

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA:**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**Tema:**

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA INCUBADORA DE HUEVOS PARA UNA  
PROCESADORA DE POLLOS EN EL TENA.**

**AUTOR:**

**BYRON ANDRES ERAZO ERAZO**

**DOCENTE TUTOR:**

**REINA GUZMAN WASHINGTON SALVATORE**

**Quito, Julio del 2016**

## Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1.....	3
1.1 Incubación.....	3
1.1.1 Proceso de incubación.....	3
1.1.2 Incubación natural.....	4
1.1.3 Incubación artificial.....	4
1.1.3.1 Incubadoras automáticas.....	5
1.1.3.2 Incubadoras manuales.....	5
1.2 Desarrollo de incubación.....	6
1.3 Condición de fertilidad del huevo.....	8
1.3.1 Selección del huevo.....	8
1.3.2 Prevención de enfermedades.....	9
1.3.3 Periodo de almacenamiento.....	10
Capítulo II.....	13
2.1 Condiciones ergonómicas del huevo.....	13
2.2 Análisis estático.....	14
2.3 Análisis dinámico.....	16
2.4 Diseño de parrilla de maples.....	20
2.5 Cálculo de resorte.....	23
2.6 Transmisión del mecanismo.....	26

2.6.1 motor .....	26
2.6.2 Diseño de transmisión .....	28
2.6.3 Primera banda de transmisión.....	29
2.6.4 Selección del reductor de velocidades.....	33
2.6.5 Segunda banda de transmisión.....	33
2.7 Calculo de eje.....	37
2.8 Automatización .....	40
Capítulo III.....	42
3.1 Análisis de transferencia de calor .....	42
3.2 Perdidas de calor.....	49
3.3 Diseño de la niquelina eléctrica .....	53
Capítulo IV.....	56
4.1 Simulación de la incubadora.....	56
4.1.1 Modelado por convección .....	56
4.2 Análisis de resultados .....	59

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Byron Andrés Erazo Erazo, con documento de identificación N° 2100292347, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: "Diseño y simulación de una incubadora de huevos para una procesadora de pollos en el Tena", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: *Byron Andres Erazo Erazo*

Cedula: *2100292347*

Fecha: *02 de Agosto del 2016*

DECLARACIÓN DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el proyecto técnico, Diseño y simulación de una incubadora de huevos para una procesadora de pollos en el Tena, realizado por el estudiante Byron Andrés Erazo Erazo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, agosto del 2016



Reina Guzman Washington Salvatore

CI: 1712766904.

## Resumen

Este trabajo está enfocado a las necesidades que presenta una productora de pollos en la ciudad del Tena. También se ha enfocado para los productores pequeños y medianos del país ya que se comprende parte del mercado, y en cierta forma se conoce que el comercio aviar es su principal fuente de sustento para muchas familias ecuatorianas, y con este trabajo existe la posibilidad de aumentar ganancias y ahorrar dinero, por este motivo el diseño presentado en esta tesis está dentro del presupuesto de un productor pequeño y su diseño puede cambiarse para aumentar el número de huevos incubados según las necesidades del productor conservando los mismos fundamentos de diseño.

En nuestro medio existe una producción de pollo para la mesa bastante alta en comparación de nuestro número de habitantes, y su precio final al público es bastante bajo, lo que al productor le perjudica comprar el polluelo tierno a un precio considerable cuando se puede incubar y tener un ahorro del 40%, algunos productores tratan de crear sus propias incubadoras de forma empírica lo que en muchas ocasiones fracasan. Por lo que este trabajo puede ser una guía de diseño para crear incubadoras con materiales y accesorios que se puede encontrar en nuestro medio. Se ha mantenido un orden de diseño, desde el diseño de sus componentes más básicos, hasta los posibles accesorios de cierta forma complejos que son adquiribles, y se aprovechado las herramientas actuales de simulación en métodos de elementos finitos para asegurar que el resultado final sea correcto y que en la práctica sea posible obtener una incubación exitosa.

**Palabras clave:** Transferencia de calor, avicultura, agroindustria, incubación, convección, elementos finitos.

## **Abstract**

This thesis was designed to satisfy some needs by producer of chickens in the city of Tena. Also it was in designed like a commercial product, for the smalls producers since their jobs represents a livelihood of many families. This work will be useful to this people to save money and its was make it within reach of every pocket. Some people built incubators empirical form without acceptable results, this project will contribute to find successful incubation whit application of engineer concepts using some tools like software's whit finites elements to guaranty a successful incubation consider that all process begins whit storage of eggs. It was designed to find all components in our markets and build it in a simple form. It was designed for tropical weather where we can find high humidity and it does not need external systems. It has to simplify the process and make it easier to the operator. It was thinking about chickens of home food, but it can work to incubate another kind of birds like turkeys and turtledoves. It make a process more competitive in different kind of markets.

**Keywords:** heath transfer, chicken farming, agroindustry, incubation, convection, finite elements.



## **Introducción**

Se puede definir como incubación al proceso de transición que atraviesa el huevo hasta el nacimiento del polluelo, debido a la transferencia de una fuente de calor ya sea de forma natural de un ave adulta o de forma artificial como la de una incubadora. No es necesario mencionar cuál de los dos métodos es más adecuado para la evolución del embrión, pero si es conocido que el método más eficaz para la explotación dentro de la industria avícola es el método artificial, con el uso de las incubadoras las cuales proporcionan ciertas ventajas favorables para el avicultor de todo tipo. Hace falta mencionar que existen varios métodos para obtener el máximo de la explotación avícola y que cada día se experimenta para lograr un desarrollo aún mejor, aunque el propósito de este trabajo es dar a conocer un diseño apto de una incubadora, es muy necesario conocer de igual manera todo el proceso de incubación al detalle, por el motivo que existen factores que influyen directamente con el desarrollo del embrión y existe el riesgo del fracaso incluso con el correcto funcionamiento de la incubadora. Se debe tener cuidado desde el desarrollo del huevo fértil manteniendo una rigurosa nutrición de los reproductores, hasta el almacenaje del huevo, bajo condiciones de humedad y temperaturas necesarias antes de ingresar a una incubadora. (Loidi, 1950)

En el Ecuador existe una producción anual promedio de 40 millones de pollos para el consumo en los hogares, este nivel de producción es equiparable con países de mayor población en Sudamérica, sin embargo, muy pocos productores dentro del campo aviar incuban sus propios polluelos por falta de recursos para importar incubadoras de marcas, o fabrican sus propias incubadoras manuales sin tener el conocimiento necesario para

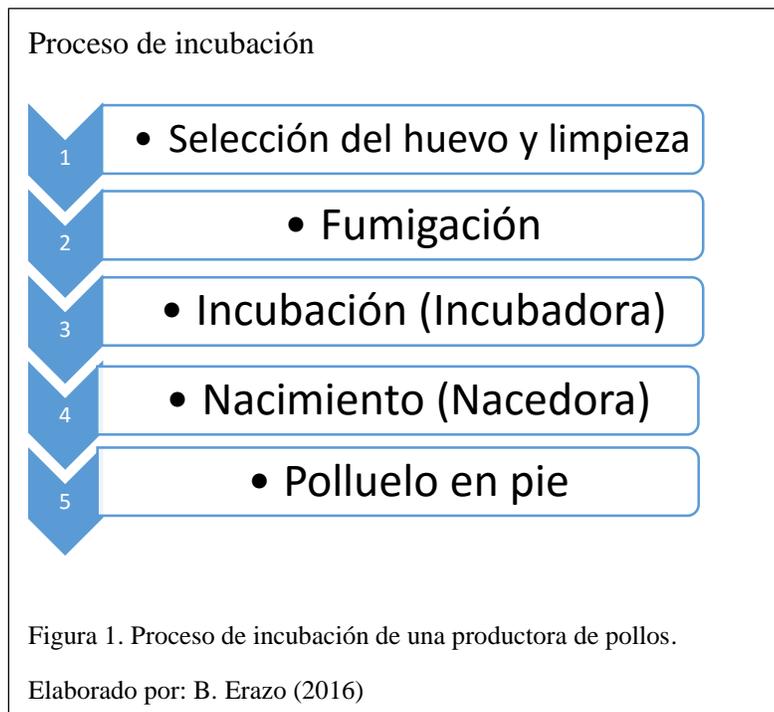
tener éxito. Con este trabajo se trata de ayudar en la economía del productor avícola y de crear un mercado de incubación competitivo en nuestro país. Aunque existe la demanda necesaria para satisfacer el mercado de polluelos de criadero, es muy necesario para el avicultor incubar sus propios polluelos, ya que se trata de una ganancia monetaria importante ya sea un productor pequeño o grande, es más probable obtener éxito dentro de la agroindustria involucrándose más en el proceso, y si existe la posibilidad de producir sus propios huevos, el desarrollo del productor avícola sería completo. Aunque para algunos productores el método de incubación es muy conocido, no logran una incubación exitosa y no es por falta de interés sino porque carecen de conocimientos técnicos como para fabricar sus propias incubadoras, y cometen errores teóricos que están fuera de su campo laboral. Por este motivo se presenta el siguiente trabajo de tesis con ciertos detalles que se considera que no están sobrando en el conocimiento del tema y que pueden aportar mucho en la práctica. (ESPAC, 2011)

## Capítulo 1

### 1.1 Incubación

#### 1.1.1 Proceso de incubación.

Este proceso inicia seleccionando el huevo para incubación y se procede a ubicarlo en las cubetas dentro de la incubadora, el proceso consta de simular las condiciones óptimas ergonómicas y ambientales como temperatura y humedad que se da en condiciones naturales. Este proceso demora más de 21 días, desde el ingreso del huevo tratado o limpio a las incubadoras, para después pasar a una nacedora los últimos 3 días y por ultimo tener el polluelo en pie (El Sitio Avícola, 2014).



Como se muestra en la figura 1, el proceso de incubación inicia desde la selección y limpieza del huevo hasta obtener el polluelo en pie.

### **1.1.2 Incubación natural.**

La incubación natural depende en gran parte del ave que empolla el huevo, en su mayoría las aves son buenas madres, pero existen excepciones, por lo que se requiere hacer pruebas iniciales de la conducta del ave antes de asignarle una cantidad determinada de huevos a incubar. Existen aves de gran tamaño que pueden incubar hasta 20 huevos y otras más pequeñas que tan solo pueden con 10, esto depende de la raza del ave ya que el tamaño del huevo estará determinado en pesos entre 56 gramos y 65 gramos independiente de su raza.

El nido deberá ubicarse en lugares carentes de luz, si el nido se encuentra en galpones se requiere que este a una altura de 20 cm para que el avicultor pueda rociar agua debajo de él y así controlar la humedad necesaria, también se puede ubicarse en tierra húmeda haciendo pequeños hoyos y recubriendo con paja seca. El nido debe fumigarse para controlar piojos, ácaros u otros parásitos que pueden dañar a las aves incubadoras. Se tiene que tener un cuidado riguroso de las aves incubadoras ya que estas emplean todo su tiempo en la incubación y algunas no se alimentan correctamente. (Loidi, 1950)

### **1.1.3 Incubación artificial.**

La principal función en la incubación artificial es evitar la intervención de las aves incubadoras en el proceso ya que estas requieren un espacio mucho más amplio que la de una incubadora, necesitan de atenciones especiales y además de alimentación que representa un costo, requieren tiempo de trabajo dentro de la

procesadora. Las incubadoras son máquinas que simulan condiciones ergonómicas y ambientales que necesita el huevo para su desarrollo, existen algunos tipos de estas máquinas según el presupuesto y cantidad de huevos que el avicultor disponga. Entre estos tipos existen las incubadoras manuales y automáticas.

#### **1.1.3.1 Incubadoras automáticas.**

Como dice su nombre las incubadoras automáticas realizan todo su trabajo sin la necesidad de intervención del operario, el cual se limita a supervisar el funcionamiento y que la maquina este adecuadamente abastecida de recursos necesarios. Estas máquinas manejan cantidades medianas a grandes de huevos, y pueden tener tamaños desde una cabina pequeña hasta cuartos enteros ambientados para la incubación. (Tienda Ganadera, 2011)

#### **1.1.3.2 Incubadoras manuales.**

Este tipo de máquinas necesitan de un operario, que este constantemente cambiando la posición de los huevos para dar las condiciones ergonómicas, este proceso generalmente se realiza 2 veces al día en este tipo de máquinas, teniendo en cuenta que lo óptimo es hacerlo cada 2 horas pero esta condición se limita al tiempo que disponga el operario. Estas máquinas utilizan focos incandescentes o niquelinas para mantener la temperatura necesaria, la cual en general mantiene una mala distribución de calor dentro de la incubadora. Las incubadoras manuales laboran con cantidades bajo los 200 o 300 huevos. (Tienda Ganadera, 2011)

## 1.2 Desarrollo de incubación.

El periodo de incubación es de 21 días para pollos, en este periodo el embrión se desarrolla de acuerdo al tamaño del huevo por lo que inicialmente se aclaró el peso del huevo a seleccionar para que este no sea mayor al necesario. Los últimos 3 días se reduce la temperatura de la incubadora y se interrumpe el movimiento de la incubadora o simplemente se hace paso a una nacedora de pollos. (El Sitio Avícola, 2014)

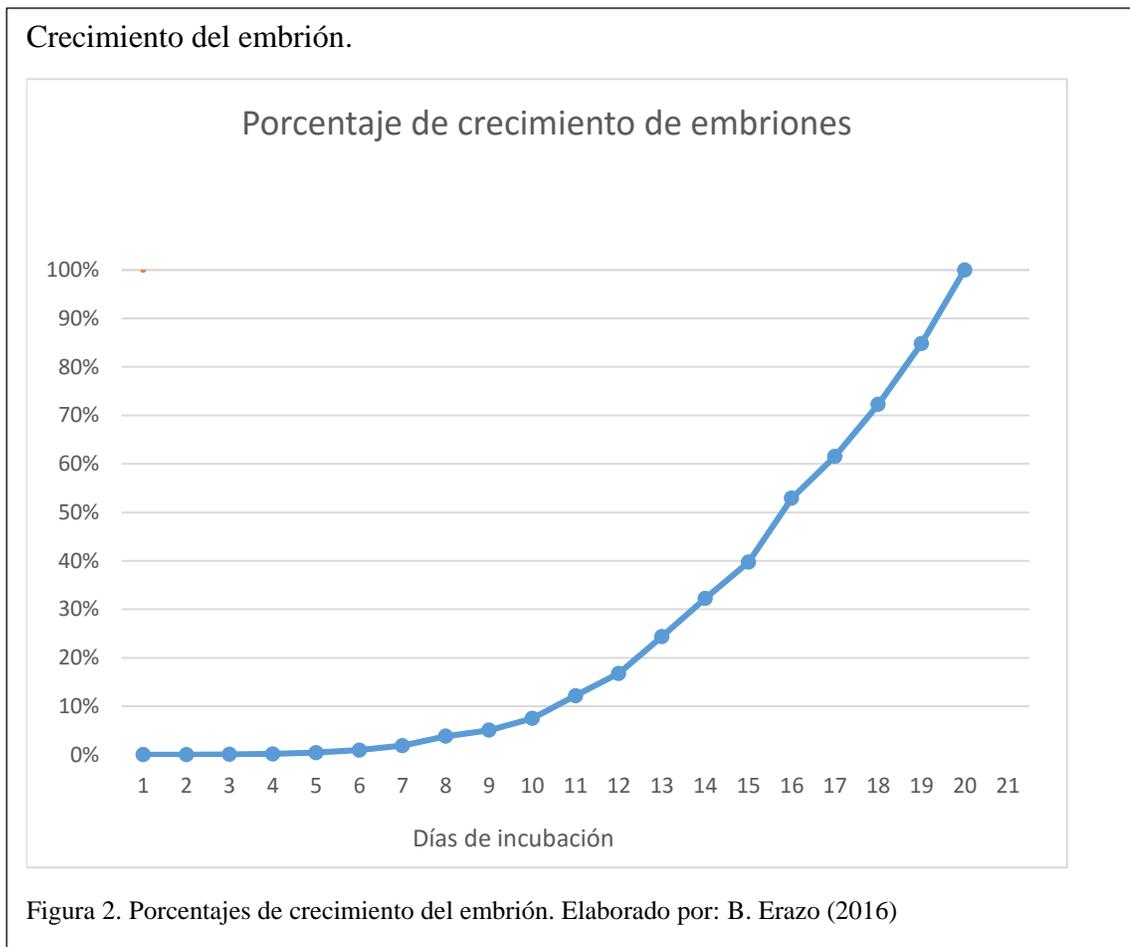
Tabla 1.  
Desarrollo del embrión.

Peso del embrión (g)	Día	% Desarrollo
-----	1	0%
0,00021	2	0,001%
0,003	3	0,010%
0,02	4	0,066%
0,05	5	0,166%
0,13	6	0,430%
0,29	7	0,960%
0,57	8	1,887%
1,15	9	3,807%
1,53	10	5,065%
2,26	11	7,481%
3,68	12	12,181%
5,07	13	16,783%
7,37	14	24,396%
9,74	15	32,241%
12	16	39,722%
15,98	17	52,896%
18,59	18	61,536%
21,83	19	72,261%
25,62	20	84,80%
30,21	21	100%

Nota: según el paso de los días el embrión incrementa su peso.  
Elaborado por: B. Erazo (2016)

En la tabla 1, se observa el peso del embrión según el paso de los días en el proceso de incubación, y su desarrollo tomando en cuenta que su peso máximo será aproximadamente de 30 gramos (chickscope, 1998).

