

---

---

# **SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL PARA LA INCUBACIÓN DE HUEVOS DE BABILLA**

---

---



**Autor**

Ing. Francisco Chinchilla Torres

**Maestría en Controles Industriales  
Facultad de Ingenierías y Arquitectura  
Universidad de Pamplona**

**2017**



**Proyecto de Investigación Presentado para Optar por el Título  
Máster en Controles Industriales**

**Sistema de automatización y control para la incubación de huevos de  
babilla**

**Autor:**

*Ing. Francisco Chinchilla torres*

**Director:**

*PhD. Cristhian Manuel Durán A*

**Maestría en Controles Industriales  
Facultad de Ingenierías y Arquitectura  
Universidad de Pamplona**

**2017**

## Contenido

	<b>pág.</b>
Introducción	14
1. Estado del Arte	15
1.1 Motivación	15
1.2 Justificación	16
1.3 Problema	17
1.4 Objetivos	19
1.4.1 General	19
1.4.2 Específicos	19
1.5 Acotaciones	19
1.6 Aporte	20
1.7 Estado del Arte	20
1.8 Estructura de la Tesis	22
1.9 Bibliografía	23
2. Fundamentos Teóricos	25
2.1 Evolución de los Sistemas de Incubación	25
2.1.1 Introducción	25
2.1.2 Las Súper Plantas	25
2.1.3 Concepto modular	26
2.1.4 Inteligencia en incubadoras	27
2.1.5 Un futuro predecible y uniforme para la incubación de huevos de babillas	27
2.2 Incubación Artificial	28
2.2.1 ¿Por qué la incubación de huevos de babilla?	29

2.2.2	Parámetros para la incubación artesanal de huevos de babillas	30
2.2.3	Invernadero o cobertizo de incubación artesanal	31
2.2.4	Importancia de la temperatura, la humedad y el CO <sub>2</sub> en el cobertizo	32
2.2.5	Causas y efectos que afectan el desarrollo embrionario en la incubación de babilla	33
2.2.6	Causas y efectos del tamaño del huevo en la incubación con el crecimiento del animal	34
2.3	Formación de Lotes de Incubación	36
2.3.1	Condiciones medioambientales para la formación de lotes de incubación	36
2.4	Equipos para la incubación artificial existente en el mercado	40
2.4.1	Consideraciones para la factibilidad de un equipo de incubación comercial	41
2.4.2	Aspectos relevantes para la consecución de incubadoras comerciales	43
2.4.1.1	Funciones esenciales de un producto industrial	44
2.5	Concepto de Diseño y Desarrollo de la Configuración Propuesta	44
2.5.1	Boceto preliminar para la propuesta	46
3.	Diseño y Características del Prototipo	47
3.1	La Temperatura	47
3.1.1	Sensor digital de humedad y temperatura (DHT-11)	47
3.2	La Humedad	48
3.2.1	Humedad relativa	49
3.3	El dióxido de Carbono	49
3.3.1	Sensor MQ-7	50
3.4	La Calidad del Aire Dentro del Proceso de Incubación	51
3.4.1	El sensor MQ-135	51

3.4.2 El micro controlador (Pic 18f4550)	54
3.4.3 Memoria EEprom (24AA1025)	55
3.4.4 Reloj de tiempo real (RTC DS1307)	56
3.4.5 Pantalla de cristal líquido (LCD- LMB204BFC)	57
3.5 Conceptos Básicos de Control	57
3.6 Diagrama del Sistema de Adquisición de Datos	59
3.7 Etapa de Control	60
3.7.1 Componentes de la tarjeta de control	61
3.7.2 Sistema de ventilación	62
3.8 Dióxido de Carbono y Calidad del aire en Incubadora	63
3.9 Sistema Calefacción	64
3.10 Sistema de Humidificación	66
3.10.1 Criterios técnicos de funcionalidad	67
3.10.2 Control nivel de agua del sistema de humidificación	68
3.10.3 Bomba auxiliar de oxígeno	70
3.11 Sistema de Monitoreo del Dióxido de Carbono	71
3.11.1 Tolerancia del dióxido de carbono en lo huevos incubados	71
3.11.2 Cómo Funciona el sistema de monitoreo de (CO <sub>2</sub> )	72
3.12 Modelamiento de la planta	75
3.12.1 Esquema del sistema de control	75
3.12.2 Diagrama de control propuesto	76
3.13 Alternativa 1 Control Difuso para la Temperatura de la Planta	77
3.13.1 Tarjeta de adquisición de datos	78
3.13.2 Control difuso	81

3.13.3	Conceptos básicos de la lógica difusa	84
3.13.4	Fuzzyfizacion, funciones miembro o de membrecía.	85
3.13.5	Grado de membrecía (función de pertenencia)	85
3.13.6	Diferentes formas de función miembro	86
3.13.7	Control difuso del sistema	87
3.14	Alternativa 2 Control PID de la Temperatura de la Planta	89
3.14.1	Descripción matemática de la planta	93
4.	Diseño y Construcción del Sistema de Incubación	98
4.1	Descripción de la Incubadora	99
4.2	Relación Física de Incubadora	100
4.3	Fabricación y Adecuación del Sistema de Enfriamiento de la Incubadora	101
4.4	Adecuación del Sistema de Humidificación	104
4.4.1	Instalación Y Montaje del sistema de humidificación.	105
4.5	Instalación y Montaje del Sistema de Ventilación	106
4.6	Instalación y Montaje del Sistema de Calefacción	107
4.7	Circuitería	108
4.7.1	Sensores de temperatura y humedad	108
4.7.2	Generador de voltaje DC	110
4.7.3	Etapa de potencia.	110
4.7.4	Etapa de adquisición de datos y control	111
4.8	Programación en Labview	112
4.8.1	Diagrama de bienvenida	112
4.8.2	Diagrama de bloques de adquisición	113
4.8.3	Diagrama de Bloques de control	115

5. Pruebas y Resultados	117
5.1 Temperatura y Humedad	117
5.2 Control de la Temperatura	117
5.3 Control de Humedad	118
5.4 Alcance de la Humedad	118
5.4.1 Variables que inciden en el alcance de la humedad.	118
5.5 Conclusiones	119
Bibliografía	122
Anexos	124

**Lista de Tablas**

	<b>pág.</b>
Tabla 1. No. de programas experimentales o comerciales de cría en cautiverio operando por especie (Marzo, 2005).	15
Tabla 2. Factores que afectan el desarrollo embrionario	33
Tabla 3. Incubadoras comerciales para la incubación huevos	42
Tabla 4. Sensación térmica para Temperatura Seca constante de 35 °C y diferentes niveles de Humedad relativa	49
Tabla 5. Puntos de corte del ICA	53
Tabla 6. Relación de voltaje de salida del sensor MQ135 y la calidad del aire	53
Tabla 7. Procesos de intercambio gaseoso de una incubadora	64
Tabla 8. Datos de plantas	90
Tabla 9. Mantenimiento y revisión del humidificador	105

## Lista de Figuras

	<b>pág.</b>
Figura 1. C.c. fuscus	30
Figura 2. Nido en estado silvestre de babilla	30
Figura 3. Desarrollo embrionario y huevos incubados en fase terminal	31
Figura 4. Incubadora Artesanal en el Zoocriadero	32
Figura 5. Propuesta de zoocriaderos a gran escala	33
Figura 6. Relación tamaño del huevo respecto a la cría	35
Figura 7. Clasificación por peso de las crías	35
Figura 8. Lotes de incubación de huevos	36
Figura 9. Lote básico huevos de babilla pos recolección	37
Figura 10. Lote básico, seleccionado y marcado de huevos de babilla	37
Figura 11. Vista de un huevo con la linterna	39
Figura 12. Babilla recién nacida	39
Figura 13. Babillas en piletas de zoocria.	40
Figura 14. Bocetos físicos estructurales preliminares de la incubadora	46
Figura 15. Sensor DHT-11.	48
Figura 16. Sensor MQ-7	51
Figura 17. Sensor MQ135	52
Figura 18. Sistema de adquisición de datos y control	54
Figura 19. Pic 18f4550	55
Figura 20. Memoria EEprom 24AA1025	56
Figura 21. RTC DS1307	56
Figura 22. LCD- LMB204BFC	57

Figura 23. Sistema de control básico	58
Figura 24. Sistema de control básico	59
Figura 25. Sistema de adquisición de datos	60
Figura 26. Diagrama en bloques etapa de control	61
Figura 27. Circulación de aire dentro de la incubadora	62
Figura 28. Toma externa de aire	62
Figura 29. Flujo interno de aire	63
Figura 30. Cable resistivo	65
Figura 31. Distribución Cable resistivo	65
Figura 32. Humidificador ultrasónico	67
Figura 33. Pieza de metal vibrante (piezoeléctrico)	67
Figura 34. Diagrama pictórico humidificador	68
Figura 35. Ejemplo de un control de nivel	69
Figura 36. CI - ULN 2803A	70
Figura 37. Descripción Grafica Del Funcionamiento Bomba De Oxígeno	70
Figura 38. Bomba De Oxígeno	71
Figura 39. Pérdidas de CO <sub>2</sub> con el tiempo. Según Saveur (1988)	72
Figura 40. Respuesta del sensor	74
Figura 41. Diagrama electrónico de control típico	76
Figura 42. Tarjeta de adquisición de datos NI cDAQ-9174	78
Figura 43. NI cRIO-9211 thermocouple Modulo	79
Figura 44. Modulo NI-9232	80
Figura 45. Modulo NI-9263	80
Figura 46. Conexiones de cada módulo en la tarjeta DAQ	81

Figura 47. Pasos control difuso	84
Figura 48. Conceptos básicos de la función miembro	86
Figura 49. Funciones de pertenencia triangular y trapezoidal	87
Figura 50. Funciones de pertenencia exponencial y gamma	87
Figura 51. Universo del Discurso de Temperatura	88
Figura 52. Universo del Discurso de Error de Temperatura	89
Figura 53. Universo del Discurso de Voltaje de Lámparas	89
Figura 54. Diagrama en bloques para el sistema de control de la incubadora	90
Figura 55. Grafica datos de temperatura en un periodo de tiempo de la incubadora	93
Figura 56. Entorno grafico en matlab	94
Figura 57. Datos de ingreso al programa de modelamiento Pid	95
Figura 58. Entorno grafico para el modelamiento Pid.	95
Figura 59. Aproximación de la señal de planta ideal.	96
Figura 60. Obtención de la función de transferencia	96
Figura 61. Definición de la ecuación matemática de Laplace final	97
Figura 62. Respuesta de la señal en lazo cerrado	97
Figura 63. Aspecto físico de la madera fenólica.	99
Figura19. bocetos físicos estructurales preliminares de la incubadora.	101
Figura 64. Modelo o cubo inicial	102
Figura 65. Sistema de bisagra y sellado	103
Figura 66. Ensamblajes del sistema de refrigeración	103
Figura 67. Sistema de Humidificador implementado	104
Figura 68. Ventiladores inferiores	106
Figura 69. Sistema de recirculación del aire frio	106

Figura 70. Diseño preliminar e implementación del sistema de calefacción	107
Figura 71. Canastilla	108
Figura 72. Configuración y sensor DHT-11	108
Figura 73. Esquemas circuito del sensor de humedad y temperatura	109
Figura 74. Fuente de Poder	110
Figura 75. Circuitos etapa de potencia	110
Figura 76. Sistema de acoplamiento de cruce por cero	111
Figura 77. Circuito electrónico etapa de control	112
Figura 78. Controles y entorno de bienvenida	113
Figura 79. Entorno grafico de datos adquiridos	114
Figura 80. Diagrama en bloques de labview adquisición de datos	114
Figura 81. Entorno grafico de control	115
Figura 82. Diagrama en bloques de la etapa de control	116

**Lista de Anexos**

	<b>pág.</b>
Anexo 1. Programas de cría en cautividad de <i>Crocodylia</i> en Colombia.	125
Anexo 2. Huevos sin embrión tomados de la finca el Paraíso	128
Anexo 3. Tomado de la finca el paraíso. Huevos en canastilla en proceso de incubación artesanal	129
Anexo 4 Canasta de huevos ubicada dentro de la incubadora artesanal. Foto tomada en la finca el paraíso.	130
Anexo 5. Sistema de ventilación en incubadora artesanal. Finca el paraíso	131
Anexo 6. Método Desarrollo Orientado a prototipos	132
Anexo 7. Costos	133
Anexo 8. Glosario	135

## Introducción

Esta investigación consiste en desarrollar una tecnología de incubación de huevos de babilla para su aprovechamiento por cosecha bajo condiciones de vida silvestre controladas, desarrollando un sistema automático de control de temperatura y humedad para el manejo embrionario (control de natalidad y sexo), y el monitoreo del CO<sub>2</sub> en aras de la verificación del efecto del gas en los nidos y el crecimiento del animal.

Se realizará el hardware y el software correspondiente a los sistemas de supervisión y control de las variables que inciden en el proceso, haciendo uso de programas como: Labview o MatLab y toda la instrumentación necesaria para el manejo de la temperatura (0°C a 80°C), la humedad relativa (10% a 90%) y el monitoreo y control del monóxido de carbono (entre  $3760.08 \pm 247.13$  p.p.m), así como las condiciones de calidad del aire en un margen óptimo.

Los resultados que se esperan obtener a partir de las mediciones nos servirán para determinar las variaciones y las curvas de referencia, para posteriormente compararlas con las simulaciones hechas a partir de la ecuación de la planta; de esta manera se generará la señal ideal para luego ser implementada en el proceso de incubación.

Es por ello que la incubación bajo invernadero pasó de ser una simple estructura de protección contra factores atmosféricos, tales como lluvia, granizo o intensidad de luz, como tradicionalmente se tenía, a ser descrito como una instalación que produce las condiciones óptimas para la incubación que allí se encuentre. Para lograr esto es necesario pensar en instrumentos de control, y equipos de medida, que permitan realizar un control activo de las condiciones climáticas al interior del mismo.



## 1. Estado del Arte

### 1.1 Motivación

La mayoría de las personas que utilizan los sistemas electrónicos para proporcionar modelos automáticos en sistemas agroindustriales, siempre encuentran una barrera en el cómo y el cuándo poder utilizar esos medios. Pues siempre existen variables que no les permiten avanzar con cierta facilidad en los procesos de control de las mismas. Es por eso que para la realización se tomó como referencia la necesidad de un sector agroindustrial de Colombia como es la zootecnia, que cuenta con sistemas de incubación artesanal y de manejo no adecuado por el personal, que causa pérdidas considerables en la extracción del producto.

En Colombia el cultivo en cautiverio de Crocodylidos, se ha venido practicando desde hace más de veinte años. Todos estos estudios, han sido realizados principalmente con el Caimán *Crocodylus*, que posee un alto potencial biológico como económico para la cría comercial. En el aspecto económico es importante señalar, que éstas son especies con alto valor económico por sus pieles y carnes además que son completamente aprovechables.

**Tabla 1. No. de programas experimentales o comerciales de cría en cautiverio operando por especie (Marzo, 2005).**

Espece	No total de programas	Fase experimental	%	Fase comercial	%
<i>Crocodylus acutus</i>	16	13	81.25	3	18.75
Caimán <i>Crocodylus crocodilus</i>	1	0	0	1	100

Caimán <i>Crocodylus fuscus</i>	46	0	2.17	46	97.83
Total	63	14	22.22	49	77.78

Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2016.

Aprovechando estas características la idea es diseñar y construir un prototipo de incubadora que pueda ser llevado a escala real, para aumentar la producción y mitigar la pérdida en eclosión. Aumentando así la rentabilidad del mismo.

## 1.2 Justificación

Según el convenio internacional para el mercado de especies de fauna y flora en peligro de extinción (CITES), solo se aprobará preferiblemente el comercio de pieles basados en sistemas de cosecha por ranqueo in situ (vida libre) o asociados a sistemas cerrados (Zoocriadero). Esto para las sub-regiones de la costa atlántica, costa pacífica, valle del cauca y magdalena medio (el nuestro), dado que la primera condición para el aprovechamiento del *crocodylus* como recurso genético en Colombia, es conservar los habitats naturales que soportan su producción en vida libre. Otra condición que afecta el sistema es un acuerdo de competitividad para la obtención de productos con máximo valor agregado (marroquinería y turismo), que incluye a los dueños de los fundos (nidos), comercializadores, entre otros a apoyarse de un desarrollo científico tecnológico. Esto último un cuellos de botella en cuanto a experiencias en términos de cosecha en vida libre y sus beneficios económicos.

Otro aspecto que afecta el proceso, es que actualmente el manejo para la incubación y posteriormente su cría no es la adecuado; Si se sigue con estos procedimientos arcaicos de incubación y su caza excesiva se podría llegar a la extinción de la especie en

la región, debido a que su proceso de gestación controlado por el hombre genera pérdidas cercanas 50% solo en la etapa de incubación.

En tal sentido se puede citar a Mphande (1987):"solo el 2% de los huevos en la naturaleza se transforma en adultos"; o a Smith y Webb (1985):"las poblaciones de *Crocodylus johnstoni* podrían explotarse en cosecha de huevos sin afectar su situación en la naturaleza, repoblando con un 2,6% de los huevos cosechados, a los dos años de edad"; o a Ouboter y Nanoe (1984):"para algunas nidadas, la mortalidad es del 100% en el primer año de vida"; o finalmente a Hutton (1984):"la mortalidad de huevos y juveniles en la naturaleza puede exceder el 95%". Tomando como base lo antedicho y con la técnica de incubación artificial o terminal (según el caso), y crianza en ambiente controlado, se eliminan los mencionados factores de mortalidad, y así se obtiene un número significativamente superior de individuos viables.

Una necesidad mayor es el sexo del animal, dado a que la exportación es favorable con machos, esto debido a que su proceso de crecimiento es más rápido que el de las hembras, condiciones de género que no se garantiza en proceso de incubación artesanal.

### **1.3 Problema**

Contando que Colombia es un país con una amplia gama de reptiles, entre ellos el Caimán *Crocodylus* cuya distribución geográfica más amplia está entre los crocodylianoes tropicales (chiriví – gallego 1973). En Colombia está autorizada su cría, levante y comercialización a partir de sistemas cerrados (ex situ, en zoocriaderos), pero debido a los costos de producción y manipulación el sistema no ha sido exitoso, dado a factores

como los cambios climáticos, transporte, adecuación y manejo de los huevos, así como el uso de las variables incidentes en el proceso de incubación, en los cuales se presentan muchas anomalías.

A nivel mundial se encuentra una variedad de combinaciones en cuanto al número de individuos y el diseño de los habitáculos utilizados para la cría. Por ejemplo, en Zimbawe los pichones son criados en grupos de 50 en piletas de 3 x 3 m, a una temperatura fija de 32°C y durante la temporada cálida son alojados en piletones a la intemperie. En Tailandia los pichones son alojados en grupos de 10 ó 15 en habitáculos de 30 x 40 x 50 cm y luego criados a muy altas densidades, pasando por cinco tanques de diferentes tamaños en el proceso. En Nueva Guinea se alojan hasta 200 cocodrilos de dos a tres años en un habitáculo de 2 x 25 m y en Louisiana (USA) se utiliza un complicado sistema de cambios de habitáculos de seis medidas diferentes: se empieza con unos de 60 x 60 cm hasta llegar a unos de 5,4 x 3,6 m, donde las concentraciones iniciales son de 20 pichones/ m<sup>2</sup>.

En este último caso, la suplementación de temperatura se hace con gas e, incluso, en algunas ocasiones se emplean piletones apilables de fibra de vidrio para optimizar el rendimiento del calor por unidad espacial. En Santa Fe y Formosa (Argentina) se los aloja en piletones de 4,5 x 5 m, con un sistema de calefacción por losa radiante, a una densidad media de 10 animales/m<sup>2</sup> (Larriera, 1991).

La temperatura de incubación media es de 31,5°C, aunque se están realizando diversos trabajos con tres rangos de temperatura en el orden de los 29°C, 31°C y 33°C, a fin de conocer sus efectos sobre la determinación sexual y el crecimiento posterior de los animales (Larriera, 1991; Piña et al., 2003).

Si se implementa un sistema de incubación que logre controlar las condiciones ideales y las variables que afectan el proceso de gestación, se podría garantizar menor pérdida en la producción por camada, y esto se reflejaría en la ganancia para los comercializadores evitando así la extinción de la especie, y garantizando el sexo del animal en un 75%.

## 1.4 Objetivos

**1.4.1 General.** Diseñar un sistema de control automático para la incubación de huevos de babilla

### 1.4.2 Específicos.

Desarrollar el análisis matemático de la planta.

-Desarrollar un sistema de control de temperatura, humedad y monitoreo del monóxido de carbono y calidad del aire para la incubadora.

- Diseñar el modelo físico de zocriaderos a escala para fundamentar la implementación del prototipo.

- Implementar las etapas de control de cada una de las variables que intervienen en el sistema.

- Desarrollar un entorno que permita supervisar y recolectar la información de los procesos a controlar.

## 1.5 Acotaciones

Esta investigación consiste en diseñar una tecnología de incubación de huevos de babilla para su aprovechamiento por cosecha bajo condiciones de vida silvestre controladas, a través de un sistema automático de control de temperatura y humedad para el manejo embrionario (control de natalidad y sexo), y el monitoreo del CO<sub>2</sub> en aras de la verificación del efecto del gas en los nidos y el rompimiento de la cascara del huevo hasta el crecimiento del animal.

## **1.6 Aporte**

Se realizará el hardware y el software correspondiente a los sistemas de supervisión y control de las variables que inciden en el proceso de incubación, haciendo uso de programas como: Labview o Matlab y toda la instrumentación necesaria para el manejo de la temperatura (0°C a 80°C), la humedad relativa (10% a 90%) y el dióxido de carbono (entre  $3760.08 \pm 247.13$  ppm). Así como las condiciones de calidad del aire al interior de la incubadora, en intervalos de (20% NV-90% NA).

## **1.7 Estado del Arte**

Se puede definir o argumentar sobre el proceso de incubación en zocriaderos como el conjunto de factores físicos presentes en el medio ambiente que rodea al huevo. Los factores que inciden este proceso son: Temperatura, humedad, y calidad de la ventilación.

Puede afirmarse que la temperatura es el factor que más incidencia tiene en los procesos de incubación, ya que pequeños cambios en su escala pueden alterar algunas condiciones en el embrión; y resultan letales para muchos de ellos, esto debido a que durante la incubación los huevos se encuentran sometidos a ciertas leyes físicas. Estos cambios se producen, con normalidad en condiciones no controladas de incubación, afectando no solamente la temperatura, sino también la humedad, el contenido químico del aire y la posición del huevo. Por otra parte, el mismo huevo incubado modifica el medio que lo rodea al emitir calor, gases y vapor de agua.

Debido a las características de la zootecnia aplicada, al cabo de un año de cría, se obtiene un remanente de individuos apto para la producción comercial de cuero y carne,

que en condiciones naturales no hubiera sobrevivido como consecuencia de la acción de depredadores o condiciones climáticas adversas (Larriera, 1993; Moreno & Parera, 1998).

Diego Javier Reinoso Chisaguano, y compañeros [1]. Diseñaron un prototipo de monitoreo remoto de contaminación ambiental. El proyecto desarrolla un sistema que permite monitorear gases de contaminación atmosférica a través de un prototipo que realiza mediciones de forma automática. El prototipo utiliza un sistema micro procesado para adquirir los datos de sensores de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), temperatura y humedad. Los datos adquiridos son enviados en forma de SMS, a través de un teléfono celular, a una aplicación de monitoreo. Esta aplicación recibe los datos, los almacena y permite visualizarlos en forma de gráficas o reportes. Finalmente, una vez implementado el prototipo, se realizan las pruebas de funcionamiento del mismo.

Saúl Vázquez López [2] desarrollo un proyecto que tiene como objetivo la instalación y puesta en marcha de un sistema informático de adquisición de datos, para estudiar la interrelación que existe entre las variables climáticas dentro de un invernadero.

Juan Pablo Múnica Campuzano [3] desarrollo un sistema automático que controla la temperatura, la humedad, la ventilación, la iluminación y el riego al interior de un invernadero a escala.

Emmanuel Cardona Ortiz [4] desarrollo un sistema de monitoreo de humedad y temperatura utilizando transmisión Zigbee que pretende servir como método de prevención de daños a equipo de cómputo y/o laboratorios.

Castillo cariwilli y compañeros [5] realizaron un proyecto para obtener la noción de termodinámica en procesos de incubación de huevos de uso artesanal, y su efecto en la eclosión del animal.

Enrique O. Martínez M[6] realizó un estudio sobre el desarrollo de un programa experimental de zocriaderos de *Caiman crocodilus*, cuyo objetivo inicial era la repoblación de áreas sometidas a la aplicación del programa de aprovechamiento de las poblaciones naturales de esta especie en Venezuela.

Jaime A Ramírez Perilla [7] hizo algunos avances de tecnologías de incubación de huevos de babilla en Colombia y su influencia en materia de exportación para los cultivadores de esta especie.

Jaime A Ramírez Perilla [8] trabajó sobre el proceso de recolección y control de calidad de huevos de tortuga y cocodrilo, así como de las condiciones medio ambientales del nido en condiciones de vida silvestre.

## **1.8 Estructura de la Tesis**

Este documento se encuentra distribuido de la siguiente manera. Son 5 capítulos que exponen brevemente el proceso de diseño y elaboración de una incubadora de huevos automática.

Capítulo 1: se realiza una breve introducción al tema de estudio, y se analizan los factores que permitieron desarrollar la investigación en esta área.

Capítulo2: se encuentra la fundamentación teórica o la información necesaria, así como los componentes evolutivos, los conceptos de cada uno de los elementos usados,

los métodos de medición de las variables que inciden en el proceso, y todo lo referente a la introducción del tema de estudio.

Capítulo 3: En esta etapa del estudio se expone de manera sustancial los diseños y las características del prototipo, además presenta información sobre los bloques de adquisición de datos y control, así como de toda la sensórica que lo componen.

Capítulo 4: Este capítulo trata la forma como se construye el prototipo, el software, y la interfaz gráfica que lo compone, y brevemente expresa el método de elaboración física del mismo.

Capítulo 5: Este capítulo centra su interés en las pruebas de funcionamiento y calibración del prototipo, así como la de todos sus componentes y los resultados obtenidos.

## **1.9 Bibliografía**

[1] Diego Javier Reinoso Chisaguano, Juan Carlos Estrada Jiménez, Soraya SincheMaita, “Diseño E Implementación De Un Prototipo De Monitoreo Remoto De Contaminación Ambiental Utilizando Tecnología Gsm” xxii jornadas en ingeniería eléctrica y electrónica, escuela politécnica nacional de Ecuador marzo 2010.

[2] Saúl Vázquez López “Desarrollo De Un Sistema Para La Adquisición De Datos Climáticos En Un Invernadero Utilizando Labview“ universidad politécnica de Cartagena, tesis de pregrado Cartagena diciembre 2006.

[3] Juan Pablo Múnera Campuzano “Sistema De Control Automático Para Monitorear Y Controlar El Ambiente Al Interior De Un Invernadero” universidad pontificia bolivariana, tesis de pregrado, Medellín julio 2012.

[4] Emmanuel Cardona Ortiz “Monitoreo De Censado De Temperatura Y Humedad En Cuartos De Comunicaciones Con Tecnología De Bajo Costo (Zigbee).” Universidad autónoma de ciudad de Juárez, tesis de pregrado, México D.C. mayo 2011.

[5] Castillo cariwilli, higuera Carmen, Hernández Amílcar, Piña Yaisbeth, Rivero Arisveli, Torralba maría Fernanda, “diseño y elaboración de un prototipo de incubadoras de huevos de uso artesanal.” Universidad nacional experimental politécnica de la fuerza armada bolivariana, proyecto de área, Guárico Venezuela junio de 2010.

[6] Enrique O. Martínez M “Diseño Y Operación De Zoocriaderos Abiertos De Babas” revista zoocriaderos Vol. 1 N° 2 Art. 3, Centro de Investigación y Reproducción de Especies Silvestres [CIRES], Mérida Venezuela, noviembre 1996.

