



**Modelo de negocio: galpón con condiciones ambientales autónomamente controladas e integración de Internet de las cosas (IoT) para el monitoreo remoto en plataforma web**

**Jorge Andrés Muñoz Acosta**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Bogotá, Colombia  
2021



# **Modelo de negocio: galpón con condiciones ambientales autónomamente controladas e integración de Internet de las cosas (IoT) para el monitoreo remoto en plataforma web**

**Jorge Andrés Muñoz Acosta**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Electrónico**

Director (a):

PhD. Sergio Andres Diaz Salas

Codirector (a):

Directora Alejandra Cajavilca

Línea de Investigación:

Electrónica digital e Internet de las Cosas (IoT)

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Colombia

2021



## *Dedicatoria*

*Dedico este trabajo de grado a Dios por sus infinitas bendiciones.*

*A mi madre Marina Acosta quien, con su amor, apoyo incondicional, esfuerzo y dedicación logré culminar mi formación profesional.*

*A mis familiares por su respaldo y compañía en este proceso.*

*A mi prometida Brygitte Vega quien estuvo conmigo en cada paso y en los momentos difíciles.*

*Gracias.*



# Agradecimientos

A mi alma mater por formarme como profesional y siempre llevaré con orgullo su nombre a todos lados.

A los docentes e ingenieros de la universidad por las enseñanzas brindadas durante mi formación profesional.

A mis compañeros Hamilton Mosquera y Pedro González por su colaboración y acompañamiento en las diferentes etapas de mi formación.

Agradecimiento especial a los ingenieros Leonardo Torres Londoño y Mario Enrique Duarte por sus enseñanzas durante mi formación profesional y su atenta colaboración en el desarrollo del presente trabajo.

Al ingeniero Sergio Andres Diaz Salas por su tiempo e instrucción para la culminación exitosa del proyecto.

A Yhon Harold Fuentes por ser quien motivara el surgimiento de la idea del trabajo, el tiempo y espacio brindados durante el desarrollo del proyecto.





## Resumen

El uso de los métodos tradicionales para monitoreo y control de la calefacción, ventilación, iluminación, humedad relativa y concentración de amoníaco en los espacios dedicados a la cría y levante de las aves de engorde, son unas de las mayores limitantes para la ejecución de las actividades relacionadas con la avicultura en varias regiones, afectando negativamente el desarrollo económico de los pequeños avicultores del país.

Actualmente los sistemas para el control y monitoreo en la ejecución de las actividades de cría y levante de pollo de engorde son implementados en galpones con alta densidad de aves y áreas considerablemente extensas, además de equipos y adecuaciones que resultan costosos para su implementación.

Este proyecto presenta el diseño de un modelo de negocio basado en la metodología Design Thinking que incluye la construcción del prototipo de un galpón a escala 1:10 en metros, con condiciones ambientales controladas y la posibilidad de monitoreo remoto de las condiciones ambientales, que permitan a futuro el desarrollo óptimo de las actividades avícolas, incorporando además tecnologías basadas en Internet de las cosas (IoT).

**Palabras clave:** Aves de engorde, calefacción, ventilación, iluminación, humedad relativa, concentración de amoníaco, control, modelo de negocio, monitoreo, IoT.

## Abstract

The use of traditional methods for monitoring and control of heating, ventilation, lighting, relative humidity and ammonia concentration in the spaces dedicated to the rearing and raising of broilers, are some of the major limitations for the execution of the activities related to poultry farming in various regions, negatively affecting the economic development of small poultry farmers in the country.

Currently the systems for the control and monitoring in the execution of the activities of rearing and raising of broilers are implemented in sheds with high density of birds and considerably large areas, in addition to equipment and adaptations that are expensive for their implementation.

This project aims to design a business model based on the Design Thinking methodology that includes the construction of a prototype of a shed at 1:10 scale in meters, with controlled environmental conditions and the possibility of remote monitoring of environmental conditions, that allow the future optimal development of poultry activities, also incorporating technologies based on the Internet of Things (IoT).

**Keywords:** Broilers, heating, ventilation, lighting, relative humidity, ammonia concentration, control, business model, monitoring, IoT.

<b>Resumen .....</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de ilustraciones.....</b>	<b>XIII</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>15</b>

## Contenido

<b>1. Introducción .....</b>	<b>17</b>
<b>2. Planteamiento del problema.....</b>	<b>20</b>
2.1 Justificación.....	21
2.2 Problemática .....	21
2.3 Objetivos .....	23
2.3.1 Objetivo general.....	23
2.4 Alcance .....	23
<b>3. Marco Teórico.....</b>	<b>25</b>
3.1 Design Thinking .....	25
3.1.1 Empatizar .....	26
3.1.2 Definir .....	27
3.1.3 Idear .....	27
3.1.4 Prototipar .....	28
3.1.5 Testear .....	28
3.2 Agricultura .....	29
3.3 Avicultura.....	32
3.4 Internet de las Cosas (IoT) .....	36
3.5 Sistemas embebidos .....	38
3.6 Modelo de negocio Canvas .....	40
3.7 Estado del arte .....	41
<b>4. Planteamiento de la solución .....</b>	<b>43</b>
4.1 Elaboración de un modelo de negocio con las actividades planteadas en el modelo Design Thinking .....	43
4.1.1 Fase 1: Empatizar.....	43
4.1.2 Fase 2: Definir .....	44
4.1.3 Fase 3: Idear .....	45
4.1.4 Fase 4: Prototipar .....	58
4.1.5 Fase 5: Testear/Probar .....	84
<b>5. Resultados y análisis .....</b>	<b>92</b>
5.1 Resultados y análisis temperatura.....	92
5.2 Resultados y análisis de la toma de muestras de la humedad relativa .....	98
5.3 Resultados y análisis toma de muestras de la concentración de amoníaco.....	100
5.4 Resultados y análisis control de iluminación y envío de datos.....	101
<b>6. Extrapolación de resultados y escalabilidad a tamaño real .....</b>	<b>105</b>
6.1 Extrapolación de sensores y actuadores para manejo de temperatura .....	105
6.2 Extrapolación para el sistema de ventilación .....	107
6.3 Extrapolación del sistema de iluminación.....	108
6.4 Extrapolación de los sensores de humedad relativa y amoníaco .....	109

---

6.5	Extrapolación del microcontrolador y envío de datos.....	110
6.6	Extrapolación de sistemas electrónicos.....	111
<b>7.</b>	<b>Modelo de negocio .....</b>	<b>112</b>
7.1	Segmentación de los clientes .....	112
7.2	Propuesta de valor .....	113
7.3	Canales .....	113
7.4	Relación con los clientes .....	114
7.5	Fuentes de ingresos.....	114
7.6	Recursos Clave.....	115
7.7	Actividades clave.....	115
7.8	Socios Clave .....	115
7.9	Estructura de costes.....	116
<b>8.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>122</b>
8.1	Trabajos futuros .....	122
A.	Anexo: Nombrar el anexo A de acuerdo con su contenido	125
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>129</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1:</b> Ciclo metodología Design Thinking .....	26
<b>Figura 2:</b> Vista general del prototipo a implementar, sus medidas parten de la escala real, para la construcción del prototipo se tomará una escala 1:10 .....	54
<b>Figura 3:</b> Vista frontal de la estructura del galpón con las dimensiones tanto de la estructura principal como de la puerta .....	55
<b>Figura 4:</b> Vista posterior de la estructura del galpón con las dimensiones tanto de la ...	56
<b>Figura 5:</b> Vista superior del piso del galpón con la ubicación de los sensores de .....	57
<b>Figura 6:</b> Vista superior de la estructura del galpón con la ubicación de la calefacción,	58
<b>Figura 7:</b> Prototipo completamente terminado, instrumentado y funcional. ....	59
<b>Figura 8:</b> Cajas negras de entradas y salidas del sistema .....	66
<b>Figura 9:</b> Estructura principal del prototipo a escala 1:10.....	67
<b>Figura 10:</b> Esquemático de los sistemas incorporados en el prototipo para generar las condiciones .....	68
<b>Figura 11:</b> Esquemático de las conexiones para los módulos sensores de temperatura	69
<b>Figura 12:</b> Revisión de la lectura de los sensores de temperatura.....	70
<b>Figura 13:</b> Esquemático de las conexiones para el módulo sensor.....	71
<b>Figura 14:</b> Revisión de la lectura del sensor de humedad relativa. ....	71
<b>Figura 15:</b> Esquemático de las conexiones para el módulo reloj DS3231 .....	72
<b>Figura 16:</b> Hora obtenida del sistema. ....	72
<b>Figura 17:</b> Esquemático de las conexiones para los módulos de.....	73
<b>Figura 18:</b> Lectura de las entradas analógicas de los sensores analógicos, los valores	73
<b>Figura 19:</b> Esquemático de las conexiones para los botones de selección de la etapa de crecimiento y .....	74
<b>Figura 20:</b> Construcción e instrumentación del prototipo. ....	74
<b>Figura 21:</b> Esquemático de la conexión de los actuadores AC y DC para la generación y .....	75
<b>Figura 22:</b> Imagen de las interconexiones de los actuadores del sistema.....	76
<b>Figura 23:</b> Diagrama de flujo del funcionamiento de la calefacción.....	77
<b>Figura 24:</b> Diagrama de flujo de humedad relativa. ....	78
<b>Figura 25:</b> Diagrama de flujo etapas de la iluminación.....	79
<b>Figura 26:</b> Diagrama de flujo envío de datos condiciones.....	80