Con el peso del embrión de cada día podemos dar un porcentaje de desarrollo y expresarlo en la Figura 2.



En la figura 2, podemos apreciar el crecimiento del polluelo, se inicia con un crecimiento lento los primeros días y se incrementa a partir de la segunda semana de incubación.

## **1.3 Condición de fertilidad del huevo**

### **1.3.1 Selección del huevo**

El peso selecto de los huevos debe ser entre 52 y 69 gramos para garantizar que el huevo dispone de lo necesario para el nacimiento, esto también nos indica un tamaño estándar del huevo lo que es favorable para el diseño de la incubadora. Si el peso del huevo es menor de 52 gramos indica deficiencia para su formación y producen un pollo pequeño y débil, un peso mayor a 69 gramos aparte de que son más propicios a la deshidratación debido a su delgada cascara, también indica mayor tiempo de incubación, una mala eclosión y complicaciones de colocación en las cubetas de la incubadora. (Ramos, 2010)

Para controlar el tamaño del huevo es necesario tener el conocimiento sobre el manejo de reproductores para aves de engorde. Existen muchas técnicas que van desarrollándose al paso de los años, en general sus resultados varían muy poco pero el control en el proceso se hace cada vez más preciso. La mayoría de autores indica que el ave reproductora esta apta para su primera puesta después de 24 semanas de desarrollo, cuando este alcance un peso optimo, ya que depende mucho del peso del reproductor para que sus huevos sean del tamaño necesario para la incubación. Hay técnicas desarrolladas para el manejo de reproductores las cuales constan de dietas específicas antes de la primera puesta, y dietas con minerales y vitaminas para el periodo de puesta de los huevos. Las condiciones ambientales de los reproductores también influyen en la composición y peso del huevo. (Ramos, 2010)

La recolección del huevo no se debe realizar si las temperaturas ambientales son muy altas o muy bajas, para evitar divisiones embrionarias en el caso de temperaturas altas, mientras que en temperaturas bajas existe un efecto de retracción de la materia en el interior del huevo, lo que produce un incremento de la cámara de aire que absorbe por medio de los poros de su cascara. Lo más recomendable es evitar que el huevo permanezca en estas temperaturas el menor tiempo posible y pase al área de almacenamiento con temperaturas apropiadas. Huevos que no deben ser tomados para la incubación son aquellos que presentan fisuras, resquebrajamientos o perforaciones en su cascara ya que aquellos que presentan estas lesiones terminan reventados durante el proceso, también se puede descartar aquellos que presentan malformaciones en su forma exterior. (Ramos, 2010)

### **1.3.2 Prevención de enfermedades**

Para evitar enfermedades es necesario la fumigación para reducir el número de bacterias en la cascara del huevo. La salmonela es una de las enfermedades comunes y que más afecta al desarrollo del ave y se puede transmitir del ambiente al huevo con facilidad, otra forma de transmisión puede darse desde el ave reproductora enferma, que a través del útero contamina sus huevos. La limpieza del huevo es muy importante para su incubación, un huevo sucio es transmisor de enfermedades por esta razón se puede realizar una limpieza rápida de raspado para aquellos huevos ligeramente sucios o un lavado para huevos muy sucios. Para realizar un lavado es necesario hacerlo durante la recolección de los huevos y

cambiar el agua cada 3 o 4 veces, se usa agua con detergente y cloro en muy bajas cantidades se debe mantener en 38°C a 40°C. Es importante saber que este proceso de lavado debilita la capa protectora de la cascara del huevo, y debe realizarse con cuidado. Se pueden utilizar huevos de poca suciedad en la primera semana, estos huevos no deben ser almacenados durante grandes periodos. (Ramos, 2010)

### **1.3.3 Periodo de almacenamiento**

El periodo óptimo del huevo de incubación debe iniciar durante los primeros 7 días, ya que después del séptimo día la tasa de mortalidad se incrementa hasta de la tercera semana donde las posibilidades de incubación son cero. Algunos autores han comprobado que el tiempo óptimo para iniciar la incubadora es en el sexto y séptimo día después de la puesta del huevo. Si en algún caso no es posible la incubación durante la primera semana se recomienda almacenar los huevos desde el primer día bajo temperaturas de 12 grados centígrados y una humedad relativa del 75%, esto ayudara a frenar el proceso de formación. Para periodos de incubación de dos o tres semanas se recomienda incrementar la humedad relativa y variar la temperatura como se muestra en la Figura 3. (BM Editores, 2016)

### Probabilidad de incubación.

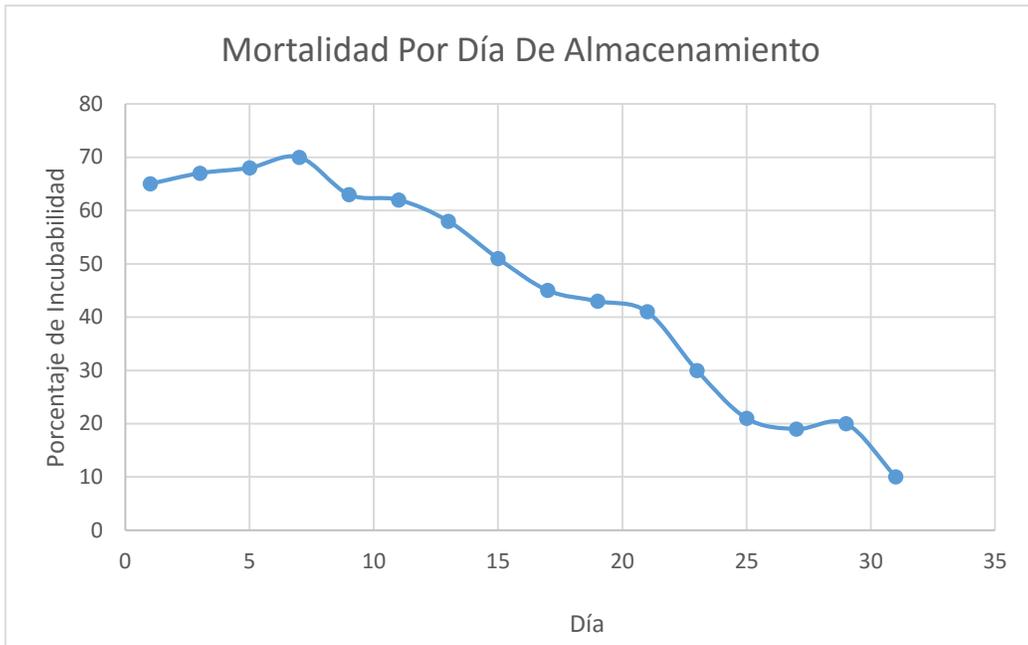
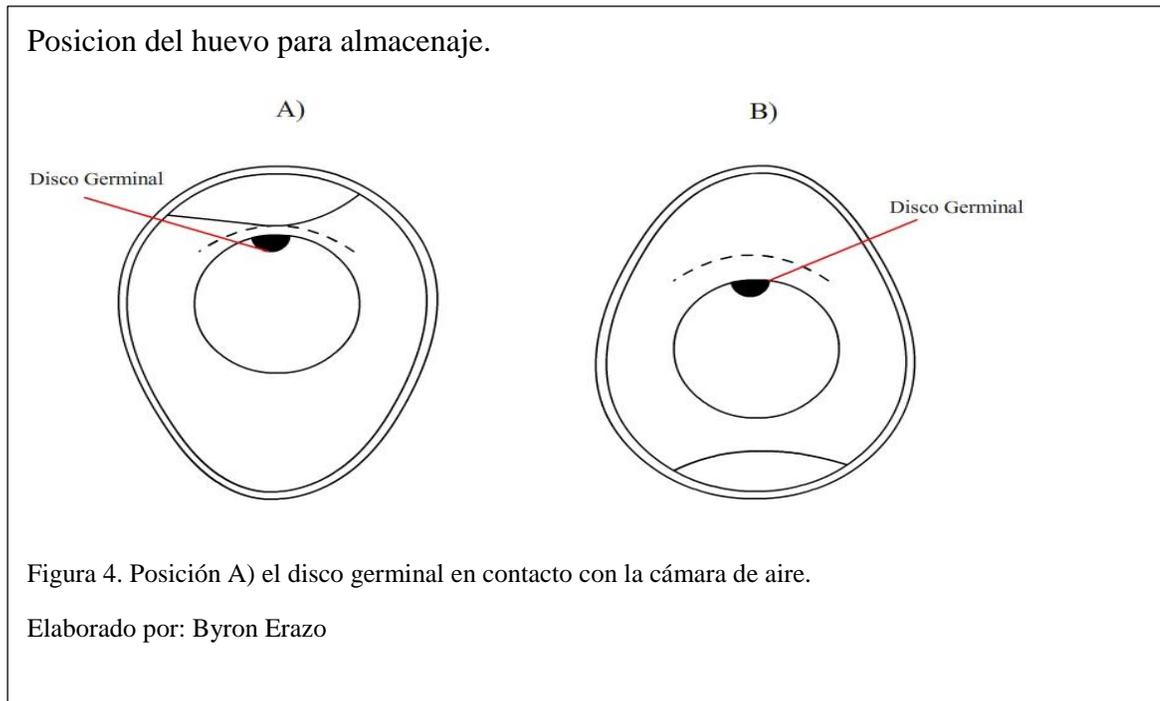


Figura 3. La probabilidad de éxito para la incubación desciende al pasar de los días en almacenaje.

Elaborado por: B. Erazo (2016)

Como se muestra en la figura 3, entre más rápido se inicie con el proceso de incubación las posibilidades de incubación exitosa se incrementan, mientras que se considera un fracaso seguro al tratar de incubar desde la tercera y cuarta semana de almacenaje. También tiene que ser almacenados de forma que el extremo más pequeño del huevo apunte hacia abajo.

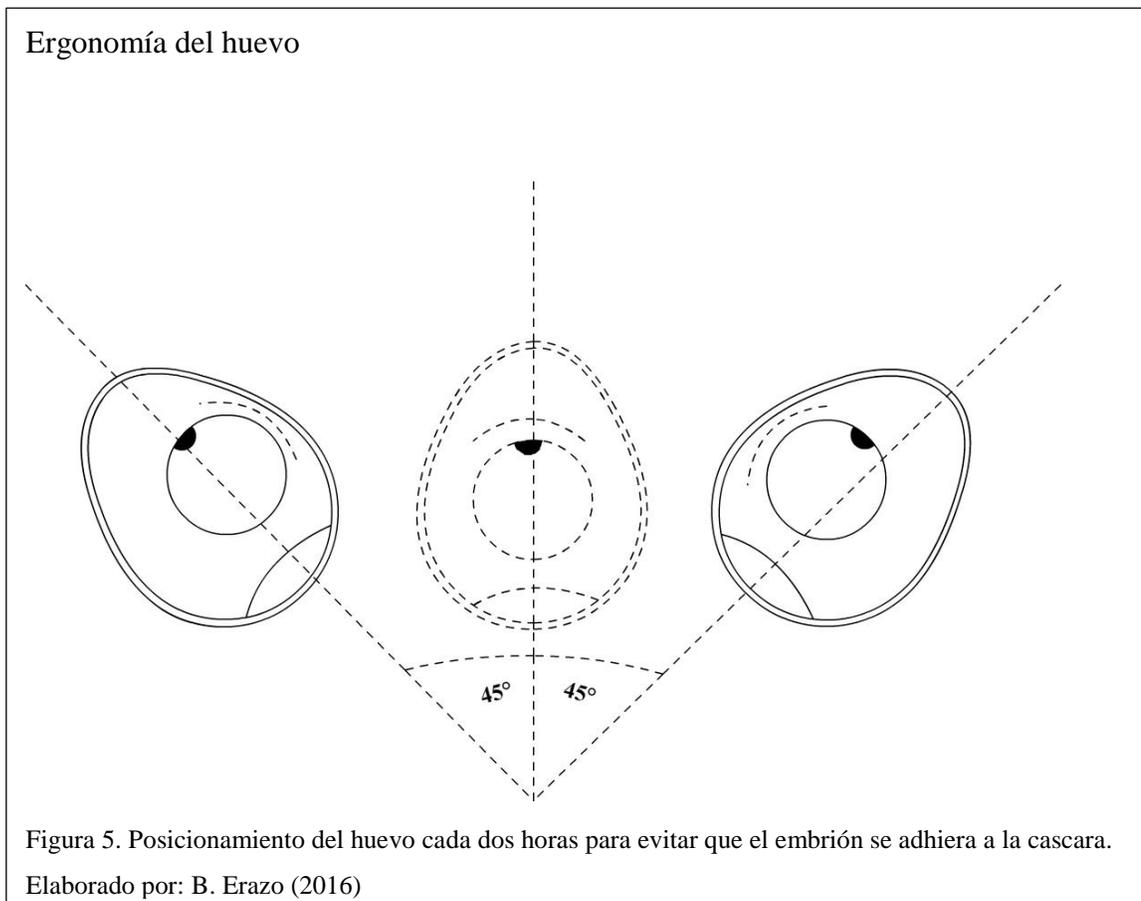


En la figura 4, la posición del extremo pequeño hacia abajo ayuda a reducir la mortalidad en el nacimiento, aunque también se debe mencionar que algunos autores no encuentran diferencias y que otros recomiendan y aseguran que en un almacenamiento de periodos prolongados es mejor el polo pequeño hacia arriba ya que toma en cuenta la deshidratación del huevo y la expansión de la cámara de aire al transcurso de los días. Esta cámara llega a tal punto de estar en contacto con el disco germinal el cual debe estar siempre cubierto por la albumina media como se indica en el Grafico 4 (sección A). Lo mejor es evitar la resequedad en el disco germinal como se indica en el Grafico 4 (Sección B). (Ramos, 2010)

## Capítulo II

### 2.1 Condiciones ergonómicas del huevo

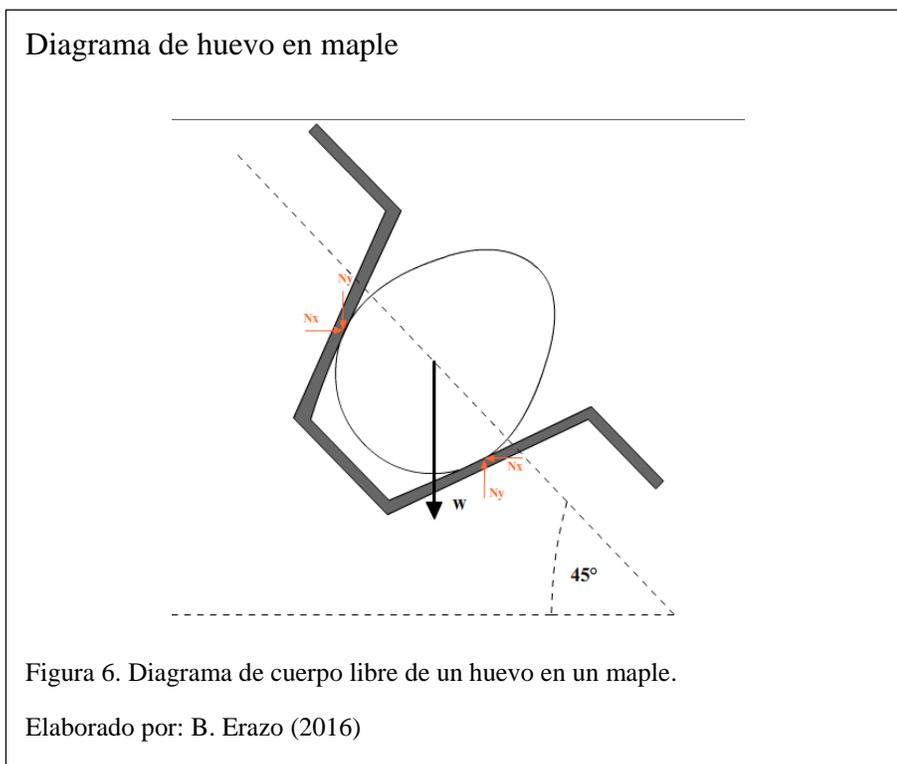
Para evitar que el embrión se pegue a la membrana de la cascara del huevo es necesario el volteo del mismo con regularidad, actualmente con las incubadoras manuales se realiza un volteo cada 12 horas, lo adecuado es realizarlo cada 4 horas por lo cual se necesita de un sistema automático que agilite el proceso.



Como se indica en la Figura 5, el volteo debe realizarse de forma que el huevo gire a  $90^\circ$  de su eje inicial. (El Sitio Avícola, 2014)

## 2.2 Análisis estático

El huevo se ubica en una cubeta o maple de plástico comercial, cuyas medidas están dadas de 30 cm x 30 cm y tiene capacidad para 30 huevos ubicados en 5 filas y 6 columnas. El maple es introducido sobre una parrilla dentro de la incubadora y se realiza el siguiente análisis de la Figura 6. (Caviard, 2010)



En la Figura 6, se realizó un análisis de fuerzas entre el huevo y el maple o cubeta, que posteriormente serán introducidos a la incubadora.