[7] Jaime A Ramírez Perilla “avances en tecnología de incubación para huevos de babilla (caimán crocodilus crocodilus) cosechados en vida silvestre” revista zoo divulgación, año 3 edición 1, universidad nacional de Colombia, programa nacional de transferencia de tecnología agropecuaria PRONATA, Villavicencio diciembre 2001.

[8] Jaime A Ramírez Perilla “técnicas de recolección y control de calidad de huevos de tortuga y cocodrilos” revista zoo divulgación, año 1 edición 1, universidad nacional de Colombia, programa nacional de transferencia de tecnología agropecuaria PRONATA, Villavicencio mayo 1999.

## 2. Fundamentos Teóricos

### 2.1 Evolución de los Sistemas de Incubación

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

**2.1.1 Introducción.** En las próximas décadas, se prevé un crecimiento sustancial en el consumo de carne a raíz del aumento de la población mundial. El diseño de las plantas de incubación debe basarse en esta demanda cambiante y creciente, así como en otros factores determinantes en la producción agroindustrial.

En el año 2034 habrá más de ocho mil millones de personas viviendo en nuestro planeta. Este crecimiento poblacional producirá un incremento de la demanda de alimentos de un 50% en los próximos 25 años. Según los expertos, el consumo de carne ya no será netamente de aves de corral, si no que se expandirá a especies como el caimán que dados los casos superará el consumo de carne bovina, porcina y ovina, con una producción anual que ascenderá a los 130 mil millones de toneladas.

En la actualidad, el sur de EEUU, Brasil, Colombia, Venezuela y parte de Centroamérica producen más del 70% de la producción de carne de caimán o babilla, con un dominio del 60% de las exportaciones por parte de EEUU y Brasil. En el 2034, la India se habrá unido a este grupo de principales productores. Junto con China, reforzarán la posición dominante de Asia en el consumo y las producciones globales.

**2.1.2 Las Súper Plantas.** Aparte del segmento industrial, se abrirá un nicho de mercado nuevo para la carne de babilla. La evolución de dicho mercado será propulsado por razones de bienestar animal en algunas partes del mundo, y por una preferencia por el sabor y la calidad de este tipo de carne. Dicho mercado está creciendo bastante rápido en Europa, y podría llegar a representar el 10% de la producción mundial en el año 2034.

Hablando de un caso particular, las plantas de incubación modernas producen un máximo de 1,5 millones de animales por semana en cuatro eclosiones iguales. Para poder satisfacer esta demanda habrá que aumentar la escala de producción, lo que significará una transformación de la planta de incubación en complejos industriales de enormes dimensiones, o 'súperplantas', donde se producen hasta seis millones de elementos (pollos en este caso) en un día por semana, en seis nacimientos rutinarios.

Actualmente en una cadena de producción eficaz se traduce en resultados constantes y un índice de nacimientos superiores al 95% sobre los huevos fértiles, con una mortalidad durante la primera semana inferior al 0,5% y una distribución de los nacimientos.

**2.1.3 Concepto modular.** Para gestionar la temperatura, humedad relativa y CO<sub>2</sub> a gran escala sin comprometer los perfiles de incubación específicos para cada lote, la planta de incubación del futuro tendrá un diseño y una estructura modular.

Aunque la idea de la modularidad es generalmente aceptada, hoy en día sólo existe una incubadora en el mercado que permite la incubación modular. Esta máquina modular de etapa única permite el control simultáneo de hasta seis valores de consigna, lo que posibilita el uso de programas de control de temperatura específicos para lotes distintos. Los últimos tres días del proceso de incubación son críticos para determinar y optimizar la distribución temporal de la eclosión, la que es esencial para lograr la uniformidad. Asimismo, la incubación modular nos permite registrar todos los parámetros del resultado final de la eclosión para predecir las necesidades de futuros lotes. Entonces, para gestionar la temperatura, humedad relativa y CO<sub>2</sub> a gran escala sin comprometer los perfiles de incubación específicos, la planta de incubación del futuro, posiblemente contará con una capacidad superior a las actuales.

**2.1.4 Inteligencia en incubadoras.** El uso más prolífico de programas de software específicos permitirá la integración, interpretación y movilización de una gran cantidad de datos relativos al proceso de incubación en la planta moderna. La mayoría de los programas actuales sólo registran los datos y resultados históricos del proceso de incubación. La integración de la inteligencia permitirá a programas nuevos analizar los datos registrados con el fin de definir y controlar unas condiciones de incubación específicas, así como predecir las necesidades de lotes futuros.

**2.1.5 Un futuro predecible y uniforme para la incubación de huevos de babillas.** La mayor escala de producción de babillas necesaria para satisfacer la creciente

demanda de carne y productos elaborados como piel y marroquinería, requiere la implementación de procesos completamente automatizados.

Éstos, para ser rentables, requieren de animales (babillas) de un tamaño y peso uniformes. Entonces, para garantizar el crecimiento futuro tanto de la planta de incubación como del zoo criadero, es esencial estimular el crecimiento y desarrollo uniformes y predecibles de nuestras camadas.

En un futuro súper dimensionado, un buen índice de conversión de, baja mortalidad, rápido crecimiento, excelente rendimiento del procesamiento y una máxima producción de huevos tendrán repercusiones positivas en toda la cadena de producción de la zootecnia.

## 2.2 Incubación Artificial.

La incubación artificial es un proceso mediante el cual se provee de condiciones actas para el correcto desarrollo embrionario, su importancia radica en aumentar la producción de la especie incubada con fines económicos de consumo.

Lo primero que se tiene para una incubación exitosa es contar con huevos fértiles condicionados al medio y la naturaleza de su entorno, conteniendo los nutrientes y humedad que requiere el embrión para su desarrollo y protección. Solo falta ser provisto de las siguientes condiciones:

- Temperatura ideal de la especie que se incuba
- Suministro de oxígeno mediante ventilación en proporciones adecuadas para la especie.
- Porción de humedad que no deshidrate ni deje edemas en los huevos durante el proceso diario de evaporación.
- Protección constante a depredadores, organismos dañinos o vibraciones.
- El periodo de gestación del huevo de babilla se prolonga más en las épocas cercanas al principio de las lluvias, en nuestro caso particular costa atlántica este proceso se lleva a cabo a inicios del mes de abril y finales de octubre.
- Los huevos siempre deben conservar la misma posición en la que fueron encontrados ya que esta es su polaridad, la morfo diferenciación de todos sus órganos se logra cuando el huevo se cubre totalmente por la banda opaca entre 42 y 56 días. El

nacimiento después de 77 a 87 días de incubado, según sea la temperatura a la cual se incuben o la edad del embrión.

**2.2.1 ¿Por qué la incubación de huevos de babilla?** La babilla (*Crocodilusintermedius*) es una de las tres especies de cocodrilos más amenazadas de extinción en el mundo; en Colombia solo se ha corroborado la presencia de 34 ejemplares en vida silvestre. El área potencial de distribución geográfica natural de las babillas en Colombia es de 870.481 Km<sup>2</sup>, es decir 86% del territorio nacional donde podría hacerse cosecha sostenible.

Colombia exporta al año 600.000 pieles de babilla, el costo de producción de una babilla recién nacida en vida silvestre de US\$ 5.50 dólares (Rodríguez M 2001). Por cosecha en zoocriaderos es de US\$ 0.10 dólares.

Una piel salada de babilla de 60 cm de longitud tiene un precio de US\$ 8.00 y si es de 1.2 mts el precio en el mercado internacional es de US\$ 27.0 este último es el mercado de los grandes zoocriaderos (Rodríguez M 2001). El valor total de las exportaciones colombianas es de \$ 32.400.000.000 es decir US\$ 17, 715,800, esto en zoocriaderos artesanales.

Estos sistemas de producción son auto protegidos ante los cambios del mercado, si no hay no se cosecha, si lo hay la oferta se condiciona al potencial de producción de la nidada, esto significa conservación de la naturaleza y desarrollo sostenible (C&DS).

Con relación a los programas de zootecnia de Crocodylia, en el país actualmente se cuenta con un total de 48 establecimientos de cría en cautiverio (Anexo 1), los cuales en

su conjunto operan 63 programas de cría y producción, bien sea en fase comercial o experimental, de *Crocodylus acutus*; *Caiman crocodilus*; y primordialmente *C.c. fuscus* (figura 1), convirtiéndose ésta última especie en aquella sobre la cual se cimienta el grueso de las operaciones de la zootecnia industrial.



**Figura 1. C.c. fuscus**

**2.2.2 Parámetros para la incubación artesanal de huevos de babillas.** Cuando se habla de cosecha silvestre lo que se debe que entender es que se ajustan los ciclos de producción tal y cual como se dan en la naturaleza, esos calendarios pueden ser diferentes para cada región del país lo que mejora o desmejora la productividad.

La segunda parte de este proceso es la selección de los huevos fértiles, estos deben ser de nidos con los mejores sustratos hechos a partir de hojarasca de vegetación (*Vismiasp*), entre otras. Además de contar con unas características dimensionales de 40 a 45 mm de altura y 10 cm de diámetro.



**Figura 2. Nido en estado silvestre de babilla**

Después de la recolección viene el proceso de generar las características micro climáticas y eco fisiológicas de la incubadora. Como son el compost o sustrato necesario para la generación de calor y producción de humedad, esto permitirá una circulación de oxígeno ( $O_2$ ) dentro de la cámara de incubación. La temperatura debe mantenerse en promedio  $33^{\circ}C$  y una humedad relativa del 76%, la fase embrionaria (ver figura 3) es hasta que el huevo se cubre por completo de la banda opaca.



**Figura 3. Desarrollo embrionario y huevos incubados en fase terminal**

Fuente: Ramírez, 2001.

**2.2.3 Invernadero o cobertizo de incubación artesanal.** Se construyen en un área de 10 X 6 metros sobre un terreno permeable, no anegable o ligeramente inclinado, el cobertizo es rustico con techo de 2 aguas de 7.8 mts x 4 mts, cumbreras de 2.10 mts de alto enterradas a 50 cm y colocadas linealmente iguales, paredes laterales de 1.60 mts, enterrados a 40 cm. Desplegado sobre toda la estructura un plástico de invernadero de 2 tiras de 10 X 4 mts, que se enrolla y sirve como lastre (ver figura 4).



**Figura 4. Incubadora Artesanal en el Zoocriadero**

Fuente: Scribd, 2011.

**2.2.4 Importancia de la temperatura, la humedad y el CO<sub>2</sub> en el cobertizo.** Un comportamiento térmico perfecto del nido es de 310 °C a 340 °C entre el día y la noche; mientras la temperatura ambiente puede fluctuar entre los 220 °C en noches frías y 380 °C en días muy soleados, la humedad relativa ideal dentro del nido es de 72% a 78%, la concentración normal de CO<sub>2</sub> dentro del nido es de 3800 ppm que no afecta el desarrollo del embrión y la eclosión.

En los sistemas de incubación artesanal no se controla técnicamente la temperatura y humedad (figura 4).Lo cual es importante en zoocriaderos, ya que se requiere incubar mínimo en un rango de 32 °C y 33 °C durante un periodo aproximado de 72 días, para

obtener machos que crecen más rápido y obtienen las dimensiones de exportación ideal en un periodo de crecimiento más corto.

A pesar de que en la incubación artesanal halla una circulación de aire caliente en toda el área, un flujo débil tendera a registra temperaturas bajas, esta diferencias afectan directamente el huevo, pues la cantidad de CO<sub>2</sub> en saturación produce alteraciones embrionarias, en otras palabras se considera proporcionar un espacio con las condiciones ideales para la cría y la incubación de la babilla (figura 1).



**Figura 5. Propuesta de zoocriaderos a gran escala**

Fuente: Diseño en sketchup

**2.2.5 Causas y efectos que afectan el desarrollo embrionario en la incubación de babilla.** Algunos factores son esenciales o deben tenerse en cuenta a la hora de la incubación de huevos de babilla.

**Tabla 2. Factores que afectan el desarrollo embrionario**

<b>Característica del factor</b>	<b>Causa o efecto</b>
Temperaturas muy altas	Rápidas razones de evaporación, pérdida de peso, deformaciones del caparazón, babillas nacen antes de lo normal con problemas genéticos
Temperaturas muy bajas	Lentas razones de evaporación, babillas débiles que mueren después de un periodo de incubación.
Humedad alta en aire circundante	Huevos hinchados, con edemas o adsorción incompleta de yema al nacer.
Humedad baja en aire circundante.	Huevos deshidratados. Indica que quedó interrumpido en su proceso de formación.
Cantidad muy alta de CO <sub>2</sub> en ambiente	Produce alteraciones embrionarias.
Forma y tamaño del huevo	Mientras más ovalado sea la forma del huevo mayor será su área de evaporación y perderá menos peso.

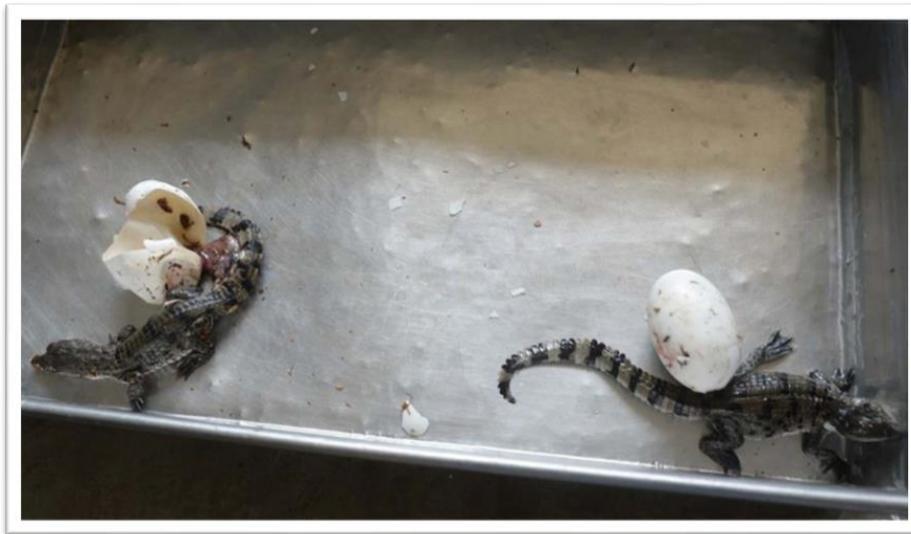
Fuente: Franco, 2015.

**2.2.6 Causas y efectos del tamaño del huevo en la incubación con el crecimiento del animal.** Realizado un estudio de la universidad de oriente del estado bolívar en Venezuela, se pudo determinar, con la obtención de 93 huevos provenientes de cuatro nidadas que existe una relación (longitud – peso) y su respectivo neonato, estos datos fueron evaluados con un análisis de regresión múltiple, para determinar cuál de las variables del huevo tiene mayor influencia en la talla y el peso de las babillas al nacer.

Los recién nacidos procedentes de la incubación artificial, promediaron 22,4 cm de longitud total, en un rango de 21,0 a 23,6 cm y 36,4 g en peso en un rango de 26,1 a 47,4 g. Se determinó una relación altamente significativa entre el peso del huevo y el peso y la longitud total de los neonatos, no se evidenció relación significativa entre la longitud del

huevo con respecto al peso y la longitud total de los nacimientos, Los resultados revelaron que el peso del huevo influye en el peso y la longitud total de la cría.

Los resultados encontrados en este estudio a partir de 85 huevos eclosionados de *C. crocodilus*, son similares a los alcanzados en otras investigaciones. Staton y Dixon (1977) señalan que el peso del huevo determina la talla de *C. crocodilus*. Asimismo, Dixon y Staton (1991) mencionan que los huevos más grandes producen crías de mayor tamaño y peso (figura 5), lo que representa una ventaja durante el primer año de vida de los caimanes jóvenes, pudiendo existir un proceso de selección natural de los individuos más fuertes.



**Figura 6. Relación tamaño del huevo respecto a la cría**

Fuente: Diario1, 2014.

Los resultados sugieren que en la colecta de huevos se haga con los de mayor peso, ya que esto beneficia la incubación artificial y posterior crianza en cautiverio. Esto ayudaría en la obtención de crías de mayor peso y tamaño, (figura 6), significando una ganancia inicial en el crecimiento de los organismos.



**Figura 7. Clasificación por peso de las crías**

Fuente: Diario1, 2014.

La producción de *C. crocodilus* jóvenes de tamaño adecuado para propósitos comerciales (pieles) y de conservación (liberación), en un período de tiempo menor, establece una disminución de los costos generados por el mantenimiento en cautiverio, a nivel de conservación, se evitaría la fácil depredación o muerte de los *C. crocodilus*, permitiendo la recuperación de las especies en vida silvestre, sobre todo aquellas en peligro de extinción.

### **2.3 Formación de Lotes de Incubación**

Un lote de incubación es el conjunto de huevos que inician simultáneamente su periodo de incubación natural o artificial, su importancia radica en elementos como lo económico, rendimiento del sistema de incubación y la cría.

La contención de los lotes de incubación se establece de acuerdo a la población existente del animal a incubar, y el número de ponedoras con que cuente el criadero, además de las condiciones de postura que presente.



**Figura 8. Lotes de incubación de huevos**

Fuente: Diario1, 2014.

### **2.3.1 Condiciones medioambientales para la formación de lotes de incubación.**

Sin duda la situación óptima sería la de encontrar la hembra realizando la puesta, sin embargo se recomienda guardar los huevos de babilla en lotes de máximo 50 huevos 24 horas después de la postura.



**Figura 9. Lote básico huevos de babilla pos recolección**

Fuente: Rouslyn Cuba, 2012.

Otro factor importante es tener en cuenta su polaridad en la recolección y montaje en los cubículos de la incubadora (figura 9) pues es un factor de alta incidencia.



**Figura 10. Lote básico, seleccionado y marcado de huevos de babilla**

Fuente: Hotel Tortugueitor, 2016.

Luego de este proceso se lleva a la incubadora que se debe encontrar en las condiciones medioambientales mínimas para la recepción de los huevos, esto es temperatura y humedad lo más estable posible. Ubicados dentro de la incubadora debe encontrarse unos receptáculos con vermiculita o perlita humedecida.

La temperatura debe ser adecuada lo más estable posible, con descensos sutiles (diapausa) en la noche, y condiciones constantes en el día. Esto haciendo uso de elementos que permitan monitorear la temperatura externa como interna de la incubadora, esta variable también determina el sexo de las futuras crías sin excesos y condiciones ideales esta debe ser en promedio 33°C para la cría de babilla.

La humedad es la segunda variable más importante después de la temperatura, para que esta sea lo más aceptable posible será necesario monitorear permanente mente estos estados, para evitar picos en los niveles de humedad haciendo uso de un

humidificador artificial, la humedad óptima para la incubación de babilla es cercana al 75%.

La ventilación es otro parámetro a tener en cuenta pues este logra conseguir un buen desarrollo de los embriones (evitar la muerte por falta de oxígeno), por lo que es recomendable ventilar cada 1 o 2 días durante un periodo no mayor a 30 segundos.

La iluminación es un parámetro que no afecta el desarrollo de los embriones pero es recomendable mantener la incubadora en una zona de penumbra o incluso totalmente a oscuras.

Durante la incubación es necesario comprobar el desarrollo de los huevos tomando uno del lote y verificando con una linterna si este tiene pequeñas venas (figura 10) lo que indica que está fecundando, y si este es totalmente opaco significara que la cría está totalmente formada y quedan pocos días para que nazca.



**Figura 11. Vista de un huevo con la linterna**

Fuente: Cuida tus Tortugas, 2016.

Luego de todo este proceso el paso a seguir es esperar que las crías empiecen a romper el cascaron (figura 11), que en algunos casos son camadas completas y en otras no, esto depende de aspectos condicionales durante la incubación.



**Figura 12. Babilla recién nacida**

Fuente: Rouslyn Cuba, 2012.

Paso a seguir es verificar las condiciones anteriormente planteadas y sacar las babillas a las piletas de zoocria para su posterior cría y levante.



**Figura 13. Babillas en piletas de zoocria.**

Fuente: Rouslyn Cuba, 2012.

## **2.4 Equipos para la incubación artificial existente en el mercado.**

El mercado internacional cuenta con múltiples sistemas de incubación pero estos se enfocan más hacia las aves de corral (gallinas), existen otras condiciones en el mercado como aparatos con las mismas presentaciones comerciales adaptadas según la dimensión de los huevos, con amplia posibilidades de manejo pero todo de manera manual.

Existen también equipos de incubación avícola que manejan 2 formas: incubación y nacedero en un mismo dispositivo, estos cuentan en la parte superior con la incubación y en la inferior el nacimiento.

El ambiente de incubación de tipo comercial se presenta de dos formas.

1. still-air (aire muerto), con bandejas en un solo nivel sin flujo de aire
2. forced – air (aire forzado) con bandejas en vario niveles o armarios y con flujo de aire.

La más utilizada es la 2 dadas las características de producción.

Las condiciones físicas que se aplican en los sistemas de incubación comercial son en su mayoría de forma rectangular, con paredes lisas, pocos espacio entre bandejas y ubicación estratégica de los termostatos, cables y conexiones de funcionamiento por la parte externa del aparato.

**2.4.1 Consideraciones para la factibilidad de un equipo de incubación comercial.** En el preciso instante en que es conectada a una fuente eléctrica, o merece

de la intervención externa para el suministro de agua en casos que sea necesario controlar la humedad, se está propenso a fallas o parados de máquina, por razones como:

- Falta en el suministro eléctrico
- Falta de mantenimiento.
- Problemas de suministro de agua.

Por esta razón varios modelos comerciales incluyen sistemas de alarma o de soporte para algunos casos.

Para un uso adecuado del consumo eléctrico se incluyen sistemas de protección como estabilizadores de voltaje, y supresores de picos eléctricos. Esto garantiza un mejor rendimiento del sistema y un óptimo aprovechamiento energético así como el aumento del periodo de uso de la incubadora.

Existen otros valores preponderantes, condiciones y alternativas que deben ser tenidos en cuenta por el cliente a la hora del uso de estos dispositivos comerciales, y que permitirán un mayor rendimiento en los nacimientos y condiciones óptimas de incubación.

En el mercado no existen muchos sistemas para la incubación de huevos de babilla en la siguiente tabla se encuentran los que más se ajustan a las características de este animal.

**Tabla 3. Incubadoras comerciales para la incubación huevos**

Sistemas Comunes De Incubación	
	
Sistema A	Sistema B
<p>           Marca: indu-avicola            Modelo: 1266            Precio: \$ 8.000.000 c/u            Capacidad: 60 huevos            Dimensiones: 40 x 77 x 80.6            Fuente: 110 voltios            Temperatura: termostato tipo wafer            Humedad: charola para espejo de agua.         </p>	<p>           Marca: freda            Modelo: Frd-6            Precio: \$ 5.000.000 c/u            Capacidad: 528 huevos            Dimensiones: 95.52 x 71.12x 132.08            Fuente: 116-240 voltios            Temperatura: <math>\pm 0.18</math> deg            Humedad: control <math>\pm 5\%</math> Hr.         </p>
Sistemas de malla deslizable	

Sistemas Comunes De Incubación	
	
Sistema c incubadora/ nacedero	Sistema D nacedero con separador.
Marca: yonar argentina Modelo: 28/32 G Precio: \$ 6.100.000 Capacidad: 160 huevos Dimensiones: 85x76x85 Fuente: gas licuado. Temperatura: circulación de agua caliente Humedad: sistema de aire muerto.	Marca: nature form Modelo: hatcher 27 Precio: \$ 8.700.000 Capacidad: 460 huevos Dimensiones: 70x70x200 Fuente: 240 voltios Temperatura: control electrónico con lector Humedad: control electrónico con lector.

#### 2.4.2 Aspectos relevantes para la consecución de incubadoras comerciales.

Documentada toda la información y los trabajos de campo que realice el usuario, se presentan los siguientes requerimientos y problemáticas para satisfacer la necesidad de desarrollo embrionario; automatización del sistema de incubación, relación usuario-incubadora, criterio de funcionamiento, confiabilidad, y costo, estos criterios cumplen básicamente las características de un producto industrial.

Estos parámetros se fijan como objetivo para el concepto de diseño y su posterior evaluación.

**2.4.1.1 Funciones esenciales de un producto industrial.** Todo producto industrial determina su tipo de acuerdo al uso, según Berbdlobach son 3: función práctica, función estética, y función simbólica.

- Función práctica; es la relación entre un producto y el usuario, basándose en efectos directos, fisiológicos y de salud física.

- Función estética; es la relación producto usuario experimentada durante el proceso de percepción sensorial, como fácil adaptación, y sensación de bienestar con su uso.

- Función simbólica; influye cuando la espiritualidad del hombre se excita con la percepción del objeto, y solo es perceptible sensorialmente.

En la incubación de huevos de babilla se definen 2 tipos de usuarios, el huevo fecundado (prioritario) y el avicultor (secundario), para el segundo se aplican las 3 funciones del orden jerárquico, como desarrollo del proceso de uso, función estética y función simbólica.

## **2.5 Concepto de Diseño y Desarrollo de la Configuración Propuesta**

Con lo visto hasta este momento es posible que existan dificultades en el diseño del sistema de incubación de huevos de babilla, con deficiencias en la confiabilidad del funcionamiento debido a la mala relación usuario aparato. Esto es porque mucha de la responsabilidad, en la regulación, control y mantenimiento de los parámetros internos de incubación (temperatura, humedad, CO<sub>2</sub>) depende del usuario. Ya que fácilmente varían con las condiciones del clima y la altitud de la zona en la que se incuba, siendo estas funciones de ajuste del zoo criador.

De la misma forma en que el sistema a emplearse para la incubación de huevos de babilla haya surgido como una adaptación de los aparatos de aves de corral, supone la duda respecto al correcto funcionamiento del equipo, debido a su capacidad y oferta, y más supone su uso de manera experimental ya que se habla de un prototipo.

El aspecto general de este proyecto radica en cubrir, los criterios de funcionalidad, confiabilidad y practicidad, así como de la comodidad para efectos experimentales de incubación. Para posibilitar la producción en serie de dicho sistema automático, haciendo uso de manufactura nacional y con un bajo costo de operación, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

Producir un aparato capaz de generar y mantener sin la intervención constante y directa del usuario, un ambiente interno estable de acuerdo los parámetros del huevo a incubar.

Dotar al aparato de los sistemas que le permita proveer ventilación con un constante flujo de aire, que genere en el interior características apropiadas y requeridas para el desarrollo del embrión, tanto en la etapa de incubación como en la de nacimiento.

Elaborar el aparato con sistemas automáticos flexibles de regulación y control que se ajusten a los parámetros de incubación, y proporcionar al usuario una lectura de los mismos, con visibilidad de las variables y constantes al interior.

Adecuar las dimensiones y distribución del aparato de manera que permita al usuario el manejo del equipo, y le proporcione la capacidad requerida para el manejo de su zoo

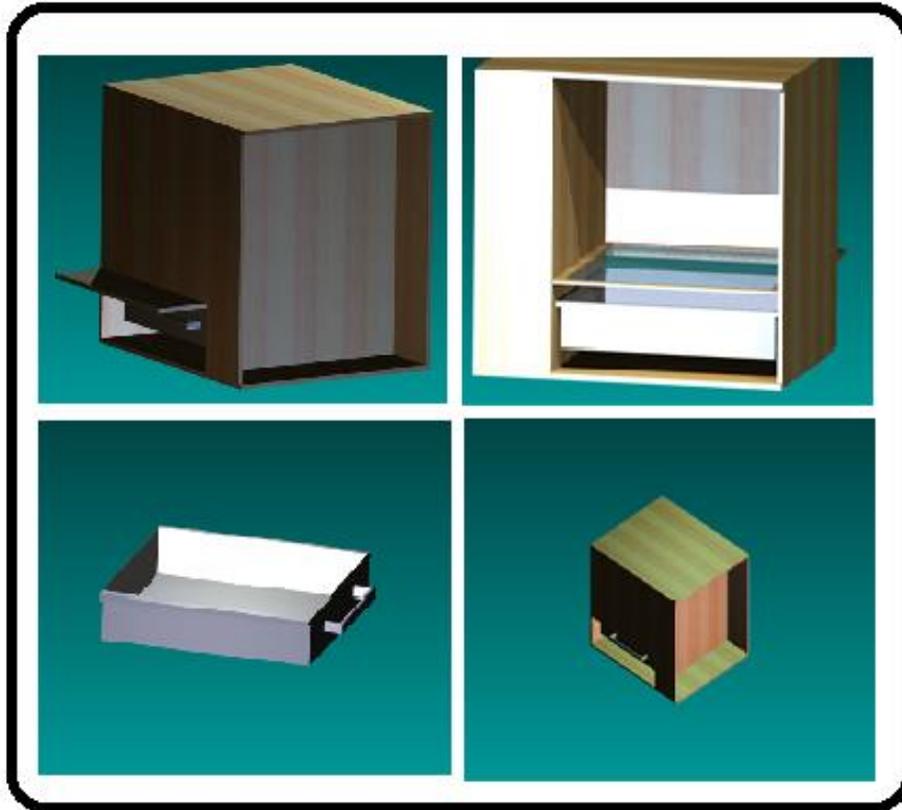
criadero, en aras de disminuir los riesgos tanto en el proceso de incubación como en el proceso de nacimiento.

