor desgaste son las cadenas de bandas y eje helicoidal. Los materiales para su construcción son comerciales.

Tabla 4. Características físicas de la máquina de clasificación diseñada

clasificar; 5 sensores de presencia para detectar el movimiento de huevos; 5 actuadores tipo solenoides acoplados mecánicamente a compuertas para desplazar el huevo por una bandeja de salida específicas; un motor para realizar el movimiento de las bandas transportadoras con su respectivo sistema de variación de velocidad; y por último una interfaz de usuario para determinar las condiciones de operación de la máquina.

Se planteó una estrategia de control tipo ON/OFF, que consistió en la activación del motor que controla el movimiento de las bandas y por ende el desplazamiento de huevos, los cuales al pasar por una celda de carga, generaban según su peso, la activación posterior del solenoide correspondiente con una compuerta que lo guiaría por otras bandas hasta una bandeja final, concluyendo así la clasificación.

Para probar el esquema de control propuesto, se diseñó un circuito digital basado en el microcontrolador 18F4550, que permitió integrar una interfaz hombre máquina tipo pantalla LCD y teclado matricial, considerando además una facilidad de implementación futura de la máquina. De otra parte para la configuración y supervisión del proceso, además de la integración de una pantalla LCD, también el control y supervisión a través de un sistema tipo SCADA con las ventajas de la

instrumentación virtual mediante un sistema microprocesado ejecutando una aplicación con Labview, ver figura 5, la cual permite una interacción con el usuario que facilita la comprensión del sistema mecánico y los

actuadores presentes, brindando posibilidades de generación de reportes e historiales del proceso, así como su ampliación futura si mayores cambios de hardware.

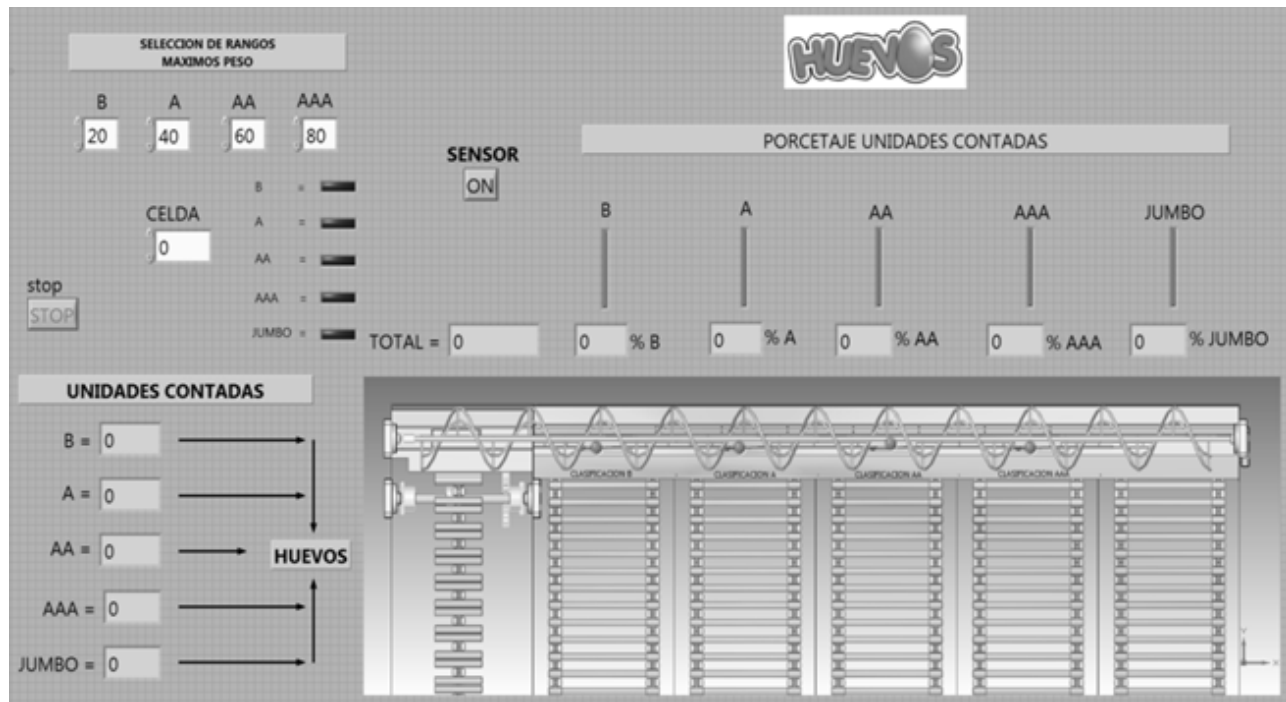


Figura 5. Interfaz de usuario diseñada con labview 2010, versión de prueba.

