



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Especialidad en sistemas mecatronicos

DESARROLLO DE UNA INCUBADORA AUTOMATIZADA DE GALLUS GALLUS CON  
MICROCONTROLADORES

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener la  
Licenciatura de Ingeniería en Sistemas Mecatronicos

**Presenta:**

Martín Omar Jiménez Baeza

**Dirigido por:**

Genaro Martín Soto Zarazúa

SINODALES

Dr. Genaro Martín Soto Zarazúa  
Presidente

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Edgar Rivas Araiza  
Secretario

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Enrique Rico García  
Vocal

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Gonzalo Macías Bobadilla  
Suplente

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz  
Suplente

\_\_\_\_\_  
Firma

Centro Universitario  
Querétaro, Qro.  
Fecha  
México

## RESUMEN

Para obtener los mejores resultados, las incubadoras artificiales permiten un control automatizado y continuo de temperatura y humedad ambiental, mediante forzadores de aire, termostatos y temporizadores. Existen modelos de incubadoras con capacidad desde unas pocas docenas hasta miles de huevos.

El valor de las variables depende de la especie que se desea controlar, en el caso de los pollos (*Gallus gallus*), la temperatura óptima es de 37.7° y la humedad para la eclosión es de 70%, mediante este trabajo de tesis, se llevó a cabo el control de dichas variables todo a partir de un microcontrolador en conjunto con un sistema mecánico también diseñado exclusivo para este proyecto.

Se pretende emplear la tecnología de los microcontroladores para lograr el control de estas variables, pero también el de integrar un sistema completo, al diseñar no solo la parte del hardware y el software embebido sino también diseñando toda la parte mecánica, y finalmente integrarlos en un sistema automatizado hecho en la universidad que sea capaz de llevar a cabo el proceso descrito, para esto se elaboró un diseño para la parte mecánica en NX para después maquinar dicho diseño, así mismo se diseñó el hardware el software Altium, elaborando esquemáticos, y probando por separado cada parte en protoboards, una vez validado todo el hardware se llevó a cabo el diseño de un PCB para poder integrar el sistema completo.

Al final de este proyecto se logró obtener un sistema integrado totalmente funcional, después de llevar a cabo las pruebas del mismo, fue capaz de llevar a cabo el proceso completo, en conclusión se alcanzó el objetivo de desarrollar esta tecnología en la universidad.

## Summary

To have the best results, the artificial incubators, allow an automated and continuous control of the humidity and temperature environmental, by air forcers, thermostats and timers. There are incubators models with a capacity from a few dozen to thousands of eggs.

The value of the variable depends of the specie to be produced, in the case of the chicken (*Gallus gallus*), the optimal temperature is 37.7°C and the humidity for the hatching is 70%, trough for this tesis pooject, the control of the variables was trough for a microcontroller in conjunction with a mechanical system designed in exclusive for this project.

It intends to use the technology of the microcontrollers to achieve control of these variables, but also to integrate a complete system, to design not only the hardware and embedded software but also all the mechanical designing, and finally integrated in an automated system at the university fact that it is capable of carrying out the process described, for this design was developed for the mechanical part a design in the software NX to finally plot it, also was designed the hardware part in the software Altium, developed schematics and validated each part separately in protoboards, and finally was designed the PCB(printed circuit board) to integrate the complete system.

At the end of this project was achived to get a fully functional integrated system, was able to accomplish the complete process, the conclusion was reached to develop this technology in college.

**A mis padres que lograron que  
Esto fuera posible**

"Una persona usualmente se convierte en aquello que él cree que es. Si yo sigo diciéndome a mí mismo que no puedo hacer algo, es posible que yo termine siendo incapaz de hacerlo. Por el contrario si yo tengo la creencia que sí puedo hacerlo, con seguridad y adquiriré la capacidad de realizarlo aunque no la haya tenido al principio. (Gandhi)

## **Agradecimientos**

Agradezco a mis padres y profesores que me apoyaron a lo largo de mi carrera, que me impulsaron a seguir adelante y no darme por vencido por más difícil que fueran las cosas, a todos aquellos profesores pacientes de enseñar y compartir sus conocimientos y experiencia, a mi facultad que está llena de gente bien, y a la universidad por brindarme la oportunidad de tener una educación superior, para poder superarme y ser una persona de bien, gracias a todos los que hicieron esto posible, y a seguir superándonos.

# INDICE

	<b>Página</b>
Resumen	i
Summary	ii
Dedicatorias	iii
Agradecimientos	iv
Indice	v
Indice de cuadros	vi
Indice de figuras	vii
I. INTRODUCCION	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Descripción del problema	3
1.3 Justificación	4
1.4 Objetivos e hipótesis	5
II. REVISION DE LITERATURA	6
2.1 Las partes principales del huevo	6
2.2 Incubación	7
2.3 La incubadora	9
2.3.1 Proceso de incubación	9
2.3.2 Temperatura	9
2.3.2.1 Relación entre la temperatura y los huevos	9
2.3.2.2 Control de la temperatura durante el proceso	10
2.3.3 Humedad	10
2.3.4 Ventilación	11
2.3.5 Volteo	12
2.4 Desarrollo embrionario	13
2.5 Eclosión	15
2.6 Manejo de la incubadora durante los últimos 3 días	16
2.7 Microcontroladores	17
2.7.1 Pic 18f4550	18

2.8	Reloj de tiempo real	20
2.8.1	Características generales del ds1307	21
2.9	Sensor de temperatura y humedad hmz-433 <sup>a</sup>	22
2.10	Motor Jameco	24
III.	METODOLOGIA	25
3.1	Descripción general de la incubadora	25
3.2	Diseño y construcción de la incubadora	25
3.3	Desarrollo del sistema de automatización	27
3.3.1	Control	29
3.3.1.1	Volteo	29
3.3.1.2	Temperatura y humedad	34
3.3.1.3	Ventilación	39
3.3.1.4	Diseño de la PCB	39
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION	41
4.1	Hardware	41
4.2	Firmware	42
4.3	Mecánica	43
4.4	Conclusiones	43
	LITERATURA CITADA	50
	APENDICE	

# Capítulo 1

## 1.1 Antecedentes

Las empresas aglutinadas en la Unión Nacional de Avicultores se encuentran preocupadas ante la inminente liberalización comercial con cero gravamen para la importación de productos avícolas provenientes de Estados Unidos.

El temor es el de no poder competir con una industria que genera mensualmente lo que en México se produce al año, ya que para ser muy claros, la avicultura en el país es 10 veces más pequeña que la estadounidense. Así que el efecto esperado, es que los productores del vecino del norte inunden de pollo barato, sobre todo, de piernas y muslos de carne color blanco cuyas piezas son consideradas de bajo perfil de consumo para el estadounidense que ante todo prefiere y compra la pechuga y las alas.

Una sobreoferta de pollo en el mercado nacional podría provocar una caída del precio del pollo, sobre todo del kilogramo de piernas y muslos en detrimento de la industria nacional que al no poder competir con el pollo congelado estadounidense empezaría a desemplear a la gente.

El escenario es más complejo que el solo hecho de la importación. La avicultura es la actividad más dinámica dentro del sector pecuario, y su importancia radica en que la carne de pollo y de huevo son alimentos básicos en la dieta del mexicano, por ser productos de precios accesibles.

Los estados a donde se produce la mayor cantidad de pollo son Jalisco con el 15%, Guanajuato con el 13%, La Laguna y Veracruz con el 10%, respectivamente. Querétaro con el 9%, Puebla y el Estado de México cada uno con el 8%, Nuevo León y Sinaloa cada uno con el 5%, Yucatán con el 4% y Morelos con el 3 por ciento.

En materia de comercialización el pollo se vende de la siguiente manera: un 31% vivo, un 28% pollo tipo mercado público; un 26% tipo rosticero; un 8.5% en piezas; un 5% tipo supermercado y un 1.5% con algún valor agregado.

Las marcas de pollo nacional más comunes son Bachoco, San Antonio, Patsa, Crivelli y la marca estadounidense que encontramos más frecuentemente en los supermercados es la de Pilgrim's Pride.

Este 2010 presenta para la avicultura nacional nuevos retos, pero también nuevas oportunidades de continuar como la mayor industria pecuaria del país. Prueba de ello son las proyecciones que se tienen para 2010, donde los productores esperan incrementos tanto en la producción como en el consumo de huevo. Aunque no todo el panorama es alentador ya que en el consumo de carne de pollo, las cifras auguran decrementos en el presente año.

Para 2010, según cifras de la Unión Nacional de Avicultores, la industria estima un crecimiento de 2.0% en la producción de huevo y de 0.9% en el consumo per cápita del mismo. En carne de ave, las proyecciones muestran un ligero crecimiento en la producción con respecto al año pasado, sin embargo se espera una baja en el consumo per cápita.

Cabe destacar que la avicultura mexicana es de suma importancia para el sector pecuario del país, ya que aporta buena parte del Producto Interno Bruto de dicho sector (38.5% en 2008), además de ser la industria con el mayor porcentaje de producción en el total pecuario con 63.5 por ciento.

De igual forma, la industria avícola genera en México 1 millón 140 mil empleos, de los cuales 190 mil son directos y 950 mil indirectos, con amplia influencia en las zonas rurales. No hay que pasar por alto que en la actualidad, la avicultura es la principal transformadora de proteína vegetal a proteína animal.

### **Crecimiento en la producción avícola**

Datos preliminares, al cierre de 2009, la producción avícola se ubicó de la siguiente manera: 2.354 millones de toneladas de huevo; 2.789 millones de toneladas de carne de pollo y 11 mil 422 toneladas de carne de pavo. Lo anterior representa un aumento en la producción de huevo de 3.3 % con respecto al 2008,

y para 2010 se espera un crecimiento similar, para alcanzar las 2.432 millones de toneladas. En lo referente a la producción de carne de pollo, se logró un crecimiento de 2.2% con respecto a 2008 y para el 2010 se espera alcanzar una producción de 2.792 millones de toneladas.

Debido a lo anterior, México ocupa el cuarto lugar en producción de pollo a nivel mundial y el quinto lugar en producción de huevo.

## **1.2 Descripción del problema**

Debido a la gran competitividad que existe en algunos sectores como avicultura, agricultura, ganadería y acuicultura, entre otros. A nivel mundial se ha dado una competitividad en la reducción de costos y el incremento de la eficiencia en los procesos de producción de los distintos sectores.

Desgraciadamente a pesar de las grandes oportunidades con las que cuenta el campo mexicano como son las características climáticas, la riqueza en fauna, etc. nuestro país se ha ido rezagando a causa de la poca tecnología aplicada a este campo, por ello se tiene el interés de desarrollar un sistema de automatización para optimizar los recursos utilizados y aumentar la rentabilidad en dicho campo. Existen ya algunos sistemas de automatización comerciales pero su alto costo impide que muchos productores no puedan tener el acceso para adquirir estos sistemas e integrarlos en sus sistemas de producción.

Comúnmente este proceso se efectúa de forma natural. Como consecuencia de esto, los factores que contribuyen a este proceso pueden no ser los necesarios para obtener los mejores resultados, y tener un mayor número de pérdidas.

Actualmente se puede utilizar tecnologías de control, automatización, utilizando los beneficios de la tecnología disponible y no muy costosa para realizar dicho control y automatización.

En este proyecto de tesis se propone realizar un sistema de automatización y control de una sala dedicada únicamente a la incubación avícola, mediante la

utilización de microcontroladores, e interfaces gráficas para el monitoreo de dicho proceso.

### **1.3 Justificación**

La población de México ha incluido desde siempre, el huevo y el pollo en su alimentación. Por ello en los últimos años, nuestro país ocupa el primer lugar a nivel mundial en consumo per cápita de huevo, con 22.19 kg por habitante al año (2009), cifra que se espera aumente en el presente año a 22.41 kg. En la carne de pollo, México tuvo en 2009 un consumo per cápita estimado en 25.96, aunque en 2010 se proyecta un ligero decremento que lo ubicará en 25.73 kg por persona.

Lo anterior refleja una visión difícil con rasgos optimistas para la avicultura mexicana, pero los productores deberán hacerle frente a los retos para seguir fortaleciendo una industria consolidada en territorio nacional y ofrecerle al consumidor productos de alta calidad.

Las grandes empresas tienen un gran impacto en el sector productivo, ya que estas han invertido en la tecnología y desarrollo para el proceso de producción de pollos.

Este sistema propuesto podrá ser implementado por pequeños productores en granjas, ya que las grandes empresas tienen casi todo el mercado de ventas, empresas como bachoco, pilgrims pride, etc.

## **1.4 Objetivos e hipótesis**

### **HIPÓTESIS**

Mantener un ambiente necesario e ideal dentro de una incubadora, controlando las variables necesarias, mediante un microcontrolador, teniendo siempre en cuenta las necesidades del proceso, así como lograr que dicho sistema sea estable manteniendo siempre los valores de las variables dentro de los límites permitidos.

### **OBJETIVO**

Desarrollar un sistema automatizado de incubación para desarrollo de crías de polluelos (*Gallus gallus*).