Emplear materiales y procesos estandarizados que facilite su manufactura, y que sean amigables con el medio ambiente.

Implementar el aparato a través de los elementos estéticos del material superficie color textura orden y complejidad, para contribuir a partir del uso a generar un ambiente de iteración usuario aparato.

Finalmente el problema a tratar en esta tesis es proponer un diseño para sistema de incubación de huevos de babilla, desde un punto de vista teórico con un grado alto de condiciones reales, que sirva como escenario de partida para la realización de un prototipo funcional, que permita evaluar experimentalmente el concepto de funcionamiento propuesto para cada sistema empleado.

**2.5.1 Boceto preliminar para la propuesta.** Inicialmente se desarrollaron bocetos a mano alzada consiguiendo un modelo final llamado incuba.spk 1 que se llevó a un programa computacional llamado Sketchup obteniéndose los siguientes resultados.



**Figura 14. Bocetos físicos estructurales preliminares de la incubadora**

### **3. Diseño y Características del Prototipo**

#### **3.1 La Temperatura**

Todo sistema de control de temperatura, que obtiene su señal del medio ambiente mediante un sensor la señal obtenida es tratado, ya sea analógicamente o digitalmente (según la señal a utilizar).

Esto es debido a que la señal pasa por un sistema de control, que autogestiona sus decisiones a la hora de activar, desactivar, aumentar o disminuir el proceso para el cual está encargado. Para nuestro caso; un sistema de ambiente térmico es aumentar o disminuir la temperatura estableciendo un nivel de calefacción producto de los valores deseados.

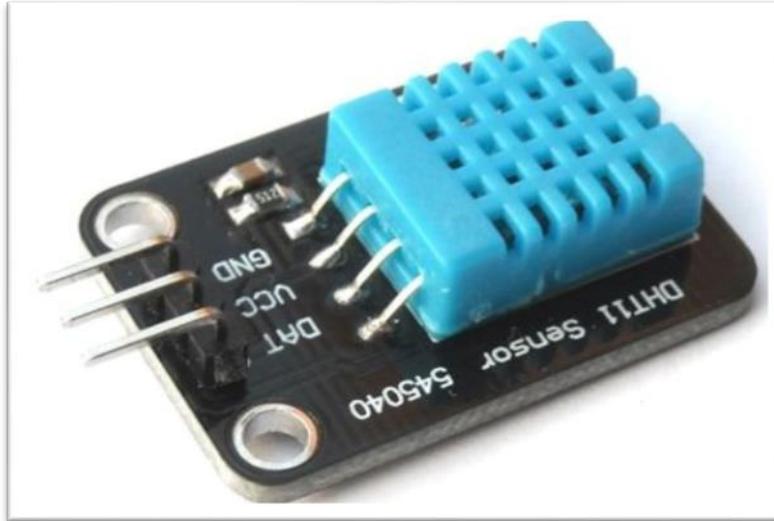
Existen varios tipos de sensores que se emplean para la medición, los cuales sirven para la adquisición de datos y para este proceso de control se usara un sensor digital que asegure una alta calidad y fiabilidad de la señal a lo largo del tiempo.

Dentro de las familias de sensores digitales que se encuentran en el mercado, algunos ofrecen la posibilidad de dos lecturas de variables distintas, pero con una relación directa para nuestro caso humedad y temperatura.

**3.1.1 Sensor digital de humedad y temperatura (DHT-11).** Este sensor cuenta con una señal digital calibrada que está constituida por dos sensores resistivos del tipo (NTC, Humedad), ofrece una respuesta rápida en las medidas que contempla los rangos de humedad entre 20% al 95%, y temperatura entre 0C° asta 50C°.

El sensor DHT-11 viene estrictamente calibrado presentando una extrema precisión que se emplea en el proceso de detección de señal interna, su comunicación es a través del protocolo 1- wire que le ofrece la capacidad de transmitir hasta 20 metros en el medio de comunicación.

Ver especificaciones técnicas en el anexo.



**Figura 15. Sensor DHT-11.**

Fuente: Alicdn, 2015.

### 3.2 La Humedad

La cantidad de vapor contenida en una porción de aire puede ser cuantificada por unidad de volumen, esta cantidad recibe el nombre de razón de humedad o humedad relativa. Mantener un estricto control sobre la humedad al interior de los invernaderos o incubadoras es un factor importante según los requerimientos de cada cultivo o especie. Si bien es cierto que ayuda al desarrollo de las plantas o especie, un exceso de ella les resulta perjudicial por cuanto favorece el desarrollo de enfermedades causadas por hongos y bacterias.

El factor de humedad relativa en el ambiente es el responsable del grado de dinamismo metabólico, ya que el contenido de vapor de agua del aire es quien determina si existe o no actividad en la especie o cultivo.

**3.2.1 Humedad relativa.** El ser humano es generalmente poco sensible a los cambios de humedad relativa dentro del margen del 30% al 70%, y además la

percepción, si se realiza se manifiesta como cambio de temperatura, aunque ésta permanezca constante. Cuanto más seco está el aire, más fría se percibe la temperatura. Nuestro metabolismo aprovecha la evaporación del sudor para refrigerar nuestra piel. Si la humedad relativa es del 100%, el aire está saturado de agua e impide la evaporación. Cuanto menor sea la humedad relativa, más fácilmente se evaporará el sudor de nuestra piel, por lo que se siente más frescos. Este mismo factor los percibe los huevos en incubación de ahí la importancia de mantener una humedad relativa constante.

A continuación se muestra la sensación de temperatura que percibe un individuo expuesto a una temperatura constante de 35°C, humedad relativa variable, y con velocidad del aire inapreciable.

**Tabla 4. Sensación térmica para Temperatura Seca constante de 35 °C y diferentes niveles de Humedad relativa**

HUMEDAD	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Sensación térmica °C	30.5	32.2	33.8	35.5	38.3	41.6	45.5	51	58	65.5	74.4

### 3.3 El dióxido de Carbono

El dióxido de Carbono CO<sub>2</sub> constituye un gas de distribución universal, componiendo uno de los sistemas buffer más importantes del planeta. Siendo fundamental en procesos de respiración celular y reacciones tales como: fotosíntesis en los vegetales y en los animales constituye un sistema abierto, que se relaciona a través de los pulmones y la piel con el medio ambiente, además es un subproductonatural de los procesos

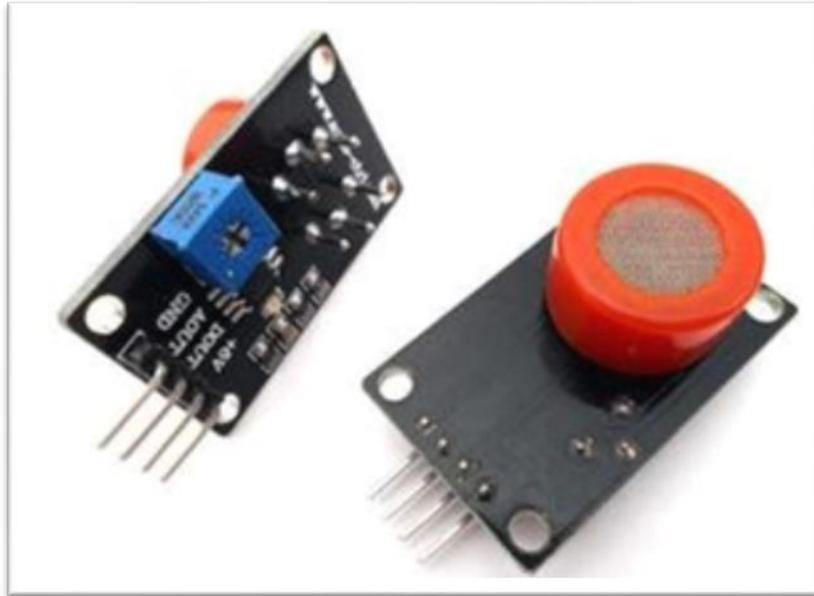
metabólicos durante el desarrollo embrionario que comienza en la gastrulación. De hecho, el CO<sub>2</sub> se libera a través de la cáscara al tiempo que se pone el huevo.

**3.3.1 Sensor MQ-7.** Las incubadoras y otras cámaras de pruebas requieren un monitoreo confiable para mantener las temperaturas especificadas, las concentraciones de CO<sub>2</sub> y los niveles de humedad durante los procesos de prueba e incubación. A medida que las organizaciones regulatorias mundiales perfeccionan y definen las pautas para el procesamiento de la biotecnología, se incrementa la necesidad de contar con mejores registros, informes más personalizables y soluciones de medición confiables. Los niveles de dióxido de carbono aumentan dentro de la incubadora y de la cámara de nacimientos cuando el cambio de aire es insuficiente, los embriones más jóvenes tienen una tolerancia al CO<sub>2</sub> más baja que los de mayor edad esto hace parecer que el nivel de tolerancia es lineal desde el primer día de la incubación hasta un tiempo adecuado de adaptación al ambiente.

Durante los primeros 4 días en la incubadora, el nivel de tolerancia al CO<sub>2</sub> es de aproximadamente el 0,3 %, esto nos indica que los niveles de dióxido de carbono en la incubadora por encima del 0,5 % reducen algo la incubabilidad, por encima del 1 % la reducen significativamente y por encima del 5 % son letales. Por ello se concluye que los huevos en su nivel de tolerancia en la cámara de nacimientos son del 0,75 %.

La selección del sensor obedece a la necesidad del proceso agroindustrial anteriormente citado, los cuales se determinan por mediciones echas en laboratorios de campo o experimentales. Para la medición de dióxido de carbono se utilizó una escala en partes por millón (PPM) de CO<sub>2</sub>. El sensor mide el dióxido de carbono en forma gaseosa en intervalos de 20 a 20000 partes por millón, Este sensor tiene una alta sensibilidad y

un corto tiempo de respuesta. La salida de este sensor puede ser una resistencia analógica o de forma digital.



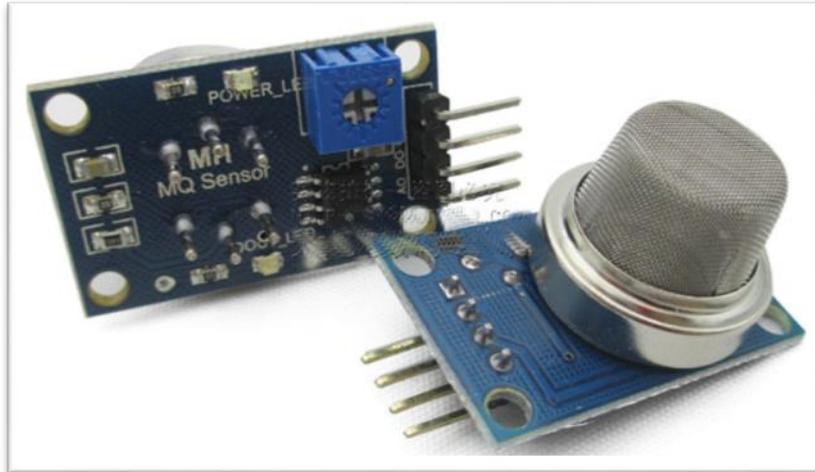
**Figura 16. Sensor MQ-7**

Fuente: Aliimg, 2016.

### **3.4 La Calidad del Aire Dentro del Proceso de Incubación**

La calidad es uno de los principales factores ambientales relacionado con la sanidad y el desempeño de los neonatos, dado que en ambientes cerrados se presenta una interacción con aire contaminado y variedad de gases, los principales contaminantes del aire dentro de una incubadora son (amoníaco, dióxido de carbono, sulfuro de hidrogeno y metano).

**3.4.1 El sensor MQ-135.** Se trata de un sensor semiconductor que permite detectar la concentración de diferentes sustancias en el aire (figura 15) como: (Amoniaco  $\text{NH}_3$ , Óxidos de nitrógeno  $\text{NO}_x$ , alcohol, benceno, humo de cigarrillo,  $\text{CO}_2$ , entre otras), es utilizado en interiores a temperatura ambiente.



**Figura 17. Sensor MQ135**

Fuente: Ali Express, 2016.

Este sensor configurado analógicamente cuando entrega 01v en condiciones normales representa al “Aire limpio” 20%, tomando como referencia los 3v y haciendo una equivalencia cercana al 100% de calidad de aire se obtiene la siguiente ecuación.

**Ecuación 1. Porcentaje de calidad del aire**

$$\%CA = 27.2387V_i + 18.284 \quad (1)$$

Donde  $V_i$  es el voltaje de salida del sensor y la calidad del aire se expresa de acuerdo a la tabla de referencia de calidad del aire ICA (figura 15), siendo esta la razón por la que el sensor solo nos interesa entre los niveles de bueno y moderado, ya que mayor a estos no puede ser permisible por grupos sensibles.

**Tabla 5. Puntos de corte del ICA**

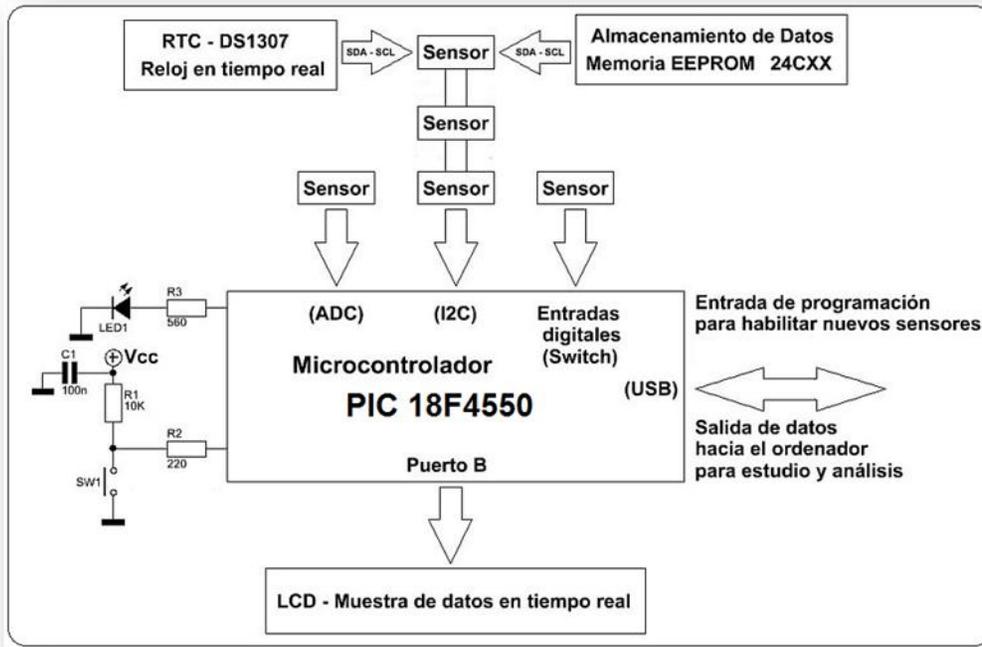
ICA	COLOR	CLASIFICACIÓN	O <sub>3</sub> 8h ppb	O <sub>3</sub> 1h ppb	PM <sub>10</sub> 24h µg/m <sub>3</sub>	PM <sub>2,5</sub> 24h µg/m <sub>3</sub>	CO 8h ppm	SO <sub>2</sub> 24h ppb	NO <sub>2</sub> 1h ppb
0 – 50	Verde	Bueno	0	-	0	0	0	0	0
			59	-	54	15,4	4,4	35	53 * <sub>2</sub>
51 – 100	Amarillo	Moderado	60	-	55	15,5	4,5	35	54
			75	-	154	40,4	9,4	144	100 * <sub>2</sub>
101 – 150	Naranja	Desfavorable para Grupos Sensibles	76	125	155	40,5	9,5	145	101
			95	164	254	65,4	12,4	224	360 * <sub>2</sub>
151 – 200	Rojo	Desfavorable	96	165	255	65,5	12,5	225	361
			115	204	354	150,4	15,4	304	640
201 – 300	Púrpura	Muy Desfavorable	116	205	355	150,5	15,5	305	650
			374	404	424	250,4	30,4	604	1240
301 – 500	Marrón	Peligroso	* <sub>1</sub>	405	425	250,5	30,5	605	1250
				604	604	500,4	50,4	1004	2040

Fuente: Ambiente Bogota, 2015.

Todo esto lleva a interpretación de los voltajes de salida de acuerdo a los niveles de calidad del aire dentro del proceso de incubación (tabla 4), donde se puede afirmar que deben estar entre 20% y 50% como rango de operación bueno (óptimo para nuestro caso), que permita las condiciones ideales de los neonatos.

**Tabla 6. Relación de voltaje de salida del sensor MQ135 y la calidad del aire**

Calidad Del Aire.	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Nivel de voltaje de salida $V_i$	0.1v	0.45v	0.80v	1.2v	1.5V	1.9v	2.3v	2.65v	3v



**Figura 18. Esquema del sistema de adquisición de datos y control**

Fuente: neoteo, 2006.

Las DAQ son elaboradas por empresas que se encargan de fabricarlas de acuerdo a las especificaciones y necesidades del cliente, además de las condiciones de precisión, rango, y operatividad merecen así mismo su costo.

Este factor nos lleva a la elaboración de la tarjeta de adquisición, haciendo uso de elementos electrónicos que se encuentran en el mercado, que se definen posteriormente. Y nos permite reducir los costos al aumentar la operatividad.

**3.4.2 El micro controlador (Pic 18f4550).** Es una especie de CPU comprimida en un chip programable capaz de ejecutar ordenes grabadas en su memoria, Para el caso nuestro se optó por el Pic 18f4550, que aparte de ser un poderoso microcontrolador,

entre sus muchas ventajas permite trabajar con USB, SPI e I2C. Así como de una memoria suficiente para aplicaciones complejas ver características en anexos.



**Figura 19. Pic 18f4550**

Fuente: Industrias Actau, 2016.

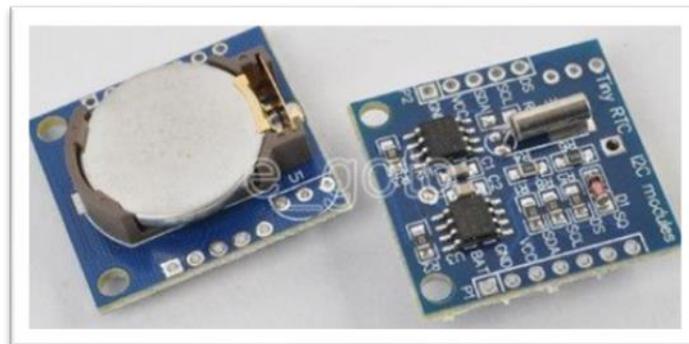
**3.4.3 Memoria EEprom (24AA1025).** Han sido desarrolladas para aplicaciones avanzadas de baja potencia capaz de operar en un amplio rango de voltaje (1.8V a 5.5V) y de aplicaciones como: comunicaciones personales y de adquisición de datos en un rango de 0 a 10000 registros de almacenamiento.



**Figura 20. Memoria EEprom 24AA1025**

Fuente: Microchip, 2015.

**3.4.4 Reloj de tiempo real (RTC DS1307).** Es un reloj/calendario que mediante una batería y un cristal externo funciona independientemente del sistema; Este reloj (figura 20) proporciona una solución a las necesidades de exactitud y puntualidad en el tiempo, que permite a los sistemas electrónicos guardar con exactitud datos en tiempo real definidos en unidades humanas, se ajusta automáticamente con meses menores a 31 días y corrige los años bisiestos.



**Figura 21. RTC DS1307**

Fuente: Ebay, 2016.

**3.4.5 Pantalla de cristal líquido (LCD- LMB204BFC).** Es un dispositivo de representación de grafica que nos permite visualizar la información obtenida por los

sensores o elementos de adquisición de datos, en tiempos cercanos al real, permitiendo múltiples caracteres dependiendo de su formato y longitud.

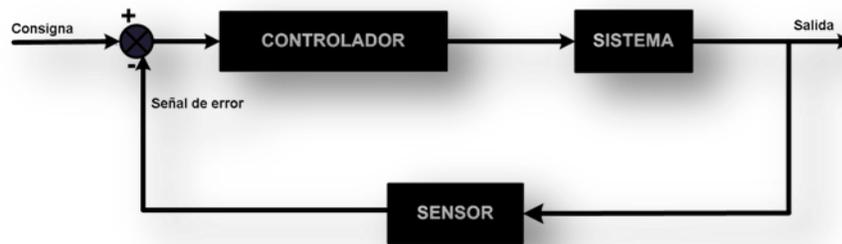


**Figura 22. LCD- LMB204BFC**

Fuente: Barrio Chino Bolivia, 2016.

### **3.5 Conceptos Básicos de Control**

“Los sistemas de control son aquellos dedicados a obtener la salida deseada de un sistema o proceso. En un sistema general se tienen una serie de entradas que provienen del sistema a controlar, llamado planta, y se diseña un sistema para que, a partir de estas entradas, modifique ciertos parámetros en el sistema planta, con lo que las señales anteriores volverán a su estado normal ante cualquier variación.



**Figura 23. Sistema de control básico**

Fuente: Mundo Electronics, 2009.

Hay varias clasificaciones dentro de los sistemas de control. Atendiendo a su naturaleza son analógicos, digitales o mixtos; atendiendo a su estructura (número de entradas y salidas) puede ser control clásico o control moderno; atendiendo a su diseño pueden ser por lógica difusa, redes neuronales entre otros.

Los principales tipos de sistemas de control son:

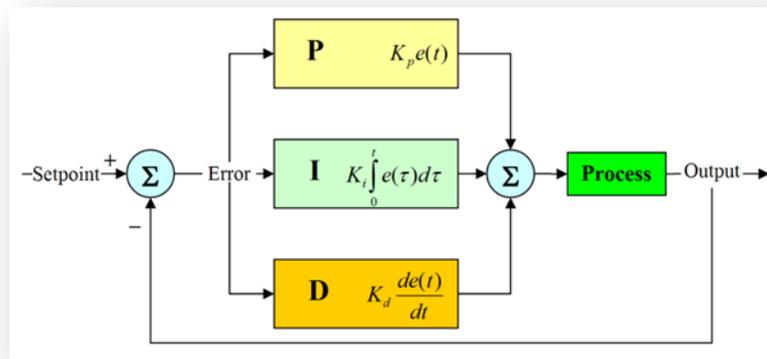
**Sí/No.** En este sistema el controlador enciende o apaga la entrada y es utilizado, por ejemplo, en el alumbrado público, ya que éste se enciende cuando la luz ambiental es más baja que un nivel predeterminado de luminosidad.

**Proporcional (P).** En este sistema la amplitud de la señal de entrada al sistema afecta directamente la salida, ya no es solamente un nivel prefijado sino toda la gama de niveles de entrada. Algunos sistemas automáticos de iluminación utilizan un sistema P para determinar con qué intensidad encender lámparas dependiendo directamente de la luminosidad ambiental.

Proporcional derivativo (PD). En este sistema, la velocidad de cambio de la señal de entrada se utiliza para determinar el factor de amplificación, calculando la derivada de la señal.

Proporcional integral (PI). Este sistema es similar al anterior, solo que la señal se integra en vez de derivarse.

Proporcional integral derivativo (PID). Este sistema combina los dos tipos anterior



**Figura 24. Sistema de control básico**

Fuente: Programación Siemens, 2008.

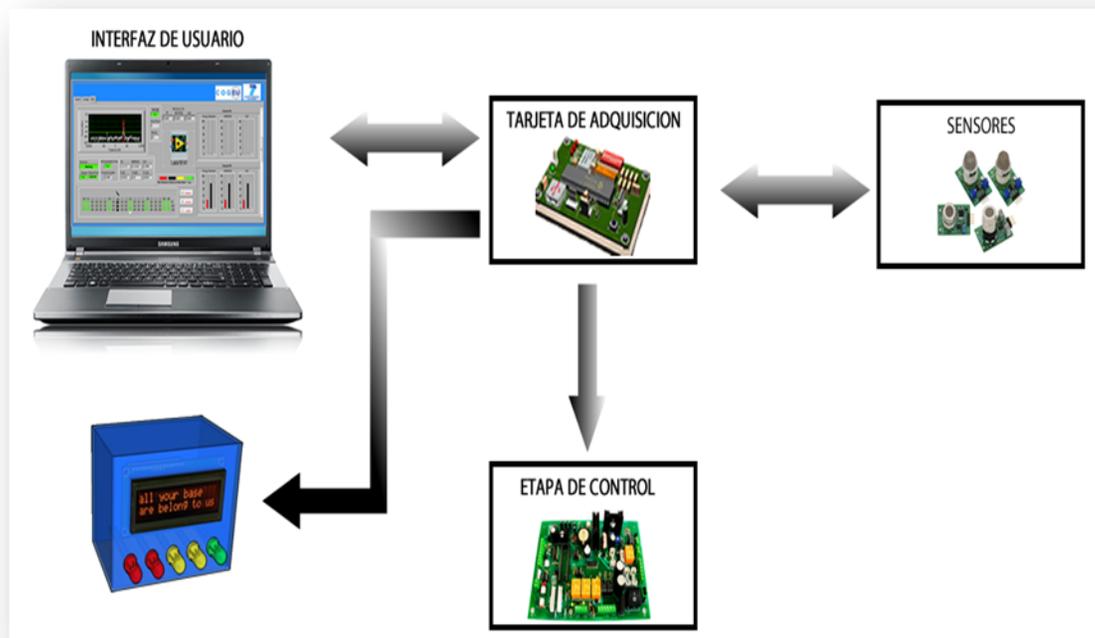
Redes neuronales. Este sistema modela el proceso de aprendizaje del cerebro humano para aprender a controlar la señal de salida.

### 3.6 Diagrama del Sistema de Adquisición de Datos

La aplicación de un control típico de cualquier tipo es de forma sistemática, y se hace presente en varios pasos para la modelación y la implementación del mismo,

para implementar un control típico como PI, PD y PID; aun en la actualidad se usan y tienen como elementos indispensables; una computadora que funciona como la interfaz

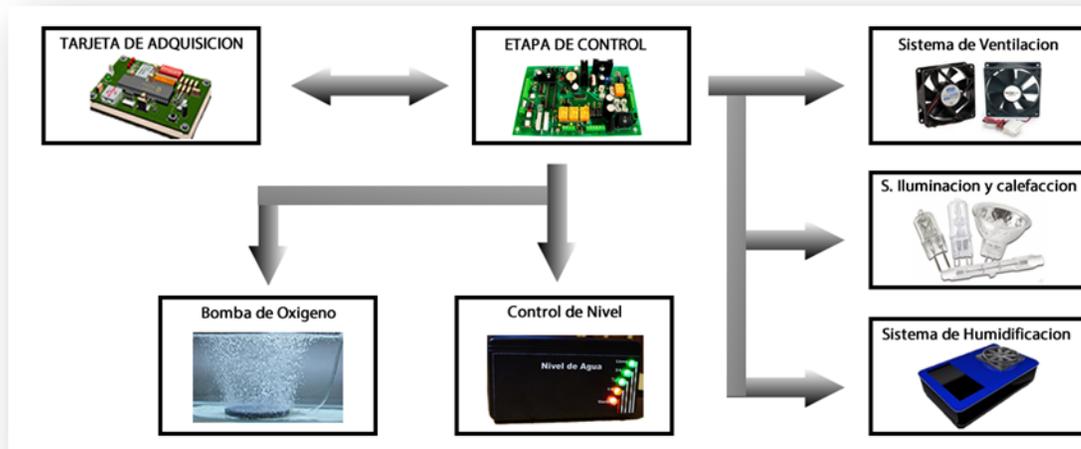
con el usuario, y permite interactuar con una tarjeta de adquisición de datos de forma inmediata, con la interfaz (equipo de cómputo) y con una consola del Módulo, que se encarga de acoplar la señal para que la tarjeta de adquisición de datos la procese, de este módulo se obtiene la señal de control que pasa a una etapa de potencia la cual eleva la señal a un valor que pueda poner a funcionar la planta (Sistema a Controlar).