---

<b>Figura 27:</b> Máquina de estados del funcionamiento del sistema para la generación de las .....	81
<b>Figura 28:</b> Prototipo en precalentamiento para la toma de muestras, sistema.....	85
<b>Figura 29:</b> Pruebas de concentración de humedad relativa.....	86
<b>Figura 30:</b> Mezcla de productos químicos con amónico .....	87
<b>Figura 31:</b> Mezcla química con amoniaco para la toma de muestras .....	87
<b>Figura 32:</b> Ilustración de la conexión exitosa con el servidor.....	88
<b>Figura 33:</b> Fallo estructural del prototipo debido al bloqueo del.....	89
<b>Figura 34:</b> Comportamiento completo del sistema y procesamiento grafico .....	89
<b>Figura 35:</b> Modelo de control sistemas ambientales.....	90
<b>Figura 36:</b> Comportamiento esperado temperatura E0-E1 .....	91
<b>Figura 37:</b> Toma de muestras de temperatura de la etapa 1 .....	93
<b>Figura 38:</b> Toma de muestras de temperatura de la etapa 2 .....	94
<b>Figura 39:</b> Toma de muestras de temperatura de la etapa 3 .....	95
<b>Figura 40:</b> Toma de muestras de temperatura de la etapa 4 .....	95
<b>Figura 41:</b> Comportamiento de temperatura y transiciones de las etapas .....	96
<b>Figura 42:</b> Error Cuadrático Medio temperatura 4 etapas .....	97
<b>Figura 43:</b> Tiempos de establecimiento entre las cuatro etapas.....	97
<b>Figura 44:</b> Control de las condiciones ideales de concentración de .....	99
<b>Figura 45:</b> Medición y control de las condiciones de amoniaco. ....	100
<b>Figura 46:</b> Proceso de encendido y apagado de iluminación en etapa 1 en 48 horas. .	102
<b>Figura 47:</b> Proceso de encendido y apagado de iluminación en etapa 2 y 3 en 48 horas. .....	102
<b>Figura 48:</b> Proceso de encendido y apagado de iluminación en etapa 4 en 48 horas. .	103

# Lista de tablas

<b>Tabla 1:</b> Definición del cliente y sus necesidades. ....	44
<b>Tabla 2:</b> Rúbrica evaluación de los criterios. ....	47
<b>Tabla 3:</b> Puntuación de las posibles soluciones para el manejo de la temperatura del galpón .....	49
<b>Tabla 4:</b> Calificación de las ideas relacionadas con la implementación de la ventilación del galpón. ....	50
<b>Tabla 5:</b> Calificación de las ideas relacionadas con la implementación de la iluminación del galpón. ....	51
<b>Tabla 6:</b> Calificación de las ideas relacionadas con la implementación del sistema para el envío de datos del galpón .....	52
<b>Tabla 7:</b> Rangos de operación de temperatura, amoniaco y humedad relativa para la operación de las condiciones ambientales del galpón. ....	60
<b>Tabla 8:</b> Caracterización de distintos sensores de temperatura que se adecuan para la instrumentación del prototipo.....	62
<b>Tabla 9:</b> Caracterización de distintos sensores de amoniaco que se adecuan para la instrumentación del prototipo.....	62
<b>Tabla 10:</b> Caracterización de distintos tipos de iluminación que se adecuan para la instrumentación del prototipo.....	63
<b>Tabla 11:</b> Caracterización de distintos tipos de ventiladores que se adecuan para la instrumentación del galpón.....	64
<b>Tabla 12:</b> Caracterización de distintos tipos de microcontroladores que se adecuan para la .....	64
<b>Tabla 13:</b> Tabla interconexión de los componentes, puertos, tipos de conexión y cantidades de sensores del prototipo. ....	69
<b>Tabla 14:</b> Estados y transiciones de la máquina de estados para el funcionamiento .....	82
<b>Tabla 15:</b> Rangos de temperatura para cada etapa. ....	93
<b>Tabla 16:</b> Condiciones ambientales ideales frente a resultados prototipo .....	104
<b>Tabla 17:</b> Calefactores tipo lámparas o radiadores infrarrojos aplicables a la implementación de tamaño real.....	106
<b>Tabla 18:</b> Ventiladores aplicables al prototipo a escala real. ....	107
<b>Tabla 19:</b> Información extrapolación de la iluminación del galpón.....	108

<b>Tabla 20:</b> Sensores de humedad relativa I <sup>2</sup> C opcionales para implementación en el galpón .....	109
<b>Tabla 21:</b> Sensores de amoniaco I2C opcionales para implementación en el galpón...	110
<b>Tabla 22:</b> Modelo de negocio formato Canvas.....	112
<b>Tabla 23:</b> Costos de la construcción de la estructura de un galpón de 70m <sup>2</sup> .....	116
<b>Tabla 24:</b> Costos de la instalación de un sistema ambiental para 70m <sup>2</sup> .....	117
<b>Tabla 25:</b> Ingresos adicionales percibidos por la empresa.....	118
<b>Tabla 26:</b> Costos fijos de operación.....	119
<b>Tabla 27:</b> Ganancias adicionales por ejecución de obras .....	119
<b>Tabla 28:</b> Costos de entradas y salidas .....	119



# 1. Introducción

La avicultura en Colombia desempeña un factor importante para el desarrollo económico y social del país, representando así el 3.3% neto de PIB para el año 2019; la cría de pollo de engorde es uno de los procesos contemplados dentro de las actividades avícolas que durante el periodo comprendido entre el año 2000 a 2018 ha tenido un crecimiento de 5.8% [2], donde se evidencia el impacto económico positivo y la importancia de generar condiciones apropiadas para el adecuado desarrollo de las actividades relacionadas con la cría y levante de aves de corral.

Por lo anterior, la cría de pollo de engorde en menor proporción necesariamente debe reunir las condiciones ambientales apropiadas para el adecuado desarrollo de las aves y así poder competir con los grandes criaderos, no tanto con la cantidad, pero sí con la calidad de éstas, lo que conlleva a su vez a una mejor comercialización y al desarrollo económico de los pequeños campesinos, ya que esta carne posee cualidades nutricionales importantes [2].

En Choachí, también conocido como "Nuestro Monte Luna", municipio ubicado detrás de los cerros de Monserrate y Guadalupe, en la provincia oriente del departamento de Cundinamarca cerca de la ciudad de Bogotá [24], algunos avicultores, manifiestan tener dificultades para el control y monitoreo adecuado de las aves de engorde, lo que ha llevado al cierre total de este tipo de actividad, retrasando el desarrollo de la región, además del estancamiento económico de los pequeños avicultores.