Tomando en cuenta que la masa tomada es de 65g.

$$W_x = m \cdot g \cdot \cos(45) \quad (2.1)$$

$$W_x = 0,45 \text{ N}$$

$$W_y = 0,45 \text{ N}$$

$$\sum F = ma \quad (2.2)$$

$$N_y - W_y = 0 \quad N_x - W_x = 0$$

$$N_y = 0,45 \text{ N} \quad N_x = 0,45 \text{ N}$$

En posición sobre la horizontal obtenemos:

$$W_y = m \cdot g$$

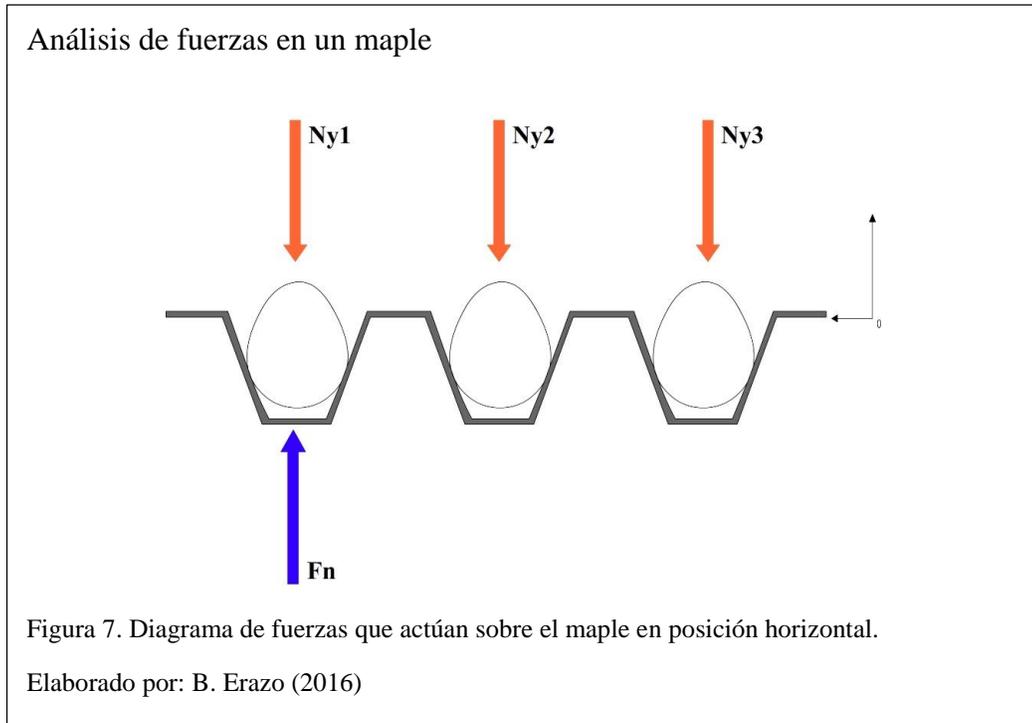
$$W_y = 0,637 \text{ N}$$

$$\sum F = ma$$

$$N_y - W_y = 0$$

$$N_y = 0,637 \text{ N}$$

Se toma en cuenta una mitad de la cubeta para desbalancear fuerzas al máximo y garantizar que la fuerza máxima calculada es correcta. Se multiplica por cinco ya que el maple consta de cinco filas.



Como se muestra en la figura 7, para encontrar la fuerza necesaria para mover el maple se realiza un diagrama de cuerpo libre del maple. Sumatoria de momentos:

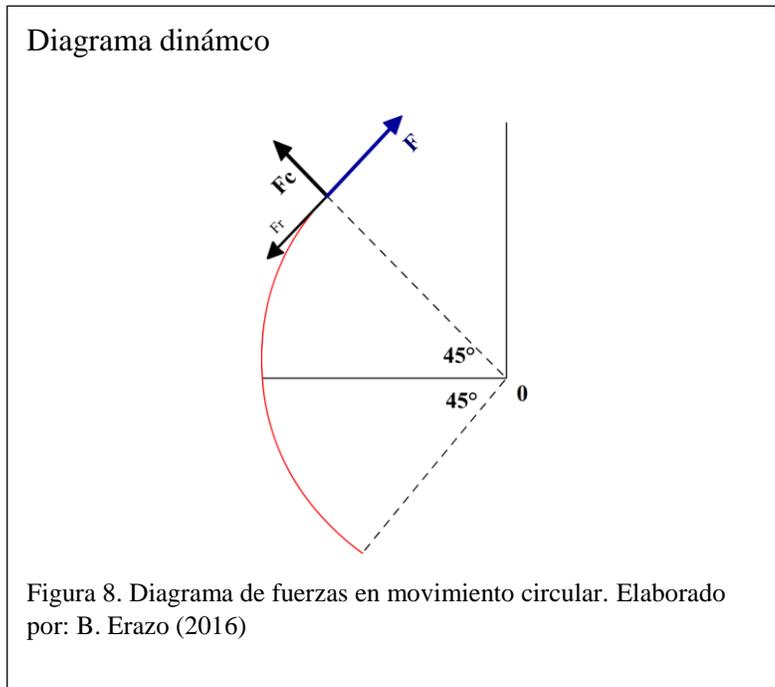
$$\sum M_y = 0$$

$$5 \cdot N_{y1}(0,15) + 5 \cdot N_{y2}(0,10) + 5 \cdot N_{y3}(0,05) - F_n(0,15) = 0$$

$$F_n = 6,37 \text{ N}$$

### 2.3 Análisis dinámico

Para determinar la velocidad de las revoluciones de giro del maple se realiza un análisis dinámico para asegurar que los huevos no se disparen con el giro.



Se determina un tiempo el cual la cubeta realizara un cambio de  $90^\circ$  conociendo que el radio de giro es de 15 cm.

Fuerza centrífuga ( $F_c$ ):

$$F_c = m * w^2 * r \quad (2.3)$$

Donde:

**m** es la masa del huevo y se toma con el valor de 52 gramos por que se requiere calcular la fuerza mínima necesaria.

**w** es la velocidad angular.

**r** es el radio de 15 cm.

Se requiere calcular la energía cinética cuya fórmula es:

$$E_c = \frac{1}{2} m * v^2 \quad (2.4)$$

La velocidad se calcula con la fórmula:

$$v = w * r \quad (2.5)$$

Para obtener F se requiere dividir la energía cinética con la distancia recorrida la cual sería el perímetro del círculo en 90°. Con el resultado de Fc y F se obtiene la resultante de ambas fuerzas, los resultados para los diferentes tiempos dados son los siguientes mostrados en la tabla 3.

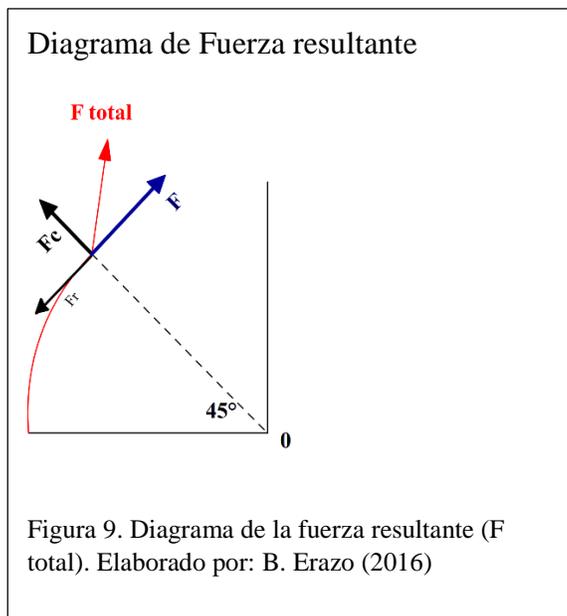


Tabla 2.

Fuerzas según el tiempo.

Tiempo (s)	F centrífuga (N)	F – Fr (N)	F Total (N)
1	0,0192	0,0061	0,0202
2	0,0048	0,0015	0,0050
3	0,0021	0,0007	0,0022
4	0,0012	0,0004	0,0013
5	0,0008	0,0002	0,0008

Nota: tabla de fuerzas que actúan entre el huevo y el maple.  
Elaborado por: B. Erazo (2016)

En la tabla 2, la fuerza centrífuga menos la fuerza de rozamiento debe ser menor a la fuerza total, entre menor tiempo más rápido es el movimiento y la fuerza total es menor. Se procede a calcular la fuerza normal que mantiene el huevo junto a la cubeta en Angulo de 45°:

Fuerza de rozamiento:

Donde:

Plástico PET tiene  $\mu = 0.25$

Y  $n_y = 0.637N$

$$F_r = \mu * n_y \quad (2.6)$$

$$F_r = 0.159 N$$

$$W_y = m.g.\cos(45)$$

$$W_y = 0,36 N$$

$$\sum F = ma$$

$$N_r - W_y - Fr = 0$$

$$N_r = 0,519 N$$

Por lo que se puede concluir que si la fuerza total (F total) es mayor a la fuerza normal (Nr) el huevo sería disparado, lo contrario si la fuerza (Nr) es mayor que la fuerza total (F total). Se escogió la opción de tiempo 5 segundos porque está dentro de las condiciones dinámicas y se requiere que el movimiento sea lo más suave posible.

#### 2.4 Diseño de parrilla de maples.

Para el diseño de las bases donde se ubican los maples en la incubadora, se tomará las dimensiones de los maples que se encuentran en el mercado. Estas parrillas giran sobre un eje el cual está libre de cargas pesadas, y de altas revoluciones por lo cual se calcula su diámetro de eje de acuerdo a los esfuerzos de Hertz.

Parrilla para maple.



Figura 10. El maple debe encajar perfectamente sobre la parrilla.

Elaborado por: B. Erazo (2016)

El esquema de la figura 10, representado por acero A-36 presenta una masa de 1,83 kg. Obteniendo la masa del maple de 145 gramos (Caviard, 2010) se procede a realizar el siguiente cálculo:

$$\text{Masa Parrilla} + \text{Masa Maple} + 30 * \text{Masa Huevo} = \text{Masa Total} \quad (2.7)$$

$$\text{Masa Total} = 1,831\text{kg} + 0,145\text{kg} + 30 * 0,065\text{kg}$$

$$\text{Masa Total} = 3,927 \text{ kg}$$

$$\text{Carga Total} = 3,927\text{kg} * 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Carga Total} = 38,48 \text{ N}$$

Para determinar los esfuerzos cortantes se necesita de un diámetro (d) de eje y una longitud (L) de apoyo. (Budynas, 2012, pág. 121)

Se calcula el factor  $b$  con la siguiente ecuación:

$$b = \sqrt{\frac{2F \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}}{\pi L \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}}} \quad (2.8)$$

Según la tabla A-5 del libro de diseño en ingeniería mecánica de Shigley obtenemos los datos de  $\nu$  y  $E$ . (Budynas, 2012, pág. 971)

$$b = 0.15mm$$

$$P_{max} = \frac{2F}{\pi bL} \quad (2.9)$$

$$P_{max} = 2410.43 \text{ psi}$$

Z se obtiene multiplicando  $b \cdot 0,436$

$$\sigma_x = -2 * \nu * P_{max} \left( \sqrt{1 + \frac{z^2}{b^2}} - \left| \frac{z}{b} \right| \right) \quad (2.10)$$

$$\sigma_x = 1008.97 \text{ psi}$$

$$\sigma_y = -P_{max} \left( \frac{1 + 2\frac{z^2}{b^2}}{\sqrt{1 + \frac{z^2}{b^2}}} - 2 \left| \frac{z}{b} \right| \right) \quad (2.11)$$

$$\sigma_y = -1172.70 \text{ psi}$$

$$\sigma_z = \frac{-P_{max}}{\sqrt{1 + \frac{z^2}{b^2}}} \quad (2.12)$$

$$\sigma_z = -2282.68 \text{ psi}$$

$$t_{max} = \frac{\sigma_x - \sigma_z}{2} \quad (2.13)$$

$$t_{max} = 1273.71 \text{ psi}$$

$$S_y = \frac{36000}{2}$$

$$S_y = 18000 \text{ psi}$$

El esfuerzo cortante ( $t_{max}$ ) es muy inferior a los  $S_y$  necesario para que el material falle, por lo tanto, el diámetro del eje seleccionado es correcto.

## 2.5 Cálculo de resorte

Para que el mecanismo funcione correctamente, se necesita un resorte ubicado en la parrilla inferior del mecanismo de parrillas, el cual levantara un lado de la parrilla y luego bajará con el accionamiento de una leva de rodillos. En el diseño del resorte es necesario realizar el siguiente análisis:

Mecanismo de parrillas.

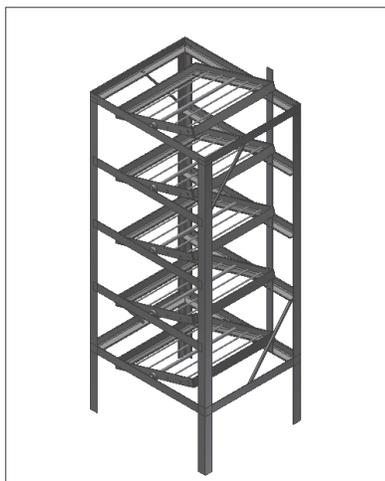


Figura 11. Representación del mecanismo de parrillas que tendrá un movimiento alimentado por un mecanismo de poleas.

Elaborado por: B. Erazo (2016)

En la figura 11, se puede apreciar 5 bandejas conectadas conjuntamente, por lo tanto, el resorte a diseñar debe ser lo bastante fuerte para poder moverlas.

$$Carga\ Total\ del\ mecanismo = 38,48\ N \times 5\ maples \quad (2.14)$$

$$Carga\ Total\ del\ mecanismo = 192.4\ N$$

$$Recorrido\ de\ la\ cubeta = \text{sen}(45) * 0.15\ m * 2$$

$$Recorrido\ de\ la\ cubeta = 0.21\ m$$

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m} \quad (2.15)$$

Se escoge el material de alambre de piano de la tabla 10-4 (Budynas, 2012, pág. 503) donde  $A$  tiene el valor de 201 y  $d = 0.1$  pulg. El exponente  $m$  es de 0.145.

Se calcula  $S_{ut}$  para obtener  $S_{sy}$ :

$$S_{ut} = \frac{201\text{kpsi.pulg}}{0.1\text{ pulg}^{0.145}}$$

$$S_{ut} = 280.67\ \text{kpsi}$$

$$S_{sy} = 0.45 * S_{ut} \quad (2.16)$$

$$S_{sy} = 126.3\ N$$

$$C = \frac{D}{d} \quad (2.17)$$

$$C = 10$$

$$k_b = \frac{4C+2}{4C-3} \quad (2.18)$$

$$k_b = 1.13$$

$$F = \frac{\pi d^3 S_{sy}}{8K_B D} \quad (2.19)$$

$$F = 43.69 \text{ lbf}$$

Na es el número de espiras activas

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 N_a} \quad (2.20)$$

$$k = 4.44 \text{ lbf/pulg}$$

$$y = \frac{F}{k} \quad (2.21)$$

$$y = 9.84 \text{ pulg}$$

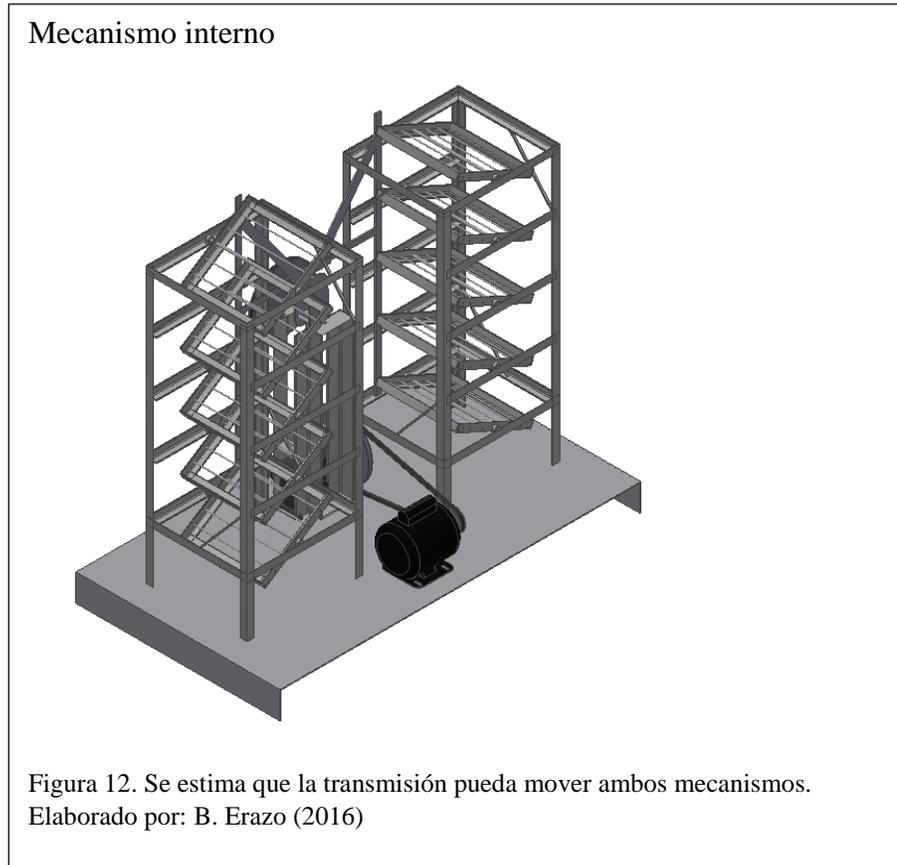
$$L_s = (N_t + 1)d \quad (2.22)$$

$$L_s = 3.6 \text{ pulg}$$

$$L_0 = y + L_s \quad (2.23)$$

$$L_0 = 13.45 \text{ pul}$$

## 2.6 Transmisión del mecanismo



Como se muestra en la figura 12, la transmisión será suficiente para poder dar movimiento a ambos mecanismos con una sola leva de rodillos.