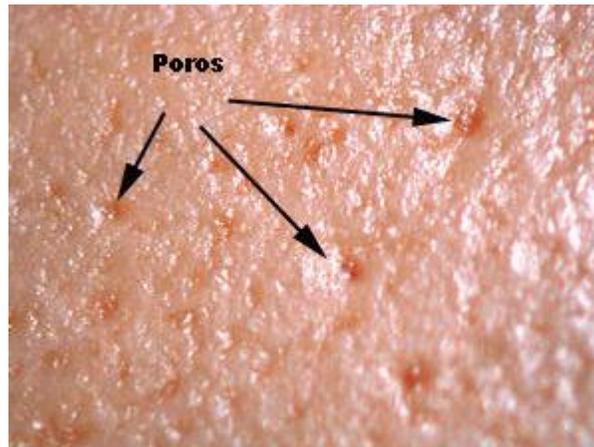
#### **Objetivos Particulares**

- 1.- Diseñar e implementar una incubadora totalmente automatizada usando herramientas de mecatrónica para controlar las variables que intervienen en el proceso de incubación.
- 2.- Implementar un sistema de muestreo, con un display LCD para mostrar al usuario el comportamiento de las variables en tiempo real.
- 3.- Fabricar una incubadora de polluelos hecha en México de baja escala a un bajo precio y con tecnología superior a termostatos.

## Capítulo 2

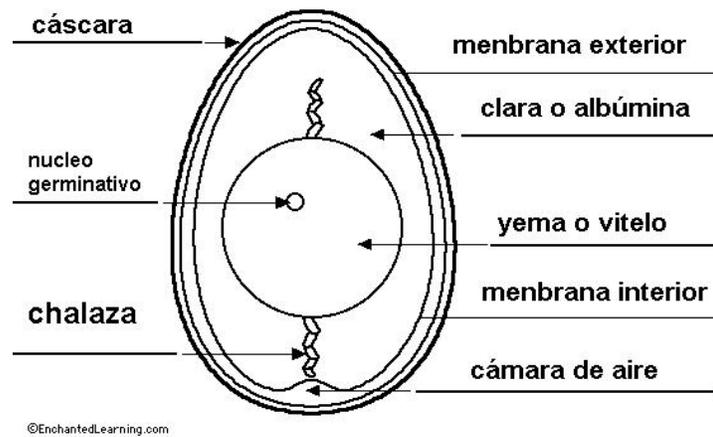
### 2.1 LAS PARTES PRINCIPALES DEL HUEVO

Los componentes principales de un huevo son: la yema, albumina y cámara de aire, está protegido por una cáscara caliza muy delgada, pero dura; la cáscara permite la respiración al dejar pasar el oxígeno a través de los minúsculos poros de su superficie (Wang et al., 2009). Hasta que el polluelo sea capaz de romper la cáscara, la respiración únicamente puede ocurrir con la ayuda del oxígeno que pasa a través de estos poros (Figura 2.1).



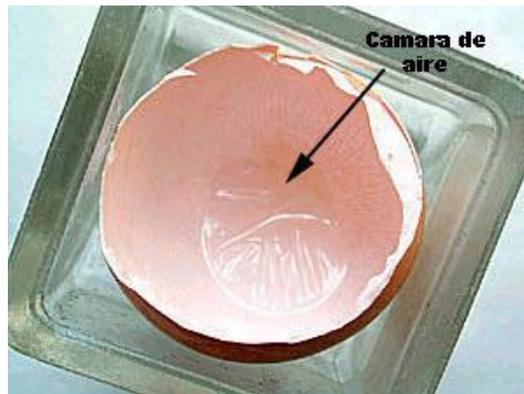
**Figura 2.1. Poros de un huevo.**

Además de esta cáscara porosa, el huevo contiene dos membranas que también influyen en el desarrollo del polluelo. Estas membranas están alineadas muy juntas dentro de la cáscara pero conservan una separación con la cascara y entre ellas. La membrana más pegada a la cáscara se denomina " membrana exterior de la cáscara," y la que está en contacto con la albúmina se le denomina " membrana interior de la cáscara (Figura 2.2).



**Figura 2.2. Partes del huevo.**

Durante la incubación, la cámara de aire (Figura 2.3) situada en el extremo más ancho del huevo se forma como resultado de la separación de las dos membranas.



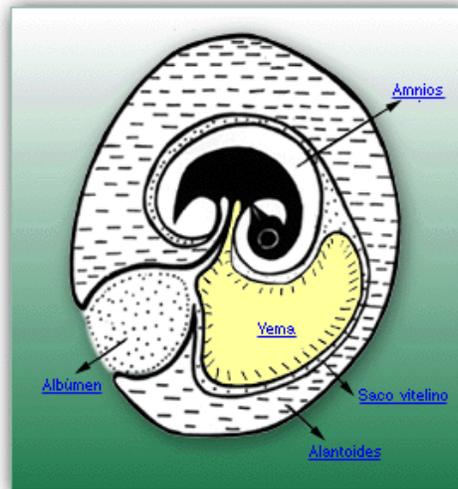
**Figura 2.3 Cascara del huevo.**

## 2.2 INCUBACIÓN

Podemos definir al régimen de incubación como el conjunto de factores físicos presentes en el medio ambiente que rodea al huevo. Los factores que lo integran son: temperatura, humedad, ventilación y volteo de los huevos (Aviola et al., 2008). De todos ellos la temperatura es el factor de mayor importancia, ya que, pequeñas variaciones en sus valores pueden resultar letales para muchos embriones.

Los cambios que tienen lugar en el huevo durante la incubación se presentan regidos por leyes físicas. Estos cambios se producen, con normalidad, solamente bajo niveles determinados de temperatura, humedad, contenido químico del aire y posiciones del huevo. Por otra parte, el mismo huevo incubado modifica el medio que lo rodea al emitir calor, gases y vapor de agua.

El huevo sometido al calor propio de la incubación, que se desarrolla en torno a los 37.7 °C, adquiere vida y se convierte en embrión; éste va creciendo, y lo que en un principio era un pequeño punto insignificante va adquiriendo forma; el embrión se va nutriendo de las sustancias que contiene la yema; a medida que el futuro ser va creciendo, va extendiéndose primero por la yema, y después por la clara hasta abarcar la totalidad del interior (Figura 2.4). Una vez formado el polluelo, sirviéndose del diamante (minúscula protuberancia córnea situada en el extremo de la mandíbula superior) rompe el cascarón. A los pocos días de la eclosión desaparece el diamante.



**Figura 2.4 Desarrollo del huevo.**

## **2.3 LA INCUBADORA.**

### **2.3.1 Proceso de incubación: parámetros a considerar**

El diseño de una incubadora es en esencia una solución de ingeniería a las variables de temperatura, humedad, recambio de aire y volteo de huevos.

Previamente a la introducción de los huevos en la incubadora hemos de graduar perfectamente la temperatura y la humedad ya que una vez introducidos es más difícil graduar estos parámetros.

Es recomendable que la incubadora esté colocada en una habitación con una temperatura comprendida entre los 15 y 23° C. y, que esta habitación, tenga una buena ventilación pero sin corrientes de aire.

### **2.3.2 Temperatura**

El calentamiento de los huevos durante la incubación artificial se produce mediante el intercambio de calor entre el aire y los huevos. De ahí se deriva, que la temperatura del aire se constituye en el factor fundamental en este proceso.

La temperatura de las incubadoras se enmarca entre 37 y 38 grados °C (Aviola et al., 2008 ). Es necesario disminuir el nivel de temperatura durante los últimos días

(2 a 3 días) de incubación, es decir, que la temperatura se ajusta según las etapas de incubación.

### **2.3.2.1 Relación entre la temperatura del aire de la incubadora y los huevos incubados.**

Al comienzo de la incubación, los embriones no están preparados funcionalmente (ni orgánicamente) para emitir calor. Por esto reaccionan como los organismos de sangre fría, es decir, cuando la temperatura del aire se eleva, aumenta el metabolismo de los embriones. Si la temperatura disminuye, el metabolismo decrece igualmente. Por tanto, el aumento de la temperatura favorece la multiplicación celular, la formación de las capas y las membranas embrionarias (alantoides, corion, amnios y saco vitelino), así como la nutrición. En resumen, se incrementa el ritmo de crecimiento y desarrollo de los embriones. Al final de la incubación, cuando ya la emisión de calor por parte del huevo es alta, la disminución de la temperatura (dentro de los límites normales) actúa, por su parte, de forma completamente inversa; estimula el consumo de los nutrientes o lo que es lo mismo, acelera el metabolismo y el desarrollo en los embriones.

### **2.3.2.2 Control de la temperatura durante el proceso de incubación.**

Mantener el nivel de temperatura en un valor estable durante el proceso de incubación no es fácil. Para lograr esta exigencia se necesita un ajuste casi perfecto de todos los sistemas de la incubadora y un trabajo eficiente de los instrumentos de control de los factores de incubación. Para que se mantenga un nivel óptimo de temperatura en el interior del gabinete de incubación es necesario contar con una interrelación muy estrecha entre los sistemas de humedad, ventilación por un lado y la temperatura por el otro. La temperatura ideal es de 37,7° C (100° F).

**El nivel máximo de tolerancia debe ser de 38 ° C**

**El nivel mínimo de tolerancia debe ser de 37 ° C**

### **2.3.3 Humedad**

De la humedad del aire depende el calentamiento y la evaporación de agua de los huevos, la humedad ideal para la eclosión de los huevos es de 70% (M.s. Ahmedani). A mayor temperatura del aire, mayor será la cantidad de vapores de agua que el mismo puede llegar a contener. Por otra parte, el aire seco es mal conductor de calor y, por tanto, se hace necesario humedecerlo a fin de lograr el necesario calentamiento de los huevos. De los huevos se evapora agua durante la incubación, más o menos en función de la etapa de incubación.

Durante la incubación el huevo pierde agua constantemente, lo que es imposible de evitar, la pérdida de agua durante la incubación temprana es más perjudicial que más tarde (Snyder, Birchard, 1982), no obstante, el régimen de humedad que se establezca ha de ir dirigido a disminuir la evaporación de agua de los huevos durante la primera semana de incubación y acelerarla a partir de la mitad de la incubación. La pérdida de agua por evaporación ocasiona también la pérdida de calor de los huevos. De esto se infiere que, en los primeros días de incubación resulta desventajosa una evaporación excesiva de agua, en tanto que durante la segunda mitad de la incubación, la evaporación de agua es necesaria al contribuir a la eliminación del calor excesivo contenido en el huevo. Al final del proceso de incubación se hace necesario elevar la humedad a fin de facilitar el reblandecimiento de las membranas de la cáscara y, con ello, el picaje de la misma.

Por tanto en los últimos días de incubación, cuando las reservas de agua en el huevo han sido agotadas, es necesario elevar la humedad relativa del aire en el gabinete a fin de evitar el desecamiento de las membranas de la cáscara y del plumón de los pollitos en fase de eclosión.

### **2.3.4 Ventilación**

El problema de la ventilación debe ser abordado desde dos ángulos: la circulación de aire propiamente dicha y la re-ventilación o recambio de aire. Mediante el aire que circula en el interior llega a los huevos el calor y la humedad necesarios.

Por otra parte, el recambio de aire constante es necesario para la extracción del exceso de calor que pudiera acumularse en el interior del gabinete de incubación y asegurar la pureza del aire.

Durante la incubación el huevo absorbe oxígeno y elimina anhídrido carbónico en gran cantidad. Una adecuada re-ventilación es necesaria para eliminar el agua que produce el huevo por transpiración, renovar el oxígeno es imprescindible para la respiración del embrión y eliminar el CO<sub>2</sub>.

La correcta circulación de aire en la incubadora se garantiza mediante el funcionamiento de los ventiladores, los inyectores ó los extractores de aire, las compuertas u orificios de entrada y salida.

La temperatura del aire que penetra en la incubadora ha de estar siempre por debajo de los 28 °C.

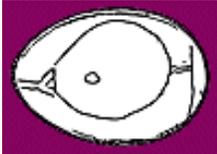
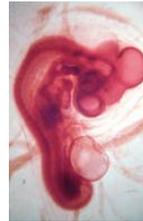
### **2.3.5 Volteo**

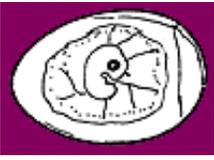
En la incubación natural, las aves voltean los huevos que incuban con cierta frecuencia, de ahí que en el proceso de incubación artificial sea necesario repetir este procedimiento mediante medios mecánicos. El volteo de los huevos en la primera semana de incubación permite la formación adecuada de la membrana extraembrionaria, mientras que en la última semana evita mal posición de los embriones (Tona et al. 2003), El desarrollo de los embriones transcurre normalmente sólo cuando los huevos son volteados periódicamente durante los primeros 18 días de incubación, el volteo se requiere para prevenir la adhesión prematura del polluelo con el interior de la cascara de la membrana (Wilmering. 1988 ). El huevo, como se ha explicado antes, pierde agua durante todo el período de incubación, es decir, sufre un proceso de desecamiento. Por este motivo, el

embrión está expuesto a pegarse a las membranas internas de la cáscara, lo que puede provocar su muerte, en particular durante los primeros seis días de incubación. La frecuencia de volteo óptima es de una vez cada 1 ó 2 horas. El giro debe alcanzar los 90 grados.

## 2.4 Desarrollo embrionario

En la siguiente Tabla se muestran los diferentes signos de desarrollo embrionario durante los 21 días de incubación.