Otro de los factores que afectan directamente la implementación de un sistema de ambiente controlado y monitoreado remotamente, radica en su elevado costo y la gran densidad de población de aves en donde son implementados. Por estos motivos, se plantea la idea principal de este proyecto, que pretende elaborar un modelo de negocio que reúna las condiciones necesarias para el desarrollo de las actividades de cría de pollo de engorde, dirigido específicamente a espacios con capacidad no mayor a 700 aves, analizando su futura implementación, una vez revisados los resultados obtenidos durante su diseño y ejecución y se haya verificado la aplicabilidad en un espacio adecuado.

Para la realización del proyecto, se tendrá en cuenta un área de 70 metros cuadrados que es el espacio para albergar dicha cantidad de aves, y se realizara un prototipo a escala de 1:10, el cual generará condiciones micro ambientales, que incluye el control de temperatura, ventilación, iluminación y sensores para el monitoreo de concentración de amoniaco, para el correcto desarrollo y crecimiento de las aves con base en información disponible en manuales especializados sobre cría y levante de pollo de engorde [2] [24] [32].

Respecto a la iluminación se implementará un sistema de control que permitirá activar o desactivar de forma gradual la luz del galpón de acuerdo con la etapa de desarrollo en la que se encuentra el ave [1][24], teniendo en cuenta que los cambios bruscos de la iluminación acarrearían problemas en el desarrollo del pollo [1]. En este aspecto, para el prototipo se implementaría tecnología led con una temperatura de color de la luz que se asemeje a la luz cálida del sol que además de mejorar el consumo eléctrico del recinto, no interfiera con la temperatura ambiental del lugar.

Estos aspectos micro ambientales son de suma importancia para el desarrollo del pollo de engorde, puesto que, para garantizar el correcto desempeño del crecimiento del ave, es necesario mantener siempre espacios libres de incomodidad o algún tipo de afección para garantizar así un ambiente donde se pueda dar su crecimiento adecuado [22].

Durante el proceso, tan pronto eclosiona el pollito, requiere condiciones de temperatura, ventilación e iluminación especiales con el fin de estimular la ingesta de alimento y agua, además de su adecuación y reconocimiento del lugar.

Superada esta etapa inicial, se deben cambiar las condiciones lumínicas, reduciendo el tiempo de encendido y oscuridad, además de la temperatura ambiental dependiendo de la edad y el comportamiento de las aves.

Para la etapa final del proceso, nuevamente las condiciones deben variar con el fin de adaptar al ave para la terminación del desarrollo y engorde, estimulando una mayor ingesta de alimento, además de su alistamiento para su retiro del galpón, dando fin al proceso.

Dentro de la etapa de desarrollo, al ser una idea de emprendimiento, se seguirá la metodología “Design Thinking”, que se define como una herramienta para resolver problemáticas partiendo de diversas soluciones [30], donde en primer lugar se debe empatizar con el cliente, además de delimitar puntualmente los inconvenientes en cuestión, todo esto, para determinar el problema y para el posterior desarrollo de las demás metodologías a implementar tanto del manejo de emprendimiento como de los conceptos ingenieriles.

Al conceptualizar todos los aspectos de la idea de emprendimiento, se realizará la revisión de las tecnologías disponibles y adecuadas para la construcción del prototipo del galpón a escala, con el fin de determinar los componentes y materiales que mejor se adapten al desarrollo del mismo, que sean versátiles y de fácil acceso para la implementación del control de temperatura, ventilación, iluminación y concentración de amoníaco, además de la transferencia de datos desde el sistema para el monitoreo de las condiciones ambientales del galpón.

## 2. Planteamiento del problema

Con base en una encuesta realizada y con información recibida de parte de los pequeños avicultores de la zona rural del municipio de Choachí Cundinamarca, se determinó que actualmente la utilización de los métodos tradicionales para el monitoreo y el control de la calefacción, ventilación, iluminación, concentración de humedad relativa y amoniaco en los espacios de cría y levante de pollo de engorde, son altamente ineficientes puesto que no cuentan con un control ni una regularidad que permitan el desarrollo y crecimiento adecuado de las aves.

En Colombia la mayoría de esas mejoras tecnológicas son implementadas por grandes empresas que disponen de un potencial económico alto además de disponer de espacios grandes donde se facilita la adecuación e implementación de sistemas industriales robustos diseñados para tal fin.

En el caso de los pequeños avicultores, los operarios son quienes realizan manualmente las diferentes actividades de la cría de aves, dando como resultado la ejecución inefectiva de los procedimientos de ventilación, iluminación, control de temperatura y concentración de amoniaco, incurriendo en fluctuaciones que afectan negativamente el desarrollo de las aves.

La falta de control estricto de estas actividades, durante el periodo de crecimiento, disminuyen la calidad de las condiciones ambientales en el galpón, las cuales dependiendo de la etapa de desarrollo en la que se encuentra el ave puede tener mayor o menor incidencia en su desarrollo [22] [24] [26] [36].

Este deterioro en el proceso de crecimiento de las aves implica además un impacto negativo en el desempeño económico de los avicultores, afectando las utilidades de forma importante, ya que, comparado con plantas de producción a gran escala, donde se tienen implementados los equipos de control, se evidencia mejores resultados en el desarrollo de las actividades de cría y levante de las aves por encima de los galpones operados manualmente.

Por lo tanto, es necesario la formulación de alternativas de fácil acceso para el sector avícola de pequeñas proporciones, implementando un modelo de negocio basado en un galpón tecnológicamente desarrollado, con el fin de cumplir las especificaciones adecuadas de temperatura, iluminación, ventilación y concentración de amoníaco, para la cría y levante de pollo de engorde además de la verificación de las condiciones ambientales mediante acceso web [1] [21][22].

## **2.1 Justificación**

El desarrollo de este proyecto de emprendimiento proporcionará alternativas para la cría y levante de pollo de engorde, donde su implementación está destinada a un volumen reducido de aves, impulsando de esta manera el crecimiento económico en las regiones donde la avicultura es trabajada a menor escala, pudiendo significar un proyecto de alto impacto en un futuro, al verificar exitosamente las condiciones y el control automático del ambiente.

La idea del proyecto surge a raíz de información recibida por parte de pequeños avicultores del municipio de Choachí-Cundinamarca, quienes con base en experiencias propias han observado que la ejecución de las actividades avícolas de forma manual acarrea inconvenientes para su correcto desempeño, dando paso a pérdidas económicas debido al fallecimiento de las aves por falta de las condiciones ambientales adecuadas.

Por lo anterior, los pequeños avicultores de la región están interesados en impulsar la cría y levante de pollo de engorde, en instalaciones con una cantidad menor de aves, cumpliendo con los requerimientos necesarios para la ejecución de este tipo de actividades, esto con el fin de reducir los inconvenientes que puedan incurrir en pérdidas económicas para los avicultores a menor escala del municipio de Choachí.

## **2.2 Problemática**

Teniendo en cuenta la metodología proporcionada por el modelo de creación de negocio Design Thinking, además de la información recibida por parte de los avicultores a menor escala de la zona rural del municipio de Choachí Cundinamarca, donde según indican los

avicultores la tecnificación para el levante de aves de corral en proporciones pequeñas, comprendidas en áreas no mayores a 70 metros cuadrados y con capacidad de hasta 500 aves es considerada como nula.

Actualmente, la utilización de los métodos tradicionales para el monitoreo y el control de la calefacción, ventilación, iluminación y concentración de amoníaco en los espacios de cría y levante de pollo de engorde, son altamente ineficientes puesto que no cuentan con un control ni una regularidad que permitan el desarrollo y crecimiento homogéneo y adecuado de las aves.

En Colombia la mayoría de esas mejoras tecnológicas son implementadas por grandes empresas que disponen de un potencial económico alto además de disponer de grandes extensiones terrenales donde se facilita la adecuación e implementación de sistemas industriales robustos diseñados para tal fin.