**Figura 25. Sistema de adquisición de datos**

### 3.7 Etapa de Control

Este proyecto cuenta con un sistema de adquisición de datos visto anteriormente, que envía órdenes a la etapa de control; que entre otras es un sistema digital de manejo de potencia, que realiza funciones de control con base en Triac, Scr, Relay, etc., el cual actúa sobre cargas resistivas o inductivas en sistemas de ventilación, humidificación, calefacción, oxigenación, y otros procesos industriales.



**Figura 26. Diagrama en bloques etapa de control**

**3.7.1 Componentes de la tarjeta de control.** Son varios los componentes electrónicos que conforman la tarjeta de control pero dentro de los más destacados se encuentra:

El microcontrolador: tiene una relación directa con la tarjeta de adquisición, y envía órdenes a los actuadores de acuerdo a los cambios generados por los sensores.

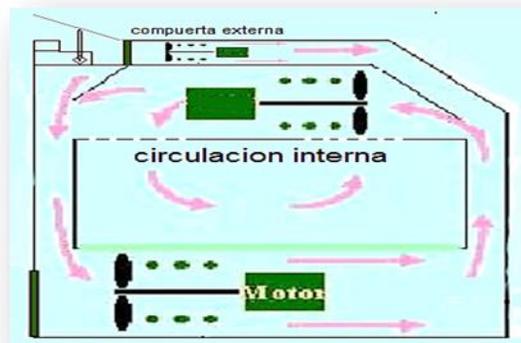
Triac: es un dispositivo semiconductor de la familia de los tiristores, funciona de manera bidireccional luego es un interruptor capaz de controlar la corriente alterna.

Opto acopladores: es un aislador óptico de emisión y recepción que funciona como un interruptor activado por luz.

Potenciómetros digitales: es una resistencia capaz de variar la resistividad en un circuito desde un entorno digital.

Componentes varios: dentro de estos se encuentran resistencias, condensadores, transistores, diodos led, circuitos integrados, conductores entre otros.

**3.7.2 Sistema de ventilación.** Las tasas de intercambio de aire en la mayoría de las máquinas normalmente son adecuadas. En algunos casos, se debe cuidar que la sobre ventilación y la pérdida excesiva de humedad no se convierta en un problema.



**Figura 27. Circulación de aire dentro de la incubadora**

En el particular se cuenta con 6 ventiladores tipo cooller, de los cuales 2 se encuentran debajo de una compuerta exterior que proporciona aire fresco al sistema cuando sea necesario (figura 27), y los otros se encargan de realizar una recirculación interna, todo esto con la finalidad de controlar el (CO<sub>2</sub>) y la calidad del aire (figura 27).



**Figura 28. Toma externa de aire**



**Figura 29. Flujo interno de aire**

### **3.8 Dióxido de Carbono y Calidad del aire en Incubadora**

Los principales componentes del aire son oxígeno ( $O_2$ ), nitrógeno ( $N_2$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y vapor de agua ( $H_2O$ ).

El movimiento libre de estas moléculas a través de los poros de la cáscara y las membranas, es importante porque el embrión en desarrollo tiene que recibir un suministro constante de oxígeno, y debe eliminar el dióxido de carbono y la humedad.

En general los recién nacidos producen grandes cantidades de dióxido de carbono. El principal peligro en estos casos es que los altos niveles de dióxido de carbono se vuelvan tóxicos.

Por ejemplo, sí el embrión envejece, su requisito de oxígeno se incrementa y se produce más dióxido de carbono. Cada proceso se acelera aproximadamente 100 veces entre el primero y el intermedio de su incubación (tabla 5).

Por ende, debe ser posible cambiar el aire en la incubadora unas 8 veces al día o una vez cada 3 horas. Esta tasa de intercambio de aire es el requisito mínimo para cualquier proceso de incubación.

**Tabla 7. Procesos de intercambio gaseoso de una incubadora**

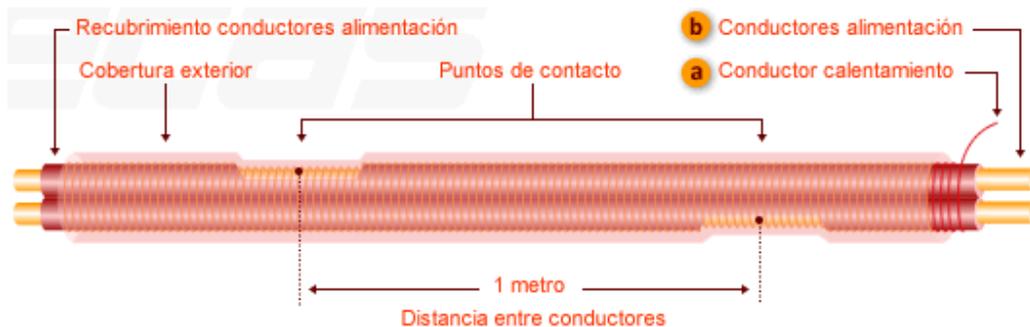
<b>Día de incubación</b>	<b>Absorción de oxígeno (ft3)</b>	<b>Expulsión de dióxido de carbono (ft3)</b>
1	0.50	0.29
5	1.17	0.58
10	3.79	1.92
15	22.70	11.50
18	30.00	15.40
21	45.40	23.00

Fuente: El Sitio Avícola, 2016.

### 3.9 Sistema Calefacción

Este sistema establece su funcionamiento en el uso de un cable calefactor (figura 29) para calentar el recinto, como un elemento extra provee calor controlado al recinto. Luego lo más importante es mantener caliente el espacio confinado, para alcanzar las condiciones deseadas, haciendo uso de un Cable compuesto por resistencias en paralelo aisladas con silicona para soportar hasta 200° C. este cable tienen una potencia por metro lineal constante, incluso al cortarlo y ajustándolo a nuestras necesidades

Se caracterizan porque el conductor de calentamiento va arrollado en espiral alrededor de un conductor paralelo aislado del cable, con lo que realiza contactos alternativos en unos puntos determinados; el cable va formando una serie de resistencias en paralelo alimentadas por el conductor.

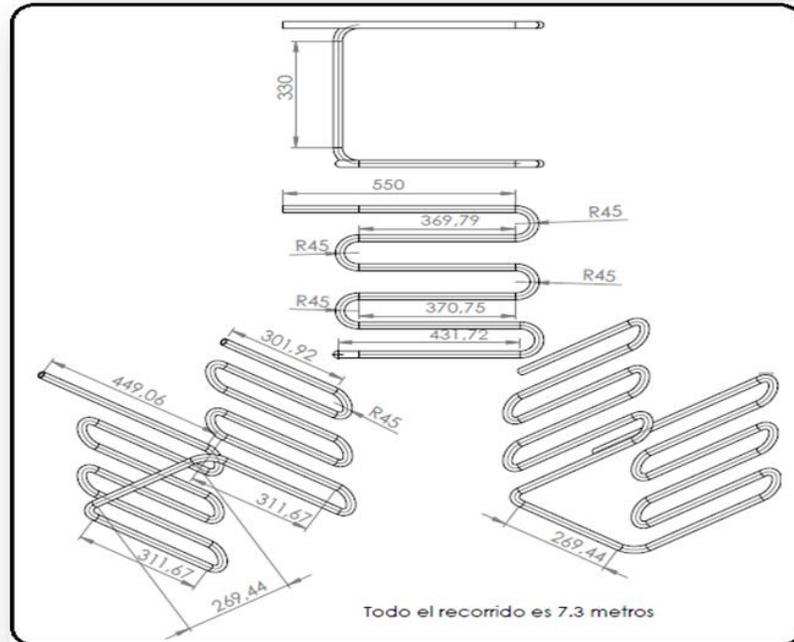


**Figura 30. Cable resistivo**

Fuente: Elementos Calefactores, 2016.

En el particular el calentamiento al interior de la incubadora es provocado por este cable resistivo flexible distribuido por toda la incubadora en forma de "s" ver figura 31 en dos sectores determinados en las paredes a través de forros aislantes térmicos y alimentados por la etapa de potencia utiliza un sistema electrónico digital para variar la

intensidad del encendido gradual de las resistencias de acuerdo a las condiciones deseadas al interior de la incubadora.



**Figura 31. Distribución Cable resistivo**

### 3.10 Sistema de Humidificación

La humedad relativa en el interior de la incubadora se controla mediante la utilización de un sistema de humidificación el cual debe conseguir un equilibrio entre los extractores e inductores (ventiladores tipo cooller) y el humidificador.

Los humidificadores con emisión directa al ambiente son, en general, pequeños aparatos que no requieren instalación y cuya puesta en marcha es muy sencilla, existen diferentes tipos de humidificadores en el mercado dentro de los cuales están:

Humidificador de vapor frío: dispersan de manera muy sutil un vapor frío invisible por el aire, este entra a los sistemas pasando a través de un filtro de mecha saturada, donde un ventilador evapora la humedad y la distribuye.

Humidificador centrífugo: un motor se encarga de generar una fuerza centrífuga que convierte el agua en vapor, y lo libera de manera permanente en el ambiente.

Humidificador de vapor caliente: mediante un proceso de calentamiento produce un vapor liberado en el aire.

Para nuestro caso se implementó el sistema de humidificación de vapor frío el cual cuenta con un dispositivo ultrasónico (figura 29), que produce un vapor fino y ligero que dispersa la humedad producida por un diafragma de metal vibrante (figura 30) por encima de los 20000 Hz, de manera que no es perceptible por el oído humano, esto provoca pequeñas gotas de agua que luego se difuminan en el aire en forma de neblina.



**Figura 32. Humidificador ultrasónico**

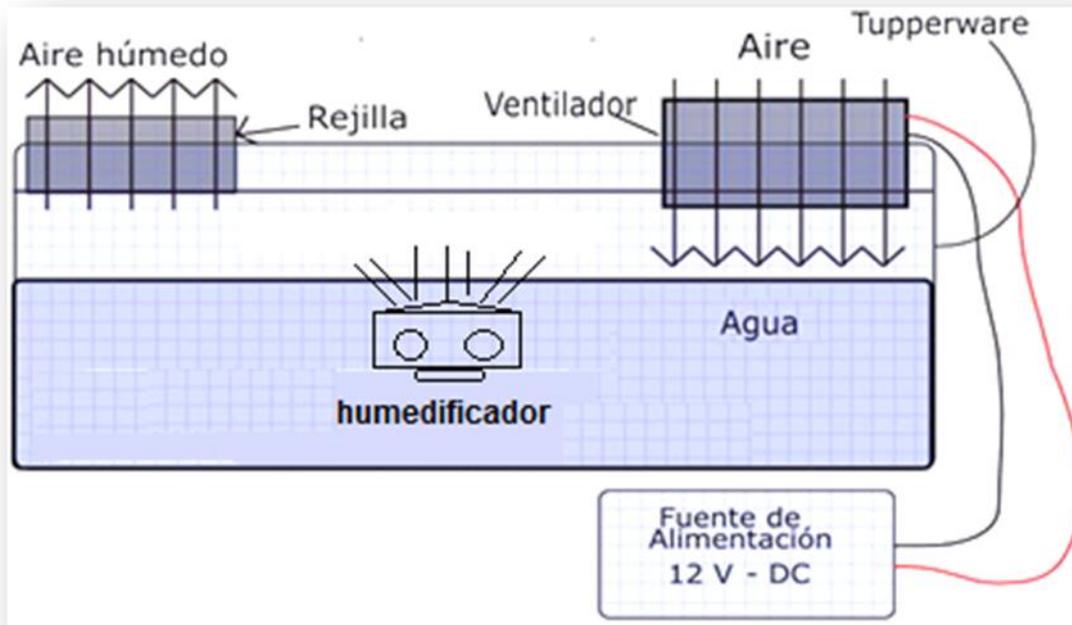
Fuente: Ali Express, 2016.



**Figura 33. Pieza de metal vibrante (piezoeléctrico)**

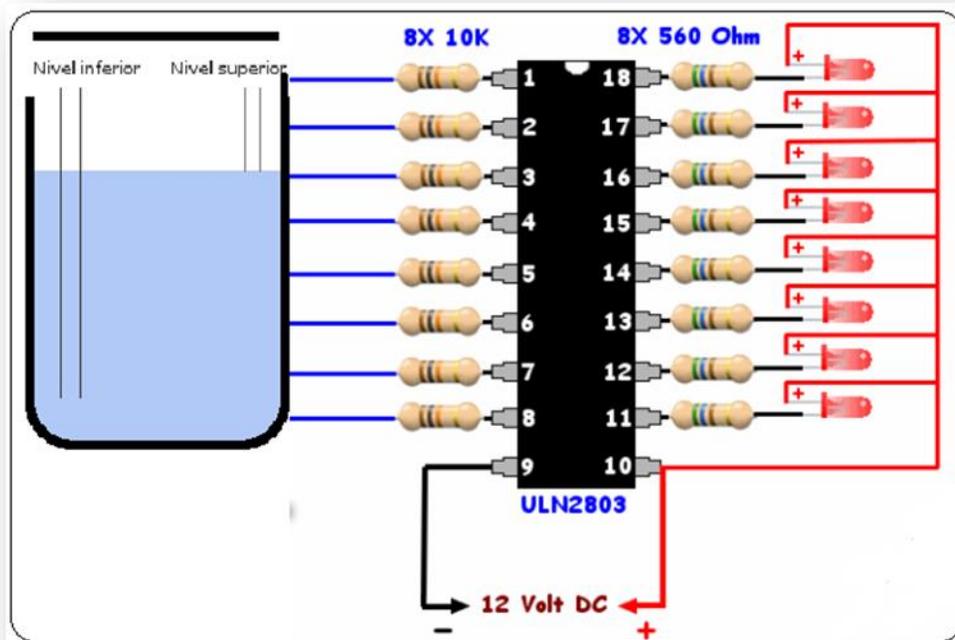
Fuente: Aquabazar, 2016.

**3.10.1 Criterios técnicos de funcionalidad.** El diseño del equipo se determinará en función de las necesidades específicas de la aplicación, niveles de temperatura y humedad existentes, etc. Se consideraran como mínimo los siguientes aspectos. Criterios de selección y Características técnicas:



**Figura 34. Diagrama pictórico humidificador**

**3.10.2 Control nivel de agua del sistema de humidificación.** Una de las formas de controlar la capacidad de los sistemas que utilizan líquidos, es la de contar con elementos que verifiquen su contenido volumétrico, la idea básica radica en el hecho de colocar una serie de sensores, a una altura específica; que permita al usuario visualizar el nivel al interior del depósito. (Figura 34).



**Figura 35. Ejemplo de un control de nivel**

Para nuestro caso se cuenta con una serie de elementos conductores que tendrán una unión eléctrica, los cuales proporcionaran una señal análoga que será captada por la etapa de control, donde se analizará esta señal y en respuesta visualizara el nivel en una serie de leds de manera ascendente, donde el usuario pueda percibir de acuerdo a la cantidad y el color lumínico la cantidad de líquido actual en el recipiente.

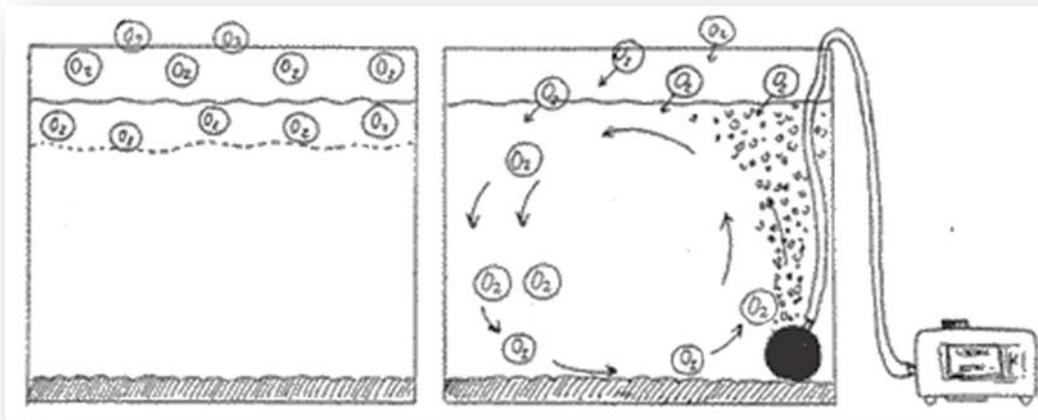
La sensibilidad del control de nivel estará dada por los puntos eléctricamente conductores, que envían la señal a un circuito integrado ULN 2803A (figura 35) el cual posee internamente un grupo de transistores NPN en configuración Darlington, con capacidad de manejar una corriente hasta 500mA. Haciéndolo apto para manejo de cargas como relés, Triac, entre otros.



**Figura 36. CI - ULN 2803A**

Fuente: Pinbits, 2015.

**3.10.3 Bomba auxiliar de oxígeno.** Siempre que un sistema demande oxígeno necesitara de elementos que puedan aportar por medios externos o artificiales este compuesto, para este caso se usara un aireador que aportara al sistema de incubación un porcentaje bajo de oxígeno contenido en el agua, ideal para el proceso (figura 36).



**Figura 37. Descripción Grafica Del Funcionamiento Bomba De Oxígeno**

Fuente: Photo Bucket, 2016.

En el particular se usa una bomba de oxígeno modelo AC 500 de la empresa Resum, funciona a 110V con una frecuencia de 50 a 60Hz con una potencia de 2W y poder de escape de 1.2 L/Min con una presurización mayor a 0.010Mpa. (Figura 37)



**Figura 38. Bomba De Oxígeno**

Fuente: Aliimg, 2016.

### **3.11 Sistema de Monitoreo del Dióxido de Carbono**

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es un subproducto natural de procesos metabólicos durante el desarrollo embrionario.

**3.11.1 Tolerancia del dióxido de carbono en lo huevos incubados.** En realidad,  $\text{CO}_2$  es liberado a través de la cáscara desde el momento que se pone el huevo. Los niveles de dióxido de carbono se incrementan en el aire dentro de la incubadora si no hay suficiente intercambio de aire.

Embriones más jóvenes tienen menos tolerancia al  $\text{CO}_2$  que los embriones de mayor edad. El nivel de tolerancia parece ser lineal desde el primer día de incubación hasta el día 21. Durante los primeros 4 días en la incubadora, el nivel de tolerancia a  $\text{CO}_2$  es 0.3%.

Los niveles de dióxido de carbono mayores de 0.5% en la incubadora reducen la incubabilidad, con reducciones significativas ocurriendo al llegar al 1.0%. La mortalidad total del embrión ocurre al 5.0% de CO<sub>2</sub>.

Hay equipos disponibles que miden el contenido de CO<sub>2</sub> en el aire, y algunas incubadoras los tienen como equipo estándar. El mejor lugar para medir el CO<sub>2</sub> se encuentra en el conducto de escape de aire saliendo de la incubadora.

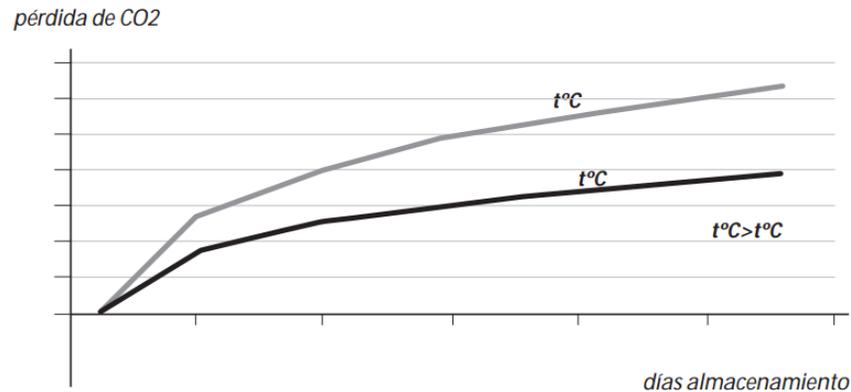
Las mediciones que se toman dentro de las máquinas no son tan acertadas porque el ambiente dentro de máquina cambia cuando se abren las puertas esto genera cambios bruscos en el desempeño del sensor pero se deben asumir dadas las características de la incubación.

Según Sauveur (1988) la pérdida de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por parte del huevo se realiza según la ecuación

### **Ecuación 2. Pérdida de dióxido de carbono en el huevo**

$$CO_2 = atb$$

Siendo t el tiempo, a una constante y b un parámetro que depende de la temperatura, luego al aumentar la temperatura aumentará la pérdida de anhídrido carbónico



**Figura 39. Pérdidas de CO2 con el tiempo. Según Saveur (1988)**

**3.11.2 Cómo funciona el sistema de monitoreo de (CO2).** Las concentraciones de Monóxido de Carbono son sumamente peligrosas ya que el CO2 es el único contaminante que produce cambios en la fisiología de los seres vivos, en otras palabras se puede relacionar con la concentración a la que se expone el sujeto, el CO2 es un veneno acumulativo que puede ser expulsado o absorbido dependiendo esto del nivel en el ambiente, la presión atmosférica, la duración a la exposición y el índice de ventilación.

Las incubadoras y otras cámaras de pruebas requieren un monitoreo confiable para mantener las temperaturas especificadas, las concentraciones de CO2 y los niveles de humedad durante los procesos de prueba e incubación. A medida que las organizaciones regulatorias mundiales perfeccionan y definen las pautas para el procesamiento de la biotecnología, se incrementa la necesidad de contar con mejores registros, informes más personalizables y soluciones de medición confiables.

La selección del sensor obedece a la necesidad del proceso agroindustrial, los cuales se determinan por mediciones echas en laboratorios de campo o experimentales. Para la medición de dióxido de carbono se utilizó una escala en partes por millón (PPM) de CO2. El sensor se denomina sensor de dióxido de carbono MQ-7 (figura 13) que mide el CO2

en forma gaseosa en el intervalo de 20 a 20000 partes por millón, Este sensor tiene una alta sensibilidad y un corto tiempo de respuesta.

La salida de este sensor es una resistencia analógica, y su sistema consta de 3 etapas para la adquisición de la información.

Entrada: Consistente en un sensor MQ-7 cuyas características son, salida analógica que varía de 0 a 5 volts, necesitando de un precalentamiento de 60 a 90 seg con un rango de lectura del sensor de 20 a 2000 ppm (partes por millón).

Proceso: Se utiliza Una tarjeta de adquisición de datos y su respectivo programa que procesara la información obtenida del sensor. El primer paso es digitalizar la señal obtenida de la entrada proveniente del sensor MQ-7, a través de la formula

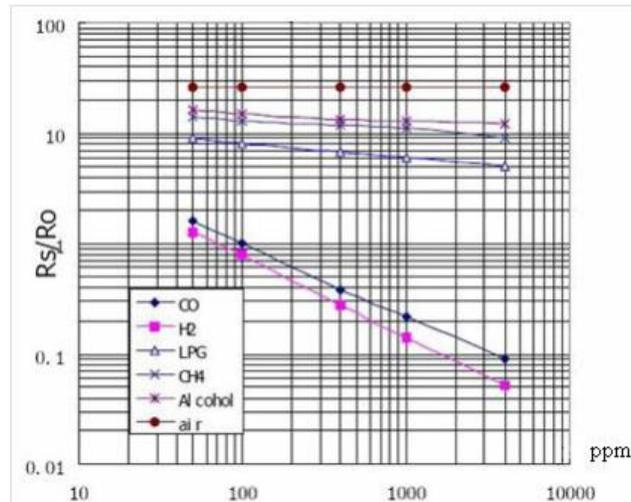
### **Ecuación 3. Señal de referencia del sensor MQ-7**

$$\frac{RS}{RL} = \frac{(Vc - V_{RL})}{V_{RL}} \quad (1)$$

Se obtiene la relación de resistencia del sensor con respecto a la resistencia de carga, donde Rs es la resistencia del sensor y RL es la resistencia de carga a utilizar, esta relación es empleada para calcular las partes por millón de Monóxido de Carbono, el sensor responde a la siguiente ecuación de respuesta logarítmica.

$$y = kX^n \quad (2)$$

Utilizando la siguiente gráfica de respuesta del sensor.



**Figura 40. Respuesta del sensor**

Se obtiene la siguiente ecuación:

Ecuación 4. De salida del sensor MQ-7

$$y = 17.5X^{-0.63}$$

Despejando X de la ecuación se obtiene

$$X = 10^{\frac{\log(17.5) - \log\left(\frac{RS}{RL}\right)}{0.63}},$$

Donde

Ecuación 5. Relación de señal de entrada y salida del sensor MQ-7

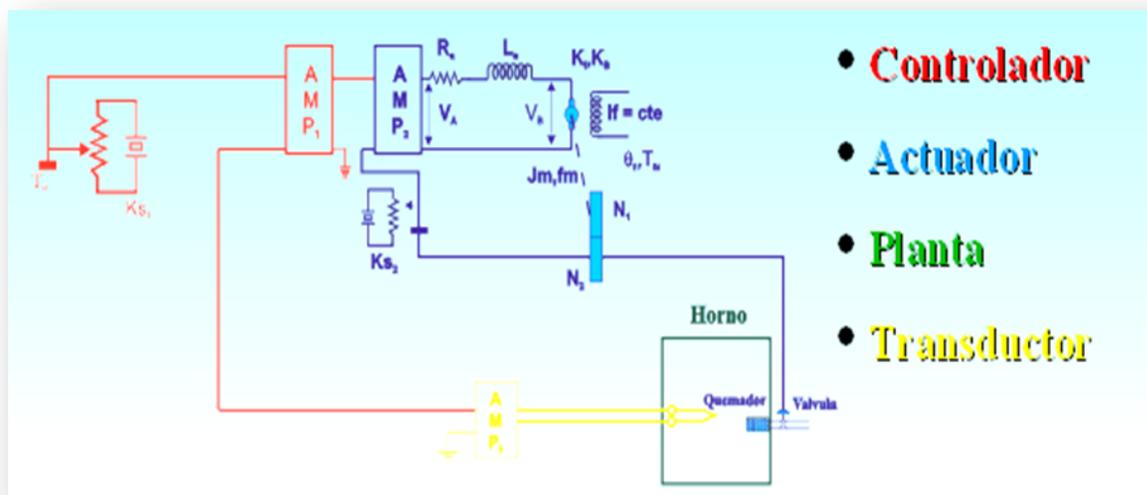
$$y = \frac{RS}{RL},$$

Salida: El sistema se compone de una salida a una Computadora Personal con un software scada que presentará la lectura en Partes Por Millón y muestra también de forma gráfica el comportamiento de los contenidos de CO2 en el ambiente controlado.

### 3.12 Modelamiento de la planta

**3.12.1 Esquema del sistema de control.** La aplicación de un control típico de cualquier tipo es de forma sistemática y se hace presente en varios pasos para la modelación y la implementación del mismo, anteriormente para hacer este tipo de diagrama se utilizaba varios pasos y varios instrumentos de medición así también como de procesos.