Día	Tamaño	Imagen	Signos de Desarrollo Embrionario
1			Aparición de formación de venas y saco mesodermico 
2			Aparición de pliegues amnióticos, latidos del corazón y circulación sanguínea 
3	1cm		El amnios rodea completamente al embrión; el embrión rota hacia la izquierda 
4	1.3cm		Pigmentación de ojos; los brotes de las patas son mas largos que las alas 

5			Aparición de las rodillas y los codos
6	1.8cm		Aparición del pico; se mueve a voluntad; dedos delimitados
7			Esbozo de hileras de plumas. La cresta comienza su desarrollo
8	2.2cm		Cuello bien diferenciado. Cañas de las plumas prominentes; el pico superior e inferior son de igual tamaño
9			Forma con apariencia de ave; Aparición del hueco de la boca
10			Los dedos complementan separados, uñas en los dedos
11			La cresta se ve aserrada; Aparición de plumas en la cola; parpados ovalados
12	4.5cm		Plumón visible en alas. Parpados casi cerrados y con forma elíptica
13			Aparición de escamas; el embrión está cubierto de plumón; abertura de ojos
14			Cuerpo enteramente cubierto de plumón. El embrión está alineado con el eje longitudinal
15			Los intestinos pequeños están en el abdomen

16			Las plumas cubren el cuerpo
17			Cabeza entre las patas
18			Cabeza debajo del ala derecha
19			Desaparición del líquido amniótico (el embrión se lo traga); la mitad del saco vitelino ya está dentro del cuerpo
20			El saco vitelino ya está dentro del cuerpo; el pico se introduce en la cámara de aire. Inicia la respiración pulmonar y vocalización
21			El pollito rompe con su pico el cascarón; Eclosión

## 2.5 ECLOSION

El proceso de eclosión empieza días antes de poder observar al polluelo. Primero, hacen un agujero a través de la membrana de la cáscara interna hacia la cámara de aire. La primera señal para identificar esto es un pequeño orificio con forma de estrella, de 1/8 pulgadas de lado a lado. Llegado este momento es necesario ajustar la humedad de 65% a 80% y esperar. Si escuchamos cuidadosamente, se oirán golpes suaves (como sonidos acompasados). El huevo comenzará teniendo una pequeña rajadura y en 12 o 16 horas esos sonidos serán más fuertes. Después de 24 horas, durante las cuales el pequeño agujero no se agrandará demasiado, se podrá escuchar un leve piar. Esto indica que los pulmones están trabajando, y que el polluelo está respirando.

Después de unas cuantas horas el polluelo realiza una pequeña línea de agujeritos que eventualmente formarán un círculo en la cáscara, esto puede llevar 24 horas aprox. Si no se presentan inconvenientes, no es necesario ayudar; esto significa que no hay que romper la cáscara y extraer al polluelo. Si se le ayuda prematuramente se corre el riesgo de que la yema no haya sido reabsorbida, causando la muerte del polluelo. Es preferible que tenga que realizar un trabajo duro y prolongado para poder así tener un nacimiento saludable y absorber el saco vitelino.

Si el polluelo aparece pegado a las membranas de la cáscara para liberarlo se le añade una gota de agua destilada. El reflejo del polluelo que lo lleva a picotear la cáscara tiene su origen en una falta de oxígeno y un exceso de dióxido de carbono dentro del huevo. Por eso no se debe romper la cáscara prematuramente, al no producirse el picoteo, origina un polluelo débil. A partir del día 18 de incubación no deben voltearse los huevos, pudiéndose ver a partir del día 19 y 20 huevos picados e iniciándose el nacimiento de los pollitos.

## **2.6 MANEJO DE LA INCUBADORA DURANTE LOS 3 ÚLTIMOS DÍAS DE INCUBACIÓN**

Según el proceso los huevos se deben dejar de voltearse a partir del día 18, además de esto las variables a controlar también deben cambiar sus parámetros, la forma de regular el sistema para que las condiciones sean las más adecuadas son:

**Temperatura:** Se reduce hasta 35.5-36° C, pues en los últimos días, el huevo desprende más calor.

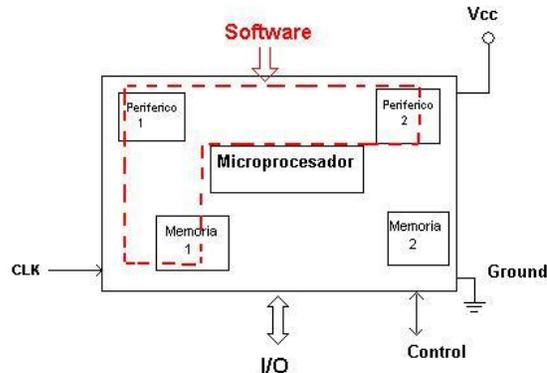
**Ventilación :** Es positivo que la concentración de CO<sub>2</sub> aumente de un 3 por 1000 (en la incubadora) hasta el 5-6 por 1000 entre los días 19 a 21, pues de esta manera se estimula el desencadenamiento de la respiración aérea por parte del pollito. Se debe limitar la ventilación para hacer aumentar lentamente la tasa de CO<sub>2</sub>.

**Humedad:** Se hace aumentar la humedad relativa hasta el 70 %. Una vez iniciada la eclosión, la humedad se aumenta hasta el 85% (esto facilita la rotura del

casarón). Se pueden rociar los huevos con agua tibia, a partir del día 19 y hasta la eclosión de los mismos, a fin de aumentar la humedad para facilitar la rotura de la cáscara por los pollitos. Cuando la eclosión ha concluido, la humedad relativa se reduce bruscamente hasta el 40% mediante un incremento de la ventilación (cosa que favorece el secado del pollito).

## 2.7 MICROCONTROLADORES

Los microcontroladores son una computadora dentro de un solo circuito integrado, ya que cuentan con una unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada y salida. Su diseño para reducir el costo económico y el consumo de energía de un sistema en particular los vuelven de gran utilidad. El tamaño de la unidad central de procesamiento, la cantidad de memoria y los periféricos incluidos dependerán de la aplicación.



**FIG. 2.5 Esquema de un microcontrolador**

## 2.7.1 PIC18F4550

En este caso se seleccionó el modelo de microchip pic18f4550 y se hace mención de las características que se utilizaron en este proyecto.

### Características generales

- 1K byte de RAM de doble Puerto + 1K byte GP RAM
- Transceiver de velocidad completa
- 16 puntos finales (entrada/salida)
- Resistencias pull up internas (D+/D-)
- 48 MHz de rendimiento (12 MIPS)
- Interface USB 2.0(12Mbit/s) de velocidad completa

### Memoria programable tipo Flash

Memoria de programa (KB)	32
Velocidad de CPU (MIPS)	12
Bytes de RAM	2,048
Datos de EEPROM (bytes)	256
Periféricos de comunicación digital	1-A/E/USART, 1-MSSP(SPI/I2C)
Captura/Compara/Periférico PWM	1 CCP, 1 ECCP
Timers	1 x 8-bit, 3 x 16-bit
ADC	13 ch, 10-bit
Comparadores	2
Rango de Temperatura (C)	-40 to 85
Rango de voltaje de operación (V)	2 to 5.5
Numero de pines	40

**Memoria flash:** es aquella donde los programas o datos se ubican dentro del microcontrolador, están tienen la ventaja de su gran densidad que les permite la cantidad de memoria de programas a un muy bajo coste.

**Memoria RAM:** está destinada al almacenamiento de información temporal que será utilizada por el procesador para realizar cálculos u otro tipo de operaciones lógicas.

**Memoria ROM:** memoria no volátil de solo lectura cuyo contenido se graba durante la fabricación del chip.

**ADC:** La mayoría de los microcontroladores poseen un conversor analógico digital, el cual convierte una señal de entrada analógica, en una señal digital, y se es usado tomando datos de varias entradas diferentes que se seleccionan mediante un multiplexor. Las resoluciones más comunes son de 8 y 10 bits.

**Temporizadores:** Son circuitos sincrónicos para el conteo de los pulsos, Los temporizadores son uno de los periféricos más habituales en los microcontroladores y se utilizan para diversas tareas, como, la medición de frecuencia, implementación de relojes, entre otras funcionalidades. Es frecuente que un microcontrolador típico incorpore más de un temporizador/contador. Los tamaños típicos de los registros de conteo son 8 y 16 bits.

**Bus i2c:** Este tipo de periférico se utiliza para comunicar en serie al microcontrolador con otros microcontroladores o con periféricos externos conectados a él, por medio de una interfaz muy sencilla, cuenta con dos líneas, una de ellas permite transmitir los datos (SDA), y la otra transmite la señal de reloj (SCL).

**PWM:** Los PWM (Pulse Width Modulator) son periféricos muy útiles sobre todo para el control de motores, sin embargo hay un grupo de aplicaciones que pueden realizarse con este periférico, dentro de las cuales podemos citar: inversión DC/AC, conversión digital analógica, control regulador de luz (dimming) entre otras.

## 2.8 RELOJ DE TIEMPO REAL

Un reloj de tiempo real es un dispositivo muy útil en cualquier aplicación donde se quiera dejar constancia de fecha y hora de algún evento.

El DS1307 es un RTC cuya interfaz con el microcontrolador se realiza utilizando el bus I2C (Inter-Integrated Circuit), desarrollado por Phillips Semiconductors.

### 2.8.1 Características Generales del DS1307

El DS1307 es un poderoso reloj calendario en BCD, cuyas características más destacadas son las siguientes:

- Reloj de tiempo real que cuenta los segundos, los minutos, las horas, la fecha, el mes, el día de la semana, y el año, con compensación de años bisiestos, válido hasta el año 2100
- Formato de 12 Horas con indicador AM/PM ó de 24 horas
- Protocolo I2C
- 56 bytes de RAM no volátil, para almacenamiento de datos
- Señal de onda cuadrada programable
- Circuitos internos de respaldo para la alimentación automático
- Bajo consumo de potencia: menor a 500nA en modo respaldo, a 25 grados Centígrados
- Sólo 8 pines

**VBAT:** Entrada de alimentación de una pila estándar de litio de 3 Voltios. El voltaje debe estar entre 2.5 y 3.5 voltios para una operación apropiada.

**SCL:** Entrada de reloj para sincronizar la transferencia de datos en la interfaz serial.

**SDA:** Entrada/salida de datos para la interfaz I2C. Este pin es de drenaje abierto, por lo que requiere de una resistencia pull-up externa.

**X1,X2:** Conexiones para un cristal de cuarzo estándar de 32.768 Hz.

**SQW/OUT:** Salida para generar una de cuatro posibles frecuencias de salida: 1Hz, 4KHz, 8KHz ó 32KHz. Este pin también es de drenaje abierto, por lo que requiere de una resistencia pull-up externa.

## **Bus I<sup>2</sup>C**

El bus I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit), fue desarrollado por Phillips Semiconductors con el propósito de comunicar elementos que se encuentren en una misma tarjeta o circuito. Utiliza un protocolo serial sincrónico que solamente requiere de dos líneas, SDA (Serial Data Line) y SCL (Serial Clock Line) las cuales se comportan bidireccionalmente. Estas líneas se conectan al positivo de la fuente de alimentación a través de resistencias pull-up. Cuando ambas líneas están libres permanecen en un estado lógico alto.

Usar sólo dos líneas para la comunicación, requiere de una aproximación diferente para el flujo de datos. En SPI, los datos fluyen del maestro al esclavo y simultáneamente del esclavo hacia el maestro. En el modo I<sup>2</sup>C se usa un sistema secuencial en el cual el flujo de datos ocurre del maestro hacia el esclavo sobre la línea SDA y luego, si es necesario (en caso de que el maestro necesite leer del esclavo), los datos fluyen del esclavo hacia el maestro sobre la misma línea SDA. En cualquiera de los casos el maestro siempre suministra la señal de reloj necesaria para la comunicación Maestro/Esclavo a través de la línea SCL.

Cada dispositivo que se conecta al bus tiene asignada una dirección compuesta de 7 bits. El DS1307 tiene establecida internamente la dirección en b1101000. Para facilitar la programación el bit siguiente, correspondiente a lectura/escritura, se incorpora a los siete bits anteriores, a fin de completar un byte. En el caso de escritura la dirección del DS1307 es entonces 0xD0 y en el caso de lectura 0xD1.

## 2.9 SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD HMZ-433<sup>a</sup>

El módulo HMZ-433A consiste en un sensor y circuito integrado, que proporciona una salida lineal de voltaje directo, en un rango de 0-100%RH y 0-60°C, está diseñado específicamente para dispositivos y controladores.