### 2.6.1 motor

Para la selección del motor se realiza un análisis de torques, para determinar si el torque de salida de la transmisión, supera el torque necesario para mover el mecanismo. Se toma la medida del recorrido de la cubeta porque esta será el punto más alto de la leva cuyo valor es de 0.21 m.

$$\text{Torque requerido} = \text{carga total del mecanismo} * 0.21 \text{ m} * 2 \text{ mecanismos. (2.24)}$$

$$\text{Torque requerido} = 192.4 \text{ N} * 0.21 \text{ m} * 2$$

$$\text{Torque requerido} = 80.8 \text{ Nm}$$

Se toma una potencia de motores en el mercado, en este caso un motor de ¼ Hp y la velocidad angular de 5 rpm en rad/s.

$$\text{Torque de salida} = \frac{\text{Potencia } W}{\text{Velocidad angular rad/s}} \quad (2.25)$$

$$\text{Torque de salida} = \frac{186.42 \text{ W}}{0.5 \text{ rad/s}}$$

$$\text{Torque de salida} = 370.45 \text{ Nm}$$

El torque de salida supera al torque necesario por lo tanto la selección del motor de ¼ Hp esta la correcta. En el mercado encontramos motores con las siguientes cualidades:

-1730 RPM

- ¼ Hp

-60 Hz

-110 v

- Temp. Max. 40°C

## 2.6.2 Diseño de transmisión

Para cumplir con las condiciones ergonómicas se requiere que la velocidad de salida sea de 5rpm la transmisión será de:

$$\frac{rpm \text{ motor}}{\text{Relación de Transmision}} = 5 \text{ rpm} \quad (2.26)$$

$$\frac{1730 \text{ rpm}}{\text{Relación de Transmision}} = 5 \text{ rpm}$$

$$\text{Relación de Transmision} = 346 \text{ a } 1$$

Se conoce que en el mercado hay reductores de velocidad de 40 a 1, por lo que las distribuciones de las bandas serán dos de 3 a 1.

Sistema de Transmisión.

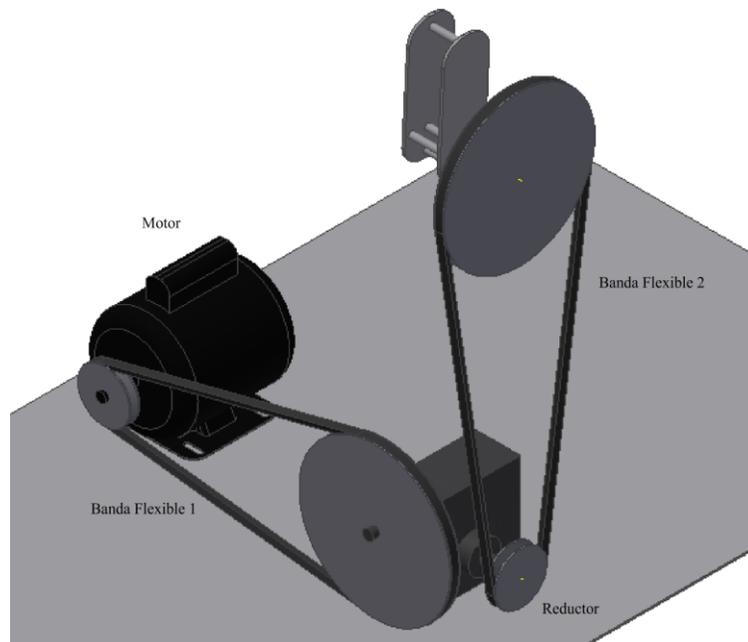


Figura 13. Esquema de la transmisión con dos bandas flexibles y un reductor.  
Elaborado por: B. Erazo (2016)

La Figura 13, es un esquema de la transmisión con la primera banda polea que tendrá una reducción de 3 a 1, seguido por el moto reductor de 40 a 1 y por ultimo una segunda banda polea de 3 a 1.

$$\frac{rpm\ motor}{Relación\ de\ Transmision} = rpm\ salida \quad (2.27)$$

$$rpm\ salida = 4.81\ rpm$$

Las rpm de salida cumplen con la velocidad necesaria, condicionada para el diseño ergonómico.

### **2.6.3 Primera banda de transmisión**

Para las velocidades y potencias requeridas seleccionamos un tipo de banda en V (Budynas, 2012, pág. 866) cuya sección está dada por:

Para las 1730 rpm necesarias y la potencia de trabajo de ¼ Hp cumple una banda de sección A.

Para una banda A50 se obtiene:

Ancho de la banda (a) = 0,5 pul (tabla 17-9)

Espesor de la banda (b) = 0.34 pul (tabla 17-9)

Distancia entre centros (C)= 41 cm = 16,14 in (medida supuesta)

Diámetro mínimo de la polea impulsora (d) = 3 pul (tabla 17-9)

Revoluciones de la polea conductora ( $n_m$ )= 1730 rpm

Revoluciones de la polea conducida ( $n_r$ )=576,67 rpm

$$n_r = \frac{1730}{3} = 576,67 \text{ rpm}$$

Conversión de longitud ( $L_c$ ) =1,3 pul

Velocidad de la periferia de la polea conductora ( $v$ ) = 1358,74 pie/min

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n_m}{12} \quad (2.28)$$

$$v = 1358,74 \text{ pie/min}$$

Diámetro de la polea conducida = 9 pul

$$D = \frac{d \cdot n_m}{n_r} \quad (2.29)$$

$$D = 9 \text{ pul}$$

Longitud de paso de la polea ( $L_p$ )= 51,69 pul

$$L_p = 2C + \frac{\pi(D+d)}{2} + \frac{\pi(D-d)^2}{4C} \quad (2.30)$$

$$L_p = 51,69 \text{ pul}$$

Circunferencia seccion B (L)=

$$L = L_p - L_c \quad (2.31)$$

$$L = 51,69 - 1,3$$

$$L = 50,39 \text{ pul} = 51 \text{ pul tablas } 17.10$$

Por lo tanto, se escoge una banda A51.

Nueva longitud de paso de la polea (Lp) =

$$L_p = L + L_c$$

$$L_p = 52,3 \text{ pul}$$

Nueva distancia entre centros (C)

$$C = 0.25 \left\{ \left[ L_p - \frac{\pi}{2}(D + d) \right] + \sqrt{\left[ L_p - \frac{\pi}{2}(D + d) \right]^2 - 2(D - d)^2} \right\} \quad (2.32)$$

$$C = 16.68 \text{ pul} = 42.37 \text{ cm}$$

Con la nueva longitud de paso de la polea (Lp) podemos calcular la potencia permitida de la banda.

De las tablas se obtiene:

$$K1 = 0,8$$

$$K2 = 0,95$$

Y la potencia tabulada de la interpolación de la tabla 17-12 (Budynas, 2012)

$H_{tab}=0.89$

Para obtener la potencia permitida por banda ( $H_a$ )=

$$H_a = K_1 * K_2 * H_{tab} \quad (2.33)$$

$$H_a = 0.68 H_p$$

Como el mecanismo tiene un movimiento lento, y su par de torsión es normal su factor de servicio es de ( $K_s$ ) =1,2.

La potencia de diseño ( $H_d$ ) está dada por=

$$H_d = H_{nom} * K_s * n_d \quad (2.34)$$

Donde  $n_d$  es el factor de diseño

$$H_d = 0.30 H_p$$

Como resultado, el número de bandas ( $N_b$ ) está dado por:

$$N_b \geq \frac{H_d}{H_a} \quad (2.35)$$

$$N_b \geq 0.44 \rightarrow 1 \text{ banda}$$

El factor de seguridad ( $n_{fs}$ ) está dado por:

$$n_{fs} = \frac{H_a * N_b}{H_{nom} * K_s} \quad (2.36)$$

$$n_{fs} = 2.26$$

#### 2.6.4 Selección del reductor de velocidades

Para la selección del reductor se necesita que cumpla con los siguientes parámetros:

- Relación de reducción 40 a 1

$$Velocidad\ de\ salida = \frac{Velocidad\ de\ entrada}{40} \quad (2.37)$$

$$Velocidad\ de\ salida = 14.42\ rpm = 1.51\ rad/s$$

- Debe asumir un torque de: 123.48 N\*m

$$T_r = \frac{Potencia\ del\ motor\ W}{Velocidad\ de\ salida\ rad/s} \quad (2.38)$$

$$T_r = 123.48\ N * m$$

#### 2.6.5 Segunda banda de transmisión

Se realiza el mismo procedimiento de la banda de transmisión número 1 para una potencia de trabajo de ¼ Hp, se sugiere una banda de tipo A por su variedad en el mercado local.

Para una banda A se obtiene:

Ancho de la banda (a) = 0,5 pul (tabla 17-9)

Espesor de la banda (b) = 0.34 pul (tabla 17-9)

Distancia entre centros (C)= 50 cm = 19,69 in (medida supuesta)

Diámetro mínimo de la polea impulsora (d) = 3 pul (tabla 17-9)

Revoluciones de la polea conductora ( $n_m$ )= 14.42 rpm

Revoluciones de la polea conducida ( $n_r$ )=4.8 rpm

Conversión de longitud ( $L_c$ ) =1,3 pul

Velocidad de la periferia de la polea conductora (v) = 11.32 pie/min

$$v = \frac{\pi * d * n_m}{12}$$

$$v = 11.32 \text{ pie/min}$$

Diámetro de la polea conducida = 9 pul

$$D = \frac{d * n_m}{n_r}$$

$$D = 9 \text{ pul}$$

Longitud de paso de la polea ( $L_p$ )= 51,69 pul

$$L_p = 2C + \frac{\pi(D + d)}{2} + \frac{\pi(D - d)^2}{4C}$$

$$L_p = 58.68 \text{ pul}$$

Circunferencia seccion B (L)=

$$L = L_p - L_c$$

$$L = 57.38 \text{ pul} = 60 \text{ pul tablas 17.10}$$

Por lo tanto, se escoge una banda A60.

Nueva longitud de paso de la polea (Lp) =

$$L_p = L + L_c$$

$$L_p = 61,3 \text{ pul}$$

Nueva distancia entre centros (C)

$$C = 0.25 \left\{ \left[ L_p - \frac{\pi}{2}(D + d) \right] + \sqrt{\left[ L_p - \frac{\pi}{2}(D + d) \right]^2 - 2(D - d)^2} \right\}$$

$$C = 21.19 \text{ pul} = 53.82 \text{ cm}$$

De las tablas se obtiene:

$$K1 = 0,79$$

$$K2 = 1$$

Y la potencia tabulada de la interpolación de la tabla 17-12

$$H_{\text{tab}} = 0.66$$

Para obtener la potencia permitida por banda ( $H_a$ )=

$$H_a = K_1 * K_2 * H_{tab}$$

$$H_a = 0.52 Hp$$

Su factor de servicio es de ( $K_s$ ) =1,2.

La potencia de diseño ( $H_d$ ) está dada por=

$$H_d = H_{nom} * K_s * n_d$$

Donde  $n_d$  es el factor de diseño

$$H_d = 0.30 Hp$$

Como resultado, el número de bandas ( $N_b$ ) está dado por:

$$N_b \geq \frac{H_d}{H_a}$$

$$N_b \geq 0.57 \rightarrow 1 \text{ banda}$$

El factor de seguridad ( $n_{fs}$ ) está dado por:

$$n_{fs} = \frac{H_a * N_b}{H_{nom} * K_s}$$

$$n_{fs} = 1.74$$

## 2.7 Calculo de eje

Para el cálculo del eje necesitamos conocer las fuerzas que actúan sobre este las cuales son:

Torsión sobre el eje ( $T$ ) = 476.8 lbf\*pulg

$$T = \text{carga del maple} * \text{numero de maples} * \text{distancia del rodillo}$$

$$T = 38.48 * 10 \text{ maples} * 0.14m$$

$$T = 53.872 N * m = 476.8 \text{ lbf} * \text{pulg}$$



Sumatoria de Momentos sobre el eje ( $M_a$ ) = 79.36 lbf\*pulg

Se calcula un diámetro inicial del punto más crítico en el eje usando el criterio de ED-Goodman (Budynas, 2012, pág. 352)

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left( \frac{2(K_f M_a)}{S_e} + \frac{[3(K_f s T)^2]^{1/2}}{S_{ut}} \right) \right\}^{1/3} \quad (2.39)$$

Donde:

$N=1.5$

$K_f= K_t= 1.7$

$K_{fs}= K_{ts}= 1.5$

$S_e= 24.6 \text{ Kpsi}$

$$K_a = aS_{ut}^b$$

$$K_a = 0.912$$

$$S_e = (0.912)(0.9)(0.5)(60) = 24.6 \text{ Kpsi}$$

$$d = \left\{ \frac{16*1.5}{\pi} \left( \frac{2(1.5*79.36)}{24.6} + \frac{[3(1.2*476.8)^2]^{1/2}}{60} \right) \right\}^{1/3} \quad (2.40)$$

$$d = 0.62 \text{ pulg} = 15.748 \text{ mm}$$

Se escoge un diámetro menor a 0.62 pulg en este caso de 0.6 pulg y se calcula el factor de seguridad.

$$\frac{D}{d} = \frac{0.78}{0.6} = 1.3$$

Suponiendo que el radio del filete  $r=d/10 = 0.06\text{pulg}=1.5$  tenemos lo siguiente de las figuras 6-20 y 6-21:

$q= 0.7$

$$q_s = 0.72$$

Volvemos a encontrar  $K_t$  y  $K_{ts}$  con el nuevo  $D/d=1.3$  y obtenemos:

$$K_t = 1.5 \text{ (tabla A 15-7)}$$

$$K_{ts} = 1.2 \text{ (tabla A 15-8)}$$

$$K_f = 1 + 0.82(K_t - 1)$$

$$K_f = 1.35$$

$$K_{fs} = 1 + 0.82(K_{ts} - 1)$$

$$K_{fs} = 1.14$$

$$K_b = \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.107}$$

$$K_b = 0.929$$

Se recalcula  $S_e$ :

$$S_e = 0.912 * 0.929 * 0.5 * 60$$

$$S_e = 24.6 \text{ kpsi}$$

$$\sigma'_a = \frac{32K_f M_a}{\pi d^3} \quad (2.41)$$

$$\sigma'_a = 5052.21 \text{ psi}$$

$$\sigma'_m = \left\{ 3 \left( \frac{16K_{fs} T}{\pi d^3} \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (2.42)$$

$$\sigma'_m = 22276.11 \text{ psi}$$

$$\frac{1}{n_f} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} \quad (2.43)$$

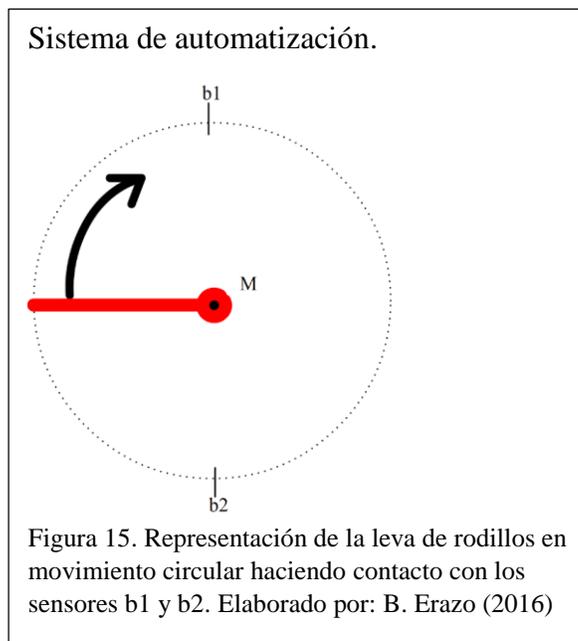
$$\frac{1}{n_f} = \frac{5052.21}{24.6} + \frac{22276.11}{60000}$$

$$n_f = 1.75$$

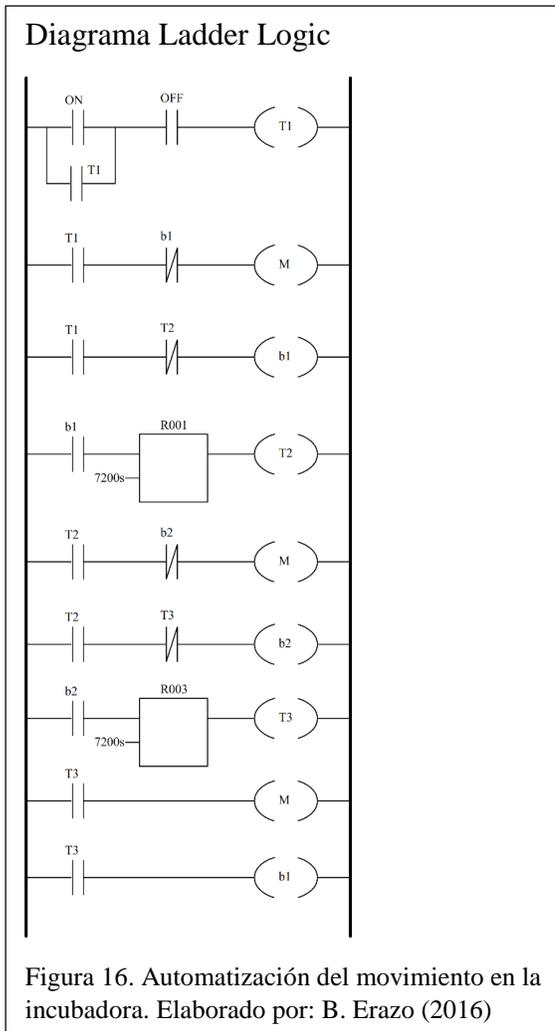
## 2.8 Automatización

Para la automatización del mecanismo se tiene en cuenta las condiciones ergonómicas planteadas en la primera página del capítulo 2, las cuales menciona que se debe mover el huevo como en el grafico 3 por cada dos horas; por lo que la leva de rodillos deberá moverse media revolución para cambiar la posición de los mapas.