En el caso de los avicultores a pequeña escala, los operarios son quienes realizan manualmente las diferentes actividades de la cría y levante de aves, dando como resultado la ejecución inefectiva de los procedimientos de ventilación, iluminación, control de temperatura y concentración de amoníaco y humedad relativa, incurriendo en fluctuaciones que afectan negativamente el desarrollo de las aves.

La falta de control estricto de estas actividades, disminuyen la calidad de las condiciones ambientales en el galpón, las cuales dependiendo de la etapa de desarrollo en la que se encuentra el ave puede tener mayor o menor incidencia en su correcto crecimiento [22] [24] [26] [36].

Este deterioro en el proceso de crecimiento de las aves implica además un impacto negativo en el desempeño económico de los avicultores, afectando las utilidades de forma importante, ya que, comparado con plantas de producción a gran escala, donde se tienen implementados los equipos de control, se obtienen mejores resultados en el desarrollo de las actividades de cría y levante de las aves por encima de los galpones operados manualmente. Por lo tanto, es necesario la formulación de alternativas de fácil acceso para el sector avícola a pequeña escala, implementando un modelo de negocio basado en un galpón tecnológicamente desarrollado, con el fin de cumplir las especificaciones

adecuadas de temperatura, iluminación, ventilación y concentración de amoníaco, para la cría y levante de pollo de engorde además de la verificación de las condiciones ambientales mediante acceso web [1] [21] [22].

## **2.3 Objetivos**

### **2.3.1 Objetivo general**

Proyectar un modelo de negocio que permita el desarrollo de la avicultura en espacios pequeños, diseñando un prototipo de galpón con condiciones ambientales autónomamente controladas y monitoreo remoto.

### **2.3.2 Objetivos específicos**

- Elaborar un modelo de negocio con la orientación de la dirección de emprendimiento, ejecutando las actividades planteadas en la metodología de Design Thinking.
- Instrumentar con sensores y actuadores la estructura del prototipo del galpón en su escala reducida de acuerdo con los requerimientos necesarios para la cría y levante de pollos de engorde.
- Desarrollar un sistema de control híbrido tipo on/off para generar las condiciones ambientales del galpón, que favorezcan la cría y levante de pollo de engorde.
- Desarrollar un sistema de comunicación para el monitoreo de las condiciones ambientales del galpón de forma remota basado en Internet de las Cosas (IoT).
- Verificar la extrapolación de los resultados obtenidos en el prototipo para su implementación futura a escala real.

## **2.4 Alcance**

Se implementará un prototipo experimental a escala de 1:10 partiendo de un área total de 70 metros cuadrados, donde se estudiará su comportamiento y funcionamiento incluyendo la tecnología IoT para futura implementación a tamaño real.

### Limitaciones

Al tratarse de un prototipo a escala, durante su fase de experimentación y toma de resultados se usarán componentes (sensores y actuadores), de acuerdo con el tamaño del prototipo, teniendo en cuenta sus características para una implementación en tamaño real, además, se hará el análisis de su extrapolación para el aumento de escala a su tamaño real, lo cual se ira abordando durante la etapa de desarrollo y selección de componentes.

Como consecuencia de la falta de información sobre algunos aspectos, como por ejemplo costos a grandes escalas o falta de estudios pertinentes en algún tema específico en la región donde se toma el surgimiento de la idea, estos serán abordados según la información suministrada por los avicultores del municipio de Choachí, fundamentados en sus propias experiencias.



## **3. Marco Teórico**

### **3.1 Design Thinking**

Design Thinking es una estrategia de trabajo aplicable a cualquier proyecto, problema o empresa que se basa en procesos de innovación sistemáticos y organizados centrados en los usuarios de servicios y productos, de tal forma que se detecten sus necesidades y se planteen soluciones más asertivas a las dificultades presentadas. La calidad, la competitividad y la cultura forman parte de sus objetivos.

El origen de este término se da en la década de los sesenta, con el diseño industrial, creándose metodologías para diseñar y solucionar problemas; Durante los años setenta y ochenta se involucran al diseño términos como innovación, creatividad y multidisciplinariedad. Durante esta época se destacan Herbert A. Simon, Robert Papanek y Horst Rittel quienes afirman que diseñar debe estar dirigido al entorno y a las necesidades de los usuarios.

Tal y como conocemos hoy en día el término Design Thinking fue planteado a finales de la década los ochenta por David Kelley, quien lideró la creación del D. School al Stanford University.

La consultora IDEO se crea en el año 1991 y revolucionó el mundo del diseño y convirtió esta estrategia en la más utilizada para generar innovación, fue conceptualizada y masificada por Tim Brown, quien explicó con detalle este nuevo concepto en un artículo publicado por Harvard Business Review en el 2008.

La principal característica de Design Thinking es la innovación enfocada en la satisfacción del cliente mediante la creación y evaluación de prototipos diseñados para resolver sus inquietudes y necesidades.

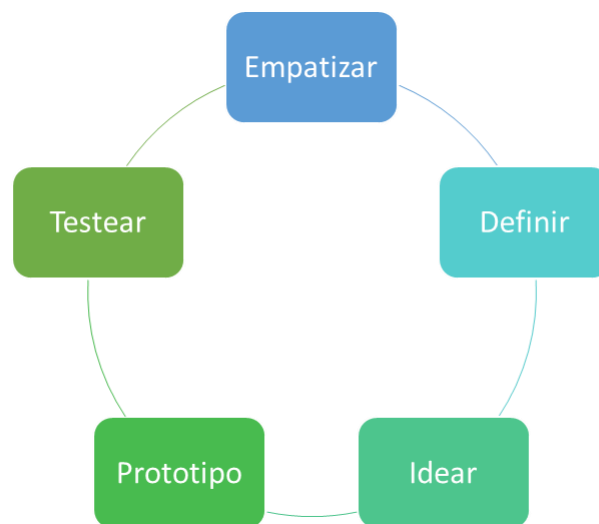
Las empresas que emplean Design Thinking, son innovadoras que no se conforman con utilizar los métodos ya establecidos para resolver los problemas, sino que son empresas que de forma rápida y eficaz los detectan, buscan alternativas para solucionarlos y trabajan

en equipo inculcando en sus empleados creatividad e innovación mediante la observación, indagación e interacción con los usuarios para así conocer sus gustos y necesidades lo que conlleva a desarrollar mejores productos y servicios y a reestructurar procesos internos empresariales cuando sea necesario.

Las compañías como Apple, IBM, Ford, Starbucks, Google, Amazon, Zara, Nestlé, Procter & Gamble que son consideradas como grandes empresas han aplicado Design Thinking como estrategia de trabajo y afirman que los beneficios recibidos son muy altos porque se mejora la cultura en el trabajo, los funcionarios siempre están motivados, se encuentran diferentes soluciones para un problema, se logran procesos de innovación eficientes, se disminuyen costos, aumentan las ventas y se mejora la relación con los usuarios finales.

Para que este método de trabajo funcione debe cumplir con 5 etapas que son: empatizar, definir, idear, prototipo y testeo.

En la **Figura 1** se observa el ciclo de la metodología de Design Thinking.



**Figura 1:** Ciclo metodología Design Thinking

### 3.1.1 Empatizar

En Design Thinking es la fase más importante, porque es la que nos permite identificar los usuarios a quienes van dirigidos nuestras actividades y esfuerzos.

En esta etapa se conoce al usuario final, observando qué hacen y por qué lo hace, cómo interactúan con su entorno, cómo piensan y cuáles son sus necesidades físicas y emocionales.

No solo observando al cliente se desarrolla la empatía, se debe involucrar con ellos y una buena técnica es a través de la conversación, porque podemos indagar no solo cuestiones relacionadas con el servicio, sino también sobre su vida diaria.

Existen varias herramientas para llevar a cabo la empatía y entre estas tenemos encuestas, entrevistas personales, sesiones de observación y seguimiento, focus group y shadowing.

### **3.1.2 Definir**

Al conocer las necesidades reales de los clientes con base en la información obtenida en la etapa de empatizar delimitamos el problema y una vez hecho esto definimos el foco de acción para encontrar soluciones.