### Características

Voltaje de alimentación: 5V

Salida de humedad: 0-3.3V

Salida de temperatura: 12.5-160Kohms

Rango de operación: 0-60°C y 95%HR o menor

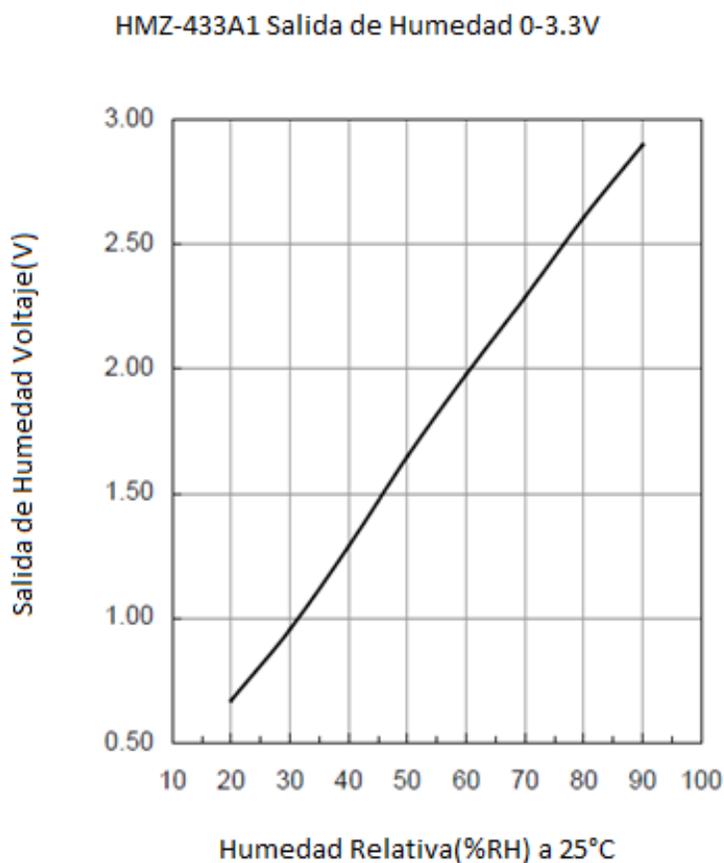
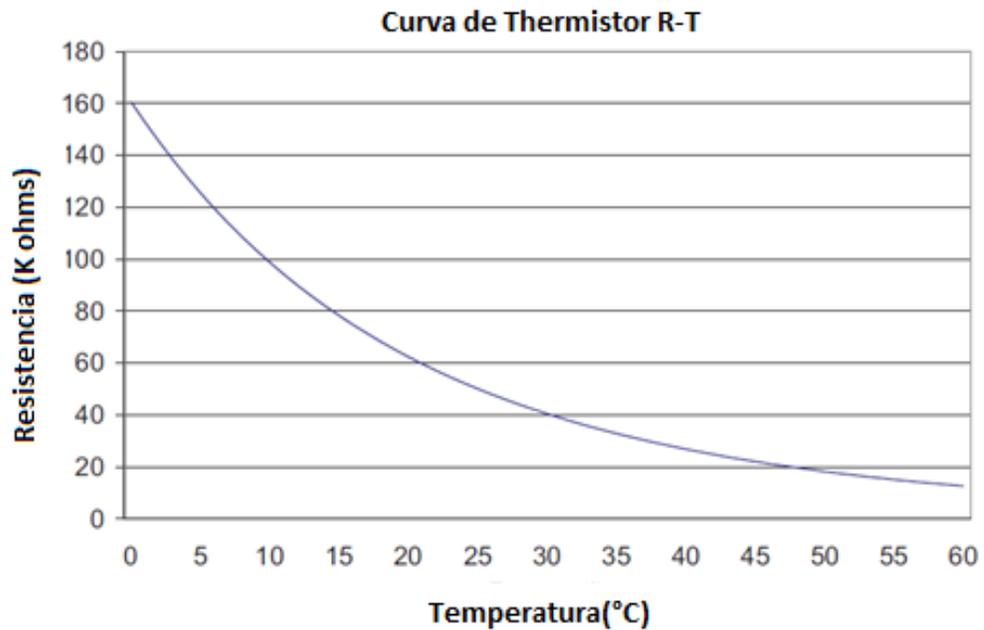


Fig.2.9.1 Grafica de humedad relativa VS voltaje de salida del sensor h mz.



**Fig.2.9.2 grafica de temperatura VS resistencia del sensor hmz.**

## **2.10 Motor jameco**

Los motores utilizados para este proyecto, son unos motorreductores de la marca jameco, que son básicamente motores de DC con una caja de engranes (reductor) en la punta del eje del motor. Estos proporcionan un torque de 3.5 kg, el suficiente para poder mover la bandeja que carga los huevos de aproximadamente unos 3 kg.

## **Especificaciones:**

Voltaje de alimentación: 12V

Relación de transmisión: 332:1

Carga nominal: 3.5kg

Velocidad a 12V: 8rpm, +/- 1

Corriente a 12V: menor a 96mA

Juego al final del eje: máximo 0.8m/m

Resistencia de aislamiento: 10Mohms a 300V de DC

## **Capítulo 3**

### **3.1 Descripción general de la incubadora**

La incubadora contiene un sistema automatizado para el control de las variables, por medio de microcontroladores, para poder modificar las variables a los valores deseados y poder tener a la vez un monitoreo de las mismas, la incubadora cuenta con un sistema automático para la modificación de estas variables, y ajustarlas a los valores que se requieren a lo largo del proceso.

La incubadora se integra de: una coraza para el encierro y el mantenimiento de la temperatura, un sistema electrónico con microcontroladores y un sensor de temperatura y humedad para el control de estas dos variables, modificables por medio de bombillas para la temperatura y un humidificador para la humedad, un motor para el control del volteo de los huevos.

## 3.2 Diseño y construcción de la incubadora

La incubadora está basada en una caja, con un sistema mecánico a base de motores que hacen girar las parrillas que se encuentran inclinadas, para lograr el volteo de los huevos, como se muestra en la figura 3.1.

La incubadora fue construida con madera mdb, para hacerla liviana y facilitar su transporte, a su vez fue cubierta con un par de capas de pintura blanca, en el interior para volverla resistente a la humedad, las bases para las parrillas son de acero y también están pintadas para resistir la humedad, están atornilladas a las paredes de la incubadora, las charolas son de acero inoxidable y cuentan con un par de bandejas de plástico especiales para sostener los huevos.

Las dimensiones de la incubadora serán: 1m de alto, 60cm de ancho, y 80cm de profundidad. Como se muestra en la Figura 3.3

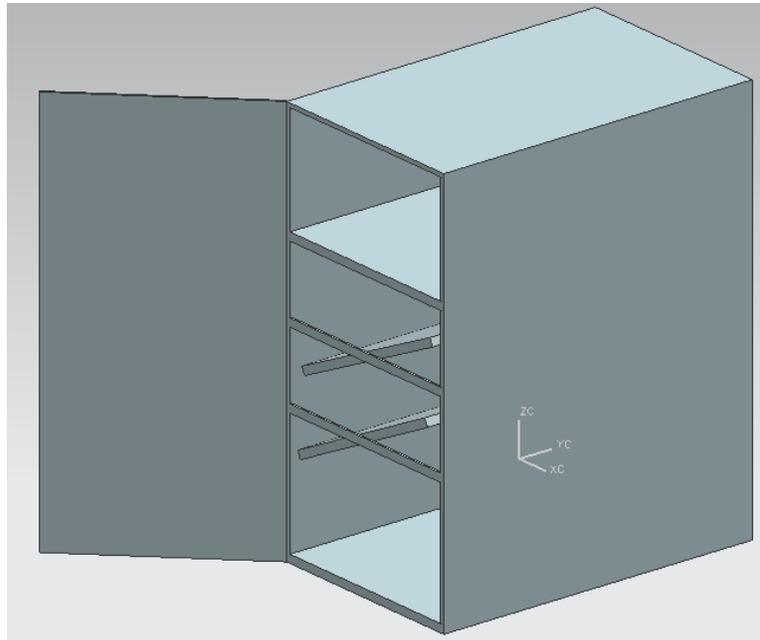


Fig. 3.2.1 vista tridimensional de la incubadora.

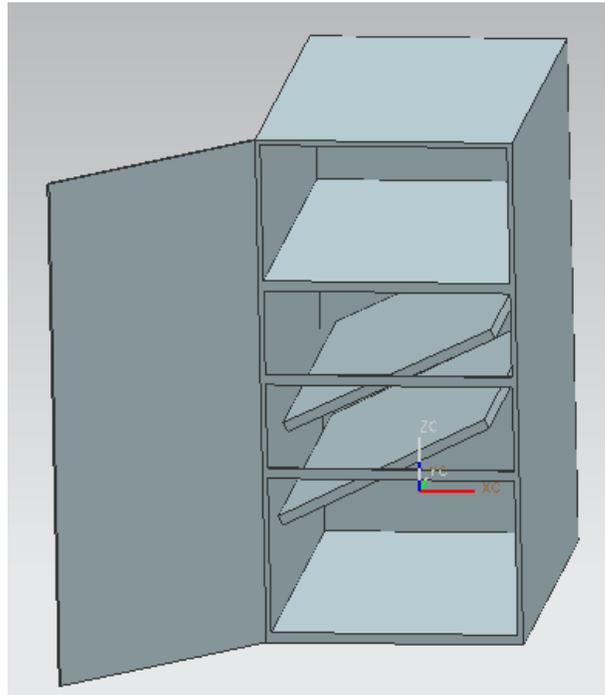


Fig. 3.2.2 vista frontal de la incubadora.

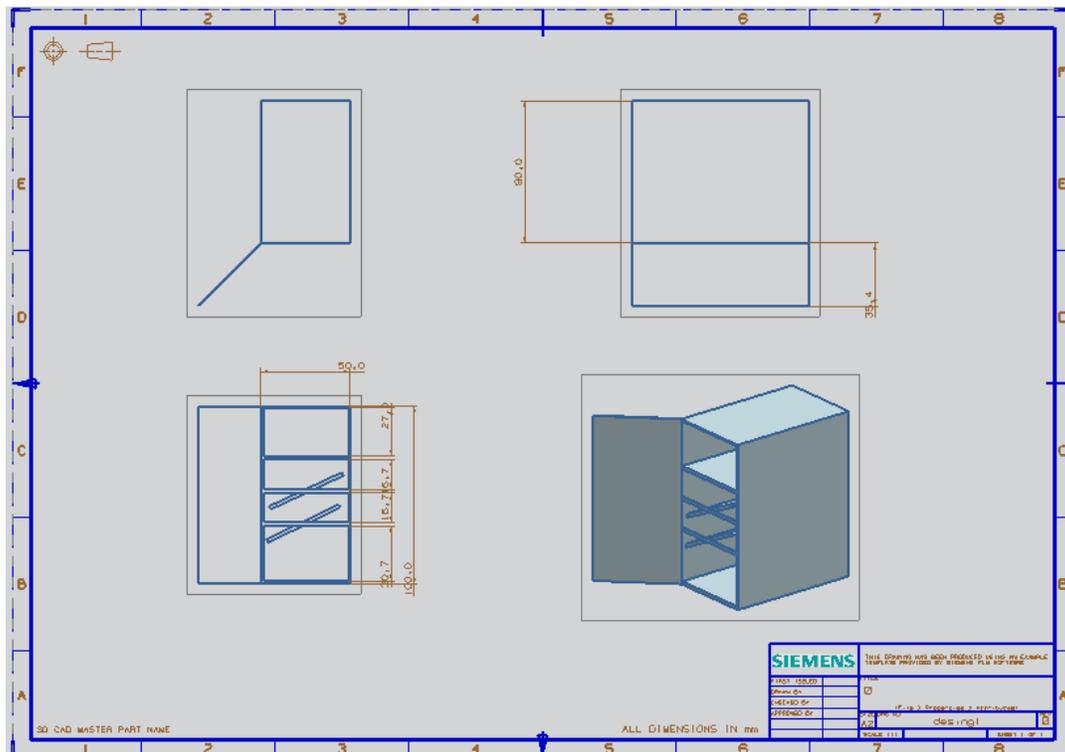


Fig. 3.2.3 plano con las dimensiones de la incubadora.

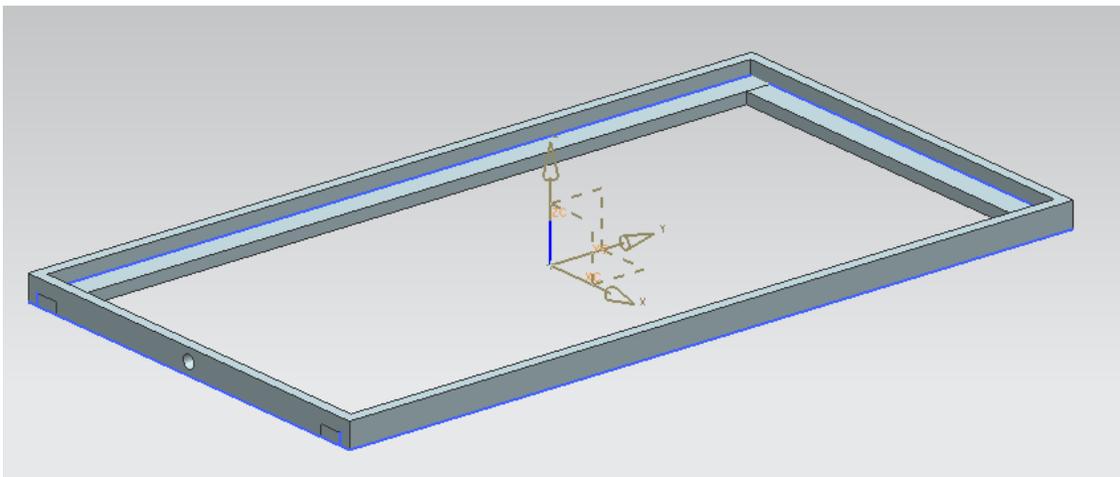
### 3.3 Desarrollo del sistema de automatización

El sistema automatizado está diseñado para poder controlar todo el proceso a base de una sola tarjeta PCB, que es el hardware, un software embebido conocido como firmware que es el que se encarga del control del proceso, y el sistema mecanizado que en este caso son las charolas acopladas a los ejes de un motor para poder cambiar su inclinación.

El hardware está diseñado totalmente en el software de diseño altium designer 9, empezando desde el esquemático y siendo transportado al ambiente PCB.