Teniendo esto en cuenta se ha planteado usar dos temporizadores y dos sensores (b1,b2) los cuales se ubicaran como se muestra en la figura 15.



De la figura 15 (M) consideraremos como el accionamiento del movimiento circular de la leva de rodillos.



La figura 16 se puede interpretar como:

- El botón de encendido (ON) habilita (T1), el cual permite la leva de rodillos se pueda mover y a su vez también habilita el sensor (b1).
- (b1) activa el temporizador (R001) de 7200 segundos y cuando este termine activara (T2) que a su vez desactivara (b1) y activara (M) y habilitara (b2).
- Cuando el sensor (b2) se active, deshabilitara (M) y activara el contador (R003) y cuando este termine sus 7200 segundos habilitara (T3).
- Cuando (T3) este habilitado, deshabilitara el sensor (b2) y activara (M) y habilitará (b1), el cual repetirá el ciclo.

## Capítulo III

### 3.1 Análisis de transferencia de calor

Para iniciar el proceso de incubación se deben mantener una temperatura de 37°C, en el análisis no se tuvo en cuenta varios factores que pueden variar resultados en el cálculo como por ejemplo el tiempo de almacenamiento del huevo antes de entrar a la incubadora, entre más tiempo de almacenaje tenga el huevo se produce un incremento de la cámara de aire dentro del huevo la cual resulta un aislante que impide el flujo de calor al embrión, y esto acompañado a la deshidratación, se refleja en la tasa de mortalidad. Para los siguientes cálculos se realizaron con varias dimensiones de las muestras y se tomó un promedio en algunos datos (El Sitio Avícola, 2014).

Para Huevos de 60 gramos:

Área de huevo:  $0,007665351 \text{ m}^2$

Número total de huevos en la incubadora: 300

Grosor de la cascara (GC): 0,35 mm

Conductividad térmica (K):  $550 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$  (en la primera semana de almacenaje) (Journal of Food Engineering , 2006)

Temperatura ambiental:  $18^\circ\text{C}$

Coeficiente de calor por convección (h):  $25 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  (Incropera, 1999, pág. 8)

El siguiente análisis es en un estado inicial para determinar el flujo de energía necesaria para mantener el huevo en temperatura de incubación. Para el cálculo del área se ha

tomado de una muestra de 4 huevos con pesos similares, y se ha procedido a dibujarlos en un software 3D, para obtener las áreas como dato del programa.

Tabla 3.

Área de cascara de huevo

Muestra	Área m <sup>2</sup>
1	0,00783019
2	0,00771710
3	0,00790126
4	0,00721285

Nota: Datos de áreas medidas en 4 muestras.  
Elaborado por: B. Erazo (2016)

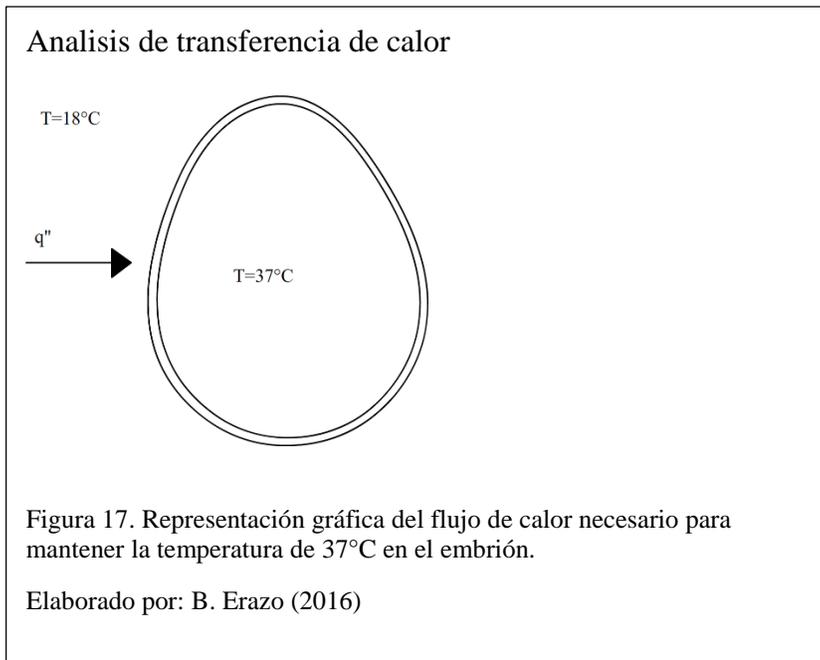
La Tabla 3, es el resultado de las áreas dadas según el software comercial donde se dibujó varias muestras en 3D.

Sacando el promedio de áreas nos da como resultado:

$$\text{Area de huevo} = \frac{0,00783019 + 0,00771710 + 0,00790126 + 0,00721285}{4}$$

$$\text{Area de huevo} = 0,007665351\text{m}^2$$

Se prosigue a calcular la transferencia de calor  $q''$



En la figura 17, el flujo de calor ( $q''$ ) ayuda a mantener la temperatura de 37°C que necesita el embrión por medio de la convección del aire caliente.

$$q'' = \frac{T_h - T_a}{\frac{1}{h} + \frac{GC}{K}} \quad (3.1)$$

$$q'' = 949.74 \text{ W/m}^2$$

Calor transferido:

$$q = \frac{949.74 \text{ W}}{\text{m}^2} * 0.007665 \text{ m}^2$$

$$q = 7.28 \text{ W}$$

$$q_{Total} = q * \text{numero de huevos} \quad (3.2)$$

$$q_{Total} = 7.28 \text{ W} * 300$$

$$q_{Total} = 2180.02 \text{ W} = 2.18 \text{ kW}$$

Se procede a determinar el calor transferido, en el caso que se pierda un grado Celsius de temperatura en el huevo, tomando en cuenta el tiempo para que este recupere su temperatura óptima.

Para el cálculo del tiempo es necesario el valor del número Biot, para determinar si estamos frente a una distribución de temperatura uniforme entre la superficie del sólido y el fluido, en este caso el aire dentro de la incubadora que será distribuido por medio de un ventilador.

$$Bi = \frac{h \cdot L_c}{k} < 0.1 \quad (3.3)$$

Donde:

Coefficiente de calor por convección (h):  $25 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

( $L_c$ ) es la relación entre volumen y superficie del sólido:

$$L_c = \frac{V}{A_s} \quad (3.4)$$

Volumen promedio de las muestras obtenidas:  $0.0000617 \text{ m}^3$

$$L_c = \frac{0.0000617 \text{ m}^3}{0,007665351 \text{ m}^2}$$

$$L_c = 0.008 \text{ m}$$

Conductividad térmica del huevo (K):  $550 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$  (en la primera semana de almacenaje)

$$Bi = \frac{\frac{25W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 0.008 m}{\frac{550 W}{m \cdot ^\circ C}} < 0.1$$

$$Bi = 0.00073 < 0.1$$

El numero Biot (Bi) cumple con la condición por lo tanto la distribución de temperatura es uniforme.

Aplicamos la ecuación:

$$\frac{\rho V c}{h A_s} \ln \frac{T_i - T_\infty}{T - T_\infty} \quad (3.5)$$

Donde:

La densidad ( $\rho$ ) es:  $97.23 \text{ Kg}/m^3$  (para huevos de 60 gramos y el volumen dimensionado anteriormente).

Volumen (V) promedio de las muestras obtenidas:  $0.0000617m^3$

El calor especifico será:  $3584 \text{ J}/\text{Kg } ^\circ\text{C}$

Coefficiente de calor por convección (h):  $25W/m^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

Área de superficie del huevo ( $A_s$ ):  $0,007665351m^2$

Las condiciones para la temperatura son:

Temperatura inicial ( $T_i$ ):  $36^\circ\text{C}$

Temperatura final (T):  $37^\circ\text{C}$

La temperatura que debe estar la incubadora ( $T_{\infty}$ ), está definida por el cálculo del tiempo más apropiado en llegar a la temperatura óptima de incubación y se realizó la tabla 4.

Tabla 4.

Temperatura de la incubadora.

Temperatura Incubadora °C	Tiempo en segundos
37	-----
37,1	134,54
37,2	100,53
37,3	82,27
37,4	70,29
37,5	61,64
37,6	55,03
37,7	49,78
37,8	45,50
37,9	41,92
38	38,89
38,1	36,28
38,2	34,01
38,3	32,01
38,4	30,24
38,5	28,66
38,6	27,24

Nota: Temperatura y tiempo necesario para mantener el embrión a 37°C.  
Elaborado por: B. Erazo (2016)

En la tabla 4. Se representa los resultados de los tiempos calculados y se estima que el cambio de temperatura sea aproximadamente de un minuto, la temperatura que más se acerca es la de 37,5°C.

Para 37.5 °C obtenemos el calor transferido;

$$q'' = \frac{T_h - T_a}{\frac{1}{h} + \frac{GC}{K}}$$

$$q'' = 24.99W/m^2$$

$$q = \frac{24.99W}{m^2} * 0.007665m^2$$

$$q = 0.192W$$

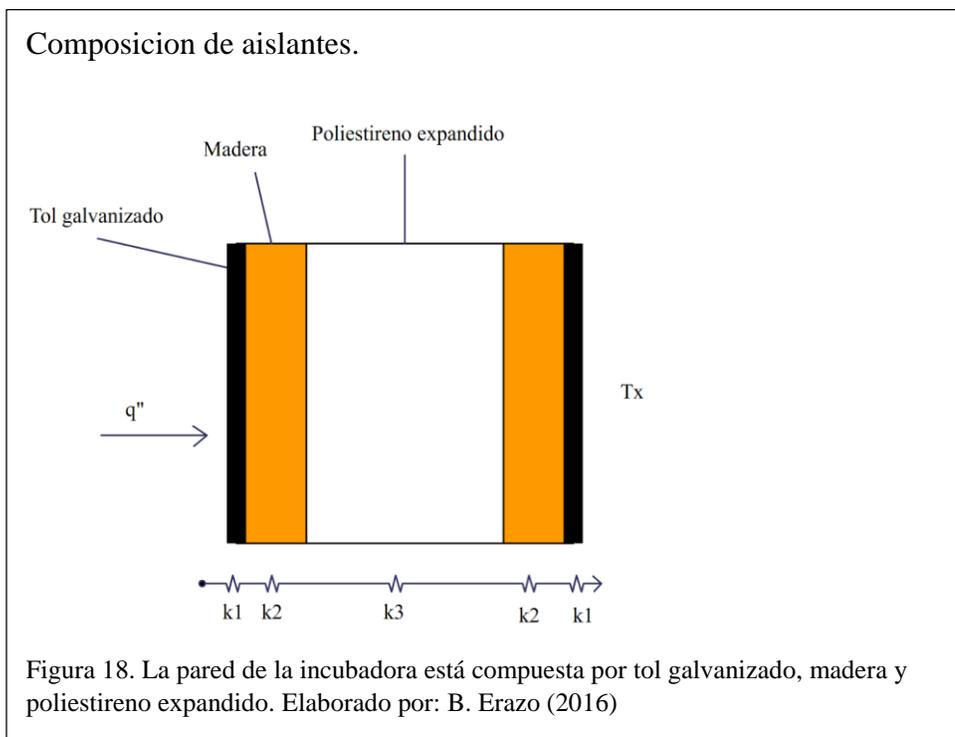
$$q_{Total} = q * \text{numero de huevos}$$

$$q_{Total} = 57.47 W$$

Se estima que cada vez que se pierda 1°C de temperatura se aplique 57,47 W para mantener la temperatura necesaria en la incubación.

### 3.2 Pérdidas de calor

Para evitar pérdidas innecesarias al ambiente se necesita calcular espesores de aislantes térmicos, para este proyecto se ha determinado ciertos tipos de aislantes económicos que se pueden utilizar.



Como se muestra en la figura 18, el calor del aire penetra por convección el tol galvanizado, por madera y poliéstireno expandido hasta llegar a la temperatura ( $T_x$ ).

Donde:

El flujo de calor inicial ( $q_i''$ ) ya lo hemos calculado:

$$q'' = 949.74W/m^2$$

Temperatura de la incubadora ( $T_{incubadora}$ ):  $37,5^{\circ}\text{C}$

En el mercado se encuentran planchas de tol de espesores de ( $L_{tol}$ ) :  $0,5\text{mm}$

Conductividad térmica del tol galvanizado ( $K_1$ ):  $42\text{ W/m }^{\circ}\text{C}$

Seleccionamos tableros de madera de espesor ( $L_m$ ):  $10\text{ mm}$

Conductividad térmica de la madera ( $K_2$ ):  $0.13\text{ W/m }^{\circ}\text{C}$

Con estos datos podemos calcular el espesor necesario del poliestireno expandido, sabiendo que su conductividad térmica es ( $K_3$ ):  $0.025\text{ W/m }^{\circ}\text{C}$ , suponiendo que la temperatura ( $T_x$ ) sea de  $19^{\circ}\text{C}$ , para que se mantenga en un grado de diferencia con la temperatura ambiente.

$$\frac{949.74\text{W}}{\text{m}^2} = \frac{37.5^{\circ}\text{C} - 19^{\circ}\text{C}}{\left[ \frac{1}{\frac{25\text{W}}{\text{m}^2^{\circ}\text{C}} * 4.43\text{m}^2} + 2 \frac{0.005\text{m}}{\frac{42\text{ W}}{\text{m }^{\circ}\text{C}} * 4.43\text{m}^2} + 2 \frac{0.01\text{m}}{\frac{0.13\text{ W}}{\text{m }^{\circ}\text{C}} * 4.43\text{m}^2} + \frac{L_p}{\frac{0.025\text{ W}}{\text{m }^{\circ}\text{C}} * 4.43\text{m}^2} \right]}$$

$$L_p = 0.031\text{m}$$

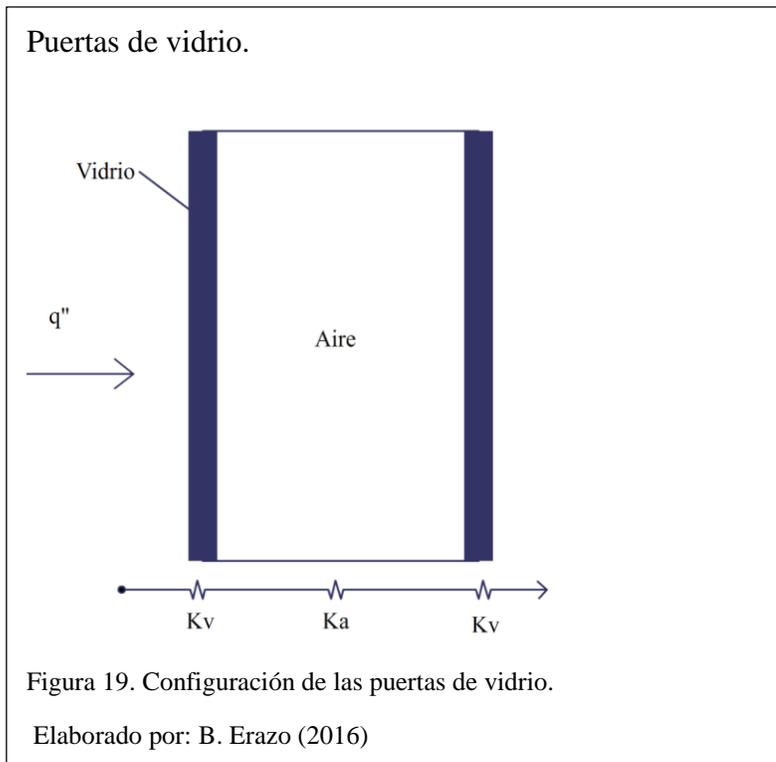
Con este espesor ( $L_p$ ) del poliestireno expandido podemos asegurar que las pérdidas de calor son mínimas.