4. Conclusiones

De las pruebas realizadas para determinar las características de comportamiento mecánico del huevo, se pudo establecer que existe una relación directamente proporcional entre la clasificación por peso y el tamaño del huevo, no encontrándose con ello ninguna relación entre el tamaño ni la resistencia a la compresión; no se evidencia ningún tipo de dependencia entre el grosor de la cáscara, el grosor de la membrana ni el tamaño; finalmente, la correspondencia entre resistencia y grosor de la cáscara o membrana es nula.

El sistema mecánico diseñado previene las

fracturas de los huevos sanos. Además presenta factores de seguridad convenientes que permitirán un funcionamiento adecuado en el tiempo. El control del sistema automático permitirá una fácil instalación y podrá ser utilizado en clasificadoras mecánicas existentes en el mercado.

Se propuso un sistema de control ON/OFF, basado en arquitectura microcontrolada de fácil adaptación a las condiciones del proceso, que puede interactuar con una interfaz de usuario flexible, mediante alternativas de bajo costo por teclado y pantalla LCD; también se tiene la posibilidad de integrar un sistema SCADA, con todas las opciones de flexibilidad y generación de reportes propias de este tipo de herramientas.

Agradecimientos

Este trabajo presenta los resultados del proyecto de investigación: DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL PROCESO DE CLASIFICACIÓN DE HUEVOS PARA LA EMPRESA HUEVOS, código SGI-1006, desarrollado como proyecto de investigación y trabajo de grado en la modalidad de participación activa en grupo de Investigación. Los autores expresan su agradecimiento a la Empresa HUEVOS, al grupo GENTE, al semillero SIDMAC de la escuela de Ingeniería Electromecánica y al Centro de Investigaciones y formación avanzada de Duitama, CIFAD, de la UPTC por la colaboración brindada durante el año 2012.

Referencias

- Aruas. (2009). Clasificadora de Huevos, extraído el 29 de agosto de 2011 de <http://www.aruas.com/clasificadora.html>.
- Coucke P., De Ketelaere B., De Baerdemaeker J. (2003). Experimental analysis of the dynamic, mechanical behavior of a chicken egg. *Journal of Sound and Vibration* 266 (2003) 711–721. Extraído el 3 de Mayo de 2012 de www.elsevier.com/locate/jsvi.
- Clasificadora de huevos© Yemita. (2011). Extraído el 29 de agosto del 2011 de <http://www.clasificadordehuevos.com>.
- Federación Nacional de Avicultores de Colombia - Fondo Nacional Avícola FENAVI (2011). El Huevo Estrena Peso. Extraído el 10 de noviembre de 2011 de www.fenavi.org/index.php?option=com_content&view=article&id=2197&Itemid=1200.
- Empresa HUEVOS. (2006). Historia, Documento empresarial, 5 de Septiembre 2006.
- Empresa HUEVOS. (2009). Investigación de Mercado Sector Tundama, Documento empresarial, 10 de Octubre 2009.
- Industrias Armem. (2011). Características especiales de la clasificadora de huevo. Extraído el 29 de agosto del 2011 de <http://www.industriasarmem.com/avicultura.html>.
- Insavi (2011). Recolección de huevos. Extraído el 31 de agosto del 2011 de <http://www.insavi.com/productosficha.php?productoID=11&familialID=6>.
- Intech (2011). Clasificadoras. Extraído el 29 de agosto del 2011 de <http://www.intechllc.net/clasificadoras.html>.
- Jat (2011). Productos - rastro comercial. Extraído el 29 de agosto del 2011 de <http://www.jat.com.mx/web2/>.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2011). Cadena de Avicultura. Extraído el 15 de agosto del 2011 de http://www.minagricultura.gov.co/02componentes/06com_01b_cadenas.aspx.
- Moba (2011). Empacadoras manuales. Extraído el 29 de agosto del 2011 de <http://spanish.moba.nl/page/6178.htm> y <http://duitama.olx.com.co/clasificadora-de-huevos-holandesa-iid-116804807>.
- Nedomova S., Severa L., Buchar J. (2009). Influence of hen egg shape on eggshell compressive strength. *Int. Agrophysics*, 2009, 23, 249-256.

Perianu C., De Ketelaere B., Pluymers B., Desmet W., DeBaerdemaeker J., Decuypere E. (2010). Finite element approach for simulating the dynamicmechanical behaviour of a chicken egg. *Biosystems engineering* 106 (2010) 79-85. Extraído el 17 de enero de 2012 de www.elsevier.com/locate/issn/15375110.

Zafiro (2011). Clasificadora Circular Zafiro 4200. Extraído el 31 de agosto del 2011 de <http://www.lasamarillas.net/empresas/Bogota/MaquinasClasificadorasZafiro.asp>.