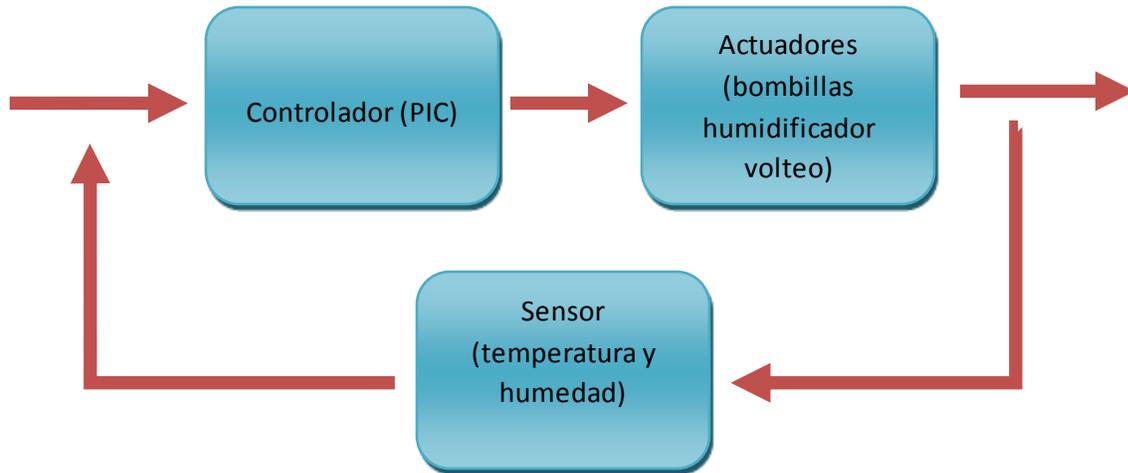
El software (firmware) está desarrollado en PicC ya que como microcontralador se utilizó un Pic de microchip.

La incubadora más el sistema mecánico, fueron diseñadas en NX 6.0 (unigraphics) como se muestra en la figura 3.3.1.



**Fig.3.3.1** diseño de la charola utilizada para volteo de los huevos.

La incubadora cuenta con un proceso el cual consta de una medición de variables, a partir de estas mediciones se activan los actuadores que modifican las variables, a un punto deseado (setpoint), y el sistema es retroalimentado nuevamente con la medición de las variables, lo que permite un comportamiento constante de las variables que se desean controlar, en este caso la temperatura y humedad.



**Fig.3.3.2. diagrama de bloques del proceso**

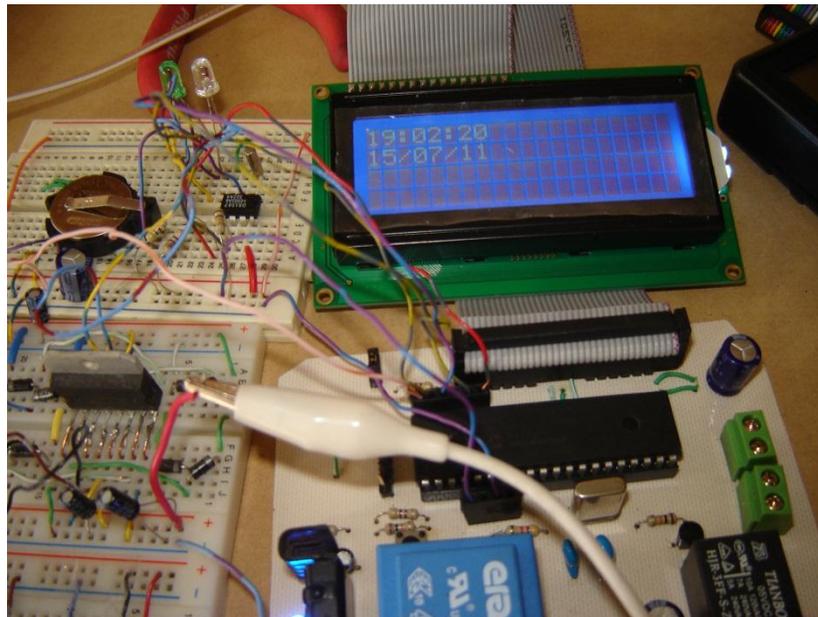
### **3.3.1 Control**

#### **3.3.1.1 VOLTEO**

Para el volteo se tiene un sistema mecánico, de 2 bases hechas de acero, acopladas a los ejes de un motor, estas cambian su inclinación dependiendo de la hora del día y la fecha, el microcontrolador lee desde un reloj de tiempo real(DS1307) la hora y fecha, esto lo hace por el bus de datos sda y sdt y por medio del protocolo de comunicación i2c, desde el momento en que se enciende la incubadora hasta el día 18 del proceso, las charolas cambian su inclinación una vez por hora simulando el volteo que las gallinas hacen a los huevos para que al formarse el embrión no se adhiera a la superficie del cascaron interno. El principio

es sencillo, cada vez que se cumple una hora de proceso, el microcontrolador manda un pulso por medio de una de las 2 salidas digitales configuradas para este fin, dependiendo de la salida que es activada, se determina el sentido de giro del motor lo que da la inclinación necesaria para las charolas. Este pulso es recibido por el puente H(L298N) que se encarga de mover los motores que hacen que las bandejas cambien de posición.

Por medio del reloj de tiempo real también se lleva el conteo de cada día del proceso, y cuando el día 18 llega, el microcontrolador detiene el proceso de volteo, ya que la gallina deja de voltear los huevos cuando han transcurrido 18 días de incubación.



**Fig.3.3.3** circuito funcionando con RTC para la etapa de volteo



Fig.3.3.4. incubadora con las charolas para el volteo

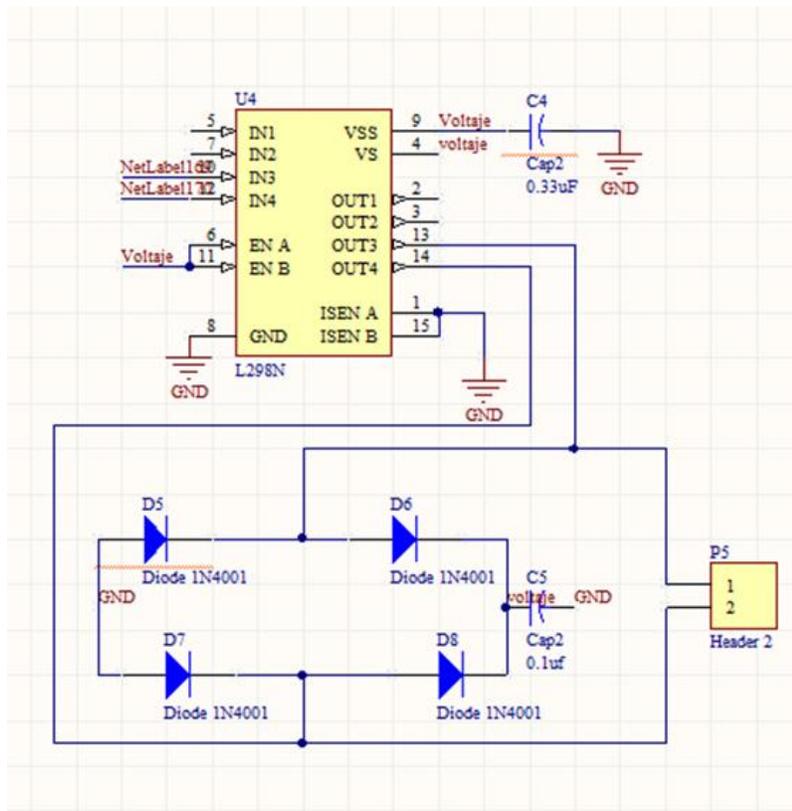
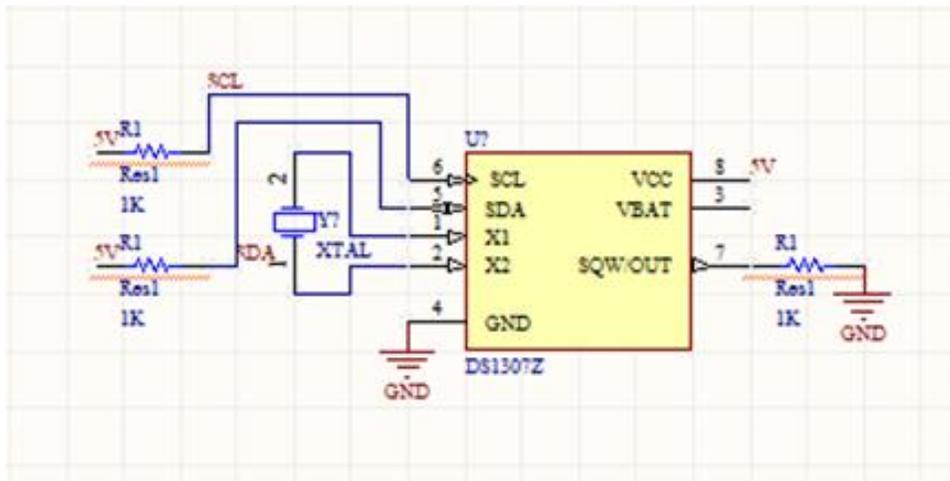


Fig. 3.3.5 circuito básico con el puente h l298 n para la etapa de volteo.



**Fig 3.3.6** circuito básico del rtc(ds1307).

En la figura 3.3.5 se muestra la incubadora en pruebas de estrés para asegurar el correcto funcionamiento de la incubadora a lo largo de todo el proceso.



**Fig. 3.3.7** incubadora funcional.

En la figura 3.3.8 se puede apreciar como las charolas utilizadas para el volteo se encuentran acopladas con el motor que permite su inclinación en ambos sentidos.

En la figura 3.3.9 se puede apreciar con más detalle el motor y como se encuentra acoplado a las charolas, esto es básicamente el sistema mecánico utilizado para el proceso de volteo.



**Fig.3.3.8 charolas acopladas al motor jameco**



**Fig.3.3.9. motor utilizado para la inclinación de las charolas**

### **3.3.1.2 TEMPERATURA Y HUMEDAD**

Cuando la incubadora es encendida, el microcontrolador inmediatamente mide la temperatura y la humedad relativa a través del sensor HMZ, por un canal analógico, estos son convertidos y muestreados en un LCD, el microcontrolador compara los valores medidos con un setpoint establecido. E inmediatamente enciende los actuadores para ajustar la temperatura y la humedad relativa a dicho setpoint.

La temperatura tarda alrededor de 3 minutos en alcanzar el valor deseado, dependiendo de la temperatura ambiente, una vez alcanzada la temperatura deseada se mantiene constante hasta que el proceso necesita un cambio en la temperatura, esto es llegado el día 18 del proceso.

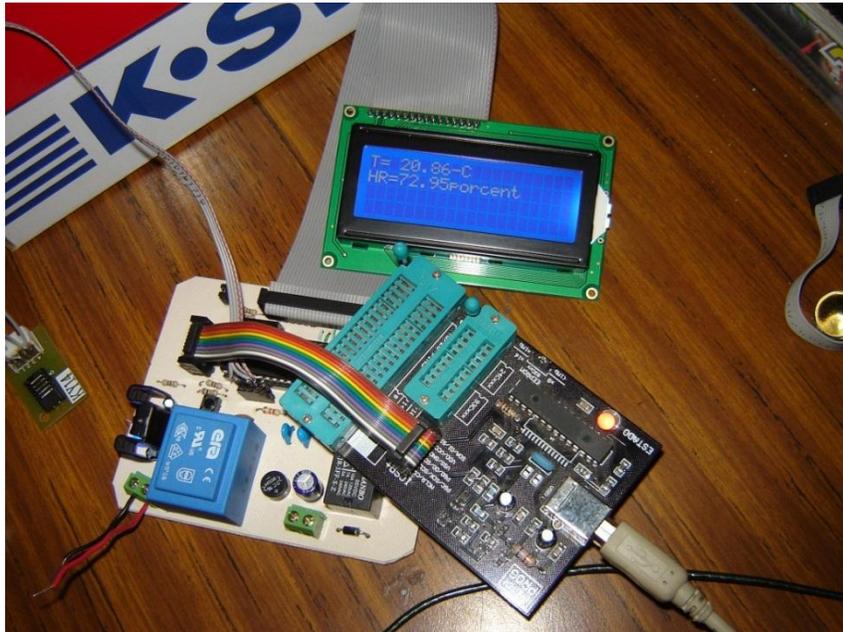
La humedad es un poco más compleja pero no requiere un control tan crítico, lo recomendado durante los primeros días es un 40% de humedad, pero no es crítico si este baja por algunos minutos, se trata de mantener este valor pero no se mantiene constante, ya que el humidificador solo enciende cada cierto tiempo y solo si baja de cierto valor de humedad, aunque el proceso requiere un cambio brusco en la humedad después de haber transcurrido 18 días del proceso, entonces el setpoint de la humedad cambia de 40% a 70% de humedad.

Una vez llegado el día 18 del proceso el humidificador se enciende con más frecuencia y por un periodo más prolongado de tiempo para poder alcanzar una humedad relativa del 70%, el proceso requiere este cambio en la humedad ya que durante los últimos 3 días cuando el polluelo está formado y comienza a romper el cascaron, es necesario que el mismo sea más blando para que este pueda eclosionar.

El humidificador está hecho con una bomba de aire, como las que son utilizadas para suministrar aire dentro de las peceras, estas llevan las mangueras directo a unos contenedores de agua, que a su vez están acoplados con otra manquera que

en la punta tienen boquillas que son las que funcionan como rociador, de esta manera es como está fabricado el humidificador, solo es necesario rellenar los contenedores una vez se les termina el agua.

Con un sensor analógico de temperatura y humedad HMZ, y leído desde el canal analógico del pic18f4550, se muestra la temperatura en un LCD, para en base a esto poder controlarlas, como se muestra en la fig.3.3.1.