Se hace el mismo proceso para las puertas de la incubadora las cuales deben ser de cristal, con el objetivo que el operador pueda observar la eclosión en los últimos días del proceso de incubación.

Conductividad térmica del tol galvanizado ( $K_v$ ): 0.6 W/m °C

Espesor del vidrio ( $L_v$ ) : 0,5mm

Conductividad térmica del aire ( $K_a$ ): 0.024 W/m °C



La figura 19, muestra el mismo concepto de la figura 17, con la diferencia que se tiene 2 láminas de vidrio y aire entre ellas.

$$q_i'' = \frac{T_{incubadora} - T_x}{\left[ \frac{1}{h * A_s} + 2 \frac{L_v}{K_v * A_s} + \frac{L_m}{K_a * A_s} \right]}$$

$$\frac{949.74W}{m^2} = \frac{37.5^\circ C - 19^\circ C}{\left[ \frac{1}{\frac{25W}{m^2 \cdot ^\circ C} * 1.522m^2} + 2 \frac{0.005m}{\frac{0.6 W}{m \cdot ^\circ C} * 1.522m^2} + \frac{L_a}{\frac{0.024 W}{m \cdot ^\circ C} * 1.522m^2} \right]}$$

$$L_a = 0.01m$$

Cabina de Incubación.

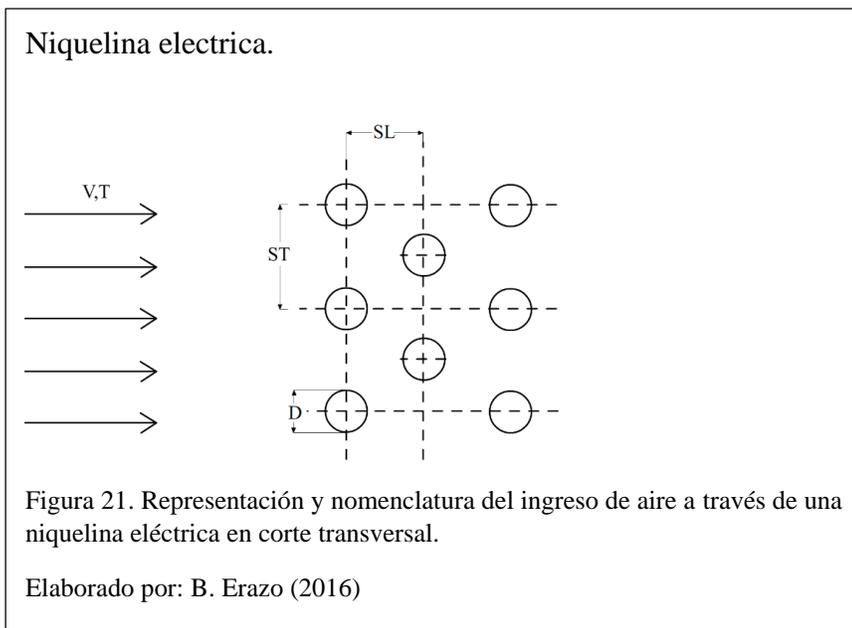


Figura 20. Cabina compuesta con tol galvanizado, madera, poliestireno expandido y puertas de vidrio doble. Elaborado por: B. Erazo (2016)

La figura 20, es una representación gráfica de cómo debería montarse la cabina de la incubadora con sus respectivas láminas de aislantes con los espesores ya calculados.

### 3.3 Diseño de la niquelina eléctrica

En nuestro caso se necesita de niquelinas de temperaturas moderadas, para evitar excesos de temperaturas que puedan comprometer el material de algunos componentes, como es el caso de ventiladores, bandas flexibles, motores eléctricos y otros. En este caso se ha determinado temperaturas de niquelina entre 60°C y 90°C.



En la figura 21, el aire frío atraviesa la niquelina eléctrica de distancias dadas (SL) y (ST) donde se transfiere el flujo de calor por convección.

El ventilador seleccionado es diámetro 20 cm y tiene un caudal de  $0.0519 \text{ m}^3/\text{s}$ . y  $V_{in} = 1.653 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

Diámetro de niquelina (D): 5mm.

Distancia  $S_L$ : 0.015m

Distancia  $S_T$ : 0.015m

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} * V_{in} \quad (3.6)$$

$$V_{max} = 2.479 \frac{m}{s}$$

Procedemos a calcular  $Re_{D,max}$  (Incropera, 1999, pág. 375)

$$Re_{D,max} = \frac{V_{max} * D}{\nu} \quad (3.7)$$

( $\nu$ ) Aire a 36° C:  $16.82 \times 10^{-6} m^2/s$  interpolando tabla A4 (Incropera, 1999, pág. 839)

$$Re_{D,max} = 738.01$$

$$\frac{S_T}{S_L} = \frac{0.015m}{0.015m} = 1 \quad (3.8)$$

Con el resultado de  $Re_{D,max}$  y de  $\frac{S_T}{S_L}$  se puede obtener  $m$  y  $C_2$ :  $m: 0.6$  y  $C_2: 0.92$ . tablas 7.7

y 7.8. (Incropera, 1999, pág. 380)

$$C = 0.35 \left( \frac{S_T}{S_L} \right)^{1/5} \quad (3.9)$$

$$C = 0.35$$

$$\overline{Nu}_D = C_2 * C * Re_{D,max}^m * Pr^{0.36} \left( \frac{Pr}{Pr_s} \right)^{1/4} \quad (3.10)$$

Interpolando Aire 36°C de entrada  $Pr = 0.7057$  y Aire de salida  $Pr_s = 0.7056$  Tabla A4.

(Incropera, 1999, pág. 839)

$$\overline{Nu}_D = 14.94$$

$$\bar{h} = \overline{Nu}_D \frac{k}{D} \quad (3.11)$$

$$\bar{h} = 80.55 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$T_s - T_0 = (T_s - T_i) \exp\left(-\frac{\pi * D * N * \bar{h}}{\rho * V * N_T * S_T * C_p}\right) \quad (3.12)$$

Donde (N) número total de líneas de la niquelina y  $N_T$  es el número de líneas por fila.

$$T_s - T_0 = 18.43^\circ C$$

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_s - T_i) - (T_s - T_0)}{\ln\left(\frac{T_s - T_i}{T_s - T_0}\right)} \quad (3.13)$$

$$\Delta T_{ml} = 21.09^\circ C$$

$$q' = N(\bar{h} * \pi * D * \Delta T_{ml})$$

$$q' = 800.68 \frac{W}{m}$$

Si suponemos que la longitud de la niquelina de es de 0.1m entonces:

$$q = 800.68 \frac{W}{m} * 0.1m$$

$$q = 80.06 W$$

## Capítulo IV

### 4.1 Simulación de la incubadora

Dentro de los procedimientos de simulación por el método de elementos finitos, para este caso se han determinado algunos modelos, y se realizaron pruebas en software, para determinar cuál modelo es más apropiado en cumplir con las condiciones óptimas de incubación (Lewis, 2004).

#### 4.1.1 Modelado por convección

La fuente principal de calor está dada por una niquelina eléctrica, la cual por ayuda de un ventilador, da calor al volumen interno de aire dentro de la incubadora. En este caso para determinar la cantidad de energía transferida por parte de la niquelina y el fluido que recorre a través de ella en este caso aire, se determina con la siguiente ecuación:

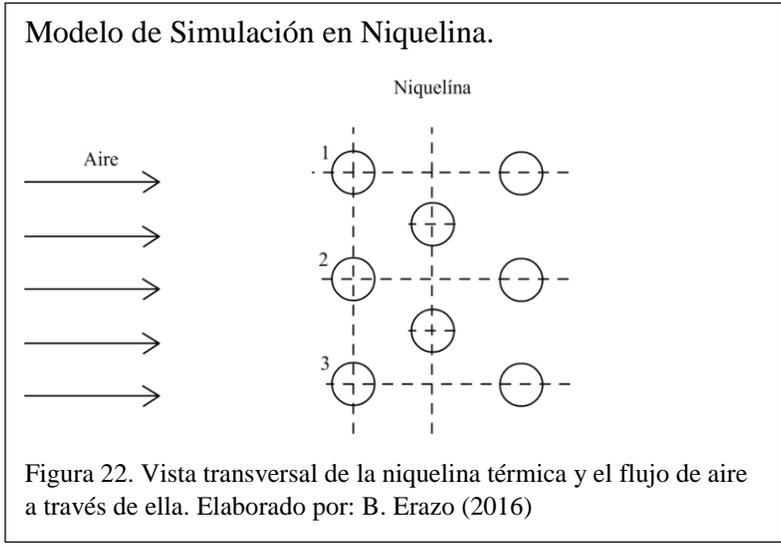
$$Q = WT \quad (4.1)$$

Donde:

( $Q$ ) Es la cantidad de calor

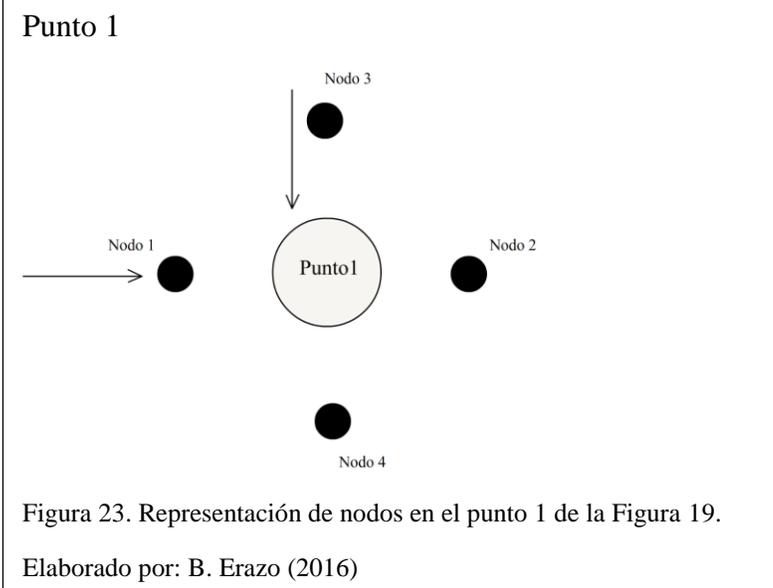
( $W$ ) Es:  $\rho * C_p$

( $T$ ) Es la temperatura



La figura 21, muestra el modelo para simular del aire impulsado por un ventilador a través de la niquelina eléctrica.

Se analiza el primer punto de la Figura 21 y se obtiene el siguiente análisis:



En la Figura 22 se entiende que el flujo de aire recorre desde el nodo 1 hasta el nodo 2, y en cierta forma la niquelina que se entiende que esta en dirección vertical por los nodos 3

y 4, mantendrá una temperatura constante, pero para facilitar el cálculo se mantendrá el orden del nodo 3 al nodo 4.

Para el nodo 1:

$$Q_1 = W_1 T_1 \quad (4.2)$$

Para el nodo 2:

$$Q_2 = W_1 T_2 - UA(T_{1-2} - T_3) \quad (4.3)$$

Donde:

( $U$ ) Es el coeficiente de global de transferencia de calor

( $A$ ) Es el área

( $T_{1-2}$ ) Es:  $\frac{T_1 + T_2}{2}$

Y  $W_1$  se mantiene debido que se trata del mismo fluido.

Para el nodo 3:

$$Q_3 = W_2 T_3 \quad (4.4)$$

Para el nodo 4:

$$Q_3 = Q_4 \quad (4.5)$$

Ya que mantienen la misma temperatura.

Con las ecuaciones (4.2), (4.3) y (4.5) se arma la siguiente matriz:

$$\begin{bmatrix} W_1 & 0 & 0 \\ -UA & \left(W_1 - \frac{UA}{2}\right) & \frac{UA}{2} \\ \frac{2}{0} & 0 & W_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{bmatrix}$$

## 4.2 Análisis de resultados

Las simulaciones se realizaron con los siguientes parámetros:

- Volumen interno de aire

Temperatura inicial: 36°C

- Niquelina

Temperatura: 60°C

Número de líneas por fila: 5 u.

Número total de líneas: 30 u.

- Ventilador

Diámetro: 20 cm

2000 RPM

### Modelo para simulación

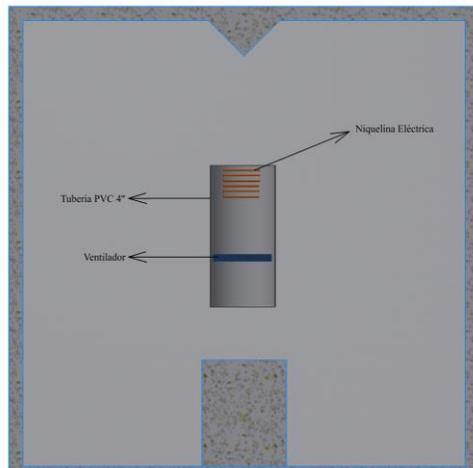


Figura 24. Ventilador y niquelina dentro de un tubo PVC para mejorar el flujo de aire a través de la niquelina. Elaborado por: B. Erazo (2016)

La figura 24, es el modelado 3D que se utilizó para simular en un software comercial.

Una vez introducidos los parámetros se procedió con la simulación dando como resultado la Figura 25.

### Simulación 1

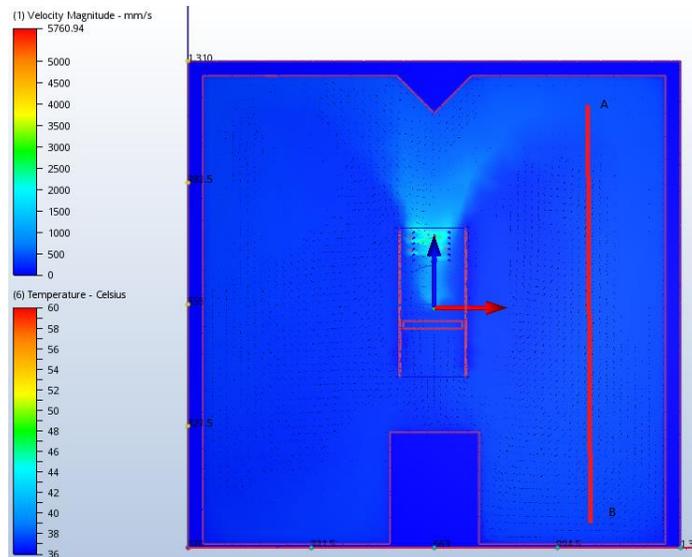
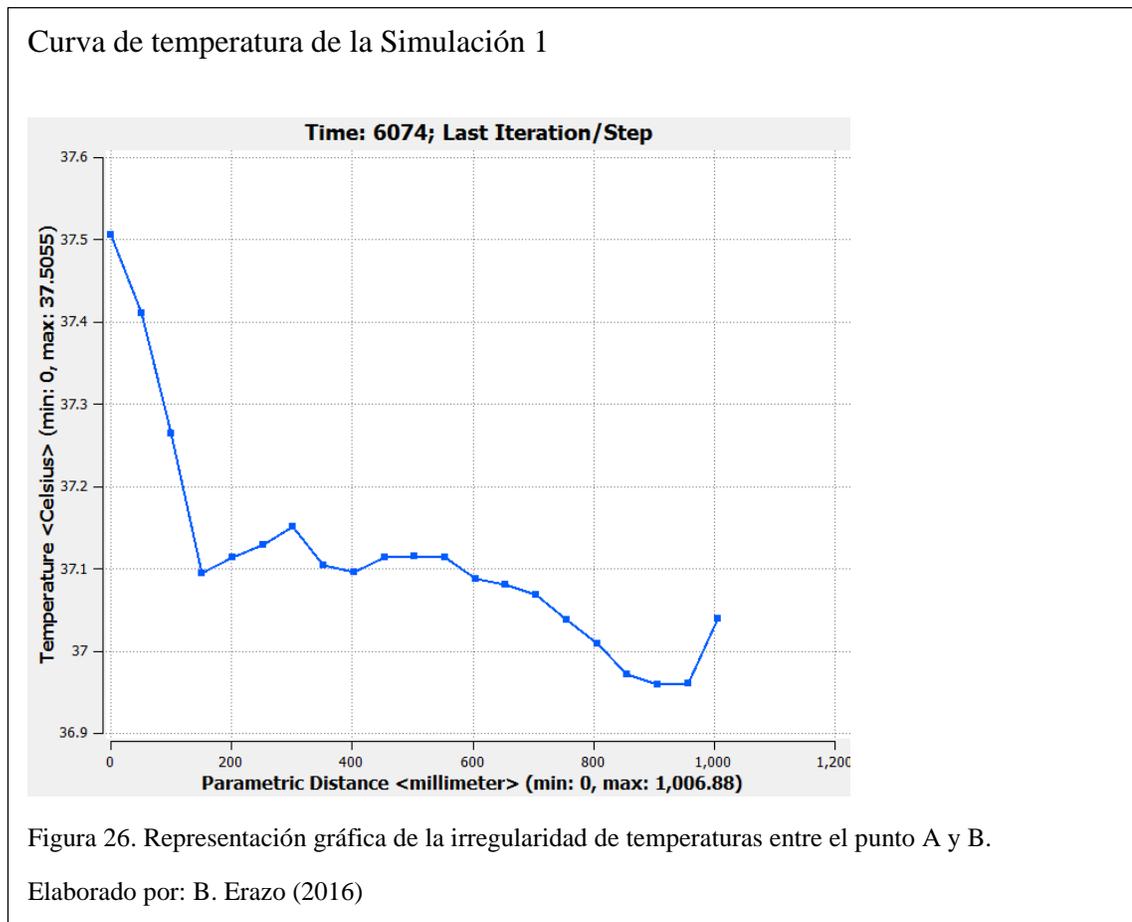


Figura 25. Se muestra la diferencia de temperaturas teniendo en cuenta que existe mayor temperatura a la salida del flujo de la niquelina el cual toma un color más claro. Elaborado por: B. Erazo (2016)

La figura 25, muestra la distribución de temperaturas dentro de la incubadora, utilizando un ventilador de 20 cm para transferir un caudal de aire a través de la niquelina eléctrica que se encuentra a 60°C.