En esta etapa es conveniente tener presente el siguiente enunciado:

***El (usuario) desea/necesita (deseo/necesidad) porque (insight)***

Para el desarrollo de esta etapa existen herramientas, tales como definición de personas (perfil de usuarios), mapas mentales, infografía y diagramas de causa y efecto (Ishikawa).

### **3.1.3 Idear**

Es la etapa de la creatividad, generando ideas para solucionar los problemas de los clientes.

Es importante generar múltiples soluciones para después agruparlas por similitudes y con el grupo de trabajo definir cuál es la solución más apropiada para el problema.

Para esta etapa, es útil utilizar técnicas como el diagrama de afinidad, el world café, la lluvia de ideas y el método SCAMPER.

### **3.1.4 Prototipar**

Una vez definidas se procede a la etapa de prototipo, que consiste en pasar de la teoría a la práctica, es decir, pensar con las manos.

Para esto se construirá un modelo tangible bien sea digital o físico que nos permita visualizar las soluciones propuestas, analizarlas, comprobar su validación y tomar decisiones.

Existen diferentes tipos de prototipos, entre los cuales tenemos maquetas, dibujos e imágenes, representaciones tridimensionales, representaciones teatrales, videos guiones gráficos o storyboard y juegos de roles.

### **3.1.5 Testear**

Una vez que se ha elaborado el prototipo se pasa a la etapa de validación, la cual consiste en probar, mejorar, cambiar o desechar las ideas que se han propuesto para solucionar problemas.

En este punto, se vuelve nuevamente a tener contacto con el usuario, se les enseña el prototipo que se ha diseñado para obtener información veraz y precisa y saber si se está realmente solucionando sus necesidades.

Es fundamental estar abiertos a las sugerencias que hace el usuario, se debe tomar nota y si es necesario regresar a las etapas anteriores para corregir errores y para mejorar la propuesta y así convertirla en la solución que se busca.

Las técnicas utilizadas para evaluar el prototipo pueden ser la prueba cuantitativa, prueba de usuario, apuntes de prueba y evaluación del valor.

Como conclusión, se puede afirmar que Design Thinking es un método de trabajo co-creativo, basado en el compromiso, el diálogo y el aprendizaje. Permite ser flexibles y de mente abierta para enfrentar los inconvenientes o problemas desde varios puntos de vista, aplicando no solo una sino varias alternativas para la solución de estos. Genera cambios significativos en las empresas para afrontar retos, fomentando la innovación, la creatividad y actitud proactiva para mejorar sus resultados y aumentar su impacto.

## 3.2 Agricultura

Agricultura, es una palabra que deriva del latín “agri” que significa campo y “cultura” que significa cultivo. Por lo tanto, agricultura, se define como las diversas actividades económicas y técnicas realizadas por el hombre para el tratamiento de la tierra, con el fin de producir alimentos ya sean frutas, verduras, cereales y hortalizas, entre otros.

Es una actividad del sector primario, es considerada como la principal fuente alimenticia del hombre y es clave para la riqueza y el desarrollo de un país.

Es una labor dirigida a realizar trabajos para el tratamiento del suelo, de recoger las cosechas, de la explotación de los bosques y de la selva (silvicultura) y de la cría de ganado.

La ciencia encargada del estudio de la agricultura es la agronomía, las personas que realizan las labores se denominan agrícolas y las actividades agrícolas son las que comprenden el sector agrícola. Existen diferentes tipos de agricultura los cuales se clasifican de acuerdo con:

- Según el objetivo
  - Agricultura comercial
  - Agricultura de subsistencia
  
- Por la necesidad del agua
  - Cultivo de regadío
  - Cultivo de secano

- Por el rendimiento de producción
  - Agricultura extensiva
  - Agricultura intensiva
  
- De acuerdo con la técnica utilizada
  - Agricultura tradicional
  - Agricultura ecológica
  - Agricultura industrial
  - Agricultura natural

La agricultura surge en la antigüedad durante el periodo neolítico cuando el hombre pasó de ser nómada a la vida sedentaria y tuvo la necesidad de producir su alimento.

La actividad agrícola fue creada por las mujeres embarazadas y con niños pequeños. Ellas eran las encargadas de recoger las raíces, los frutos y los granos. Observaron que cuando caía una semilla, esta germinaba y así es como comienza el proceso de siembra. Luego, organizaron las huertas y obtuvieron conocimiento necesario sobre el cultivo y la recolección de las cosechas. Las primeras siembras se basaron en cereales. Durante esta época comenzó la cría de ganado.

Con el nacimiento de la agricultura, se da origen a las sociedades agrícolas, al desarrollo de las primeras civilizaciones y a la práctica agrícola.

Con el desarrollo de las civilizaciones surgen los imperios y entre estos tenemos al Imperio Romano. Los romanos aportaron grandes avances para la agricultura como el arado, sistemas de regadío más eficientes y el molino.

Durante la Edad Media se dieron desarrollos significativos en la actividad agrícola, se utilizaron herramientas como el molino hidráulico y de viento, la noria, la presa y se emplearon técnicas más avanzadas dando origen a lo que se conoce como “sistemas agrícolas avanzados”.

En la Edad Moderna, periodo comprendido entre el siglo XVIII (revolución industrial) y el siglo XIX, la agricultura tiene grandes reformas, hubo aumento significativo en la

producción por las herramientas y máquinas industriales que comenzaron a utilizarse y hubo reformas en las leyes que la regulaban dando así origen a la propiedad privada de la tierra.

La Edad Contemporánea, se destaca por la revolución verde y por la agricultura ecológica y sostenible. La revolución verde permite que la agricultura mediante el uso de tecnología pueda realizarse en terrenos no apropiados, permitiendo así una mayor extensión de la agricultura. En cuanto a la agricultura ecológica y sostenible, el objetivo es utilizar productos como abonos y fertilizantes que no destruyan el medio ambiente.

- **Agricultura de precisión**

Se entiende como agricultura de precisión la práctica agrícola que emplea diferentes tecnologías para la optimización de los cultivos. Se emplea tecnología como sensores, satélites, imágenes, datos geográficos, internet de las cosas, software especializado, sistemas de posicionamiento global (GPS) y drones.

Con estos instrumentos se almacena información importante para el agricultor que le permiten tomar las mejores decisiones y acciones, monitorizar los cultivos e incrementar su eficiencia, la labor agrícola se hace más rápida, específica y sencilla y ayuda a proteger el medio ambiente.

Entre las ventajas de la agricultura de precisión tenemos el aprovechamiento del suelo agrícola, menos consumo de agua, menor utilización de fertilizantes y abonos, protección del medio ambiente, detección temprana de plagas y enfermedades de los cultivos, el trabajo de campo es más preciso y eficiente, agiliza la gestión y la toma de decisiones, reducción de costos

La agricultura de precisión tiene ventajas, pero también desventajas y entre estas tenemos la falta de capacitación del personal en el manejo de las tecnologías y la alta inversión para la implementación del sistema.

La agricultura de precisión se originó en Estados Unidos en el año 1983 en la Universidad de Purdue, West Lafayette. Se analizó mediante el uso de computadoras la posibilidad de producir extensivamente cultivos de granos.

También países como Canadá y Gran Bretaña fueron los primeros en utilizar la agricultura de precisión. En años posteriores Australia y Alemania comenzaron a utilizar la tecnología para los cultivos, y, en América Argentina y Brasil.

En Colombia, el sector agrícola es muy importante para la economía del país y con el apoyo de estudios llevados a cabo en instituciones y universidades privadas y públicas, la agricultura de precisión desde hace más de 15 años comenzó a implementarse en cultivos el banano, el café, el maíz, el arroz, la caña de azúcar y el plátano.

El territorio colombiano al tener grandes extensiones de terreno aptas para cultivar puede llegar a convertirse en un gran abastecedor de alimento para la humanidad. Pero, para lograr esto es necesario que el sector agrícola siga creciendo, se fortalezca la productividad, se mejore el manejo postcosecha de los productos, se implemente la tecnología y se eduque a las personas que realizan las actividades del campo sobre los beneficios de la agricultura de precisión, para así generar mejores productos y un mayor crecimiento económico para el agricultor y para el país.