Para implementar un control típico con controles como PI, PD y PID; o FUZZY aun en la actualidad se usan y tienen como elementos indispensables; una computadora que funciona como la interfaz con el usuario, la cual tiene instalada en su hardware una tarjeta de adquisición de datos la cual interactúa de forma inmediata con la interfaz (equipo de cómputo) y con una consola del Módulo, que hace un acoplamiento de señal para que la tarjeta de adquisición de datos la procese; con este módulo se obtiene la señal de control que pasa a una etapa de potencia la cual eleva la señal del control a un valor que pueda poner a funcionar la planta (Sistema a Controlar).



### **Figura 41. Diagrama electrónico de control típico**

Fuente: Monografías, 2015.

**3.12.2 Diagrama de control propuesto.** En sistemas de control para que la variable a controlar sea estable, se deben mantener una cierta cantidad de parámetros de elementos periféricos con sus valores predeterminados, a fin de que la temperatura produzca los efectos deseados.

Una forma segura de lograr el objetivo con la temperatura en cualquier sistema o planta, es aplicar sensores para obtener sus datos y realimentar el sistema para lograr los resultados esperados, y de esta forma controlar la energía calórica a través de sustracción o emisión de aire. Todo esto pasa por un sistema de control, el cual toma por sí mismo la decisión de activar o desactivar, aumentar o disminuir, el proceso que estará encargando de mantener la temperatura ambiente en un sistema térmico. Por ejemplo, en un control de un refrigerador o de un horno eléctrico, el sistema de control se encarga de disminuir la temperatura, en el caso del refrigerador es tratar de mantener un nivel de enfriamiento, y en el caso del horno eléctrico es aumentar y disminuir según sea necesario o establecer un nivel de calefacción que se requiera para cada alimento, El sistema diseñado, no se desvía de la filosofía que ha tenido durante muchos años el control. Un sistema realimentado, basado en sistemas de lazo cerrado.

El método que se utilizó inicialmente fue el de control difuso que aunque funciono y se explicara más adelante, no arrojó los resultados esperados. Y complico el sistema al uso de herramientas especializadas. Lo que elevo el costo del diseño a modelo agroindustrial y hacía inviable su implementación, además deriva de conocimiento avanzado por parte del operario o manipulador, lo que en este caso es no factible ya que

los directamente involucrados en este proyectos son campesinos de la zona y agrónomos.

Seguidos a este proceso se usó un diseño mejorado y de bajo costo con tecnología de modelos embebidos PID y electrónica programable, que aunque derivo en un proceso complejo en la obtención de la ecuación de planta, nos produjo mejores condiciones de control y permitió una interfaz física de usuario más comprensible por el operario, además de usar una plataforma de programación por bloques (LabVIEW).

El control de temperatura, consta de uno o de varios sensores dependiendo de la situación en la que se aplique, donde la señal de estos entran a un proceso de detección de la variable que se va a medir, la cual es enviada a los controladores para ser procesada, y así pasar a una etapa de potencia y de acoplamiento para evitar daños en la planta y esta se dirige a la salida, en donde se vuelve a tener que censar y realizar el mismo proceso hasta obtener el valor deseado de la temperatura.

### **3.13 Alternativa 1 Control Difuso para la Temperatura de la Planta**

**3.13.1 Tarjeta de adquisición de datos.** La tarjeta de adquisición de datos es un elemento indispensable para los sistemas que tienen control por computadora. La importancia de tener una tarjeta de adquisición de datos radica en la necesidad de tener un elemento que obtenga las señales para ser introducidas a la computadora para que sean procesadas.

En este capítulo se presentan las consideraciones que deben de tomarse para adquirir una tarjeta de adquisición de datos. Que se adapte al modelo Fuzzy y Finalmente se presentan las características que se utilizaron para éste proyecto.

La utilizada para este método fue la DAQ NI cDAQ-9174 es una tarjeta de adquisición de datos, que tiene entradas-salidas analógicas y digitales según sean programadas. ¿Para qué sirve? “Él NI cDAQ-9174 es un chasis NI CompactDAQ de cuatro ranuras diseñado para sistemas de ensayo pequeños, portátiles, de medidas mixtas. Se Combina el cDAQ-9174 con hasta ocho módulos. ¿Qué puede hacer la tarjeta? Tiene la capacidad de leer varios módulos, los cuales sirven, trazar y analizar los datos obtenidos por diferentes sensores; también se puede utilizar para emitir señales de voltaje o corriente, ya bien sean analógicas o digitales



**Figura 42. Tarjeta de adquisición de datos NI cDAQ-9174**

Fuente: Sine, 2008.

Los módulos a utilizar son los siguientes:

NI-9211: “El módulo de entrada de termopares NI 9211 se integra al chasis NI CompactDAQ este contiene un convertidor analógico-digital delta-sigma de 24 bits, filtros

anti-aliasing, detección de termopares abiertos y compensación de unión fría para medidas de termopares de alta precisión Figura 43.



**Figura 43. NI cRIO-9211 thermocouple Modulo**

Fuente: Sine, 2008.

NI-9232: “El NI 9232 es un módulo adquisición de señal dinámica de la Serie C de 3 canales para realizar medidas industriales desde sensores piezoeléctricos electrónicos integrados (IEPE) y no IEPE con sistemas NI CompactDAQ o NI CompactRIO.Figura 44.



**Figura 44. Modulo NI-9232**

Fuente: Sine, 2008.

NI-9263: El NI 9263 de National Instruments es un módulo de salida analógica de actualización simultánea de 4 canales a 100 kS/s para cualquier chasis NI CompactDAQ o CompactRIO. El NI 9263 también cuenta con protección de sobrevoltaje de  $\pm 30$  V, protección de corto circuito, baja interferencia entre canales (crosstalk), rápida velocidad de respuesta, alta precisión relativa y certificados de calibración trazable expedidos por el NIST. Este módulo incluye doble barrera de aislamiento de canal a tierra para seguridad e inmunidad a ruido. Con un voltaje de salida desde -10 a 10 Voltios. Figura 45.

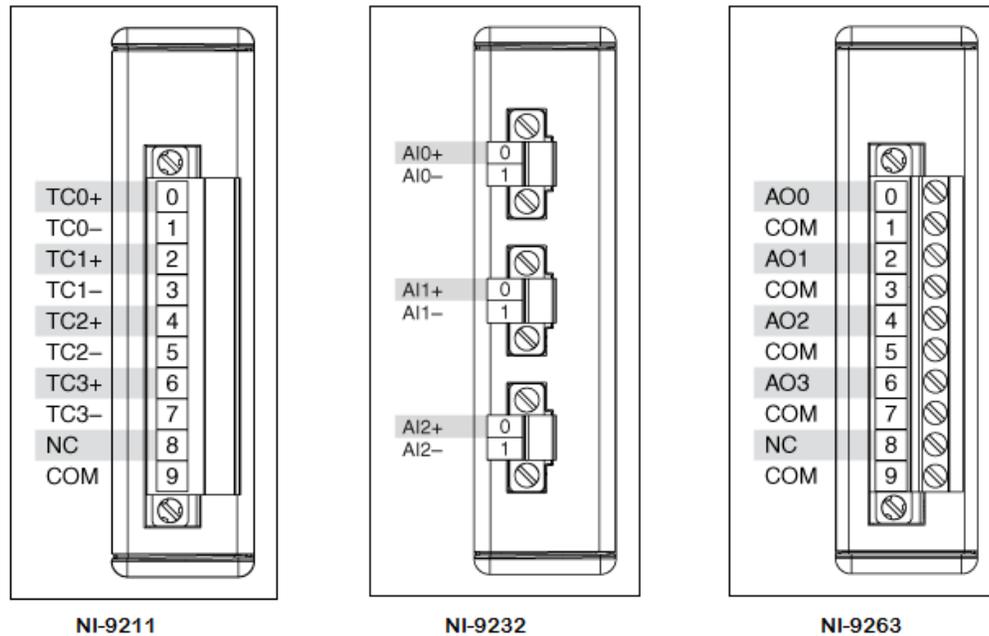


**Figura 45. Modulo NI-9263**

Fuente: Sine, 2008.

Para realizar las conexiones se utilizó el siguiente esquema.

### Terminal Assignments



**Figura 46. Conexiones de cada módulo en la tarjeta DAQ**

Fuente: DAQ tarj

Después de haber realizado toda la configuración y puesta a punto de los elementos de hardware necesarios para poner en marcha el sistema, se tomaron las referencias de voltaje necesarias y se procedió al diseño.

**3.13.2 Control difuso.** Sistema de control. Están formados por un conjunto de dispositivos de diversa naturaleza (mecánicos, eléctricos, electrónicos, neumáticos, hidráulicos) cuya finalidad es controlar el funcionamiento de una máquina o de un proceso.

Se caracteriza por la presencia de una serie de elementos que permiten influir en el funcionamiento del sistema. La finalidad de un sistema de control es conseguir, mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de

modo que estas alcancen unos valores prefijados; también existen un numeroso grupo de sistemas de control mecánicos.

¿Cómo se ejecuta el control? Para implementar un control se usan y tienen como elementos indispensables; una computadora la cual funciona como interfaz que a su vez tiene instalada una tarjeta de adquisición de datos como hardware y es quien interactúa de manera inmediata con el equipo de cómputo (interfaz). Los sensores también hacen parte del equipo del hardware debido a que a través de ellos se obtiene una señal que al ser procesada se tiene como señal data y puede ser comparada con futuras señales las cuales permiten ejecutar el control de dicho sistema, tal señal entra a la tarjeta de adquisición de datos y a todo este proceso se le llama control, el cual solo tendrá que facilitar los datos de funcionamiento con características deseadas por el usuario.

Después que el equipo hace el reconocimiento de todos los elementos se carga el programa a la tarjeta de adquisición de datos DAQ la cual proporciona un bajo voltaje (5 Voltios), se coloca una etapa de potencia (amplificador de señal) para que las lámparas y los ventiladores puedan accionarse y así los sensores harán sus mediciones y las señales que se obtengan de estos se enviaran y retroalimentaran a la tarjeta de adquisición, comparara el dato con el valor deseado y volverá a hacer el mismo ciclo hasta que se obtenga la señal requerida.

Una de las principales ventajas de la Lógica difusa o también llamado Control Difuso es la velocidad en obtener una salida con una gran fiabilidad. Estos Permiten solucionar gran parte de los problemas de control automático de una manera sencilla sin necesidad de conocer un modelo matemático que lo pueda controlar.

Variedad de sensores de temperatura existen en la actualidad. Muchos de estos tipos de sensores son utilizados en el control de temperatura y se utilizan también en el control difuso para adquirir parámetros que ayuden con algoritmo de control difuso. En un recinto, en el cual se tengan protocolos de control de temperatura, aire, humedad, se requiere un control que responda más rápida y efectivamente a una respuesta a los cambios que tenga tal recinto; éste puede ser desde una recámara hasta una gran bodega donde se tenga materia que se pueda dañar con los cambios de estado. Los algoritmos están diseñados para que el operador sea el que especifique el modo del control según su necesidad y sus propias especificaciones.

Ventajas y desventajas. “Algunas ventajas que se tiene al utilizar lógica difusa:

Excelentes resultados que brinda un sistema de control basado en lógica difusa: ofrece salidas de una forma veloz y precisa.

El éxito de esta técnica radica en que “El mundo es Fuzzy”. En otras palabras, no tiene sentido buscar la solución a un problema no perfectamente definido por medio de un planteamiento matemático muy exacto, cuando es el ser humano el primero que razona empleando la inexactitud.

El modo de funcionamiento es similar al comportamiento humano.

No se necesita conocer el modelo matemático que rige su funcionamiento.

Ofrece un alto grado de confiabilidad en su uso.

Es de fácil manejo para el operario.

Tiene un nivel de consumo de potencia bajo.” (Lab Control, 2016)

“Algunas desventajas son:

Es difícil llegar a una función de membresía y a una regla confiable sin la participación de un experto humano.

En las redes neuronales se precisa de un tiempo de aprendizaje para obtener los mejores resultados en la salida. (Al igual que ocurre con los humanos).” (Logica Difusa123, 2016).

Son bastante costosas.

Aplicaciones. “La lógica difusa se aplica en procesos demasiado complejos, cuando no existe un modelo de solución simple o un modelo matemático preciso. Es útil también cuando se necesite usar el conocimiento de un experto que utiliza conceptos ambiguos e imprecisos. De la misma manera se puede aplicar cuando ciertas partes de un sistema a controlar son desconocidas y no pueden medirse de forma confiable y cuando el ajuste de una variable puede producir el desajuste de otras. No es recomendable utilizarla cuando algún modelo matemático ya soluciona eficientemente el problema, cuando los problemas son lineales o cuando no tienen solución.” (Logica Difusa123, 2016).

**3.13.3 Conceptos básicos de la lógica difusa.** Para aclimatarse con los conceptos básicos relacionados a la lógica difusa es ineludible entender que un sistema difuso consta principalmente de tres procesos los cuales se pueden ver en la figura 47.



**Figura 47. Pasos control difuso**

Fuente: UNEX, 2015.

Cada uno de los componentes que aparecen en la figura se explica a continuación:

**Difusor:** Bloque en el que a cada variable de entrada se le asigna un grado de pertenencia a cada uno de los conjuntos difusos que se ha considerado, mediante las funciones características asociadas a estos conjuntos difusos. Las entradas a este bloque son valores concretos de las variables de entrada y las salidas son grados de pertenencia a los conjuntos difusos considerados.

**Inferencia:** Bloque que, mediante los mecanismos de inferencia, relaciona conjuntos difusos de entrada y de salida y que representa a las reglas que definen el sistema. Las entradas a este bloque son conjuntos difusos (grados de pertenencia) y las salidas son también conjuntos difusos, asociados a la variable de salida.

**Desdifusor:** Bloque en el cual a partir del conjunto difuso obtenido en el mecanismo de inferencia y mediante los métodos matemáticos de desdifusión, se obtiene un valor concreto de la variable de salida, es decir, el resultado.”

**3.13.4 Fuzzyficacion, funciones miembro o de membrecía.** “La fuzzificación es el proceso realizado para convertir un valor tradicional lógico, binario, decimal, y/o exacto, en un valor o cantidad difusa.”

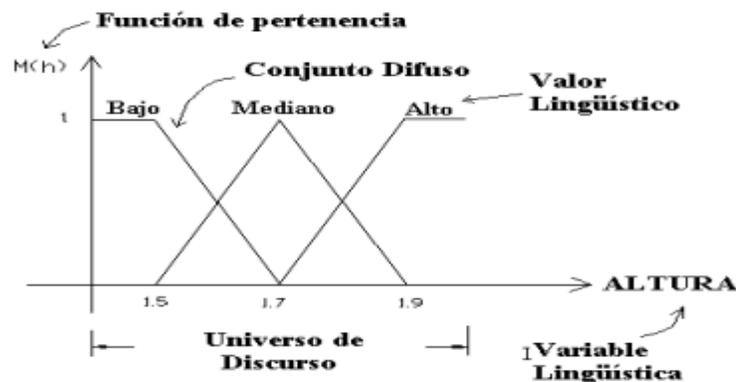
“El primer paso consiste en tomar las entradas y determinar el grado al que ellos pertenecen a cada uno de los conjuntos fuzzy apropiados, La entrada siempre es un valor numérico limitado al universo del discurso de la variable de entrada (0-10)” Así que para esto se debe conocer a fondo las partes de las funciones miembro.

**3.13.5 Grado de membrecía (función de pertenencia):** “Es aquella aplicación que asocia a cada elemento de un conjunto difuso el grado con que pertenece al valor lingüístico asociado. Los conjuntos difusos son caracterizados por sus funciones de pertenencia. Con este aspecto se podría calcular cual es la acción que se ha de llevar a cabo según los valores de entrada de esto.”

Conjunto difuso: “La pertenencia de los elementos al conjunto puede ser gradual, lo cual se expresa mediante la función de pertenencia.”

Valor lingüístico (Etiquetas): “Las variables lingüísticas son representativas de situaciones como: Positivo, alrededor de, alto, medio, etc.”

Universo de discurso: Conjunto de elementos que se va a tener en consideración. Ver figura 48.

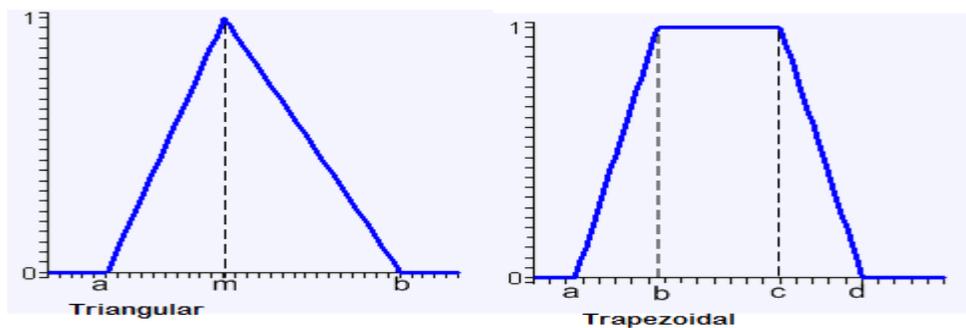


**Figura 48. Conceptos básicos de la función miembro**

Fuente: Labcontrol, 2016.

**3.13.6 Diferentes formas de función miembro.** Las funciones de pertenencia representan las coordenadas difusas del atributo. Son funciones continuas, que pueden ser básicamente de los tipos:

Trapezoidales y Triangulares: Son funciones lineales por tramos, pero representan una discontinuidad en la primera derivada que hereda la acción de control. Figura 49.

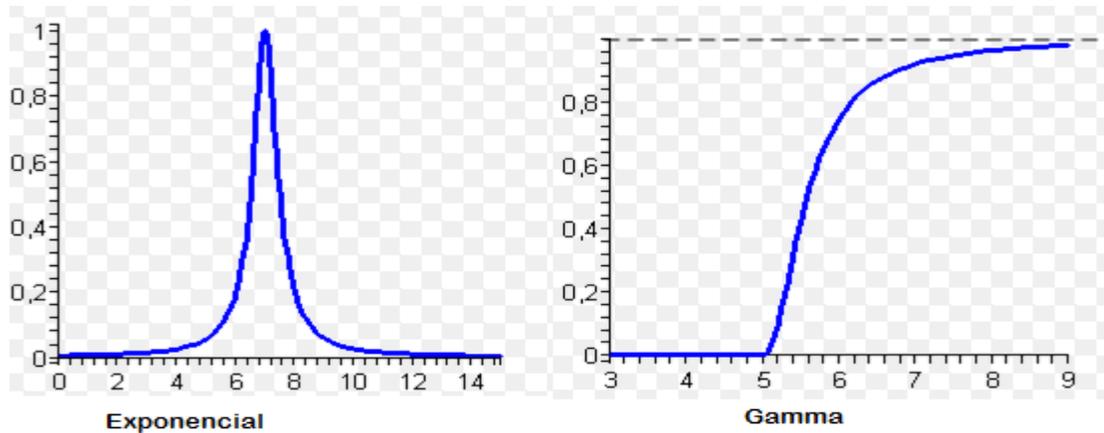


**Figura 49. Funciones de pertenencia triangular y trapezoidal**

Fuente: Labcontrol, 2016.

Exponenciales: (distribución normal), muestran un comportamiento muy adecuado y no representan discontinuidad en la derivada.

Función Gamma: Esta función se caracteriza por un rápido crecimiento a partir de  $a$ ; cuanto mayor es el valor de  $k$ , el crecimiento es más rápido. ver figura 50

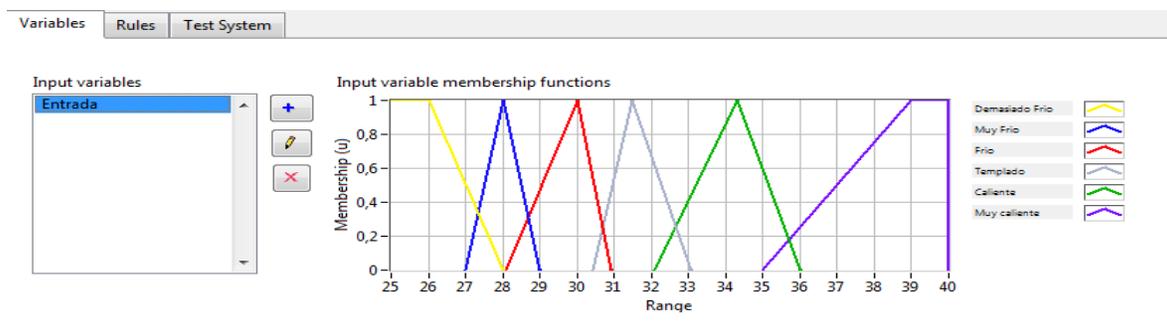


**Figura 50. Funciones de pertenencia exponencial y gamma**

Fuente: Labcontrol, 2016.

**3.13.7 Control difuso del sistema.** Para el desarrollo del sistema difuso se utilizó el paquete FuzzyLogic Controller Design, en donde se trabaja para crear los universos de discurso, sus etiquetas y la edición de las reglas.

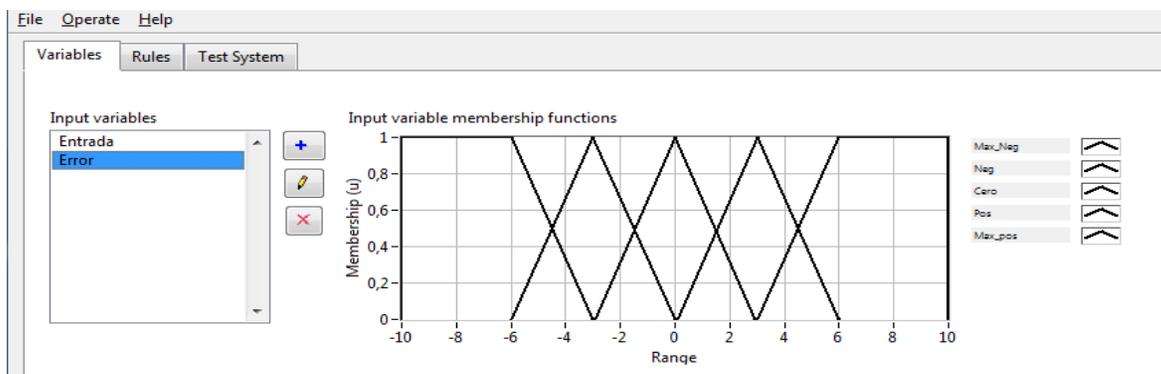
Comenzando con el desarrollo del programa con la variable de Entrada, teniendo un Universo de Discurso con un rango de entre 25 y 40C, teniendo como etiquetas: Demasiado Frío, Muy Frío, Frío, Templado, Caliente y Muy Caliente, etiquetas que están dispersadas en el universo del discurso de una forma poco simétrica ideal para el sistema Figura 51.



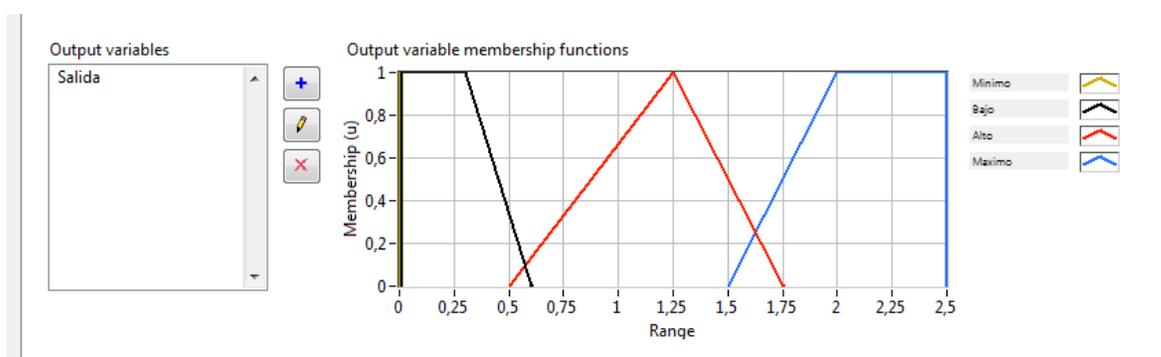
**Figura 51. Universo del Discurso de Temperatura**

La segunda variable fuzzyficada es el Error de Temperatura, esta variable tiene un rango con media de entre -10\_ y 10\_ C, con etiquetas con los nombres de: Error Máximo Negativo, Error Negativo, Cero, Error Positivo y Error Máximo Positivo, y dispersadas en el Universo del Discurso en forma conveniente para el sistema (véase figura 51).

La variable que se tiene como salida con el nombre de Voltaje de Lámparas, se manda a las etapas de potencia de las lámparas para que eleven o disminuyan su intensidad dentro del pequeño recinto. Ésta variable tiene como etiquetas en su Universo del Discurso como: Voltaje Mínimo, Bajo, Alto y Máximo. Estas etiquetas están entre un rango de 0 a 2,5 V, que es el rango que tiene como salida la tarjeta DAQ, en su salida analógica.



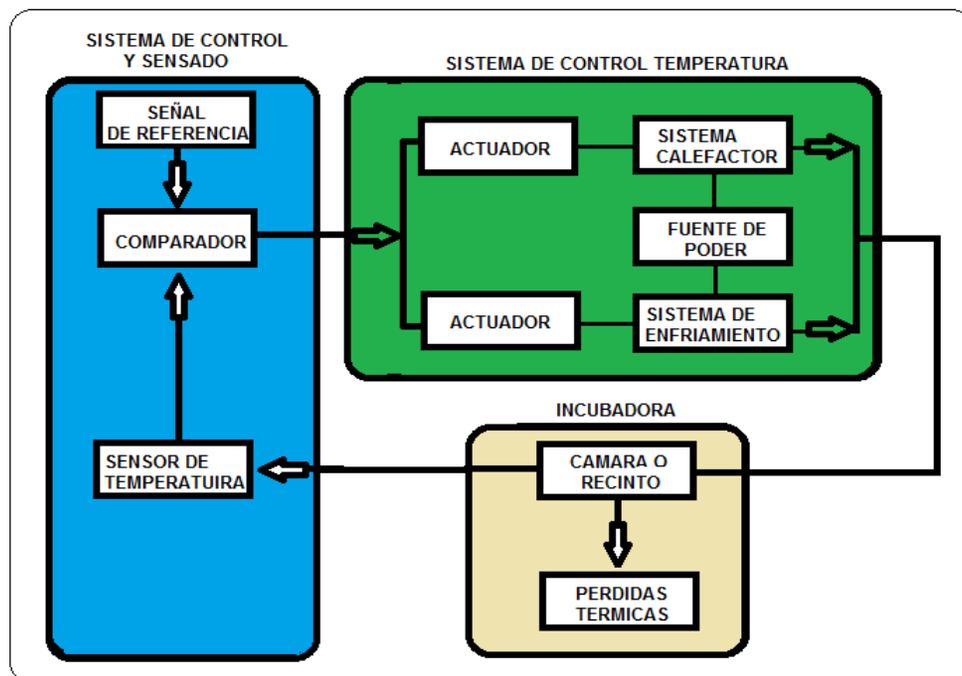
**Figura 52. Universo del Discurso de Error de Temperatura**



**Figura 53. Universo del Discurso de Voltaje de Lámparas**

Con lo anterior se ha fuzzyficado entradas y salida del sistema según criterios de la lógica difusa. Ahora se sigue con la edición de las reglas difusas, tomando en cuenta el análisis que se hizo previamente con las variables de entrada y salida. Como un considerable número de reglas.

### 3.14 Alternativa 2 Control PID de la Temperatura de la Planta



**Figura 54. Diagrama en bloques para el sistema de control de la incubadora**

Al no obtener las mejores condiciones de estabilidad térmica haciendo uso del sistema de lógica Fuzzy, se decide implementar un modelo PID que permita hacer más eficiente el modelo de incubadora, es así como el sistema a diseñar debe medir la temperatura a través de un sensor, y a partir del valor deseado obtenido realizar operaciones lógicas y aritméticas necesarias.