Se pudo trazar una curva de temperaturas entre el punto A y el punto B de la Figura 24.



Como se puede observar en la Figura 26 existe aproximadamente medio grado de variación de temperatura entre el punto A y B, considerando que según la Figura 20 existe acumulación de aire caliente en la parte central superior de la incubadora, se eligió colocar un segundo ventilador con el objetivo de disipar el aire caliente y mejorar la circulación y distribución de calor dentro de la incubadora.

## Simulación 2

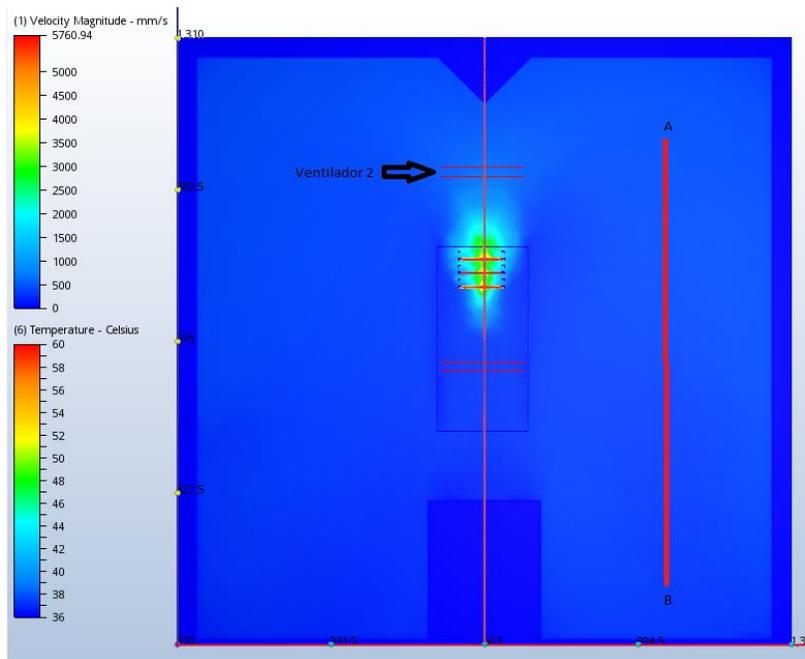


Figura 27. Simulación con mismos parámetros que la simulación 1 con dos ventiladores.  
Elaborado por: B. Erazo (2016)

La simulación 2 de la figura 27, fue simulada con los mismos parámetros y el mismo software comercial de la simulación 1.

### Curva de temperatura Simulación 2.

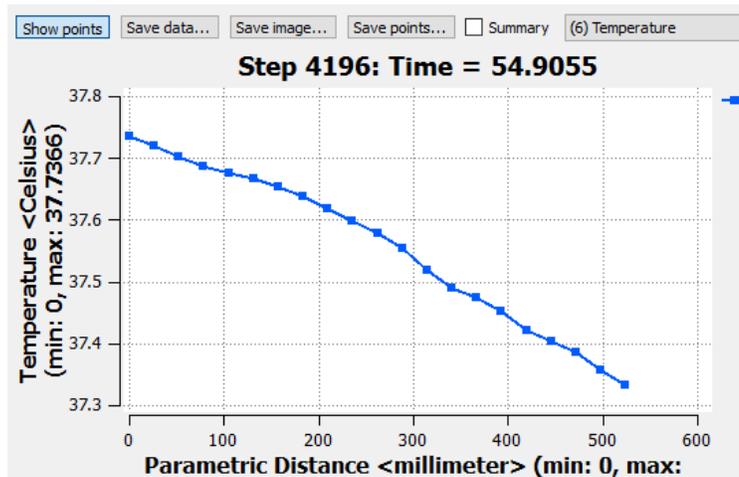
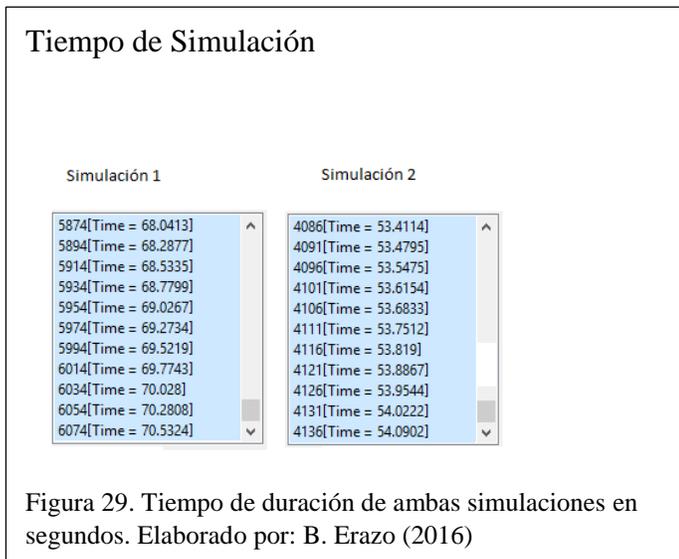


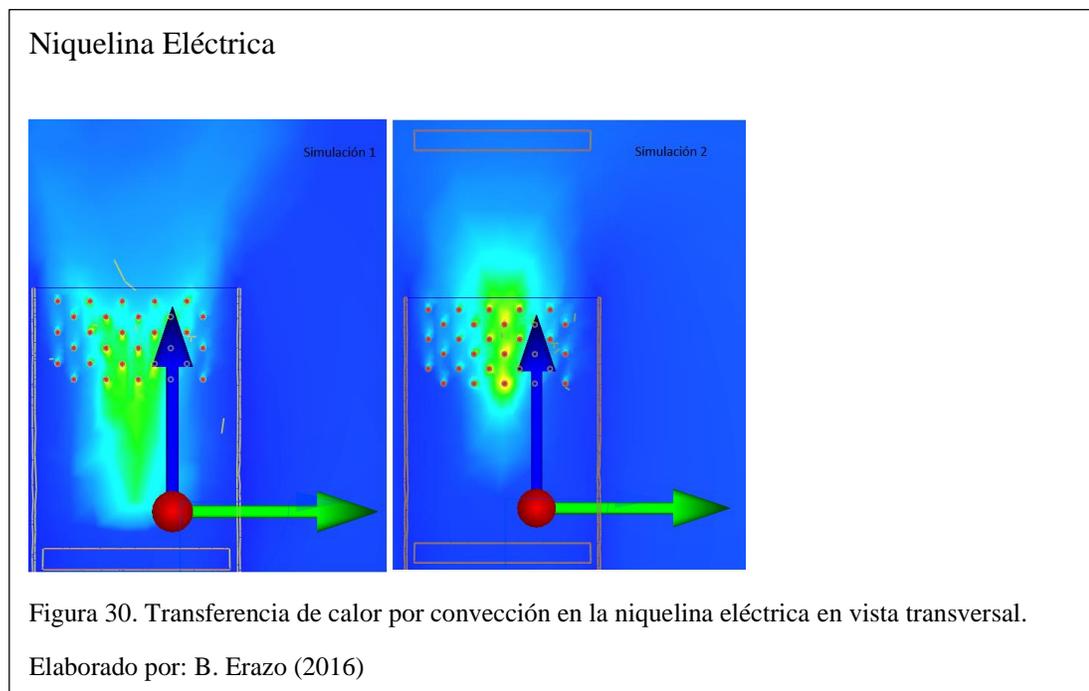
Figura 28. Curva de temperatura de la simulación 2.

Elaborado por: B. Erazo (2016)

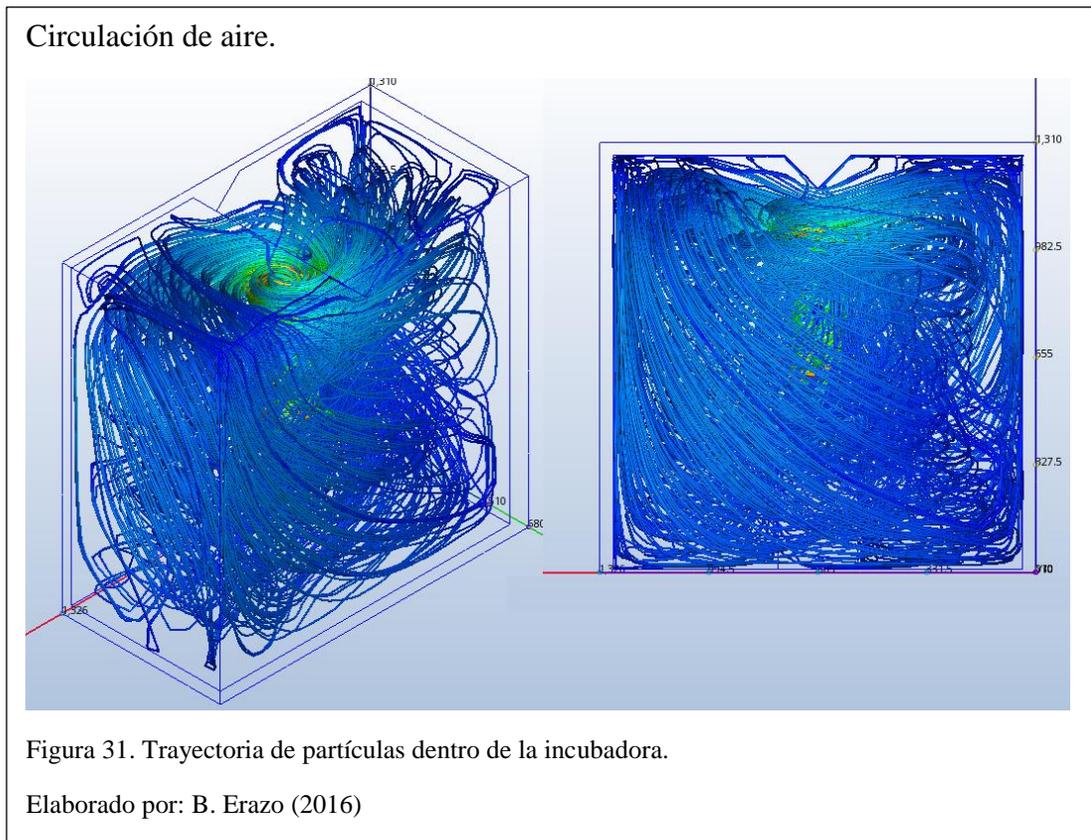
En la figura 28, se observa una curva más regular lo que da a entender que hay una mejor distribución de calor dentro de la incubadora, aunque la diferencia de temperaturas no ha mejorado notablemente en comparación a la simulación 1.



Al tener mejor distribución de calor la simulación 2 llegó a la temperatura necesaria de 37,5 °C en menor tiempo y menor número de pasos que la simulación 1 como se muestra en la Figura 29.



En la figura 30, se puede ver la diferencia de transferencia de calor entre la niquelina con un ventilador en la simulación 1 que acumula calor en el centro del ventilador mientras que el calor es disipado de mejor manera en la simulación 2.



Para asegurar que la circulación de aire caliente sea óptima se ha graficado la trayectoria de partículas dentro de la incubadora en la simulación como se muestra en la Figura 31.

## Conclusiones

- Se consideró como factor el productor avícola pequeño es decir una producción de al menos trescientas aves cada seis semanas, por este motivo la incubadora fue diseñada para esta cantidad de aves, es decir para 300 huevos. Aunque su diseño fundamental permite incrementar el número, como el torque de salida del sistema de transmisión es suficiente como para mover cuatro mecanismos iguales a los que se plantea. El rediseño para aumentar el número de aves puede estar limitado por el espacio que ocupa la incubadora.
- El diseño es eficaz en regiones con alto índice de humedad, ya que en climas secos se necesita implementar sistemas para alcanzar la humedad necesaria para la incubación, por este motivo no es viable porque dichos sistemas consumen energía en gran cantidad y puede ser contra productivo en especial para un productor pequeño.
- La incubación artificial mejora la eficiencia de producción en comparación de la incubación natural ahorrando espacio y cuidados extras que requiere la incubación natural.
- Se logró simular las condiciones de temperatura en la incubadora, y se realizaron varias simulaciones de diferentes modelos para determinar el modelo más adecuado, gracias a esto se puede concluir que el diseño presentado es óptimo para la incubación, gracias a su eficaz distribución de temperatura.

## **Recomendaciones**

- Para un diseño de un número mayor de 1080 huevos, tomar en cuenta el tamaño dimensional de la incubadora y el espacio físico que se tiene a disposición.
- Los huevos deben ingresar secos dentro de la incubadora, se recomienda hacer limpieza o fumigación unos días antes de comenzar la incubación.
- Se recomienda ubicar la incubadora en espacios secos y cubiertos.
- No utilice mapas de cartón, use mapas plásticos o metálicos.
- Evite abrir las puertas de la incubadora durante el proceso de incubación.

## **Manual de Operación**

- 1.** Ubicar el equipo en un lugar adecuado, teniendo en cuenta que no será posible moverlo durante el periodo de incubación.
- 2.** Asegúrese que la niquelina eléctrica, ventiladores y el sistema de transmisión funcionen correctamente.
- 3.** Encienda la niquelina eléctrica y cierre las puertas de la incubadora hasta llegar a temperatura de 37°C.
- 4.** Coloque los maples con huevos sobre las parrillas dentro de la incubadora. Asegúrese que los maples estén fijos a las parrillas.
- 5.** Encienda el sistema de transmisión.
- 6.** Verifique que las puertas estén cerradas.
- 7.** Después de 18 días apague el sistema de transmisión.
- 8.** Verifique y separe los polluelos fuera de la incubadora.

## Referencias

- BM Editores. (2016). Aspectos Críticos del Manejo y Almacenamiento del Huevo Fértil. Octubre 2015, de BM Editores Sitio web: <http://bmeditores.mx/avicultura/>
- Budynas, Richard G.. (2012). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Mexico D.F.: McGraw-HILL.
- Caviard. (2010). Maples plásticos para huevos. 2010, de Caviard Sitio web: <http://www.caviard.com>
- El Sitio Avícola. (2013). Cuidado e incubación de los huevos fértiles. 17 diciembre 2013, de El Sitio Avícola Sitio web: <http://www.elsitioavicola.com>
- Jane S.R. Coimbra. (2005). Density, heat capacity and thermal conductivity of liquid egg products. Mayo 2005, de elsevier Sitio web: [www.elsevier.com/locate/jfoodeng](http://www.elsevier.com/locate/jfoodeng)
- Incropera, Frank P. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor. Mexico: Pearson Education.
- Lewis, Roland W.. (2004). Fundamentals of the Finite Element Method for Heat and Fluid Flow. Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd.
- Loidi, Jose M. Echarri. (1950). Incubación Natural. Madrid.
- Ramos, Antonio Callejo. (2010). 7.1 Manejo del huevo fértil antes de la incubación. 2010, de OpenCourseWare Sitio web: [http://ocw.upm.es/produccion-animal/produccion-avicola/contenidos/TEMA\\_7.\\_INCUBACION/7-1-manejo-del-huevo-fertil-antes-de-la-incubacion](http://ocw.upm.es/produccion-animal/produccion-avicola/contenidos/TEMA_7._INCUBACION/7-1-manejo-del-huevo-fertil-antes-de-la-incubacion)

Tienda Ganadera. (2016). Incubadoras y Criadoras. Sitio web:

<http://tiendaganadera.com/Incubadoras-y-Criadoras/>

## Anexos

### Anexo 1

#### Pruebas de resistencia

Para determinar que las fuerzas calculadas no afecten la integridad del producto dentro de la incubadora se realizaron pruebas de resistencia.