**Fig.3.3.10 lectura de la temperatura y humedad.**

El sensor analógico hmz de cuatro pines, dos de alimentación, uno para salida de humedad y otro para salida de temperatura, solo requiere conectarse con una resistencia y un capacitor a las salidas como se muestra en la figura 3.3.6, en el caso de la temperatura se conecta una resistencia en paralelo en este caso 10kohms, entre tierra y la salida de temperatura, y esta entrega un voltaje en un rango de 0 a 5v, y en el caso de la humedad se conecta un capacitor cerámico de 0.1uf en paralelo, entre la salida y tierra, y esta entrega un voltaje en un rango de 0 a 3v, estos voltajes se leen en el canal analógico del pic, y con una conversión dentro del pic se muestran los valores en la lcd, la temperatura está basada en el

valor de la temperatura ambiente, y la humedad está basada en una relación mostrada en la gráfica de la hoja de datos del sensor.

Para lograr el control de estas variables, fue necesario primero calibrar el sensor, para esto se tomaron lecturas junto con un termómetro digital bastante preciso, se hicieron varias lecturas del sensor y se mostró en el LCD a temperatura ambiente y se comparó con las lecturas tomadas por el termómetro, finalmente se calculó una media para la temperatura ambiente con un número aceptable de datos, y se ajustó la conversión de la temperatura dentro del microcontrolador al valor del voltaje leído por el microcontrolador a dicha temperatura. Se llevó a cabo el mismo procedimiento a diferentes temperaturas y se compararon con lecturas tomadas por el termómetro, ambos se sometieron a cambios en la temperatura, incrementándola dentro de la incubadora, esto para verificar que el microcontrolador muestre las lecturas correctas de la temperatura.

En la figura. 3.3.11 se muestra como el controlador de la temperatura varia la intensidad de las bombillas, lo que permite cambia la temperatura o incluso mantenerla.

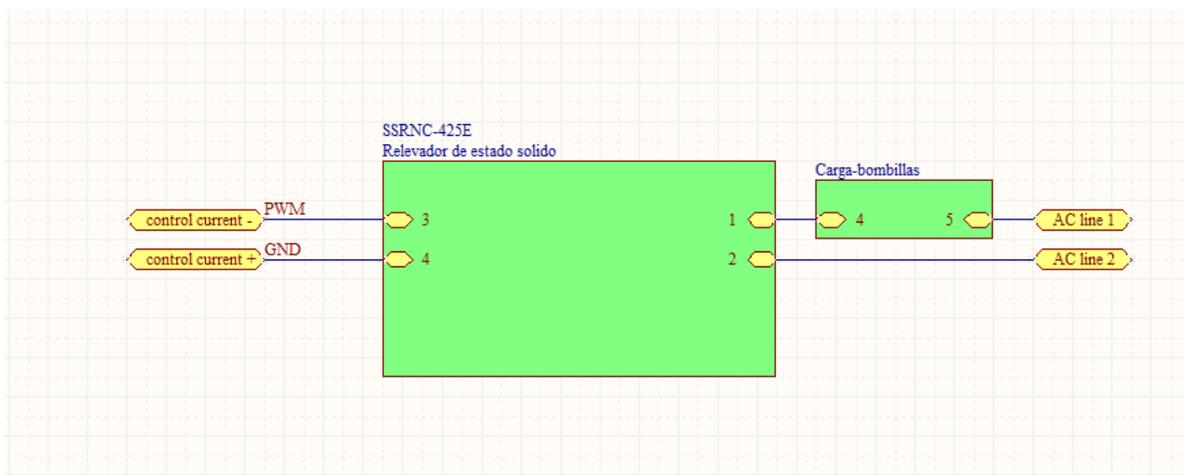


**Fig. 3.3.11 intensidad variante de las bombillas con el pwm.**

Una vez calibrado el sensor con la temperatura se hizo lo mismo con la humedad relativa, solo que para la humedad relativa se ajustó de acuerdo a la curva de la hoja de datos del sensor, pero de igual manera sometiendo el sensor a humedades diferentes, tomando un número significativo de mediciones, y sacando una media para colocar el muestreo al valor más preciso posible.

Una vez hecho esto se sometió el sistema a pruebas de estrés dejándolo funcionar durante varios días, y se tomaron mediciones constantemente a lo largo de las pruebas para comprobar que dichos muestreos siempre fueran correctos y que el sistema no sufriera una descalibración.

Después de un par de días fue necesaria una nueva calibración del sensor ya que algunos muestreos resultaron erróneos, para esto fue necesario tomar un número más grande de datos, nuevamente someténdolo a distintas temperaturas y humedades, para poder lograr una media más precisa, nuevamente se sometió el sistema a pruebas de estrés bajo el mismo procedimiento, y se logró obtener el resultado esperado con valores en las mediciones muy similares a las del termómetro digital utilizado con variaciones de  $\pm 0.2$  °C lo cual es aceptable, en el caso de la humedad simplemente se ajustó lo más cercano a la curva posible teniendo finalmente buenos resultados en las lecturas y muestreos.



**Fig.3.3.12 diagrama de conexión del relevador de estado sólido.**

En la figura.3.3.12 se puede apreciar las boquillas del humidificador en funcionamiento, que se encargan de rociar el ambiente y mantenerlo húmedo.



Fig.3.3.12 boquilla del humidificador en funcionamiento

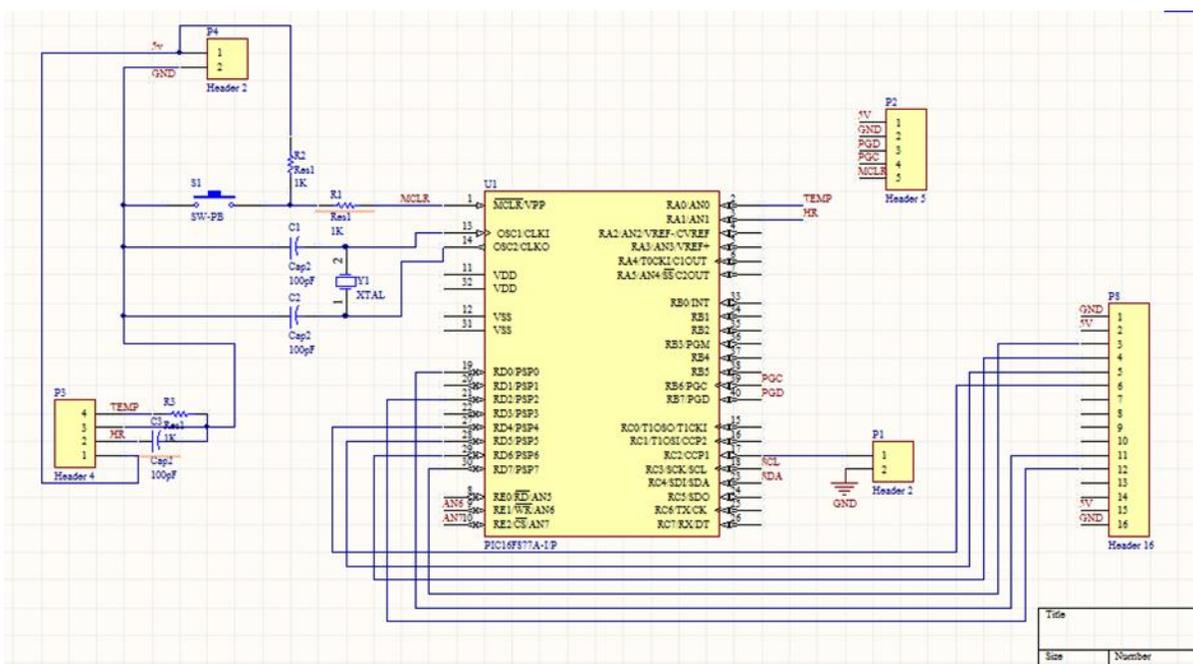


Fig. 3.3.13 Esquemático del microcontrolador con sus terminales para el lcd, el sensor hnz y el puerto de programación.

### **3.3.1.3 Ventilación**

Para la ventilación se tiene un sistema ON/OFF a través de una salida digital del pic que a través de una pequeña etapa de potencia activa un relay, el cual enciende un ventilador que funciona con corriente alterna, este ventilador esta encendido la mayor parte del tiempo del proceso, apagándose únicamente cuando las condiciones de humedad son muy altas y las de temperatura muy bajas.

### **3.3.1.4 Diseño del pcb**

Para esto también se diseñó una tarjeta de pruebas en Altium, con su fuente de alimentación, un pic18f4550 reguladores de voltaje, una salida para activar un relevador, y otros pines conectados a una terminal para más usos, como se muestra en la fig.3.3.16.

Para esto se diseñó una pequeña fuente de alimentación para que la incubadora sea alimentada a 115VAC, y un regulador de voltaje fijo de 5VDC. El cual proporciona la alimentación al resto del sistema como se muestra en la figura 3.3.14, para la etapa de potencia del sistema su utilizaron simples transistores para poder activar los relevadores con las salidas digitales del microcontrolador,

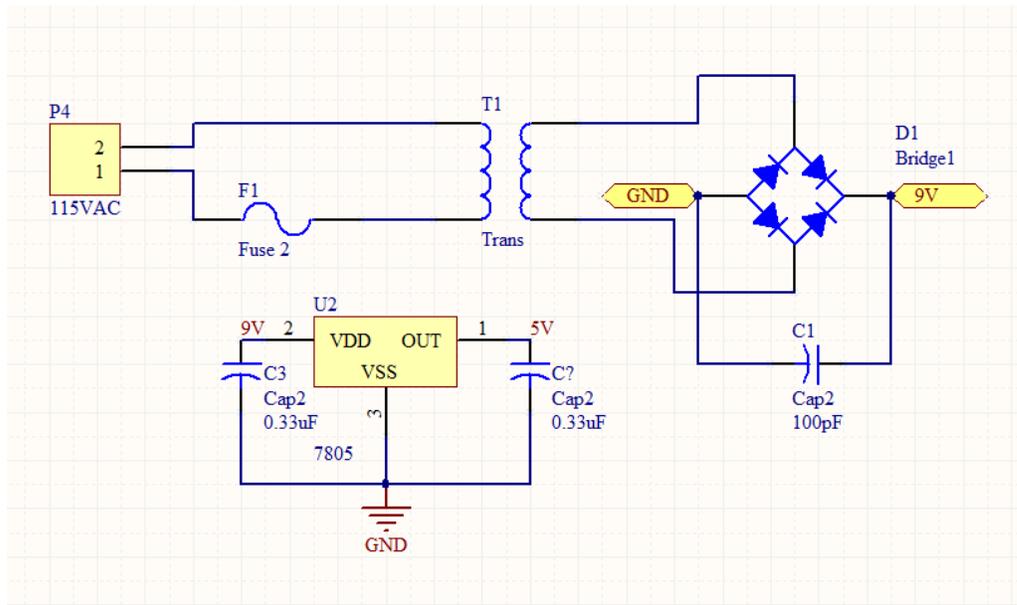


fig.3.3.14. fuente de alimentación de la tarjeta

Como se muestra en la figura 3.3.15, estos relevadores son lo que se utilizan para poder encender el humidificador que funciona con 115VAC, En esta tarjeta PCB también se encuentra el puente h y el reloj de tiempo real que se muestran en las figuras 3.3.5 y 3.3.6, dentro del circuito del reloj de tiempo real también se incluyó una batería de 3V que tiene la función de mantener el conteo del reloj en caso de que se corte la alimentación de la tarjeta.

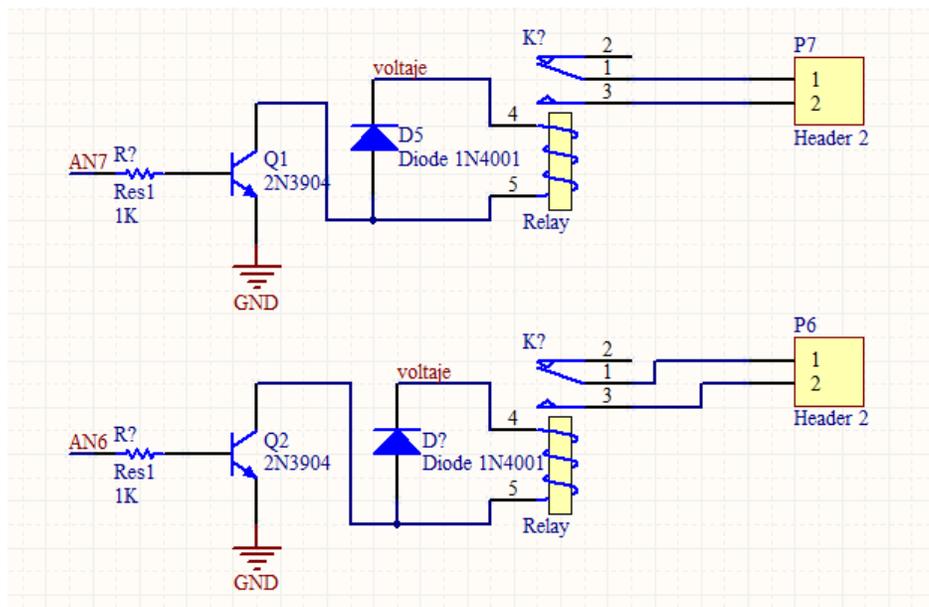


Fig.3.3.15. etapa de potencia para el humidificador

Una vez terminado el diseño se elaboró la tarjeta con una placa fenólica en la cual se imprimió el diseño únicamente con las pistas y los pads de los componentes, ya que todos los componentes son de true hole, se perforaron los pads con una broca muy pequeña para después proceder a poblar la tarjeta con los componentes requeridos.