Como conclusión, se puede afirmar que emplear tecnología en la agricultura la hace más competitiva, cuida el medio ambiente y aumenta la productividad, y, el agricultor controla el terreno cultivado, planea el tiempo de fumigación preventiva, disminuye costos operativos y organiza eficientemente la labor de los operadores.

Además, como consecuencia del crecimiento de la población la agricultura de precisión se convierte en pilar fundamental para suplir la demanda de productos agrícolas y para ofrecer mejores productos.

### **3.3 Avicultura**

Avicultura, es una palabra derivada del latín “avis” que significa ave, y, de “cultura” cuyo significado es cultivo. Se refiere específicamente a las diferentes actividades que realiza



una persona o un grupo de personas encaminadas a la cría, cuidado y explotación de las aves de corral.

Dentro del grupo de aves tenemos pavos, gallinas, pollos, codornices y patos, pero concretamente el enfoque de este trabajo está en los pollos de engorde.

La carne de pollo por su bajo nivel de grasa, por ser proteína de alta calidad y por ser fuente de vitaminas y minerales, es muy apetecida en el mundo para la alimentación humana.

Como industria, la avicultura se realiza en granjas avícolas y en estas se crían, cuidan y explotan un alto número de aves para comercializar la carne y los huevos.

Las granjas avícolas deben disponer de alojamientos (galpón), los cuales deben estar bien diseñados para que las aves estén protegidas del frío, del calor intenso, de la lluvia y de los depredadores. Asimismo, que ofrezca al pollo el ambiente adecuado para lograr su buen desarrollo y crianza.

Para la construcción del galpón, se debe seleccionar un buen terreno con drenaje y con corriente de aire natural. Además, es necesario tener en cuenta condiciones ambientales como temperatura, ventilación, iluminación y concentración de amoníaco para garantizar un buen nivel de producción.

La avicultura tiene su origen hace unos 8000 años en India y China, cuando comenzaron a domesticar el gallo salvaje *Bankiva* que vivía en la selva. De India cruzaron Mesopotamia para llegar a Grecia y de allí se expandió por toda Europa.

Según evidencia escrita las gallinas eran criadas para fines religiosos como sacrificio para los dioses y para el entretenimiento en las peleas de gallos. Tiempo después el huevo cobró importancia.

A partir del siglo XV, la avicultura pasó a ser parte de intercambio entre América y Europa. Surge la avicultura moderna en el siglo XIX y durante el siglo XX se desarrolla notablemente.

La avicultura en Colombia ha existido desde 1528 cuando los españoles, tiempo después de la llegada de Cristóbal Colón, trajeron gallinas y pollos y se las entregaron a los pueblos nativos para su crianza.

Desde el siglo XVI y hasta el siglo XIX la comunidad indígena desarrollaba actividades agropecuarias como la crianza de pollos y cerdos los cuales utilizaban como alimento y como trueque para la adquisición de otros productos.

Durante el siglo XIX y comienzos del siglo XX el consumo de carne de pollo y huevo era consumido en ocasiones especiales por los pobres y los campesinos.

A comienzos del siglo XX, Colombia con base en estudios realizados en otros países se interesó en el desarrollo de la avicultura. En 1923, se divulgó un manual escrito por el ingeniero Tulio Ospina Vásquez donde se proponía criar a las gallinas en corrales. La Caja Agraria fue creada en 1931 para reactivar el sector económico con granjas avícolas comerciales en la sabana de Bogotá. Desde 1950 cuando la avicultura se comercializó, el consumo de huevo y carne de pollo se popularizó y creció la tecnificación de las granjas. Durante la década de los sesenta, se iniciaron las granjas avícolas de mayor tamaño para así atender la alta demanda de productos avícolas. En la década de los setenta y ochenta se intensificaron los avances de la producción avícola, se crearon instituciones encargadas del área avícola y se fortaleció la tecnificación de las granjas. Desde 1990 y gracias a la apertura económica, se incrementó el desarrollo y se ofreció un alimento de bajo costo y alto valor nutricional.

A partir del año 2000 la industria avícola ha venido creciendo y progresando y el consumo de huevo y carne de pollo se ha consolidado como reemplazante de otros alimentos de origen animal.

- **Avicultura de precisión**

El crecimiento de la población mundial ha incrementado la demanda de alimento y entre estos productos se encuentra la carne de pollo y los huevos, por lo tanto, es necesario ofrecer productos de alta calidad. Para lograr esto, los galpones deben cumplir con las condiciones ambientales apropiadas que garanticen el bienestar de las aves.

En este contexto, es necesario innovar en la avicultura y para esto, aplicando Internet de las cosas se optimizan, se organizan y controlan las actividades que realiza el avicultor y con la información recogida y analizada se toman mejores decisiones, se monitorea el galpón, aumenta la producción y se optimiza el ambiente para el adecuado desarrollo de los pollos.

En Colombia, la innovación tecnológica en las granjas ha permitido mejorar el manejo de los galpones, lo que a su vez lleva a garantizar mejores condiciones ambientales y a mejorar la productividad de las granjas avícolas.

Pero, la implementación tecnológica ha sido para las grandes empresas avícolas permitiendo así que cada día sean más competitivas. No sucede lo mismo con los pequeños avicultores que aún no implementan desarrollo tecnológico en sus actividades.

Para lograr un buen desempeño en sus granjas es necesario y urgente que se les capacite y que conozcan la importancia y las ventajas que ofrece la automatización de sus actividades y así poder competir con las grandes empresas, no con la cantidad, pero sí con la calidad de sus productos.

Para finalizar, se concluye que la avicultura es una actividad agropecuaria dinámica e importante para el desarrollo económico del campo, de una región y de un país, además, es una fuente de provisión de alimentos ricos en proteínas para la humanidad. En cuanto a la avicultura de precisión, el uso de tecnologías en las granjas las transforma en un ecosistema inteligente, incrementa la producción, la eficiencia, la calidad, mejora el bienestar de las aves, se optimiza el uso de los recursos, a tomar decisiones rápidas y específicas y a incrementar el rendimiento financiero.

### **3.4 Internet de las Cosas (IoT)**

Internet de las cosas es una innovación tecnológica que conecta dispositivos, personas, máquinas industriales e internet para el intercambio de datos, por medio de sensores, permitiendo conocer, reunir y analizar datos relevantes en términos operativos y así tomar acciones y hacer recomendaciones cuando sea necesario.

Los dispositivos Web se comunican a través de la nube y están conectados a internet por conexión de datos móviles (3G y 4G), por Bluetooth y por Wi-Fi.

Su principal objetivo es la conexión y la comunicación entre varios dispositivos para aprovechar al máximo sus aplicaciones.

El inicio de Internet de las cosas se remonta al siglo XIX, año 1894, por los trabajos de telemetría realizados en el Mont-Blanc. Allí unos científicos franceses instalaron equipos para medir el ambiente físico, recogiendo datos y enviándolos a Paris para su análisis.

En 1929, con Nicolás Tesla se comienza a hablar de comunicación inalámbrica, pues afirmaba que todo debía estar interconectado.

Alan Turing, considerado como el padre de la computación moderna, en sus escritos del año 1950, hacía énfasis en la futura necesidad de proporcionar inteligencia y capacidad de comunicación a los dispositivos sensores.

Durante los años 60 y 70, se da inicio al Internet, mediante el uso de protocolos de comunicación para uso académico y miliar, destacándose la creación de ARPANET por el Departamento de Defensa de Estados Unidos.

En 1982, el primer dispositivo conectado a ARPANET fue una máquina de Coca-Cola ubicada en la Universidad de Carnegie Mellon, que permitía verificar el estado de funcionamiento de la máquina, el número de bebidas que había en la nevera y si estaban frías.

Durante la década de los años 90 surge Internet tal y como lo conocemos hoy en día y en los Estados Unidos se comenzaron a conectar objetos a la red. Se conectó una tostadora

la cual se podía encender y apagar de forma remota y hubo conexión on line y a la web por primera vez de una cámara.