Prueba de resistencia de un huevo



Figura A1. Se probaron con muestras de pesos similares dentro del rango para incubación y en distintas posiciones.

## Resultados de la prueba de resistencia



Figura A2. Los resultados variaron según las posiciones de las muestras.

Resultados:

Tabla A1.

Posición	Fuerza
Horizontal	61.533[N]
Vertical	67.413[N]

Como se muestra en la tabla A1 las fuerzas que actúan en la incubadora están muy por debajo del límite de ruptura.

## Anexo 2

### Masa de parrilla

Para el dato del peso de la parrilla se utilizó un modelado 3D y como material Acero comercial.

Modelado 3D Parrilla base para maples.

Propiedades generales

Incluir soldaduras ficticias  Incluir anulaciones de CTAD

Centro de gravedad

**Masa** 1,831 kg (Error rel) X 1,919 mm (Error rel)

Área 149736,223 mm<sup>2</sup> Y -4,755 mm (Error rel)

Volumen 233203,638 mm<sup>3</sup> Z 1,390 mm (Error rel)

Propiedades de inercia

Principal  Global  Centro de gravedad

Momentos principales

I1 23509,048 kg m<sup>2</sup> I2 44602,816 kg m<sup>2</sup> I3 21265,087 kg m<sup>2</sup>

Rotación a principal

Rx 0,00 gr (Error n) Ry 0,00 gr (Error n) Rz 0,00 gr (Error n)

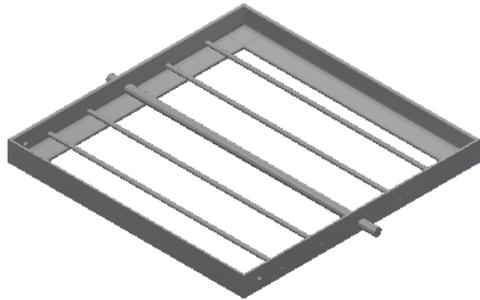


Figura A3. Masa de la parrilla 1.831 kg.

## Anexo 3

### Cálculo de esfuerzos de Hertz.

Tabla

A-5

(Budynas,

2012)

Constantes físicas de materiales

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Relación de Poisson $\nu$	Peso específico w		
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lbf/pulg <sup>3</sup>	lbf/ft <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>
Abeto Douglas	1.6	11.0	0.6	4.1	0.33	0.016	28	4.3
Acero al carbono	30.0	207.0	11.5	79.3	0.292	0.282	487	76.5
Acero al níquel	30.0	207.0	11.5	79.3	0.291	0.280	484	76.0
Acero inoxidable (18-8)	27.6	190.0	10.6	73.1	0.305	0.280	484	76.0
Aleaciones de titanio	16.5	114.0	6.2	42.4	0.340	0.160	276	43.4
Aluminio (todas las aleaciones)	10.4	71.7	3.9	26.9	0.333	0.098	169	26.6
Bronce fosforado	16.1	111.0	6.0	41.4	0.349	0.295	510	80.1
Cobre	17.2	119.0	6.49	44.7	0.326	0.322	556	87.3
Cobre al berilio	18.0	124.0	7.0	48.3	0.285	0.297	513	80.6
Hierro fundido (gris)	14.5	100.0	6.0	41.4	0.211	0.260	450	70.6
Inconel	31.0	214.0	11.0	75.8	0.290	0.307	530	83.3
Latón	15.4	106.0	5.82	40.1	0.324	0.309	534	83.8
Magnesio	6.5	44.8	2.4	16.5	0.350	0.065	112	17.6
Molibdeno	48.0	331.0	17.0	117.0	0.307	0.368	636	100.0
Monel metal	26.0	179.0	9.5	65.5	0.320	0.319	551	86.6
Plata niquelada	18.5	127.0	7.0	48.3	0.322	0.316	546	85.8
Plomo	5.3	36.5	1.9	13.1	0.425	0.411	710	111.5
Vidrio	6.7	46.2	2.7	18.6	0.245	0.094	162	25.4

## Anexo 4

### Diseño de resorte:

Tabla 10-4 (Budynas, 2012)

Constantes  $A$  y  $m$  de  $S_u = A/d^m$  para estimar la resistencia de tensión mínima de alambres para fabricar resortes comunes

Fuente: De Design Handbook, 1987, p. 19. Cortesía de Associated Spring.

Material	ASTM núm.	Exponente $m$	Diámetro, pulg	$A$ , kpsi · pulg <sup><math>m</math></sup>	Diámetro, mm	$A$ , MPa · mm <sup><math>m</math></sup>	Costo relativo del alambre
Alambre de piano*	A228	0.145	0.0040.256	201	0.106.5	2 211	2.6
Alambre T y R en aceite <sup>1</sup>	A229	0.187	0.0200.500	147	0.5-12.7	1 855	1.3
Alambre estirado duro <sup>1</sup>	A227	0.190	0.0280.500	140	0.7-12.7	1 783	1.0
Alambre al cromo vanadio <sup>3</sup>	A232	0.168	0.0320.437	169	0.8-11.1	2 005	3.1
Alambre al cromo silicio <sup>1</sup>	A401	0.108	0.0630.375	202	1.6-9.5	1 974	4.0
Alambre inoxidable 302 <sup>4</sup>	A313	0.146	0.0130.10	169	0.3-2.5	1 867	7.6-11
		0.263	0.100.20	128	2.5-5	2 065	
		0.478	0.200.40	90	5-10	2 911	
Alambre de bronce fosforado**	B159	0	0.0040.022	145	0.1-0.6	1 000	8.0
		0.028	0.0220.075	121	0.6-2	913	
		0.064	0.0750.30	110	2-7.5	932	

## Anexo 5

### Diseño de bandas flexibles:

Tabla 17-9 (Budynas, 2012)

Sección de la banda	Ancho $a$ , pulg	Espesor $b$ , pulg	Diámetro mínimo de polea, pulg	Intervalo de potencias (hp), una o más bandas
A	$\frac{1}{2}$	$\frac{11}{32}$	3.0	$\frac{1}{4}$ -10
B	$\frac{21}{32}$	$\frac{7}{16}$	5.4	1-25
C	$\frac{7}{8}$	$\frac{17}{32}$	9.0	15-100
D	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	13.0	50-250
E	$1\frac{1}{2}$	1	21.6	100 y mayores

Tabla 17-10 (Budynas, 2012)

Sección	Circunferencia, pulg
A	26, 31, 33, 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 66, 68, 71, 75, 78, 80, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128
B	35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 65, 66, 68, 71, 75, 78, 79, 81, 83, 85, 90, 93, 97, 100, 103, 105, 112, 120, 128, 131, 136, 144, 158, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300
C	51, 60, 68, 75, 81, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128, 136, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420
D	120, 128, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660
E	180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660

Tabla 17-11 (Budynas, 2012)

Dimensiones de conversión de longitud. (Sume la cantidad que se muestra a la circunferencia interior para obtener la longitud de paso en pulgadas)

Sección de la banda	A	B	C	D	E
Cantidad a sumar	1.3	1.8	2.9	3.3	4.5

Tabla 17-12 (Budynas, 2012)

Sección de la banda	Diámetro de paso de la polea, pulg	Velocidad de la banda, pie/min				
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 y mayor	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
B	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
7.0 y mayor	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90	
C	6.0	1.84	2.66	2.72	1.87	
	7.0	2.48	3.94	4.64	4.44	3.12
	8.0	2.96	4.90	6.09	6.36	5.52
	9.0	3.34	5.65	7.21	7.86	7.39
	10.0	3.64	6.25	8.11	9.06	8.89
	11.0	3.88	6.74	8.84	10.0	10.1
	12.0 y mayor	4.09	7.15	9.46	10.9	11.1
D	10.0	4.14	6.13	6.55	5.09	1.35
	11.0	5.00	7.83	9.11	8.50	5.62
	12.0	5.71	9.26	11.2	11.4	9.18
	13.0	6.31	10.5	13.0	13.8	12.2
	14.0	6.82	11.5	14.6	15.8	14.8
	15.0	7.27	12.4	15.9	17.6	17.0
	16.0	7.66	13.2	17.1	19.2	19.0
17.0 y mayor	8.01	13.9	18.1	20.6	20.7	
E	16.0	8.68	14.0	17.5	18.1	15.3
	18.0	9.92	16.7	21.2	23.0	21.5
	20.0	10.9	18.7	24.2	26.9	26.4
	22.0	11.7	20.3	26.6	30.2	30.5
	24.0	12.4	21.6	28.6	32.9	33.8
	26.0	13.0	22.8	30.3	35.1	36.7
	28.0 y mayor	13.4	23.7	31.8	37.1	39.1

Tabla 17-13 (Budynas, 2012)

$\frac{D-d}{c}$	$\theta$ , grados	VV	$K_1$ Plana en V
0.00	180	1.00	0.75
0.10	174.3	0.99	0.76
0.20	166.5	0.97	0.78
0.30	162.7	0.96	0.79
0.40	156.9	0.94	0.80
0.50	151.0	0.93	0.81
0.60	145.1	0.91	0.83
0.70	139.0	0.89	0.84
0.80	132.8	0.87	0.85
0.90	126.5	0.85	0.85
1.00	120.0	0.82	0.82
1.10	113.3	0.80	0.80
1.20	106.3	0.77	0.77
1.30	98.9	0.73	0.73
1.40	91.1	0.70	0.70
1.50	82.8	0.65	0.65

Tabla 17-14 (Budynas, 2012)

Factor de longitud	Longitud nominal de la banda, pulg				
	Bandas A	Bandas B	Bandas C	Bandas D	Bandas E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Hasta 195
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-300
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
1.15	120 y mayor	158-180	270-300	480	540-600
1.20		195 y mayor	330 y mayor	540 y mayor	660

Tabla 17-15 (Budynas, 2012)

Maquinaria impulsada	Fuente de potencia	
	Características del par de torsión normal	Par de torsión alto o no uniforme
Uniforme	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Impacto ligero	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4
Impacto medio	1.2 a 1.4	1.4 a 1.6
Impacto pesado	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8

Tabla 17-16 (Budynas, 2012)

Sección de la banda	$K_b$	$K_c$
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1 600	1.716
D	5 680	3.498
E	10 850	5.041
3V	230	0.425
5V	1 098	1.217
8V	4 830	3.288

Tabla 17-17 (Budynas, 2012)

Sección de la banda	$10^8$ a $10^9$ picos de fuerza		$10^9$ a $10^{10}$ picos de fuerza		Diámetro mínimo de polea, pulg
	$K$	$b$	$K$	$b$	
A	674	11.089			3.0
B	1 193	10.926			5.0
C	2 038	11.173			8.5
D	4 208	11.105			13.0
E	6 061	11.100			21.6
3V	728	12.464	1 062	10.153	2.65
5V	1 654	12.593	2 394	10.283	7.1
8V	3 638	12.629	5 253	10.319	12.5

## Anexo 6

### Diseño del eje:

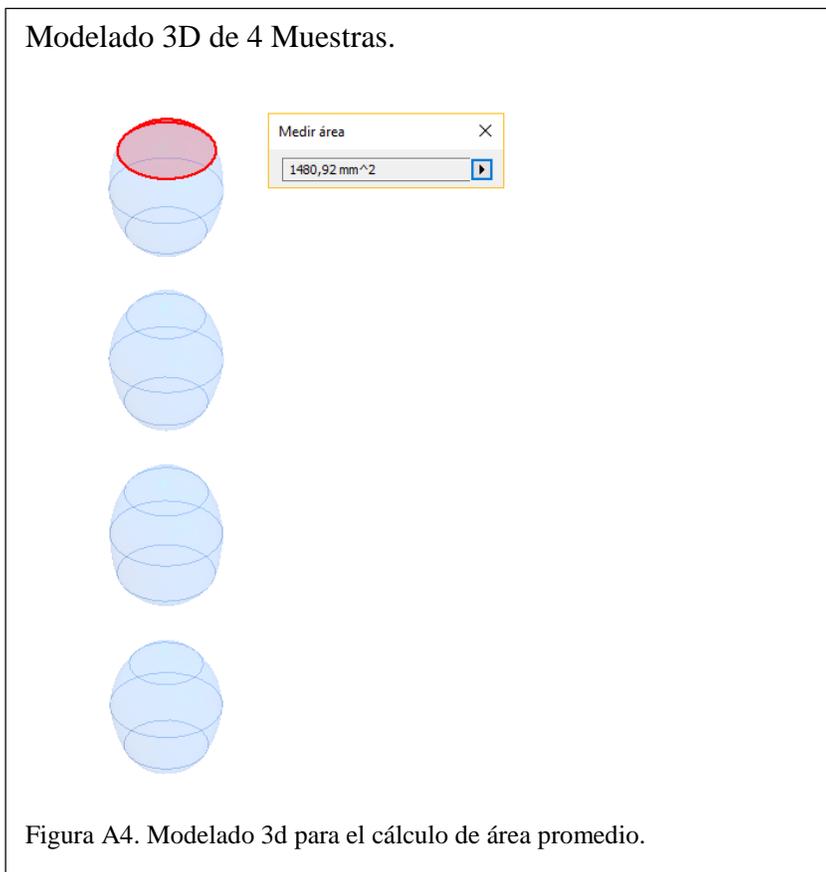
Tabla 6-2 (Budynas, 2012)

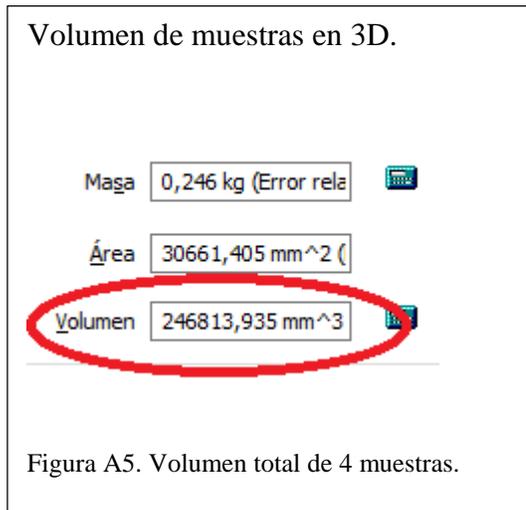
Acabado superficial	Factor $a$		Exponente $b$
	$S_{utr}$ kpsi	$S_{utr}$ MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o estirado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

## Anexo 7

Transferencia de calor

Área de las muestras tomadas de un modelado 3D.





Cp del huevo según su temperatura y porcentaje de agua.

Tabla A-T1 (Journal of Food Engineering , 2006)

Heat capacity ( $C_p$ , Jg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>) of liquid egg products

$W_w$	Temperature (K)										
	273	275	278	281	285	291	295	298	301	307	311
0.518	2.575	2.612	2.718	2.614	2.621	2.664	2.714	2.679	2.739	2.732	2.772
0.591	2.786	2.779	2.913	2.798	2.801	2.841	2.890	2.850	2.910	2.895	2.934
0.664	2.962	2.987	2.964	3.005	2.994	3.024	3.058	3.035	3.076	3.071	3.099
0.736	3.165	3.163	3.184	3.176	3.202	3.204	3.229	3.214	3.244	3.242	3.263
0.809	3.346	3.364	3.345	3.374	3.363	3.382	3.404	3.385	3.414	3.407	3.425
0.882	3.551	3.539	3.665	3.539	3.530	3.552	3.588	3.539	3.590	3.557	3.584

Conductividad térmica de un huevo según su temperatura y porcentaje de agua.

Tabla A-T2 (Journal of Food Engineering , 2006)

Thermal conductivity (kWm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>) of liquid egg products

$W_w$	Temperature (K)										
	273	275	278	281	285	291	295	298	301	307	311
0.518	0.407	0.403	0.403	0.400	0.399	0.397	0.396	0.393	0.393	0.390	0.389
0.591	0.433	0.435	0.433	0.430	0.429	0.428	0.428	0.424	0.426	0.421	0.421
0.664	0.481	0.464	0.467	0.459	0.459	0.458	0.461	0.453	0.459	0.452	0.453
0.736	0.493	0.498	0.493	0.494	0.491	0.490	0.493	0.486	0.490	0.485	0.486
0.809	0.541	0.526	0.529	0.522	0.522	0.522	0.525	0.518	0.522	0.517	0.518
0.882	0.554	0.560	0.555	0.552	0.551	0.552	0.558	0.547	0.555	0.547	0.550

Tabla 1.1 (Incropera, 1999)

Proceso	$h$ (W/m <sup>2</sup> · K)
Convección libre	
Gases	2-25
Líquidos	50-1000
Convección forzada	
Gases	25-250
Líquidos	50-20,000
Convección con cambio de fase	
Ebullición o condensación	2500-100,000

Tabla A-4 (Incropera, 1999)

$T$ (K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m <sup>2</sup> )	$\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$Pr$
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709

## Hoja de mantenimiento

		Periodo			
Componente	Mantenimiento	3 Meses	6 Meses	9 Meses	12 Meses
Motor	Control Visual				x
Bandas Flexibles	Control Visual Y Limpieza			x	
Poleas	Limpieza			x	
Cojinetes	Lubricación	x			
Niquelina Eléctrica	Control Visual Y Limpieza		x		
Ventiladores	Control Visual	x			