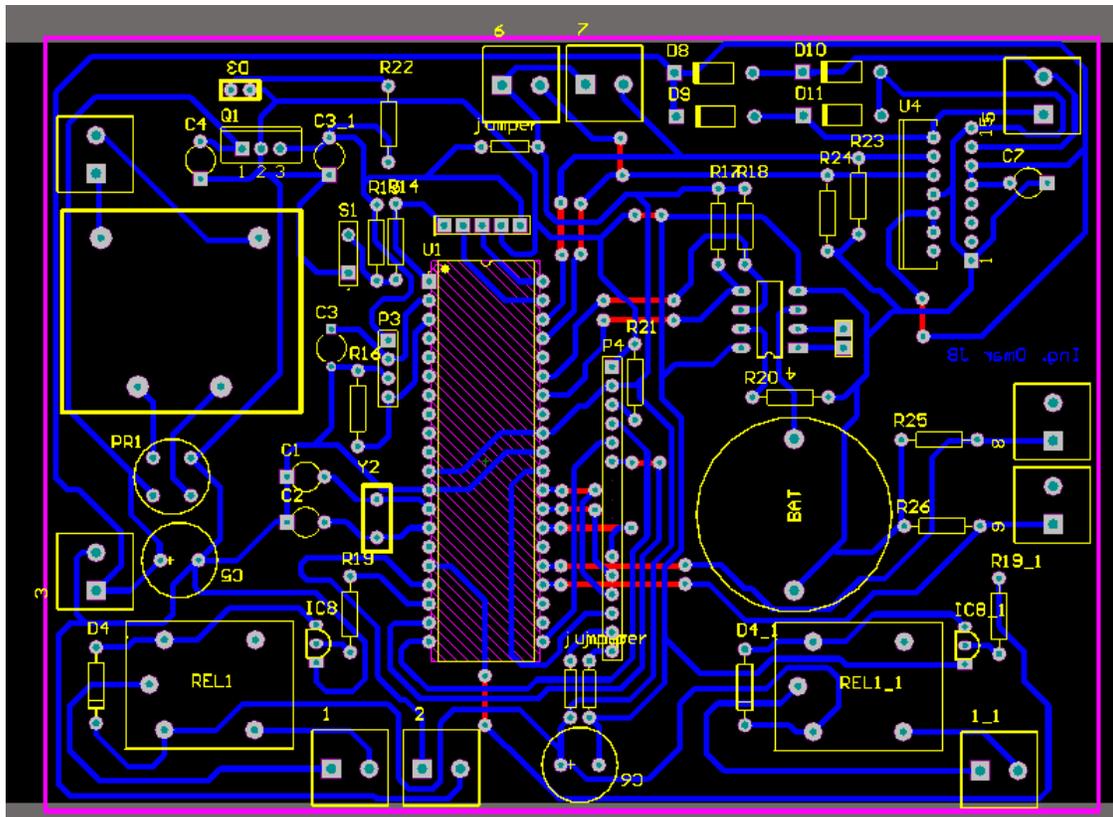


Fig. 3.3.14 diseño final de la pcb para el proceso completo

## **CAPITULO 4 resultados**

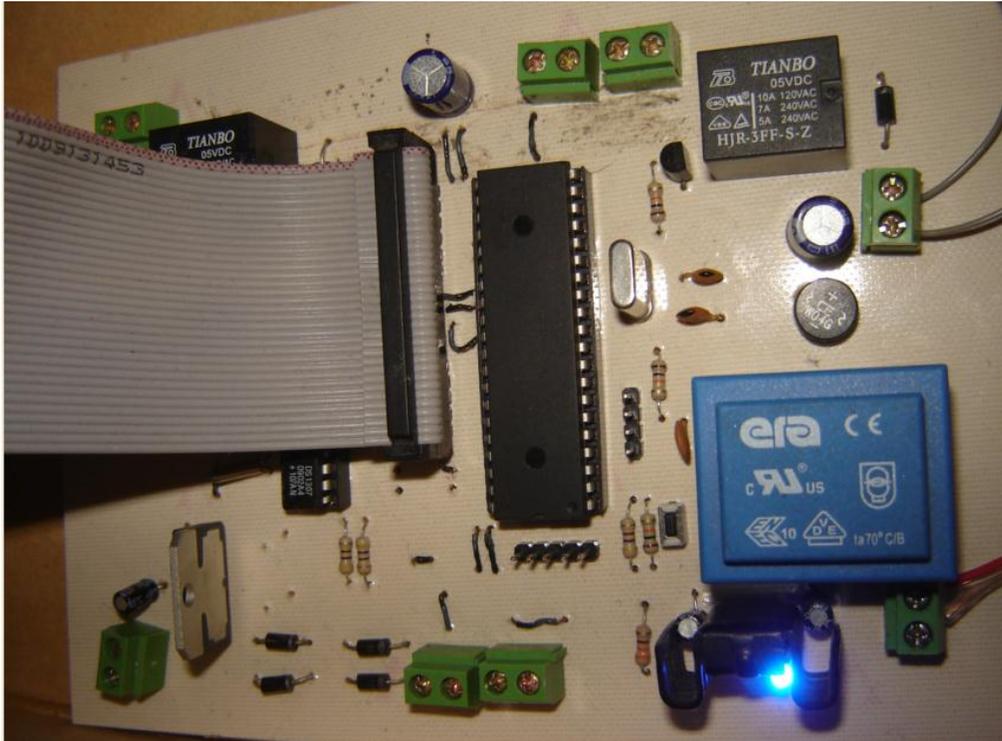
### **4.1 Hardware**

Tomando mi experiencia con este proyecto, a mi parecer, el hardware es una parte muy compleja, ya que este va cambiando con las necesidades que se tienen del proyecto y los detalles que van surgiendo mediante el desarrollo, que no se tenían contemplados al inicio del mismo.

Un ejemplo puede ser la etapa del volteo, ya que para llevarla a cabo, inicialmente se tenía pensado llevar el control de las horas y los días únicamente con los timers del microcontrolador, finalmente se decidió usar el reloj de tiempo real(rtc), porque los timers del microcontrolador no son tan precisos, y se retrasa el tiempo al pasar de los días, si se le agrega código al firmware, y este necesitaba algún tipo de compensación, lo que lo volvía ineficiente,

Al utilizar el rtc(ds1307) se lleva un conteo exacto y preciso de las horas y los días, lo que permite una mejor eficiencia durante el proceso.

En la figura 4.1 se muestra el diseño final de la tarjeta, ya ensamblada y funcional.



**Fig. 4.1.1** la pcb del proyecto totalmente funcional.

## 4.2 Firmware

El firmware también conocido como software embebido es otra parte muy importante dentro de un proyecto con microcontroladores, sin este el micro simplemente no podría realizar ninguna tarea, ya que a partir de código, en este caso hecho en c, se pueden asignar diversas tareas al microcontrolador, el cual también es el cerebro del hardware.

En este proyecto el firmware permite al micro (pic18f4550), leer un voltaje analógico suministrado por el sensor de temperatura y humedad (hmz), también lee datos enviados a través del bus i2c, y estos los muestra en una lcd, para llevar el control de los días a lo largo del proceso, también emite una señal pwm suministrada a un par de bombillas que permiten elevar la temperatura dentro de

la incubadora, y en base a los datos leídos por el sensor cambia la intensidad con que las bombillas se encienden.

También activa una salida digital que es mandada a un puente h(l298n) para poder llevar a cabo el volteo cada hora

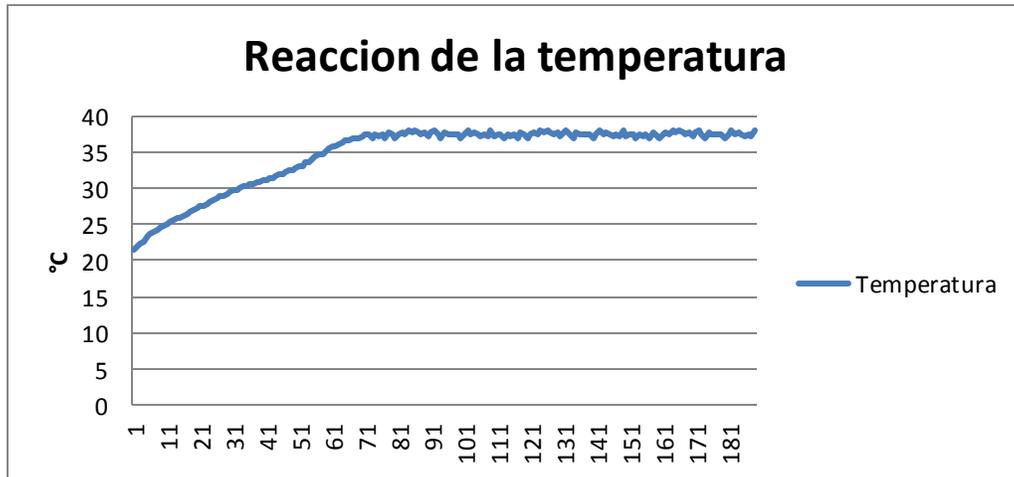
### **4.3 Mecanica**

La mecánica es la parte más difícil, de un proyecto, aunque depende mucho del tipo de proceso, esta es vital, pues es la parte que hace posible el proceso físicamente, y en esta se deben tomar en cuenta una gran cantidad de variables para que esta funcione correctamente durante el proceso, y no presente fallas a lo largo del mismo.

### **4.4 Resultados del desarrollo**

Cuando se enciende la incubadora y esta se encuentra a temperatura ambiente, inmediatamente comienza a actuar el pwm en respuesta a la temperatura transmitida por el sensor de temperatura y humedad, las bombillas encienden a su máxima intensidad, para elevar la temperatura más rápidamente dentro de la incubadora, esta tiene un tiempo de respuesta un poco lento, ya que tarda alrededor de unos 5 minutos aproximadamente en alcanzar la temperatura deseada y estabilizarse, una vez que la temperatura deseada es alcanzada, el pwm baja la intensidad de las bombillas para poder mantener constante la temperatura, dentro del límite establecido, si por alguna razón la temperatura dentro de la incubadora empieza a bajar el pwm actúa inmediatamente hasta elevar la temperatura al valor estable, lo mismo si la temperatura sube el pwm baja al mínimo la intensidad de las bombillas apagándolas si es necesario, aunque es poco común, ya que la incubadora está hecha para trabajar dentro de una habitación fresca, siendo los límites de temperatura permitidos 38° para el límite superior y 37° para el límite inferior, durante los primeros 18 días.

En la fig. 4.2 se muestra el comportamiento de la temperatura dentro de la incubadora, los datos de esta grafica fueron tomados de la temperatura mostrada por el display de la incubadora, en esta se puede apreciar el tiempo de respuesta y la forma de estabilidad de la temperatura deseada.



**Grafica 4.4.1 comportamiento de la temperatura**

Al ser necesario que la temperatura baje durante los últimos 3 días del proceso, el pwm cambia sus parámetros, habiendo nuevos límites establecidos en la temperatura, siendo estos de 36°C para el límite superior y 35°C para el límite inferior, para esto el pwm baja aún más la intensidad de las bombillas para poder tener una temperatura constante dentro de estos límites, el tiempo de respuesta para esta acción es más rápido ya que la incubadora ya se encuentra caliente, y el tiempo que tarda en enfriarse es más rápido.

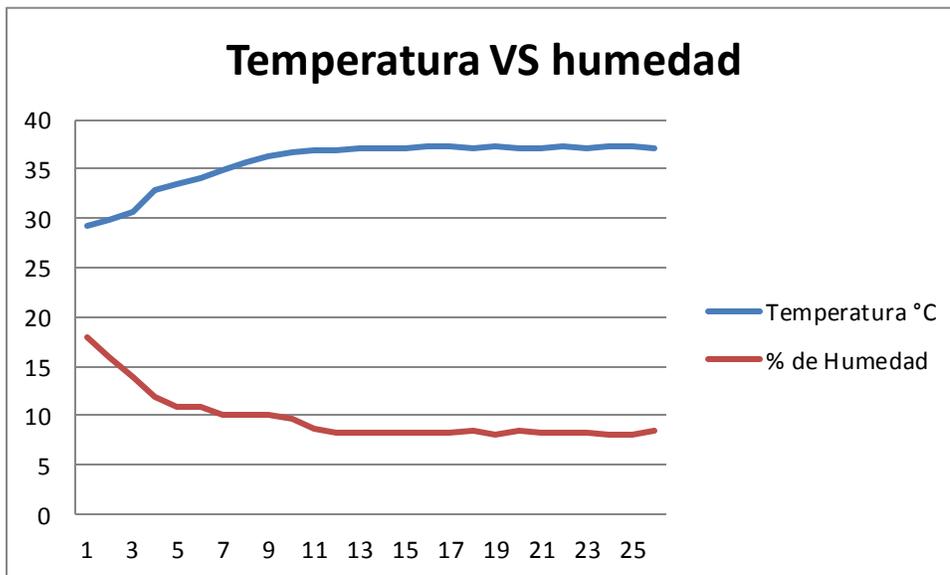
Para la humedad se tiene un simple sistema ON/OFF, teniendo límites establecidos para los primeros 18 días del proceso y cambiando durante los últimos 3 días, para esto se tiene un simple humidificador casero, hecho con una bomba de aire y un par de botellas llenas de agua, con esto se logró humidificar el ambiente dentro de la incubadora, y las condiciones para que la bomba se active

es que si baja del 40% de HR, la bomba se enciende automáticamente hasta que la humedad supera este valor, una vez rebasado este valor la bomba se apaga.