Para esta alternativa se desarrolló una tabla a partir de muestras cada 1 minuto que permite evidenciar los datos de la planta, en un lapso considerable de tiempo en condiciones ideales. Tabla 7. Datos de planta

**Tabla 8. Datos de plantas**

DATA DE LA PLANTA	
TIEMPO EN MINUTOS	TEMPERATURA
1	36.8
2	36.8
3	36.6
4	36.2
5	35.9
6	35.6
7	35.3
8	35.1
9	35.0
10	34.8
11	34.5
12	34.4
13	34.2
14	34.1
15	34.0
16	33.8
17	33.6
18	33.5
19	33.4
20	33.6
21	33.9
22	33.8
23	33.6
24	33.4
25	33.2
26	33.1
27	33.0
28	32.9
29	32.8
30	32.6
31	32.5
32	32.4
33	32.3

DATA DE LA PLANTA	
TIEMPO EN MINUTOS	TEMPERATURA
34	32.2
35	32.1
36	32.0
37	32.0
38	31.8
39	31.8
40	31.6
41	31.6
42	31.5
43	31.4
44	31.4
45	31.3
46	31.3
47	31.2
48	31.2
49	31.1
50	31.1
51	31.0
52	30.9
53	30.8
54	30.8
55	30.7
56	30.7
57	30.6
58	30.6
59	30.5
60	30.4
61	30.2
62	30.0
63	29.7
64	29.3
65	29.2
66	30.0
67	29.9
68	29.9
69	29.8
70	29.7
71	29.7
72	29.6
73	29.6
74	29.5
75	29.5

DATA DE LA PLANTA	
TIEMPO EN MINUTOS	TEMPERATURA
76	29.4
77	29.3
78	29.3
79	29.3
80	29.3
81	29.2
82	29.2
83	29.2
84	29.1
85	29.1
86	29.1
87	29.1
88	29.1

Con esta información se realiza una gráfica que expone toda la información referente al comportamiento de la planta ante las perturbaciones externas.

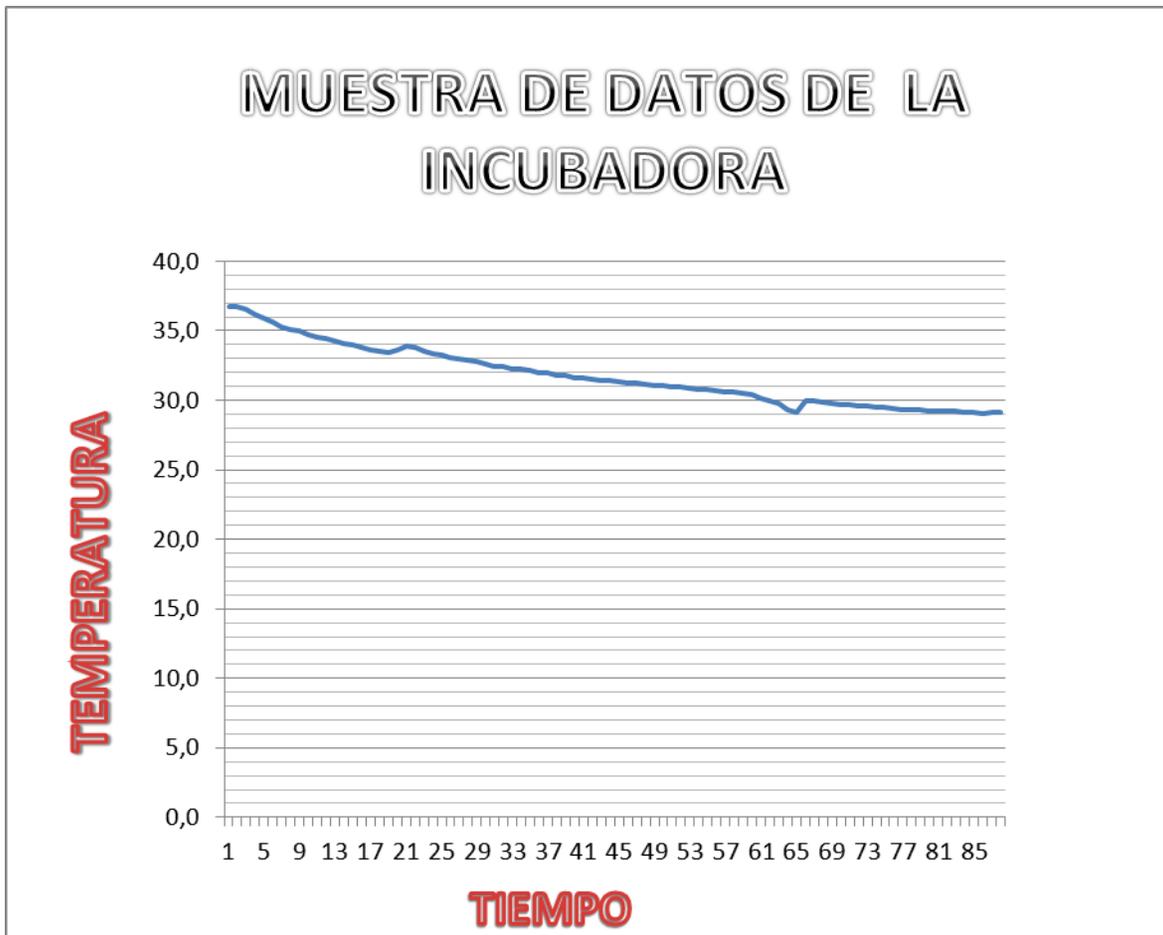


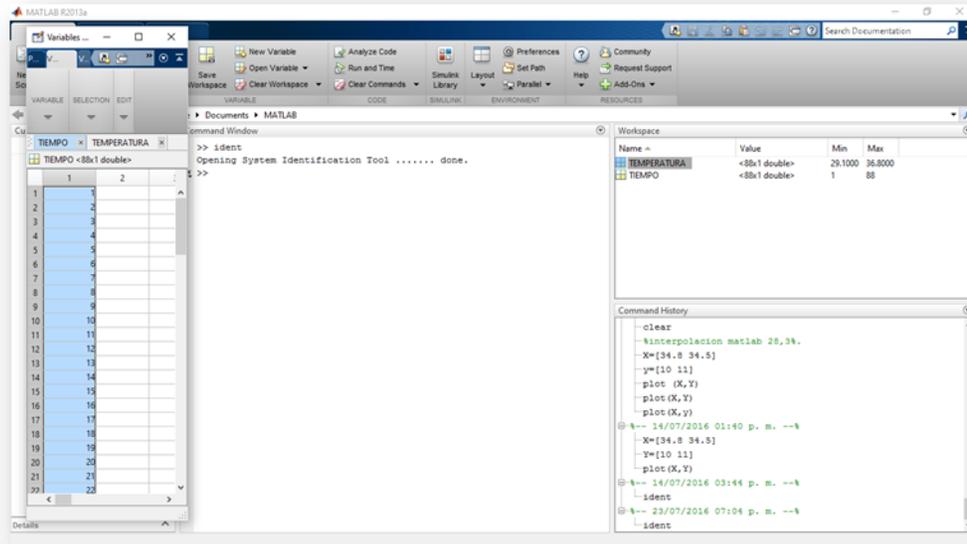
Figura 55. Grafica datos de temperatura en un periodo de tiempo de la incubadora

**3.14.1 Descripción matemática de la planta.** Para hallar la función matemática que nos permita identificar la ecuación de planta se hace uso del (ToolBox System Identification de Matlab), esto con el fin de obtener una aproximación por encima del 76% de la función de transferencia de nuestra planta.

A continuación se explicará brevemente el procedimiento:

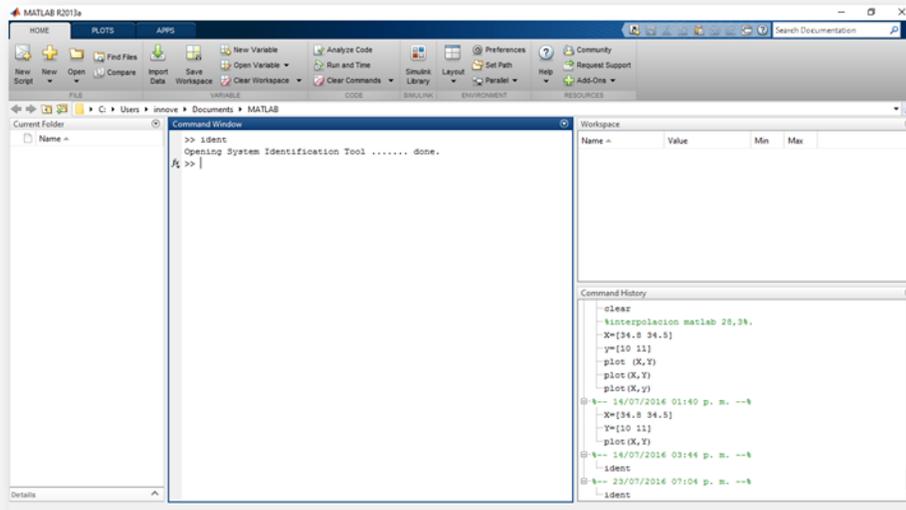
Primero que todo se ingresa a MatLab y se define nuestras variables de la planta, que para nuestro caso es el tiempo como entrada y temperatura como salida, estos se

definen en el área grafica de workspace tomando como referencia la data en el experimento de campo, se carga el mismo en MatLab dando doble clic sobre cada una de las variables a las que se le asignaran los datos correspondientes, tal y como se muestra en la gráfica.



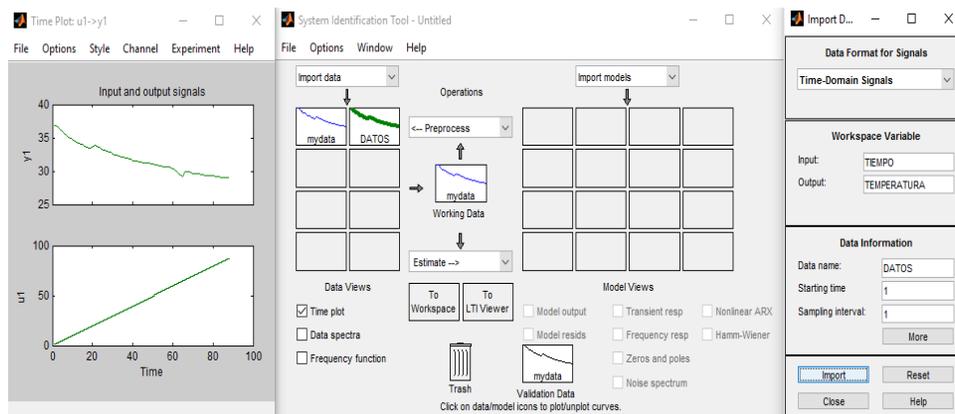
**Figura 56. Entorno grafico de matlab**

Luego de ello se escribe el comando ( ident) en la zona de texto tal como se muestra en la gráfica.



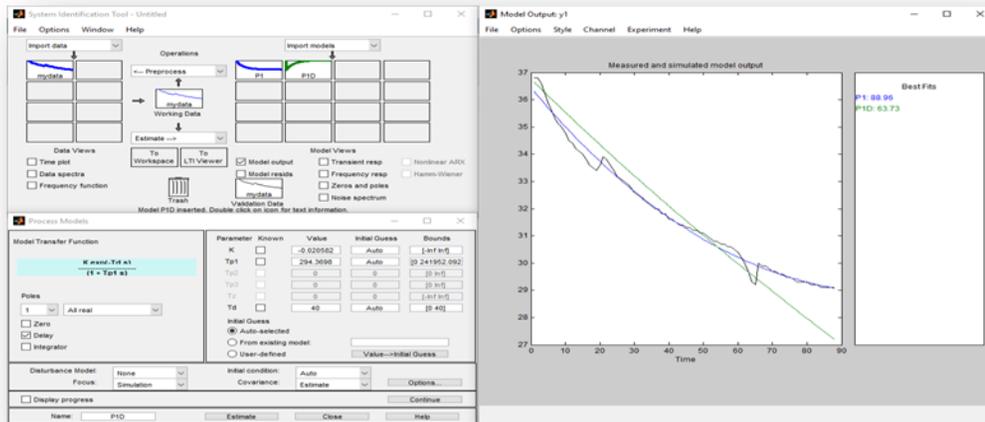
**Figura 57. Datos de ingreso al programa de modelamiento PID**

Esto hará que nos aparezca el siguiente recuadro donde se importaran los datos en el dominio del tiempo, y se definen las variables de entrada y salida que nos permitirán elaborar la gráfica de análisis y estudio.



**Figura 58. Entorno grafico para el modelamiento PID.**

Luego se procede a evaluar el modelo del proceso haciendo estimaciones de un polo y sin retraso y así sucesivamente hasta encontrar nuestro modelo ideal, en la experimentación se obtuvo el 88.9% de aproximación con un diseño PI.



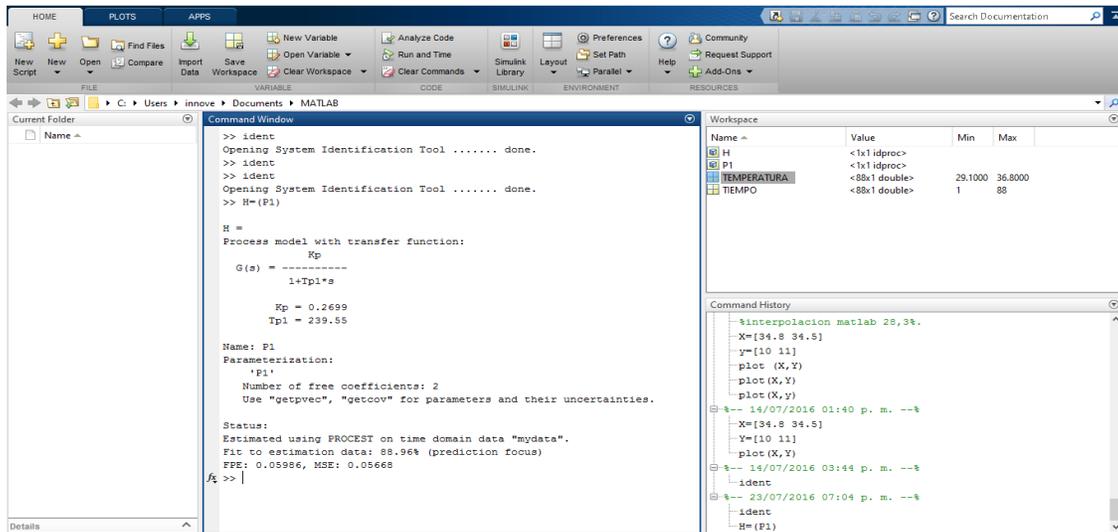
**Figura 59. Aproximación de la señal de planta ideal.**

Después de todo este análisis matemático se obtienen los datos PI de la función de transferencia de la planta.



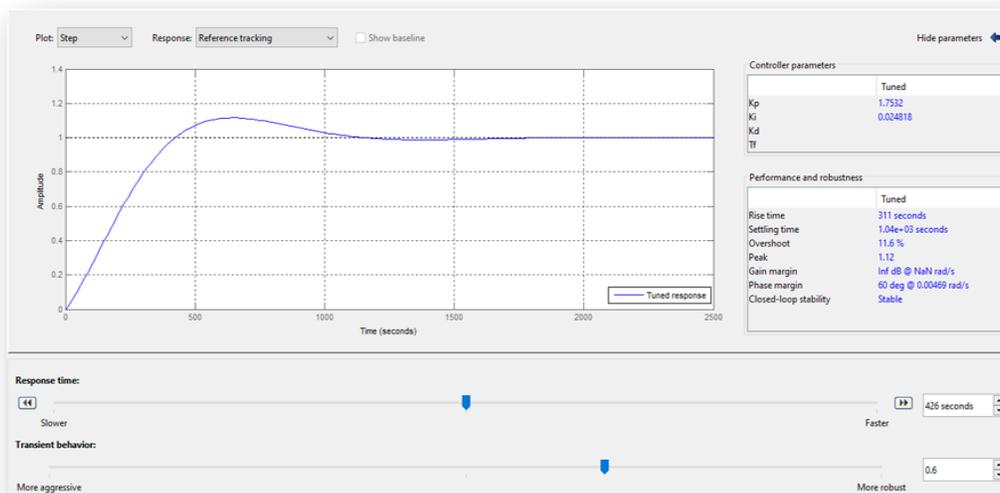
**Figura 60. Obtención de la función de transferencia.**

Estos datos son transferidos al Works pace quien se encargara de transformarnos la ecuación a una función de transferencia.



**Figura 61. Definición de la ecuación matemática de Laplace final.**

Luego de todo se procede a usar (PID tuning) para calcular los datos que serán ingresados en la labview obteniéndose lo siguiente en una respuesta en lazo cerrado.



**Figura 62. Respuesta de la señal en lazo cerrado.**

#### 4. Diseño y Construcción del Sistema de Incubación

En general, se puede afirmar que la mayor parte de los materiales son sensibles a la humedad ambiental, donde se pueden considerar dos tipos de comportamientos diferentes:

Alteraciones irreversibles o en una sola dirección; esto es, que una vez afectado el material por el cambio de humedad no vuelve a su estado original aunque se modifique la humedad en sentido inverso. (Corrosión de los metales férricos, el deterioro de los componentes incubados).

Alteraciones reversibles o lo que es lo mismo, la pérdida o ganancia de vapor de agua de un material por cesión o absorción de vapor de agua del ambiente (madera, papel, tabaco, fibras, azúcar, sal, etc).

Los materiales que intercambian vapor de agua con el ambiente son higroscópicos.

El control de la humedad relativa es un requisito imprescindible en el manejo de huevos de babilla, por esta razón se construyó el prototipo con madera fenólica que cuenta con las siguientes propiedades.

- Resistente al agua, a la humedad y a altos grados de vapor.
- Altamente resistente a muchos productos químicos.
- Instalación, montaje y ensamblaje funcionales.
- Higiénica
- Superficie no tóxica

- Altamente resistente al impacto y rayado
- Maleable
- Ajuste al color e impresión de tintas
- Material Ignífugo



**Figura 63. Aspecto físico de la madera fenólica.**

A continuación se muestra el procedimiento utilizado para la elaboración del prototipo de la incubadora, que servirá para la realización de las pruebas del control y su implementación en la plataforma Labview.

#### **4.1 Descripción de la Incubadora**

Al imaginarnos una incubadora lo primero que viene a nuestra mente, es un bebe en una urna de cristal, donde se controlan el calor para que este crezca en condiciones óptimas, pero en materia animal es un mecanismo natural e instintivo por el cual los animales ovíparos han de empollar o incubar a sus crías, tratando de mantener unas

variables como son la Temperatura y La Humedad con las menores variaciones posibles, durante todo el proceso de incubación de sus crías hasta la eclosión del huevo.

Algunas especies exóticas son muy apetecidas por el hombre para ser utilizadas como diferentes recursos, bien sea para ser consumidas, curtidas sus pieles, etc. Es por ello que cuando se adopta la incubación artificial, se está imitando una incubación natural, bajo los mismos parámetros pero hechos por una máquina, que nos mantendrá una Temperatura y una Humedad asignada, a lo largo de todo el proceso de incubación; además eliminando factores externos que afectan la incubación natural, como depredadores y fenómenos climáticos.

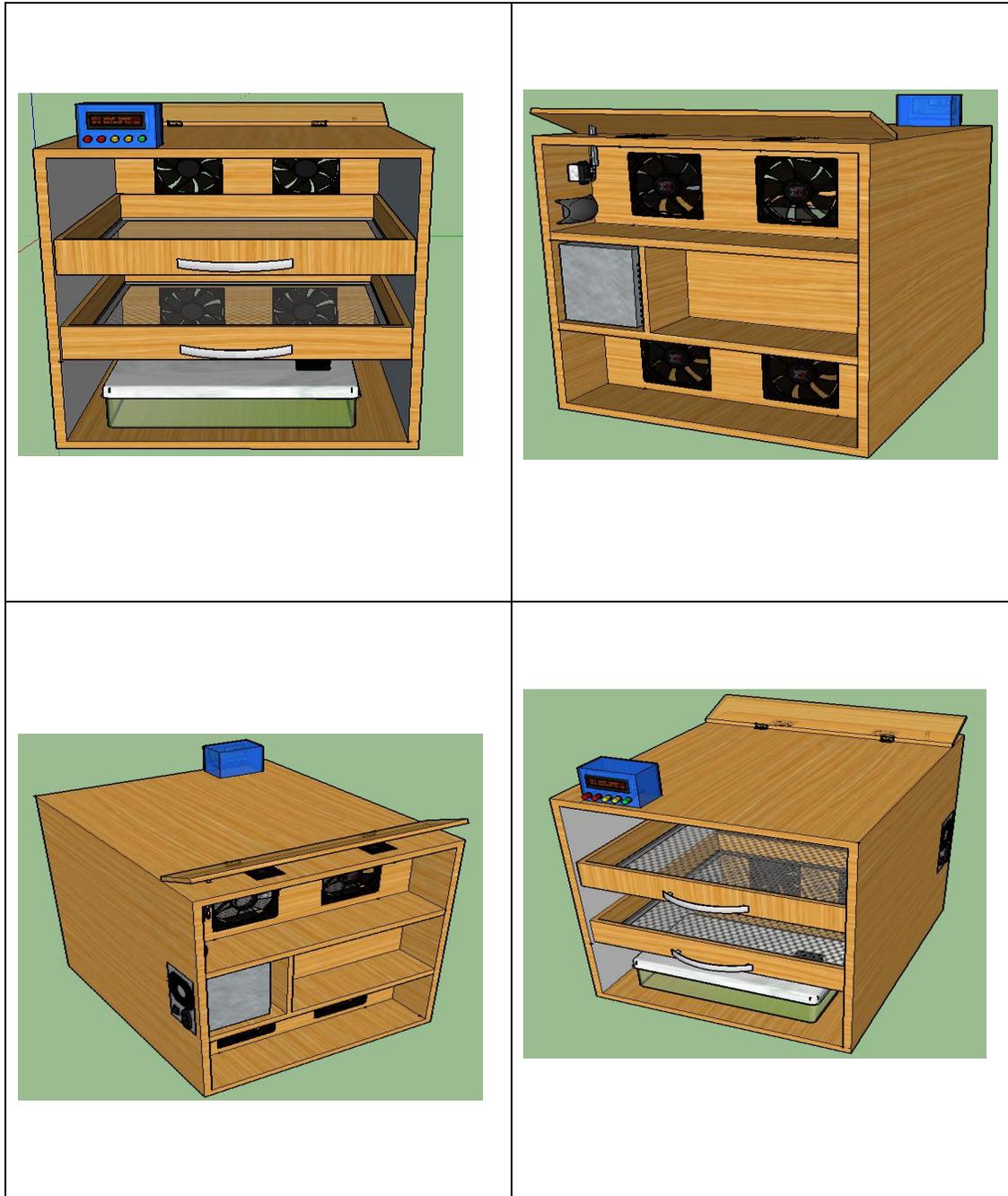
#### **4.2 Relación Física de Incubadora**

La representación que se plantea sobre el diseño de la incubadora se forma a partir de especulaciones, no obstante se pretende idealizar un concepto prototipo que nos permita elaborar una idea de un modelo a escala mayor.

El diseño que se tiene en mente es el de un cubo de un material específico (descrito en la unidad anterior), con orificios que permitan la absorción de oxígeno y extracción de dióxido de carbono, junto a ellos ventiladores como los usados en las pc para la circulación del aire caliente y la compensación de oxígeno, además de ello resistencias calefactoras que cumplirán el papel de calentadores de ambiente dentro de la misma, y así determinar la humedad y temperaturas ideales para el proceso.

También contará con recipientes contenedores de agua que permitirán su evaporación a partir de sistemas ultrasónicos, para lograr con ello el control de la humedad producida dentro de la incubadora, esto debe ser monitoreado a partir de

sistemas de control ajustado a las características de cada uno de los sensores a utilizar y de su comportamiento electrónico.



**Figura19. Bocetos físicos estructurales preliminares de la incubadora.****4.3 Fabricación y Adecuación del Sistema de Enfriamiento de la Incubadora**

Después de estar en un constante debate de la forma y las dimensiones que la incubadora debe tener y de realizar varias pruebas sobre la marcha con elementos electrónicos a diferentes escala y considerar factores físicos incidentes al proceso entre otros, se llegó a la conclusión de que se tienen que satisfacer varias necesidades o características que puede tener una incubadora, para esto se comienza con lo que puede ser llamado carcasa o chasis.

Esta es la primera de varias de las partes del prototipo, y para construirla se usan varias tablas de (fenólica) con las medidas que se necesitan para formar el espacio requerido para el sistema que se va a instalar; así con ello y utilizando las dimensiones computarizadas del modelo inicial se formar una especie de cubo ver figura donde inicialmente se pueda contener el calor que se debe tener para la misma.

**Figura 64. Modelo o cubo inicial**

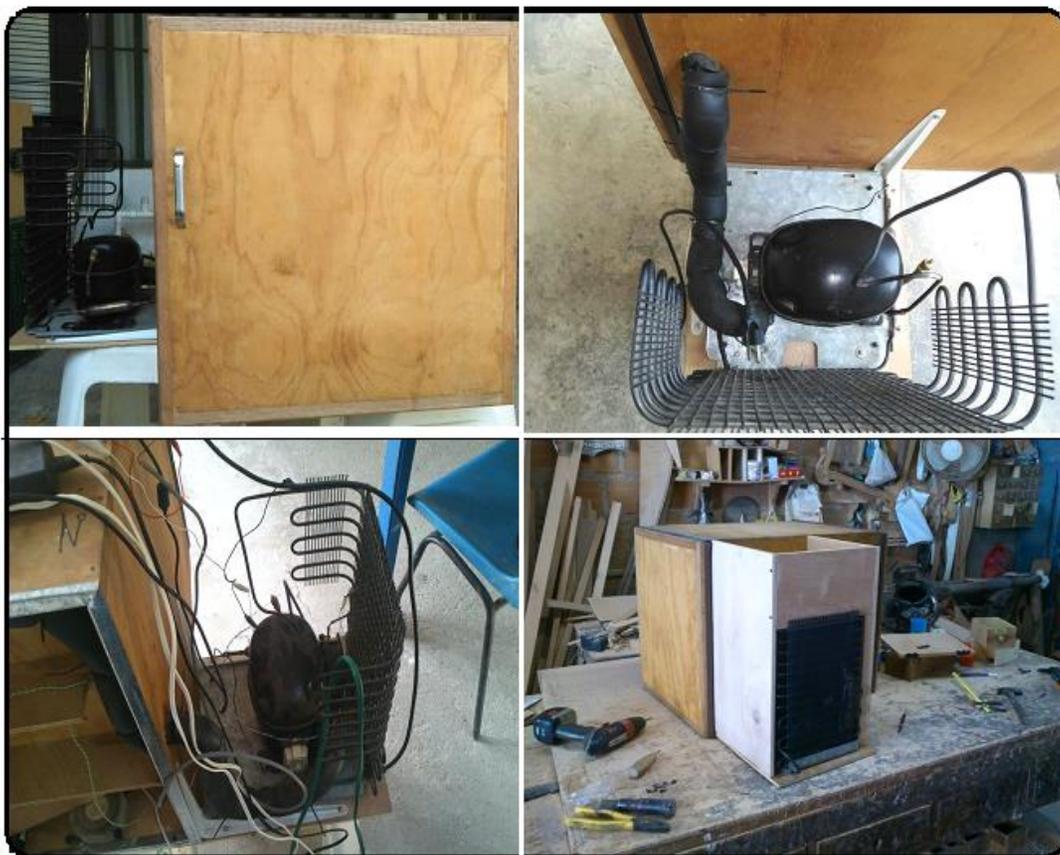
Magnético, el cual a través de una empaquetadura de caucho imantado adherido a la puerta con tornillos y broches la fijan a la estructura de la incubadora. Ver figura Que permite que el sistema se mantenga hermético copiando el mecanismo de una nevera convencional.

Además se colocaron unas bisagras de impacto que dependen de la alineación de la puerta para su funcionamiento y mantienen un ajuste de la misma, esto es para no poseer inconvenientes por aperturas inesperadas, de manera que no se abra hasta que sea necesaria o inevitable esta acción.