Berners-Lee con la comunicación entre un cliente Hypertext Transfer Protocol (HTTP) y un servidor de Internet inventó la World Wide Web y un año después creó la primera página Web.

Debido a la popularización de la conexión inalámbrica (Wi-Fi o celular) a partir del año 2000 crece el número de objetos conectados.

En 2009, Kevin Ashton profesor de MIT, introdujo el término Internet de las cosas en un artículo titulado That “internet of things” thing, afirmaba que la sociedad, la supervivencia y la economía no se basaban en información e ideas, sino que se basan en cosas.

Esta herramienta tecnológica tiene ventajas y desventajas.

Entre las ventajas tenemos:

Conexión a la red, Información de forma rápida y en tiempo real, Mejor toma de decisiones, Ahorro energético, Mejor eficiencia, productividad e innovación Comunicación directa con el entorno, Sostenibilidad en los procesos, Rapidez en el análisis de datos y facilidad de seguimiento

Sus desventajas son:

Información no cifrada, Inversión previa en tecnología, Falta de compatibilidad, Brecha tecnológica, Reducción de privacidad

Internet de las cosas tiene aplicación en diferentes áreas, tales como:

Salud para humanos y animales, Domótica, Energía, Gobierno, Operaciones logísticas en monitoreo de mercancía y transporte, Ganadería y agricultura, Manufactura, Mantenimiento.

Una aplicación muy importante de esta tecnología es en el sector avícola permitiéndole al avicultor un mejor rendimiento en sus actividades.

Con el empleo de internet de las cosas en avicultura se optimizan las condiciones de vida de las aves, porque permite monitorear la iluminación, la temperatura, la emisión de amoníaco y la ventilación de los galpones, disminuyendo su mortalidad lo cual conlleva a una mejor y mayor productividad avícola.

También contribuye a que haya menos manejo manual de los galpones, ahorra tiempo en el chequeo de las aves y mantiene al avicultor informado del funcionamiento a través de las notificaciones que recibe.

Como conclusión, se afirma que Internet de las cosas, es un cambio para el mundo, han surgido nuevas tecnologías, conceptos, dispositivos que ofrecen nuevas oportunidades de acceso a datos y servicios.

Para las empresas es estratégico, logran que sean más innovadoras y productivas, facilita la toma de decisiones, mejora los procedimientos y ahorra costos.

### **3.5 Sistemas embebidos**

Se define como sistema embebido los sistemas operativos diseñados para realizar trabajos de control, encargados de realizar funciones específicas. Al realizar una tarea específica, los sistemas embebidos permiten su optimización, reducir costo, tamaño y/o consumo. También se les conoce como sistemas empotrados, incrustados o integrados. Se componen de hardware y software. Son regulados por microcontroladores (microprocesador), sus componentes se encuentran integrados en una placa base (tarjeta video, modem, audio), poseen interfaces de entrada y salida, de memoria pequeña en el mismo chip y de interfaz externa con las funciones de elaborar diagnóstico del sistema y de monitorear el estado.

Los sistemas embebidos son diseñados por el usuario final para realizar una función determinada, pero no pueden posteriormente ser modificados. Los procesos de diseño de

estos sistemas han permitido la creación de productos más rápidos, robustos, pequeños y económicos.

Estos dispositivos se encuentran en muchos de los elementos que se usan a diario, como hornos microondas, automóviles, telefonía celular, ascensores, etc.

Hoy en día, los sistemas embebidos son empleados en diferentes ramas, por ejemplo, en la industria, en la medicina, agricultura, comunicaciones, electrodomésticos, logística, infraestructura y en seguridad.

Las principales características son el bajo costo, eficacia, concurrencia, bajo consumo de energía y tamaño pequeño.

Estos dispositivos comenzaron a utilizarse desde las misiones Apolo hacia la luna y fueron desarrollados por el MIT, con la función de operar el sistema de guía inercial de los módulos de excursión lunar. La producción en masa de estos dispositivos se produjo a partir del misil Minuteman II en 1962. Los sistemas embebidos apoyados en microprocesadores fueron en el año 1970 con el computador central de datos del aire incorporado en el F 14A Tomcat. Con los "system on a chip" en la década de los 80, los sistemas empotrados tomaron fuerza comercialmente. A partir de 1990 comenzaron a utilizarse en diferentes ramas ya que antes solamente eran aplicados para la aviación y en asuntos militares.

### **3.5.1 Sistemas embebidos e internet de las cosas**

En el inicio de los sistemas embebidos eran limitados en la comunicación con otros dispositivos, pero con el desarrollo tecnológico ya es posible la comunicación máquina a máquina mediante el internet y con el usuario. Por la comunicación a través del internet, los dispositivos empotrados ya son parte del internet de las cosas, generando redes sin necesidad de un humano.

Con el uso del internet y con sistemas embebidos es posible llevar a cabo tareas a distancia de mantenimiento y control de dispositivos electrónicos.

### 3.5.2 Avicultura y sistemas embebidos

Hoy en día la tecnología ha contribuido a mejorar tareas realizadas directamente por el hombre, por ejemplo, en la agricultura para regar los cultivos ya se utilizan mecanismos eléctricos.

Y así como se aplica en agricultura, también es posible su aplicación en avicultura, permitiendo de esta manera criar a las aves bajo condiciones ambientales adecuadas para garantizar su adecuado desarrollo para ofrecer productos de alta calidad.

Los sistemas embebidos al ser parte del internet de las cosas, permite a los avicultores desde un teléfono celular verificar el funcionamiento del galpón, lo cual le permite tomar decisiones rápidas y oportunas cuando sea necesario.

### 3.6 Modelo de negocio Canvas

Es una herramienta de gestión estratégica para crear negocios estructurados permitiendo identificar sus aspectos claves. Los clientes, la infraestructura, los proveedores y la solidez económica de un negocio son simplificados y a su vez son divididos y analizados en 9 aspectos, que son: segmento de clientes, propuesta de valor, canales, relaciones con clientes, flujo de ingresos, actividades claves, recursos clave, aliados clave y estructura de coste.

**Segmento de clientes:** Son los usuarios. Se analiza qué piensa, cuáles son sus problemas y necesidades y qué beneficios puede aportarle nuestro producto o servicio.

**Propuesta de valor:** Es fundamental para el éxito empresarial. Es el motivo por el cual el cliente compra el producto o hace uso del servicio ofrecido. Aquí se incluye lo innovador.

**Canales:** Son los medios empleados para dar a conocer y hacer llegar los productos y servicios al cliente (físicos o en línea)

**Relaciones con clientes:** Hace referencia a la forma como se va a relacionar con el cliente (personalizada, soporte técnico, etc.)

**Flujo de ingreso:** Identifica cuáles son las fuentes de ingreso del negocio para que este sea rentable



**Actividades clave:** Son importantes para el cliente ya que son los productos y servicios que ofrece un negocio.

**Recursos clave:** Se refiere a los recursos humanos, técnicos, etc. que el negocio necesita para llevar a cabo su actividad.

**Aliados clave:** Son las alianzas que ayudan a impulsar el negocio

**Estructura de costes:** Corresponde a los costos del negocio (fijos, variables, etc.) y cómo organizarlos para optimizar y reducir.

El objetivo del Modelo Canvas es desarrollar iniciativas empresariales, rápidas, de bajo costo y en el menor tiempo posible para generar productos y servicios que satisfagan las necesidades de los usuarios (clientes) y que además aporten valor.

Esta metodología impulsa la creatividad, es posible realizar cambios, es aplicable a cualquier tipo de empresa (pequeña, mediana o grande), permite análisis estratégico de forma breve, identifica lo esencial, es la base para la lluvia de ideas y brinda una presentación estructurada.

El Modelo Canvas fue desarrollado por Alexander Osterwalder asesor empresarial y por Yves Pigneur docente de sistemas de información.

### 3.7 Estado del arte

Para el desarrollo del presente proyecto se hizo revisión de algunos trabajos locales y de otros países con el fin de analizar los avances propuestos y/o la metodología empleada.