Durante los últimos 3 días del proceso la humedad se debe elevar drásticamente hasta un 70% de HR, para esto se enciende la bomba hasta que supere este valor, una vez rebasado este valor, la bomba se apaga nuevamente.

El estado de la humedad no es tan crítico como el de la temperatura así, que no es necesario que sea constante.

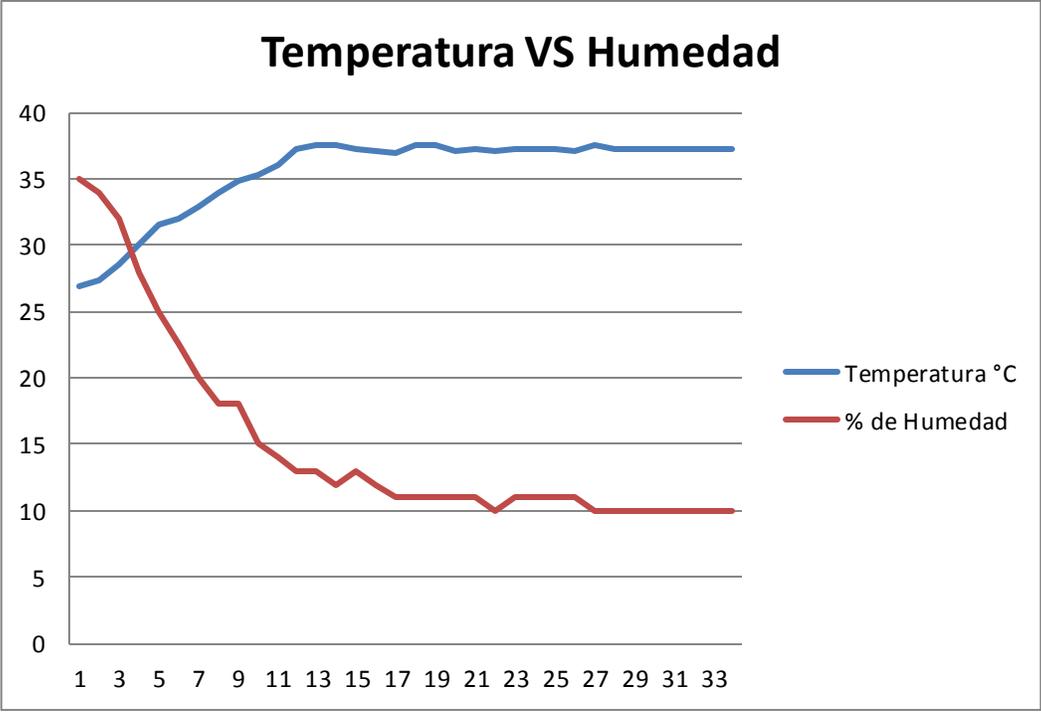
A continuación se muestra el comportamiento de la humedad contra la temperatura cuando el humidificador no está encendido, este ciclo empieza cuando se enciende la incubadora y se encuentra a temperatura ambiente, y una humedad relativa en ese momento dependiendo de las condiciones de la habitación donde se encuentra, aquí se puede observar como la temperatura sube y a su vez la humedad relativa desciende, con el incremento de temperatura.



**Grafica 4.4.2. Comportamiento de la temperatura y humedad**

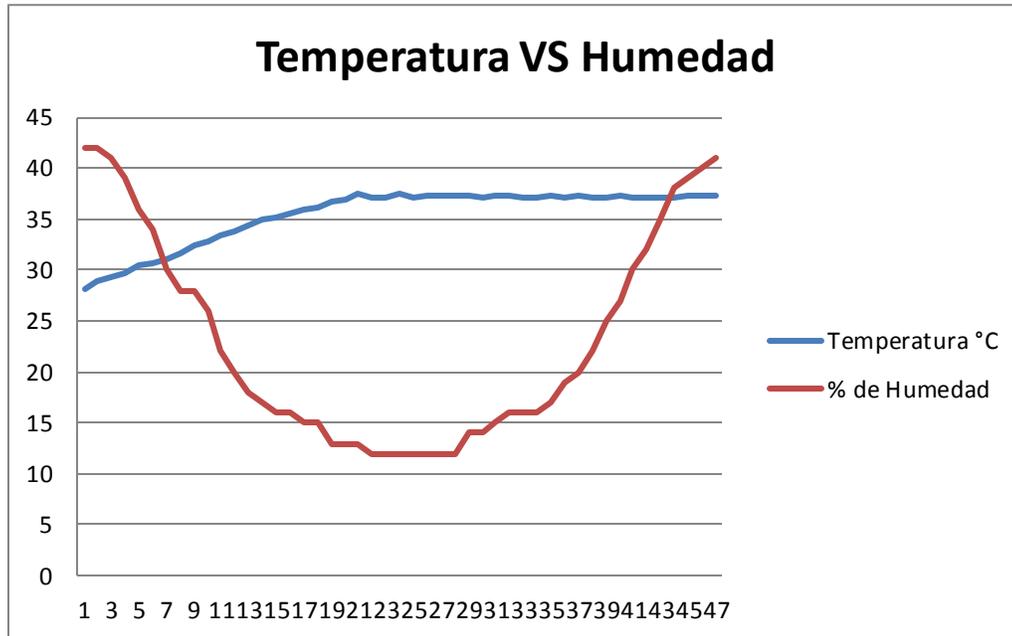
A continuación también se muestra un experimento en donde antes de encender la incubadora, se le roció una cantidad pequeña de agua para aumentar la humedad en el interior.

En esta se puede apreciar como al inicio la humedad está por encima del 30% de humedad y de igual manera desciende cuando la temperatura aumenta.



Grafica 4.4.3 comportamiento temperatura y humedad

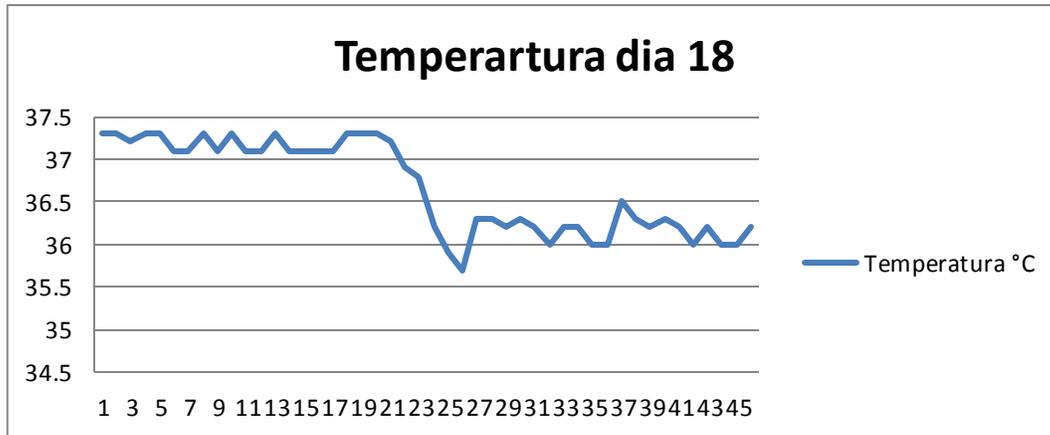
A continuación se muestra el comportamiento de la humedad ya con el humidificador trabajando.



**Grafica 4.4.4 incremento en la humedad**

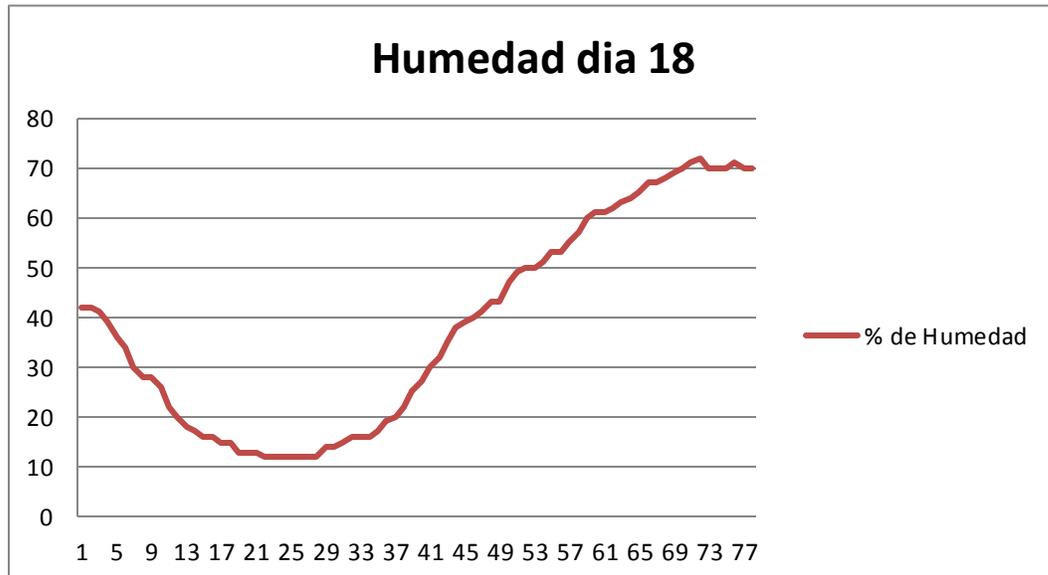
Aquí se encendió el humidificador al inicio de la prueba, lo que hizo que la humedad relativa aumentara hasta el 42%, pero este se apagó 10 segundos después, así que se puede apreciar como esta disminuye con el incremento de la temperatura, bajándola hasta un 12%, 15 minutos después se volvió a encender el humidificador durante otros 10 segundos, y se puede ver como esta se eleva nuevamente hasta el 42%.

A continuación se muestra la el cambio en la temperatura al llegar el día 18 del proceso.



**Gráfica 4.4.5 cambio en la temperatura llegado el día 18**

A continuación se muestra el comportamiento de la humedad llegado el día 18, en la gráfica se muestra el cambio al entrar el humidificador en funcionamiento,



**Grafica 4.4.6 cambio en la humedad llegado el día 18**

## 4.5 Conclusiones

En conclusión los resultado del comportamiento de las variables fueron las esperadas, el equipo también ya ha sido probado durante el numero de días del proceso, como prueba de estrés para que verificar que este se comporta idealmente, y que puede llevar a cabo el proceso completo sin necesidad de interrumpirlo y que no necesite mantenimiento durante el proceso, actualmente el equipo está listo para para iniciar el proceso real.

Se tuvieron algunas dificultades durante el proceso, al principio no se pensó en implementar un reloj de tiempo real para el proceso del volteo, se pensaba hacer únicamente con los timers del microcontrolador, pero era muy inexacto, y tenía un aumento de tiempo a lo largo de los días, a pesar de haber hecho una función para compensar estos tiempo, por esto que se decidió usar el RTC, lo cual permitió un excelente comportamiento debido a su precisión, otra de las dificultades fue el comportamiento de la temperatura en su etapa inicial, pero una vez calibrado después de una toma de muestras y graficas de los datos se logró calibrar y ajustar al comportamiento deseado.

Finalmente se obtuvo el comportamiento deseado del sistema, se logró integrar como se esperaba cada una de sus partes ya que lo que se buscaba de este proyecto fue tanto diseño mecánico, de hardware y de firmware, lo que permitió un desarrollo personal dentro de cada una de estas áreas y logro una satisfacción personal.

## Bibliografia

[1]Qiaohua Wang, Xiaoyan Deng, Yilin Ren, youchun Ding, Lirong Xiong, Zhouping, Youxian Wen, Shuicai Wang,. (2009). Egg freshness detection based on digital image technology. Scientific Research and Essay. 4(10): 1073-1079

[2]Abiola, S.S., Afolabi, A.O., Dosunmu, O.J., (2008). Hatchability of chicken eggs as influenced by turning frequency in hurricane lantern incubator. Afr. J. Biotechnol. 7(23): 4310-4313.

[3]Tona K, Onagbesan O, De Ketelaere B, Decuypere E, Bruggeman, V., (2003). Effect of turning duration during incubation on corticosterone and thyroid hormone levels, gas pressures in air cell, chick quality and juvenile growth. Poult. Sci. 82: 1974-1979.

[4]M.S. Ahmedani, M. Aslam, S. Naz, M. Y. Ahmedani. Maneuvering Humidity to augment response of phosphine against adult and egg stages of *Liposcelis bostrychophila* Badonnel (*Psocoptera: Lipscelidae*). Afr. J. Biotechnol. 8(18): 4653-4662

[5]Snyder GK, Birchard GF (1982). Water loss and survival in embryos of the domestic chicken. J. Exp. Zool. 219: 115-117.

[6]<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010300>  
(2012)

[7]<http://www.rfeinc.com/>  
(2012)

[8]<http://www.chinarelay.com/indexen.html>  
(2012)

[9]<http://www.maxim-ic.com/>  
(2012)

[10]<http://www.st.com/internet/com/home/home.jsp>  
(2012)

[11]<http://www.jameco.com/webapp/wcs/stores/servlet/StoreCatalogDisplay?storeId=10001&catalogId=10001&langId=-1&rfr=1>  
(2012)

[13] Azhar Fakharuddin, Ahmad N. Abdalla, Muhammad Rauf, Nik Mohd Kamil, Salman Ahmad and Ashad Mustafa, A smart energy management system for monitoring and controlling time of power consumption. Scientific Research and Essays Vol. 7(9), pp. 1000-1011, 9 March, 2012

[14] Akif Kutlu\* and Kubilay Tasdelen, Remote electronic experiments using LabVIEW over controller area network, Scientific Research and Essays Vol. 5(13), pp. 1754-1758, 4 July, 2010