**Figura 65. Sistema de bisagra y sellado**

Para la climatización se optó por el ensamblaje de una unidad de gas comprimido por ciclo refrigerante que baja la temperatura al interior del recinto y permite un control más elaborado de la temperatura ver figura.



**Figura 66. Ensamblajes del sistema de refrigeración**

#### **4.4 Adecuación del Sistema de Humidificación**

Un elemento importante de la climatización de la incubadora es el porcentaje de humedad en el ambiente. Para resolver este problema se colocó en el interior del recinto un humidificador quien posee un sistema de evaporación de niebla que produce en el interior de la incubadora una humedad relativa superior al 40% en condiciones ideales.

Este cuenta con una tapa especial que hará que haya un reflujo específico de neblina condensada dentro del recinto, logrando con ello las condiciones necesarias para el proceso, además el diseño de la carcasa del humidificador impedirá que las gotas más grandes salgan del ensamblado del mismo, este no debe consumir más de 33 watts por kilo de humidificación generada.

Al mismo tiempo no producirá ningún ruido inaceptable ni aumento o distorsión en la temperatura que afecte el proceso de incubación interno.



**Figura 67. Sistema de Humidificador implementado**

**4.4.1 Instalación y Montaje del sistema de humidificación.** Durante la fase de montaje se evitará la entrada de materiales extraños. Todos los componentes que conforman el humidificador se deben someter a una limpieza y desinfección previa a su puesta en marcha. Para prevenir la formación de zonas con estancamiento de agua que pueden favorecer el desarrollo de bacterias.

La instalación de los cooler en la tapa del sistema de humidificación es de gran importancia ya que se debe fijar sobre los marcos de soporte de forma que no aparezcan puntos que faciliten el escape de cantidades importantes de agua.

Para la revisión del sistema de humidificación se comprobará su correcto funcionamiento y el buen estado de conservación así como la limpieza de todas sus partes, esto se realizará con la periodicidad establecida en la siguiente tabla.

**Tabla 9. Mantenimiento y revisión del humidificador**

Elemento	Periodicidad
Depósito o bandeja de acumulación de agua: debe comprobarse que no se presenta suciedad general. Algas, lodos, corrosión o incrustaciones. El agua debe estar clara y limpia.	SEMANALMENTE
Sistema de generación de humedad: debe comprobarse mediante inspección visual exterior que no presenta suciedad general.	SEMANALMENTE
Revisión de los filtros: Los discos o filtros del material absorbente en el sistema evaporadito deben estar correctamente colocados, de forma que no generen aerosoles o restos de suciedad.	SEMANALMENTE
Sistema de nivel: revisarse a manera de que sus elementos no se encuentren aislados por suciedad ni material extraño.	DESPUES DE CADA CICLO DE INCUBACIÓN

#### 4.5 Instalación y Montaje del Sistema de Ventilación

En el interior de la incubadora se tienen varios cooler, con diferentes desempeños actuando en relación a la función aplicada en el programa de la tarjeta de control el primer par están ubicados en la parte inferior y su fin es el de extraer el calor.

**Figura 68. Ventiladores inferiores**

Otro está justo dentro del aro de enfriamiento de la incubadora este dispone de un circuito cerrado formado por 1 serpentines, un compresor de impulsión, una válvula de expansión y un conjunto de tuberías que unen todos los elementos. Al serpentín que se encuentra situado en el interior se le llama evaporador y el otro se sitúa en la parte externa y posterior se le denomina condensador.



**Figura 69. Sistema de recirculación del aire frío**

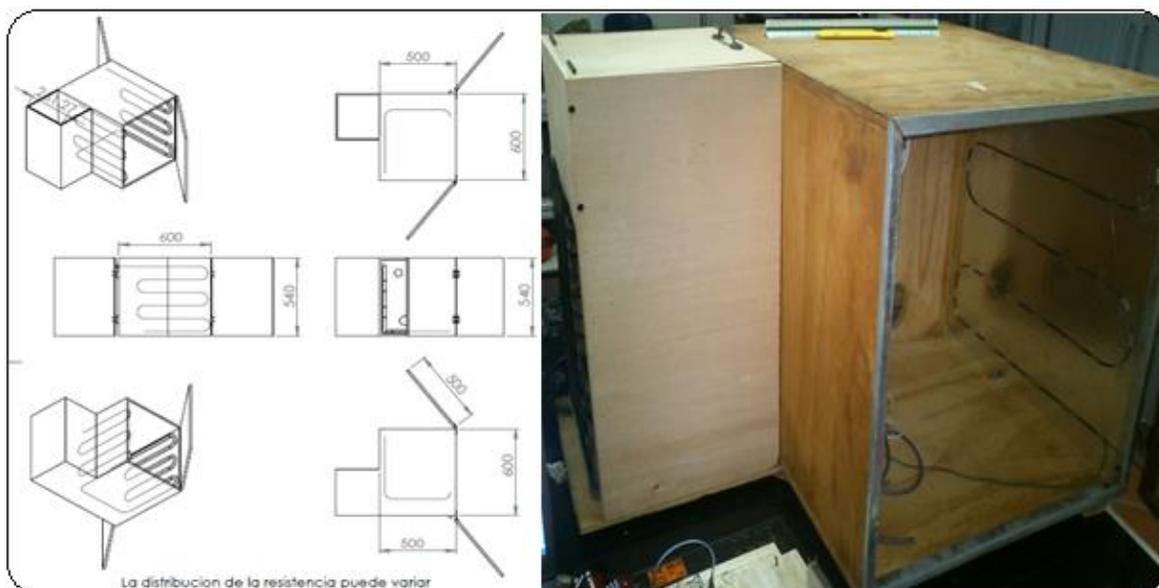
#### **4.6 Instalación y Montaje del Sistema de Calefacción**

El siguiente paso es colocar los sistemas resistivos para infundir el calor por todo el recinto las resistencias se caracterizan porque el conductor de calentamiento va arrollando en espiral alrededor de un conductor paralelo aislado del cable, con lo que realiza contactos alternativos en unos puntos determinados; el cable va formando una serie de resistencias en paralelo alimentadas por el conductor. Ello permite cortarlo y adaptarlo a cualquier tipo de necesidad. Esto para distribuir bien las fuentes de calor y así garantizar uniformidad en todo el recinto.

Las resistencias que se usaron para calentar tienen las siguientes características técnicas

Potencia: 30 y 40 W/m. La potencia por metro se mantiene constante independientemente de la longitud utilizada.

Tensión: 110 V



**Figura 70. Diseño preliminar e implementación del sistema de calefacción**

Para la colocación y el manejo de los huevos se fabricó una canastilla para que no se vayan a voltear y tengan una base firme; la canastilla puede contener hasta 40 huevos a la vez, donde se ubica un sustrato imitando su ambiente natural de incubación (véase la figura 70).

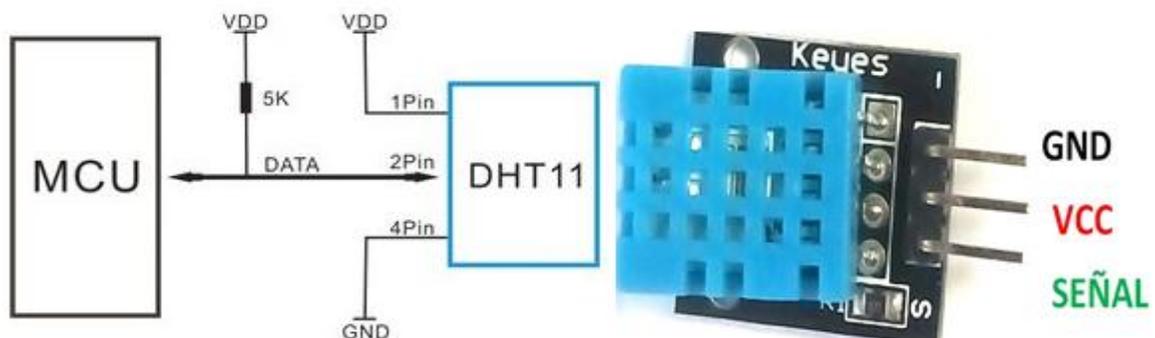


**Figura 71. Canastilla**

## 4.7 Circuitería

**4.7.1 Sensores de temperatura y humedad.** La medición y el muestreo de la temperatura, dentro de la incubadora, es tomada por los sensores de temperatura

Dentro de la incubadora se instalaron sistemáticamente cuatro de estos sensores, para tomar datos y transmitirlos a la tarjeta desarrollada que se utilizó en este prototipo. Se colocaron dispersos en puntos estratégicos de la incubadora.

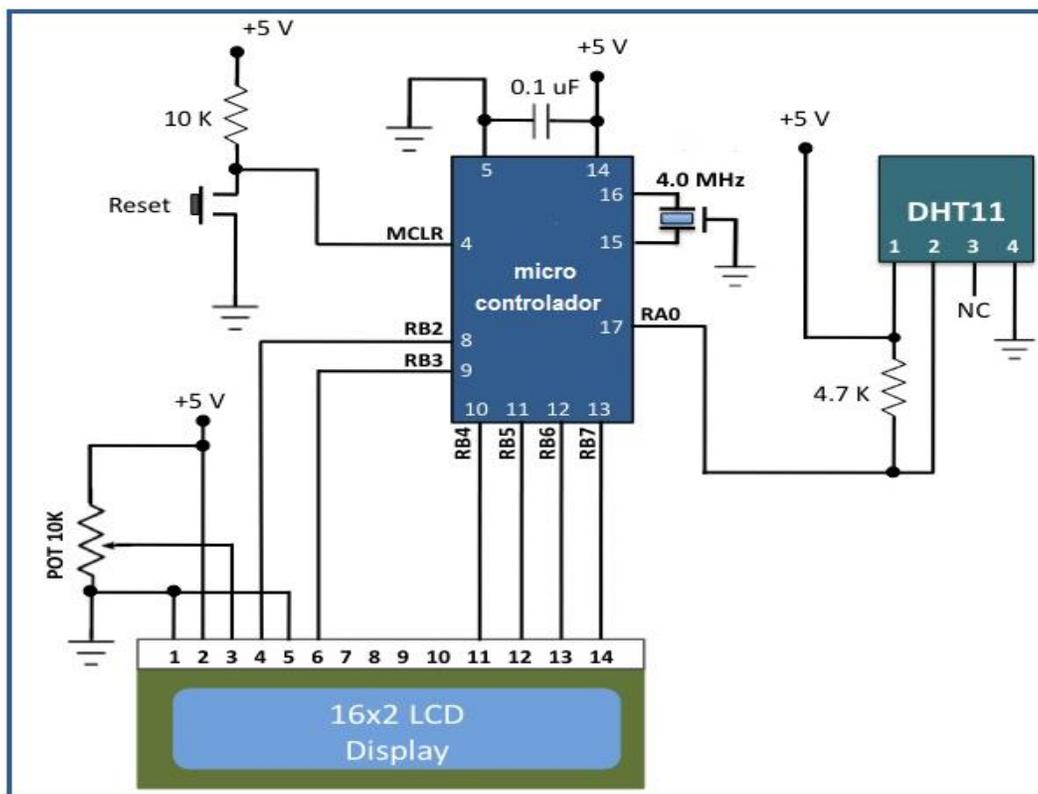


**Figura 72. Configuración y sensor DHT-11**

El censado de la humedad dentro de la incubadora es obtenido mediante los sensores presentados en la Figura 72. La ubicación de ellos es la misma que los sensores temperatura, ya que cumplen con las dos funciones, de los cuales se observan

sus características en las hojas de datos que se encuentran el Anexo F. Los datos del sensor de humedad están dada por HR (Humedad Relativa) y su unidad de medida es en porcentaje (ejemplo: 100% HR, 85% HR, etc.), los sensores manejan un voltaje de 5Vdc.

El sensor es muy simple de usar, pero requiere una cuidadosa sincronización para la adquisición de los datos debido a su protocolo de comunicación Wire line; esto podría ocasionar que sólo se puede obtener nuevos datos cada 2 segundos. La Figura 73 ilustra una representación gráfica de cómo se acoplaría el sensor al circuito.



**Figura 73. Esquemas circuito del sensor de humedad y temperatura**

**4.7.2 Generador de voltaje DC.** El funcionamiento de las tarjetas electrónicas de la incubadora requieren voltajes de 5 y 12 volts, estos serán suministrados por una por una

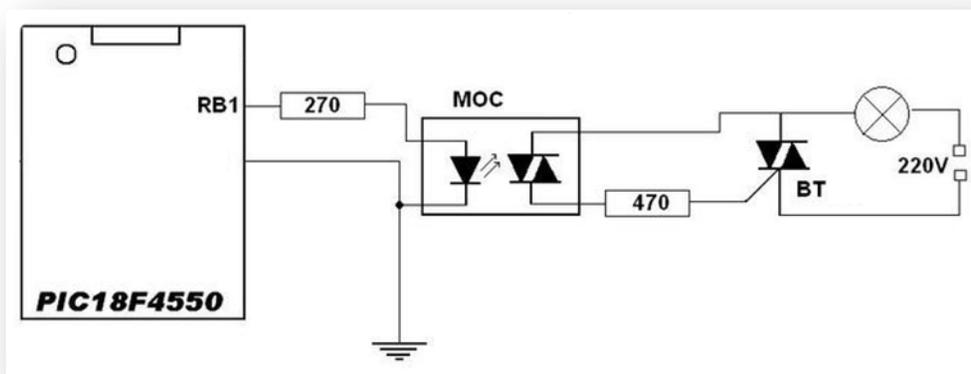
fuelle poder, de la cual se aprovechó sus salidas y la capacidad de corriente de las mismas para alimentar todo el sistema.



**Figura 74. Fuente de Poder**

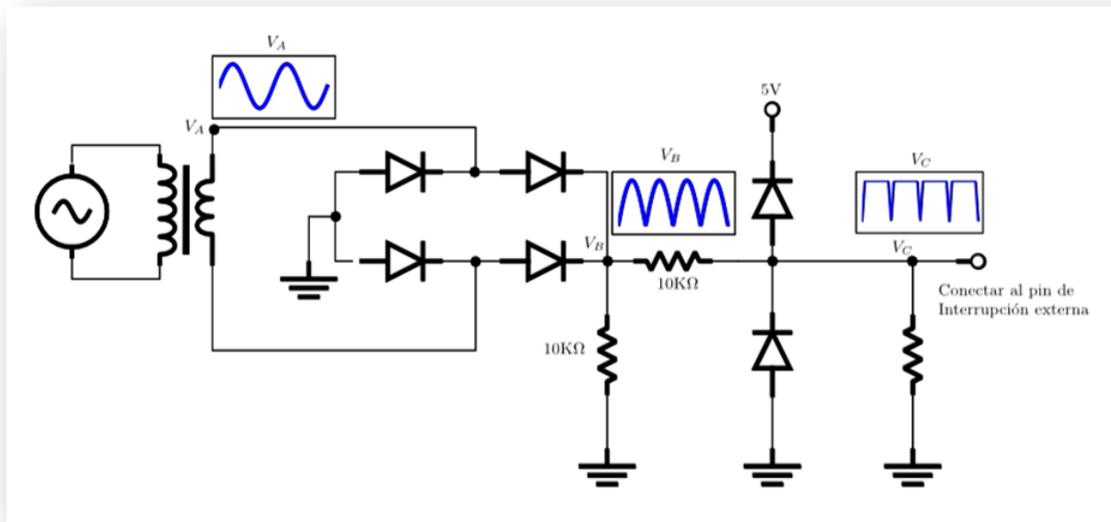
Fuente: Didacticas Electronicas, 2016.

**4.7.3 Etapa de potencia.** La etapa de potencia está basada en el manual de control, sólo que con algunas modificaciones, aquí se hace uso del MOC como elemento separador y acoplador de la señal de mando con la corriente AC, la cual al recibir el opto transistor la orden permite su paso a través del Triac de potencia el cual permite el encendido y manejo sobre los sistemas de enfriamiento, calefacción y humidificación de la incubadora.



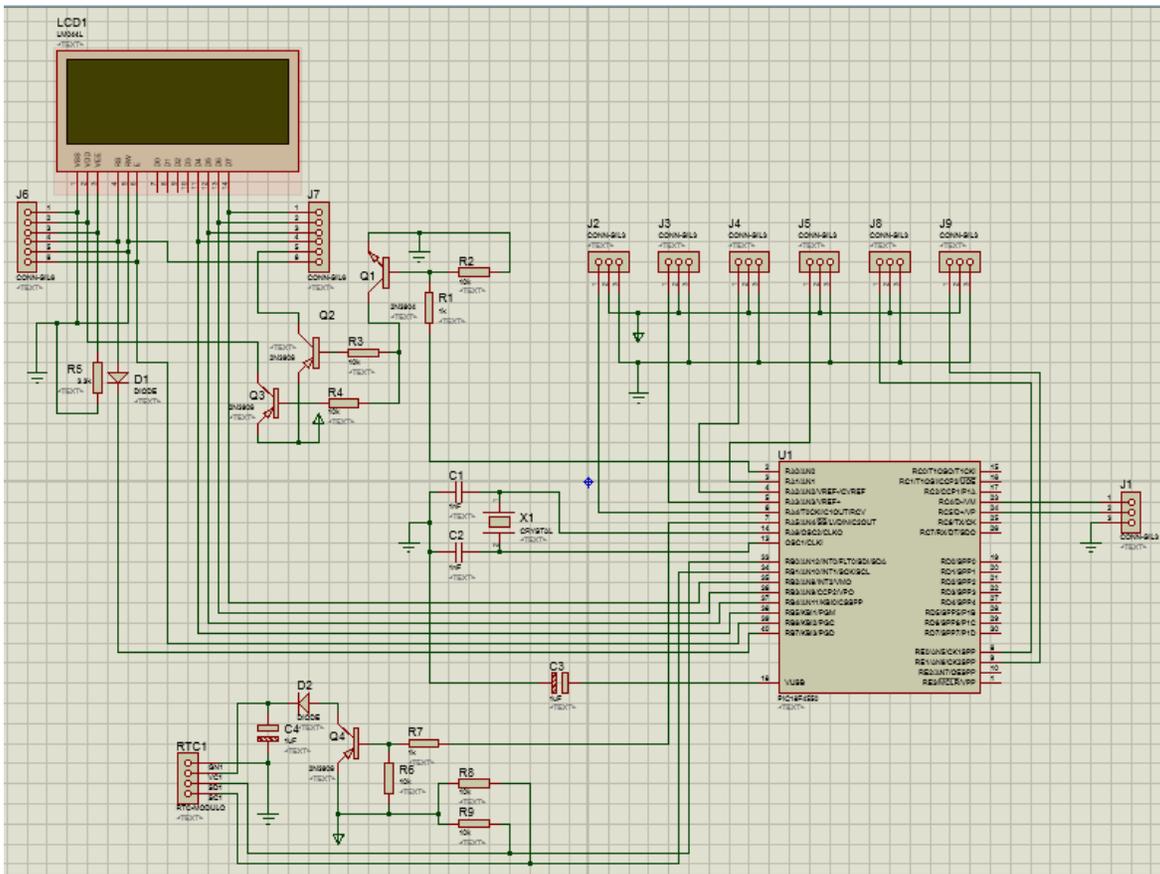
**Figura 75. Circuitos etapa de potencia**

Se diseñó además como parte de la etapa de potencia un circuito detector de cruce por cero el cual fue necesario para sincronizar y acoplar la señal AC con el disparo de la interrupción del microcontrolador, para controlar la potencia de los dispositivos que requieren de esta alimentación para su funcionamiento.



**Figura 76. Sistema de acoplamiento de cruce por cero.**

**4.7.4 Etapa de adquisición de datos y control.** El sistema de Adquisición de Datos implementado, se basó en uso de microcontroladores y sensores, junto con elementos de control, potencia y actuadores, que permiten la manipulación de cada uno de los sistemas que intervienen en el proceso de incubación, en otras palabras; es un equipo electrónico cuya función es registrar una o varias variables de un proceso cualquiera e interactuar con los controladores que se encuentran en el pc y la tarjeta de potencia esta a su vez con los elementos actuadores, es por ello que para nuestra implementación se desarrolló la misma por costos y facilidad de funcionamiento.

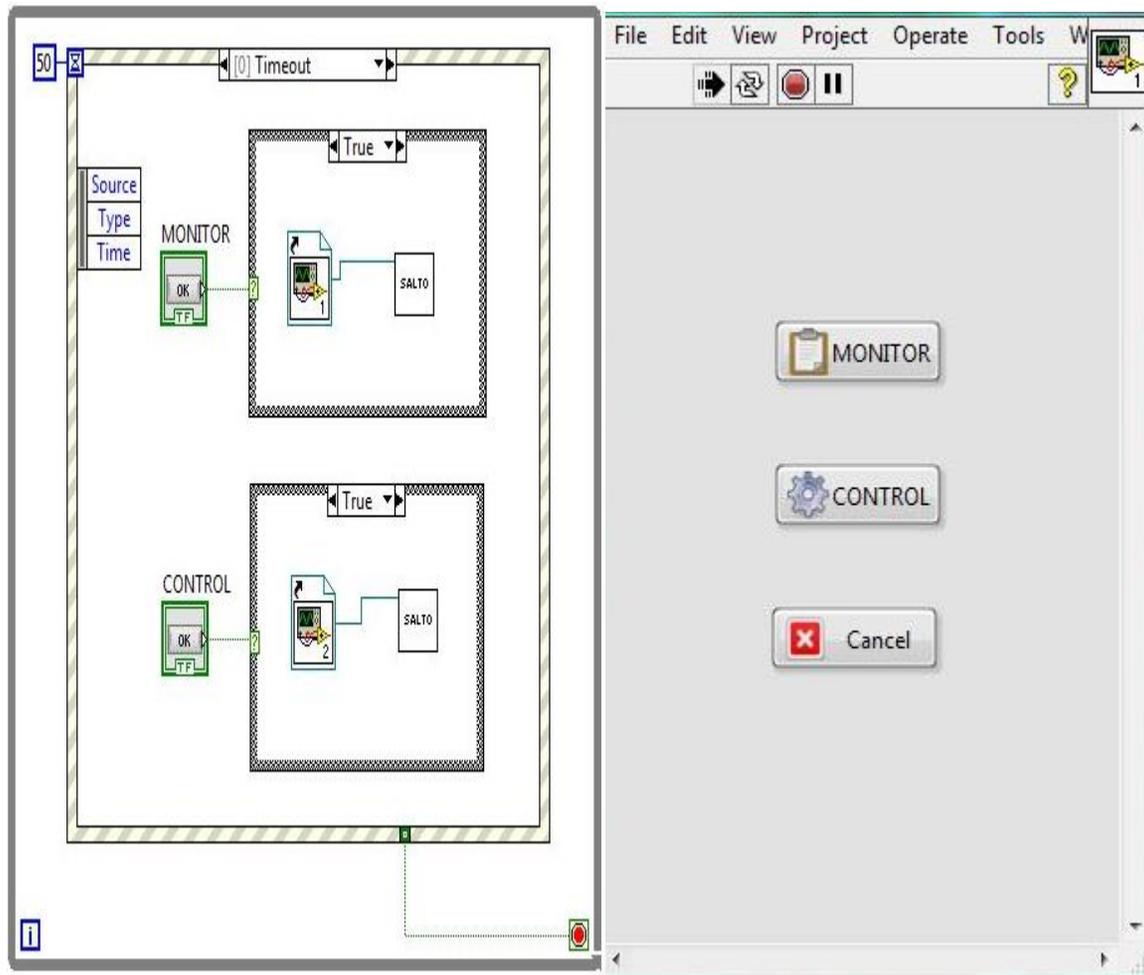


**Figura 77. Circuito electrónico etapa de control**

Luego de esto se lleva a cabo la sincronización de la máquina, esto compete a la instalación y adecuación de los sensores de humedad y temperatura, para hallar el respectivo set Point.

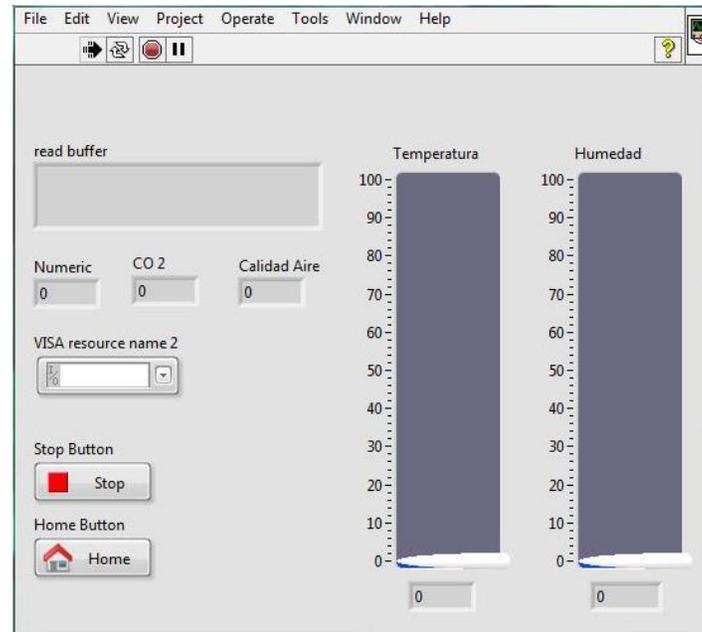
### 4.8 Programación en Labview

**4.8.1 Diagrama de bienvenida.** Aquí se observa un entorno grafico que nos permite tomar la decisión sobre qué acto se desea empezar a trabajar, monitores o control, este se lleva a cabo internamente cuando se acciona uno de los dos botones de selección y estos son verdaderos, en este momento se ejecuta la subrutina salto y llama al sub programa seleccionado.



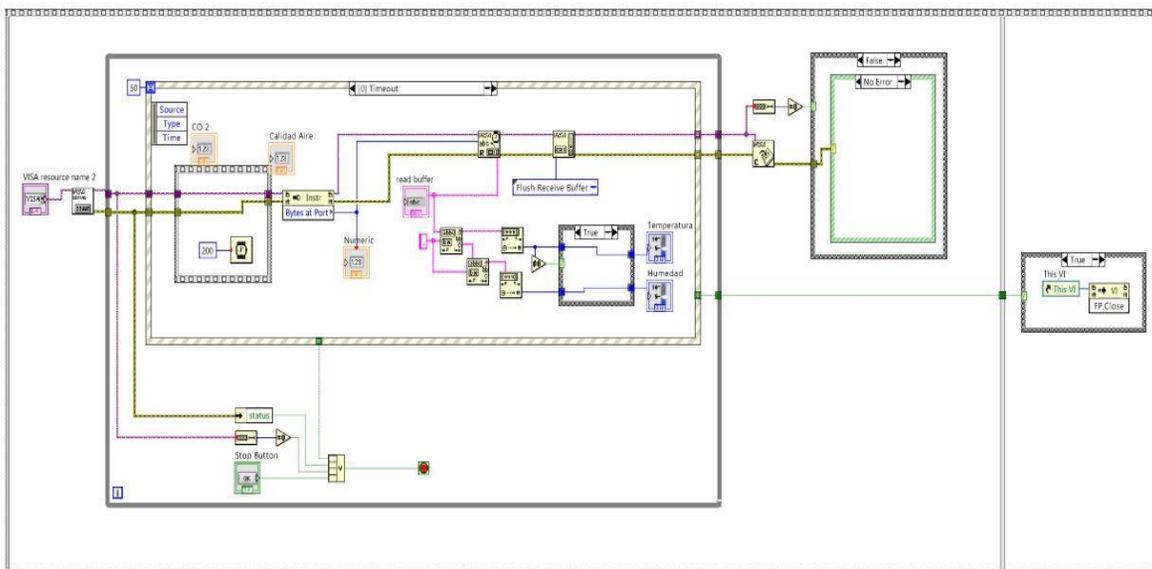
**Figura 78. Menú de funciones y controles**

**4.8.2 Diagrama de bloques de adquisición.** En la programación de bloques de Labview, primero se adquirió la señal de los sensores de temperatura, y humedad mediante la tarjeta de adquisición de datos diseñada previamente, se observó el procedimiento para la obtención de las señales que se usó como entradas, en este caso los tipos de sensores que se utilizan.



**Figura 79. Entorno grafico de datos adquiridos**

Este procedimiento cuenta con un reconocimiento del puerto serial a través del componente visa, el cual genera el enlace con la tarjeta de adquisición de datos para recibir la cadena de caracteres que será decodificada con la información referente a los sensores, en caso contrario nos muestra un mensaje de error o nos permite retomar a la pantalla principal.



## Figura 80. Diagrama en bloques de labview adquisición de datos

**4.8.3 Diagrama de Bloques de control.** Este diagrama nos permite interactuar con los dispositivos integrados en la incubadora, a través de una selección de los puertos COM, lo que lo vincula con la incubadora directamente. Esta tarea se realiza para la calibración de los set-point correspondientes a la humedad y la temperatura, que se encuentran en los rangos reales de operación.

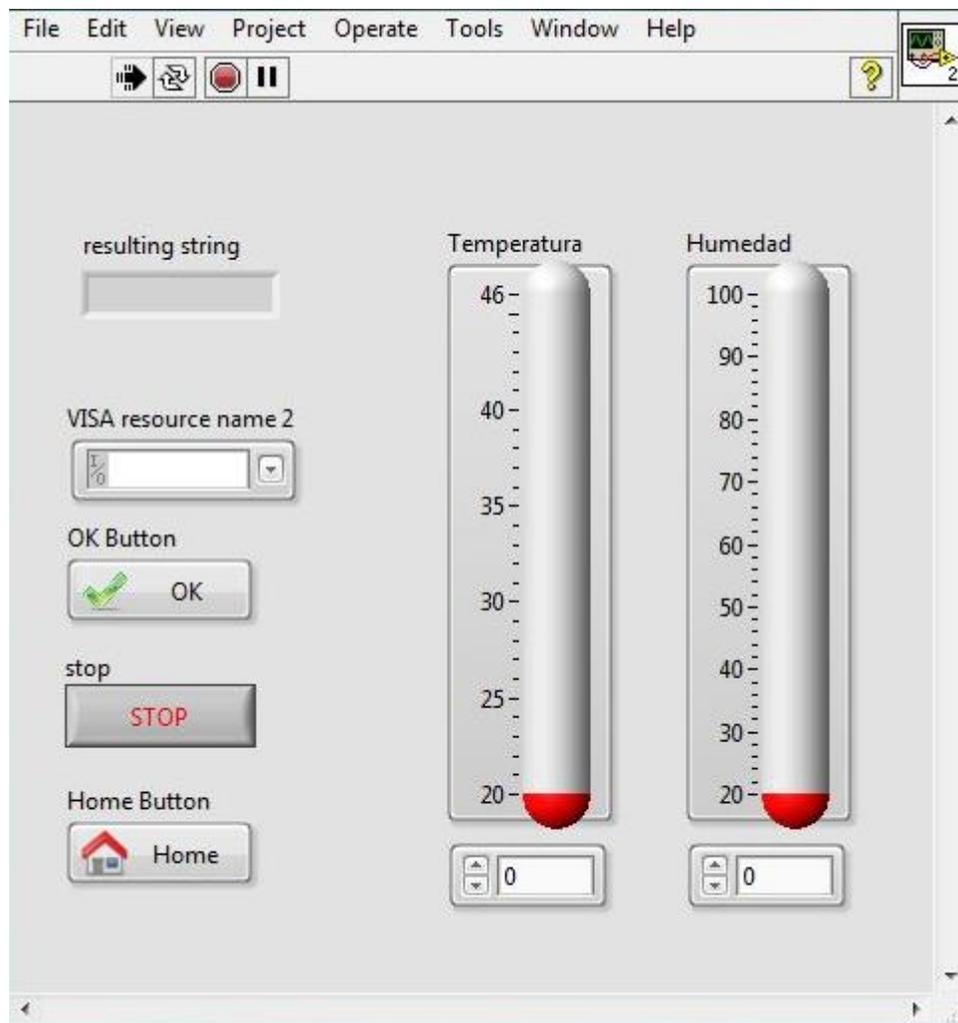


Figura 81. Entorno grafico de control de Temperatura y Humedad

A continuación el diagrama en bloques de labview perteneciente a la etapa de control, donde se observa una descripción de los casos que se pueden dar dentro de la ejecución del programa.



## **5. Pruebas y Resultados**

### **5.1 Temperatura y Humedad**

Para esta primera prueba se hizo uso de la potencia máxima de la resistencia calórica, se adecuo el recipiente de humedad, además de los 2 ventiladores uno de extracción y otro de absorción. Usando un sensor externo de temperatura y un sensor mecánico de humedad (higrómetro). (Incubadora con puertas abiertas)

Haciendo uso del termopar con el que cuenta el multímetro se leyó la temperatura en los estados inicial y final, y con el higrómetro se fue tomando datos del nivel de crecimiento de la humedad relativa dentro de la incubadora.

Se pudo observar en esta prueba que la temperatura dentro del recinto (incubadora), sobrepaso los 350 °C y la humedad relativa comenzó en 20% y fue aumentando gradualmente hasta un 95%.

Al activarse los ventiladores de circulación de aire la temperatura se elevó hasta los 410 °C y la humedad disminuyo un poco esto demuestra que los ventiladores de la parte superior de la incubadora extraen el aire caliente lo que se manifiesta en el sistema de monitoreo una disminución de dióxido de carbono CO<sub>2</sub>.

### **5.2 Control de la Temperatura**

Para esta prueba se utilizaron exactamente los mismos elementos que en el experimento anterior, lo único fue que se realizó haciendo uso de la madera fenólica en condiciones de cerramiento total, (incubadora cerrada totalmente). En este caso se pudo observar que el nivel de temperatura disminuyo de manera no considerable, también se

evidencio que esta no depende del nivel de humedad que se encuentre dentro de la incubadora.

Para ello se implementa el sistema de enfriamiento por gas comprimido, que presento una disminución considerable de la temperatura aun en condiciones externas extremas, resolviendo así el problema de control por causas de exceso de calor dentro de la incubadora.

### **5.3 Control de Humedad**

Esta prueba se realizó haciendo uso del humidificador con lo que se elevó la humedad dentro del recinto o incubadora, pero en ese mismo instante también iba aumentando la temperatura para el caso del control fuzzy, una de las razones por la cual no se implementó.

Para regular este aspecto fue necesario introducir un dispositivo ultrasónico el cual no afecto directamente la temperatura, pero si cumplió su función pues logro llegar a los niveles de humedad deseados.

### **5.4 Alcance de la Humedad**

Al alcanzar la meta de humedad relativa se decidió cambiar los ventiladores del humidificador a un tamaño menor y de la misma manera la adecuación del recipiente que paso de ser un contenedor a ser un dispositivo elaborado y ajustado a la arquitectura interna de la incubadora, esto produjo cambios significativos logrando incluso alcanzar condiciones extremas de humedad hasta de un 150% de HR; lo que favoreció en el alcance del sistema.

**5.4.1 Variables que inciden en el alcance de la humedad.** Llevado a cabo todas las pruebas y colocando el sistema en encendido como si fuera un proceso real se pudo observar, que el higrómetro se encontraba en un 55% de HR, provocado por evaporación natural o producto del calor interno, condición para tener en cuenta en caso de llevar el prototipo a escala real.

Se encendió el sistema de control de temperatura por un periodo de 30 minutos logrando su estabilización, luego de esto se encendió el humidificador logrando estabilizar la humedad a los niveles requeridos, esto proporciono los parámetros necesarios el en proceso de incubación de los huevos de babilla.

## **5.5 Conclusiones**

Este proyecto se realizó como alternativa para la implementación de sistemas de control en modelos agroindustriales para sistemas de zootecnia.

Se buscó mejorar el proceso de incubación de los huevos de babilla, automatizando y controlando las variables que lo afectan haciendo uso tarjetas prediseñadas de adquisición de datos, Gracias al control difuso usado para hacer el controlador y utilizando las reglas adecuadas para el sistema de incubación, se pudieron ejecutar pruebas y resultados para el prototipo pero estos no fueron los más indicados razón por la cual se replanteo el proceso de control, utilizando toda la instrumentación necesaria junto al software abview y la electrónica que lo acompaña lo que dio paso a un prototipo PID de diseño y elaboración propia, que presento mejor comportamiento y estabilidad a la hora de ser operable.

Las pruebas se realizaron en un modelo a escala de incubadora con el fin de poder simular las condiciones de un ambiente con la humedad y la temperatura adecuada para el desarrollo y eclosión de seres ovíparos. El costo total del sistema incluyendo sensores, circuitería, Computadora, viajes y Fuentes, fue aproximadamente de \$ 3.000.000 pesos (ver Anexo G), sin incluir el costo del programa LabVIEW ni la mano de obra del prototipo, y considerando que al realizar un proyecto de este tipo, siempre se toma en cuenta el factor financiero, en otras palabras el sistema es económico y tiene muy buen desempeño.

No se incluye la tarjeta DAQ porque esta puede ser remplazada y elaborada con microcontroladores o por un sistema plc dado que el prototipo se acopla más a elemento de laboratorio y muestreo que presenten robustez a la hora de llevar a escala real.

Además de ello el sistema nos presenta la posibilidad de monitorear las condiciones de calidad del aire y cantidad de CO<sub>2</sub>, condiciones necesarias para realizar experimentación y pruebas de cambios genéticos e influencias de gases en los procesos de incubación, y su posterior efecto en el crecimiento del animal.

Este proyecto es una buena opción para los zocriaderos debido a que el objetivo principal que se fijó para este trabajo era diseñar e implementar, un sistema de control automático de bajo costo, que logre alcanzar y mantener el nivel óptimo para el manejo de huevos de babilla.

De la tarjeta de adquisición de datos (DAQ), se puede decir que inicialmente se planteó la posibilidad de usar la tarjeta NI USB-6009 pero al momento de accionar el sistema de calor los sensores de temperatura como los de humedad arrojaron datos

extremadamente elevados la primera vez alcanzaban los 1.254 °C y de la misma forma bajaba a los -200 °C, y la HR determino hasta 150%. Se pudo determinar que existía un problema al momento de adquirir los datos y por tal motivo se iniciaron las pruebas con la otra tarjeta antes mencionada, la cual cumplió las expectativas del sistema y por lo tanto fue documentada en la investigación, de esta se puede afirmar que es un poco costosa pero su funcionalidad se puede extender para uso de más variables a controlar y al ser aplicada en escala real se justificaría su costo.

Los sensores de temperatura, aunque son sensores económicos y comunes, presentaron un buen desempeño ya que el rango de medición de estos se acopló fácilmente a las necesidades del sistema; en esta prueba se utilizaron los sistemas resistivos de calor de la incubadora y determinar cuál es la temperatura máxima que puede alcanzar.

En síntesis se puede decir que el sistema completo justifica su precio por la gran funcionalidad que presentó y lo justificaría aún más en zocriaderos, pues proporcionaría beneficios a los productores y mejoraría su calidad de vida, de esta manera se solucionaría el problema de los huevos, que de manera tradicional se pierden por el inadecuado manejo que se le da durante proceso de recolección de incubación.

### Bibliografía

- Blake, D. & Loveridge, J. The role of commercial crocodile farming in crocodile conservation. *Biol. Conserv.* 8: 261-272.
- Chabreck, H. (1971). Management of the American alligator. En: *Crocodiles. Proc. 1st Work. Meet. Crocodile Spec, IUCN, Int. New York : Union Conserv.*
- Chabreck, H. (1978). Collection of American alligator eggs for artificial incubation. *Wildl. Soc. Bull.*, 6: 253-256.
- Joanen, T. (1969). Nesting ecology of alligators in Louisiana. *Proc. Ann. Conf. Southeastern Assoc. Game and Fish Comm.*, 23:141-151.
- Joanen, T. & Mcnease, L. (1977). Artificial incubation of alligator eggs and post hatching culture in controlled environmental chambers. *Proc. 8th. Ann. Meeting World Mariculture Society*, 8: 483-489.
- Joanen, T. & Mcnease, L. (1979). Culture of the American alligator. *Intl. Zoo Yearbook*, 19: 61-66.
- Joanen T. & Mcnease, L. Incubación de huevos de lagarto. En: *Crocodylian farming: information from the scientific literature*. The Crocodile Specialist Group, IUCN–The World Conservation Union, Gland, Switzerland.
- Larriera, A. (1991). Cría en granjas: una alternativa de manejo para los caimanes argentinos. *Revista Argentina de Producción Animal*. 11(4): 479 - 484.

- Larriera, A. & Imhof, H. (2004). Caiman yacare and Caiman latirostris Ranching Programs in Argentina. En: In: Crocodiles. Proceedings of the 17th Working Meeting of the Crocodile Specialist Group, UICN - The World Conservation Union, Gland, Switzerland.
- Pooley, C. (1971). Crocodile rearing and restocking. In: "Crocodiles", IUCN Publ. New Ser. Suppl., 32: 104-130. 1971.
- Pooley, C. (1973). Conservation and management of crocodiles in Africa. J. South African Wildl. Mgmt Assoc., 3 (2): 101-103.
- Prado, S. & Gómez, O. (2001). Cosecha e Incubación Artificial de Huevos de Caimanlatirostris y C. yacare en el Refugio de Vida Silvestre El Cachapé. En: Manejo de Yacarés Overo (Caimanlatirostris) y Negro (Caimanyacare) en el Refugio de Vida Silvestre El Cachapé. Segunda Campaña 1999 – 2000. Boletín Técnico No 55. Fundación Vida Silvestre Argentina – World Wildlife Fund (UK).
- Ramirez, J. (2001). Avances en tecnología de incubación de huevos de babilla (Caimán crocodilus crocodilus) cosechados en vida silvestre. Bogotá: Universidad Nacional De Colombia.
- Ramirez, J. (1999). Técnicas de recolección y control de calidad de huevos de tortugas y cocodrilos. Bogotá: Universidad Nacional De Colombia.
- Rouslyn Cuba . (2012). Revelando la identidad del verdadero depredador. Recuperado de: <https://rouslyncuba.wordpress.com/2012/07/06/revelando-la-identidad-del-Verdadero-depredador/>

## **Anexos**

**Anexo 1. Programas de cría en cautividad de Crocodylia en Colombia.**

CORPORACION	ESTABLECIMIENT O	ESPECIE		
		Caiman crocodylus fuscus	Caiman crocodyluscrocod ylus	Crocodylusa cutus

1	CAR	LIRICA	X		X
2	CARDIQUE	BUCAINTU	X		
3	CARDIQUE	PIZANO			X
4	CARDIQUE	GARBE	X		X
5	CARDIQUE	ZOOCAR	X		X
6	CARDIQUE	FAUNA EXOTICA	X		
7	CARDIQUE	ZOOFUCOL	X		
8	CARDIQUE	EL PARAISO	X		
9	CARDIQUE	CALATRAVA	X		
10	CARDIQUE	AURIAL	X		
11	CARDIQUE	SAURUS	X		
12	CARDIQUE	CARIBBEAN REPTILES	X		
13	CARDIQUE	FAUNA SILVESTRE	X		X
14	CARDIQUE	CEFA	X		
15	CARDIQUE	REPTILES WORLD	X		
16	CARDIQUE	ZOOCARAVEL	X		
17	CARDIQUE	ZOOFARM	X		X
18	CARSUCRE	CAICSA	X		X
19	CORANTIOQUI A	MYCRA	X		
20	CRA	CROCODYLIA	X		X

CORPORACION	ESTABLECIMIENT O	ESPECIE		
		Caiman crocodylus fuscus	Caiman crocodyluscrocod ylus	Crocodylusa cutus
		COLOMBIANA		
21	CRA	BABILONIA	X	X
22	CRA	FRAMKUTAY	X	
23	CRA	CURE RODGERS	X	
24	CRA	SALAZAR DIAZGRANADOS	X	
25	CRA	LAS TRINITARIAS	X	
26	CRA	OW URIBE	X	
27	CRA	ZOOAGRO	X	
28	CRA	KALAMAR GATOR FARM	X	
29	CRA	AGROZOOOCRIA	X	
30	CRA	REPTICOSTA	X	X
31	CRA	DEL CARIBE COLOMBIANO	X	
32	CRA	SAN FRANCISCO	X	
33	CRA	ZOBEM	X	X
34	CRA	REPTILES DEL CARIBE	X	
35	CRA	BABILANDIA	X	
36	CRA	LOS OLIVOS	X	
37	CORPAMAG	REPTIBOL	X	X
38	CORPAMAG	ZOOSEL	X	
39	CORPOCESAR	AGRICOLA EL PARAISO	X	
40	CORPOMOJAN	HERPETOFAUNA	X	X

CORPORACION	ESTABLECIMIENTO	ESPECIE			
		Caiman crocodylus fuscus	Caiman crocodyluscrocod ylus	Crocodylusa cutus	
	A				
44	CSB	COLOMBIAN CROCO	X		
41	CORPORINOQ UIA	SANTA ANA		X	
42	CORTOLIMA	NELLY SIERRA	X	X	
43	CORTOLIMA	TROPIFAUNA	X	X	
45	CVS	BIOAGRO	X		
46	CVS	SAURIOS	X	X	
47	CVS	LOS CAIMANES	X		
48	CVS	REPTILANDIA	X		
TOTAL PROGRAMAS / ESPECIE			46	1	16
TOTAL PROGRAMAS CRIA EN COLOMBIA			63		

**Anexo 2. Huevos sin embrión tomados de la finca el Paraíso**

**Anexo 3. Tomado de la finca el paraíso. Huevos en canastilla en proceso de  
incubación artesanal**

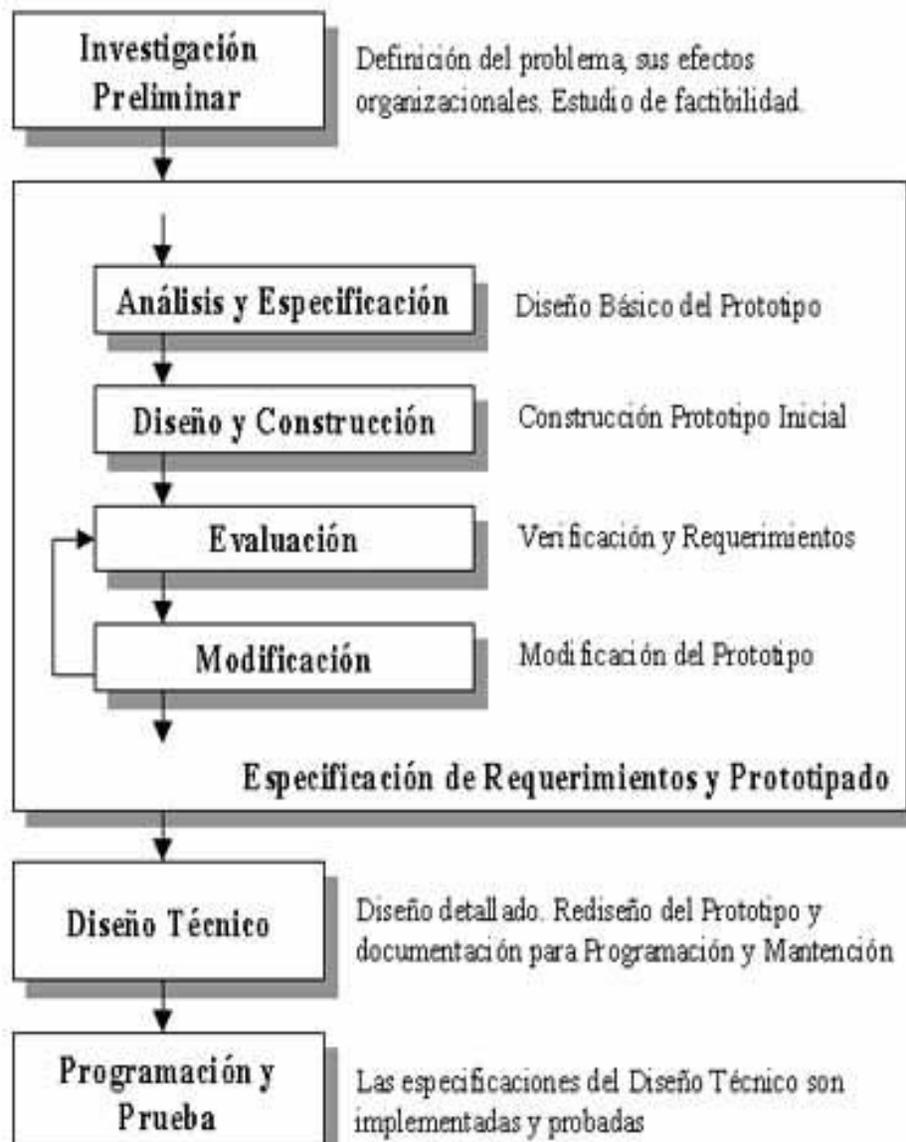


**Anexo 4 Canasta de huevos ubicada dentro de la incubadora artesanal. Foto tomada en la finca el paraíso.**



**Anexo 5. Sistema de ventilación en incubadora artesanal. Finca el paraíso**

## Anexo 6. Método Desarrollo Orientado a prototipos



### Anexo 7. Costos

CANTIDAD	DESCRIPCION	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Software LabView	0.00	0.00*
4	Termocupla	16.000.00	64.000.00
3	Sensor de humedad	50.000.00	150.000.00
	Transporte		500.000.00
80	Impresiones	200.00	16.000.00
300	Fotocopias	100.00	30.000.00
26	Resistencias	200.00	5.200.00
3	Condensadores	300.00	900.00
10	Transistores Tip 35	3.500.00	35.000.00
10	Transistores Tip 31	1.000.00	10.000.00
10	Amplificadores UA741	1.500.00	15.000.00
3	Transistores 2N3904	1.000.00	3.000.00
3	Diodo 1N4007	500.00	1.500.00
3	Rele 5V	2.300.00	6.900.00
33	Terminales	200.00	6.600.00
2	Fuente	0.00	0.00*
4	Ventiladores pequeño 110V	10.000.00	40.000.00
1	Ventilador grande 110V	15.000.00	15.000.00

1	Madera fenolica	150.000.00	150.000.00
1	Madera 7 líneas	25.000.00	25.000.00
2	Ventiladores PC	0.00	0.00*
4	Lámparas	2.000.00	8.000.00
1	Bandeja	15.000.00	15.000.00
1	Tarjeta NI cDAQ-9174	4.000.000.00	4.000.000.00*
1	Modulo NI-9211	2.000.000.00	2.000.000.00*
1	Modulo NI-9232	2.000.000.00	2.000.000.00*
1	Modulo NI-9263	2.000.000.00	2.000.000.00*
1	Computadora	1.000.000.00	1.000.000.00*
20	Disipadores	500.00	10.000.00

\*Los valores identificados con un asterisco son materiales gratuitos o prestados.

## Anexo 8. Glosario

**Neonato:** Un neonato o recién nacido es un bebé que tiene cuatro semanas o menos desde su nacimiento, bien sea por parto o por cesárea.

**Temperatura:** La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de calor o frío. Por lo general, un objeto más "caliente" tendrá una temperatura

**Humedad relativa:** Se denomina humedad ambiental a la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se puede expresar de forma absoluta mediante la humedad absoluta

**Caimán Cocodrilus Fuscus:** Reptil: comúnmente denominado Babilla  
**Incubar:** La incubación es el acto por el que los animales ovíparos (sobre todo las aves) empollan o incuban los huevos sentándose sobre ellos para mantenerlos calientes y así se puedan desarrollar los embriones.

**Eclosión:** Momento en que el embrión se libera de la envoltura del huevo.

**Zoocriadero:** Sitio dedicado al aprovechamiento de especies de fauna en peligro con fines científicos, comerciales, de fomento, reproducción y repoblamiento.

**Zootécnico:** Los zootecnistas son personas con capacidad de observar y analizar holísticamente todos los fenómenos involucrados con la producción animal, genética, forrajes, reproducción, sanidad preventiva, nutrición animal y economía, con vocación y gusto por el campo y las actividades que en él se desarrollan.

**Higrómetro:** Un higrómetro es un instrumento que se usa para medir el grado de humedad del aire, del suelo, de las plantas o humedad, dando una indicación cualitativa de la humedad ambiental.

**Automatizar:** Automatización Industrial (automatización; del griego antiguo auto: guiado por uno mismo) es el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales substituyendo a operadores humanos.

**Data logger:** Dispositivo de almacenamiento de datos que lee a través de sensores de Humedad Relativa Y Temperatura

**Termómetro digital:** Dispositivo que es capaz de medir temperatura electrónicamente, por medio de un sensor eléctrico y mostrarlo en un display.

**Actuador:** Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado.

**Automatización:** Automatización Industrial (automatización; del griego antiguo auto: guiado por uno mismo) es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar maquinarias y/o procesos industriales.

**Control:** conjunto de mandos o botones que regulan el funcionamiento de una máquina, aparato o sistema.

**Diseño:** Se define como el proceso previo de configuración mental, “pre-figuración”, en la búsqueda de una solución en cualquier campo.

**Eclosión:** La eclosión es el momento en que las crías de diversos animales comienzan a librarse de su huevo o capullo una vez que han alcanzado el máximo nivel de su desarrollo y están listos para nacer, como crías.

**Extinción:** En biología y ecología, extinción es la desaparición de todos los miembros de una especie o un grupo de taxones.

**Hardware:** El término hardware se refiere a todas las partes tangibles de un sistema informático; sus componentes son: eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos.<sup>1</sup> Son cables, gabinetes o cajas, periféricos de todo tipo y cualquier otro elemento físico involucrado; contrariamente, el soporte lógico es intangible y es llamado software.

**Higrómetro:** es un instrumento para medir el grado de humedad del aire, u otro gas.

**Humedad:** Se denomina humedad al agua que impregna un cuerpo o al vapor presente en la atmósfera. El agua está presente en todos los cuerpos vivos, ya sean animales o vegetales, y esa presencia es de gran importancia para la vida.

**Incubación:** La incubación es el acto por el que los animales ovíparos (sobre todo las aves) empollan o incuban los huevos sentándose sobre ellos para mantenerlos calientes y así se puedan desarrollar los embriones

**Incubadora:** Se denomina incubadora a aparatos con la función común de crear un ambiente con la humedad y temperatura adecuadas para el crecimiento o reproducción de seres vivos.

**Invernadero:** Un invernadero (o invernáculo) es un lugar cerrado, estático y accesible a pie, que se destina a la producción de cultivos, dotado habitualmente de una cubierta exterior translúcida de vidrio o plástico, que permite el control de la temperatura, la humedad y otros factores ambientales para favorecer el desarrollo de las plantas. En la jardinería antigua española, el invernadero se llamaba estufa fría.

**Ovíparo:** es un animal cuya modalidad de reproducción incluye el depósito de huevo en el medio externo donde completan su desarrollo antes de la eclosión,

**Programación:** La programación es el proceso de diseñar, codificar, depurar y mantener el código fuente de programas computacionales

**Prototipo:** Un prototipo es un ejemplar o primer modelo en que se fabrica una figura u otra cosa

**Sensor:** un sensor es un dispositivo capaz de detecta magnitudes físicas y químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

**Sistema:** Un sistema (del latín *systema*, proveniente del griego σύστημα) es un objeto complejo cuyos componentes se relacionan con al menos algún otro componente; puede ser material o conceptual. Todos los sistemas tienen composición, estructura y entorno, pero sólo los sistemas materiales tienen mecanismo, y sólo algunos sistemas materiales tienen figura (forma).

**Software:** Se conoce como softwareal equipamiento lógico o soporte lógico de un sistema informático, que comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas, en contraposición a los componentes físicos que son llamados hardware.

**Temperatura:** La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de caliente, tibio o frío que puede ser medida con un termómetro. En física, se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica.

**Termostato:** es el componente de un sistema de control simple que abre o cierra un circuito eléctrico en función de la temperatura

**Ventilación:** es el acto de mover o dirigir el movimiento del aire para un determinado propósito.