En los trabajos realizados a nivel nacional se ofrecen alternativas para control de la temperatura, mediante sistemas de apertura y cierre de cortinas corredizas con el propósito de permitir el intercambio de aire con el exterior y refrescar el ambiente interno del espacio dedicado a la cría de aves de engorde, además favorece la salida de gases nocivos y humedad en el ambiente de dicho espacio. La medición de la temperatura es ofrecida por sensores dedicados, para que cuando se alcance algún límite establecido se abran o se cierren las persianas [9]. También se evalúa otra propuesta en donde se cuenta con un sistema de ventilación automatizado basado en ingreso forzado de aire con la

incorporación de válvulas de rocío para el manejo de la temperatura [4]. En ambos casos, no se evalúa la opción de control de régimen de iluminación ni manejo independiente de la concentración de amoníaco, que resulta de vital importancia para el desarrollo y crecimiento de las aves.

Al hacer la revisión de artículos científicos en general se ofrecen soluciones independientes para el manejo de las condiciones ambientales en el galpón, donde la temperatura es el principal aspecto tratado. Dentro de esta revisión se destaca los beneficios de mantener las aves con adecuado rango de temperatura favoreciendo el crecimiento mejorado de las aves y por ende el beneficio para el avicultor al poder tener mayores ventas.

Se ofrecen también alternativas referentes al régimen de iluminación de las aves promoviendo su engorde acelerado y favoreciendo su crecimiento, por otro lado, también se analiza la relación que existe entre la temperatura y la humedad relativa que, al superar los límites adecuados, generan condiciones estresantes para las aves llegando incluso a causar la muerte de estas.

Dentro de los artículos revisados se revisa el trabajo realizado con los sistemas para el envío de datos a través de sistemas basados en internet de las cosas, permitiendo la visualización de las condiciones de la temperatura tanto en invernaderos como en galpones de tamaño medio y prototipos en desarrollo [6] [8] [12] [15] [33].

Partiendo de la información del marco teórico y de la revisión de trabajos ya realizados se procede con el desarrollo de la propuesta con el fin de presentar una solución efectiva para el desarrollo adecuado de aves.

## 4. Planteamiento de la solución

En este capítulo se detallan los pasos que combinan el modelo de negocio y conceptos ingenieriles para presentar la propuesta que daría solución al problema presentado, con cada una de sus etapas.

### 4.1 Elaboración de un modelo de negocio con las actividades planteadas en el modelo Design Thinking

Para el desarrollo de esta sección, en primera instancia, se procede con la ejecución de las dos primeras actividades planteadas en el modelo de Design Thinking: empatizar y definir.

Para el desarrollo de las actividades mencionadas, se solicita colaboración del señor Yhon Harold Fuentes Gutiérrez y de otros avicultores de la zona, con una encuesta, quienes son potenciales clientes al mostrar interés en la implementación de un galpón con condiciones ambientales adecuadas en tiempo futuro, previa revisión y análisis de viabilidad de la propuesta a implementar.

Para el desarrollo, se procede a realizar la encuesta, posterior transcripción de las ideas y comentarios o expresando directamente las opiniones entregadas por el interesado.

Las actividades se llevan a cabo teniendo como fundamento la idea de proyecto de galpón con condiciones ambientales autónomamente controladas e integración de Internet de las cosas (IoT) para el monitoreo remoto en plataforma web.

#### 4.1.1 Fase 1: Empatizar

En esta primera fase, se realizó un acercamiento con el cliente con el fin de conocer y entender sus necesidades, la forma como realiza las actividades, los obstáculos que se le presentan y analizar los resultados que se obtienen. En esta etapa, se empleó la metodología shadowing u observación para empatizar con el cliente y observar de cerca el proceso que se lleva a cabo, para estudiar y analizar las posibles soluciones a sus

requerimientos. Refiérase al Anexo A, para detallar los aspectos revisados en este primer momento. Cabe destacar que en esta etapa se manifestó por parte del cliente la necesidad de mejorar las condiciones de producción de las aves reduciendo la mortandad y aumentar el desempeño de esta actividad económica.

### 4.1.2 Fase 2: Definir

En esta segunda etapa de la metodología Design Thinking, se procede con la extracción de la información más relevante suministrada por el usuario con el fin de revisar y formular con más detalle las necesidades del cliente, permitiendo hacer un buen diagnóstico y brindar soluciones adecuadas. Refiérase al Anexo A para conocer en detalle las opiniones recibidas. Se presenta a continuación la **Tabla 1** que muestra los requerimientos del cliente tras el análisis de la información suministrada.

<b>USUARIO</b>	<b>+</b>	<b>NECESIDAD</b>	<b>+</b>	<b>INSIGHT</b>
Yhon Harold Fuentes Gutiérrez Avicultores de la zona	<b>REQUIEREN</b>	Reducir la mortalidad de las aves  Controlar oportunamente la temperatura del galpón  Mantener la temperatura ambiental ideal  Controlar humedad relativa del galpón  Mantener ambiente fresco, al interior del galpón  Establecer y controlar régimen de iluminación  Monitoreo remoto condiciones ambientales	<b>PARA</b>	Galpón con condiciones ambientales de temperatura, ventilación e iluminación adecuadas para las aves  Supervisión remota de las condiciones mediante página web  Ajustar las condiciones ambientales del galpón según la etapa del crecimiento de las aves  Mejorar el rendimiento en la producción de las aves

**Tabla 1:** Definición del cliente y sus necesidades.

Con base en la información obtenida en la **Tabla 1** se procede con la formulación de las preguntas que permiten dar un entendimiento más puntual de los requerimientos del cliente para poder formular las ideas y suplir sus necesidades.

- ¿Cómo se puede controlar y mantener la temperatura del galpón según la etapa de crecimiento en que las aves se encuentran?
- ¿Qué implementar para permitir la ventilación interna del galpón?
- ¿De qué manera es posible monitorear y controlar la humedad relativa dentro del galpón?
- ¿De qué manera se puede iluminar el galpón y controlar las horas de encendido y apagado de la iluminación?
- ¿Cómo implementar la revisión remota de las condiciones ambientales del galpón?

### **4.1.3 Fase 3: Idear**

En esta sección se presenta la propuesta que permite dar solución a los requerimientos que han sido puntualizados según las necesidades del cliente, teniendo en cuenta las posibles mejoras que pueden ser aplicadas al galpón, partiendo de los modelos actualmente implementados en la zona o de forma general y haciendo la revisión tecnológica de las distintas alternativas ofrecidas en el mercado que mejor se ajusten tanto en la construcción del prototipo como a su implementación a una escala mayor.

Partiendo de las necesidades del cliente, surge la idea de un sistema para controlar las condiciones ambientales del galpón con la posibilidad de monitoreo remoto usando tecnologías que integren Internet de las Cosas (IoT), usando la metodología de lluvia de ideas para generar posibles soluciones a los requerimientos y posterior análisis de las soluciones seleccionando las de mayor viabilidad.

Para empezar, se definen los problemas a solucionar, que en este caso se refieren al control de temperatura principalmente y de ventilación e iluminación según las etapas de desarrollo del ave.

Después y para ahondar más en las condiciones ambientales y requerimientos de las aves que garanticen su correcto desarrollo y crecimiento, se consultaran algunos de los manuales sobre engorde de aves disponibles y de este modo poder complementar los requerimientos del cliente y así iniciar la definición y caracterización de las condiciones.

Las tablas presentadas en la sección de idear se presentan haciendo la revisión de las diferentes tecnologías existentes en el mercado para la implementación de cada uno de los propósitos descritos. Para todas las opciones se incluye el uso del microcontrolador para ejercer las acciones de control pertinentes.

La selección de los componentes se rige con las siguientes condiciones:

**Uso:** Hace referencia a la facilidad de uso que tiene la propuesta presentada para lograr el objetivo propuesto. En cuanto a su manejo y requerimientos para su funcionamiento, 5 es de fácil uso y 1 es de uso complejo.

**Implementación:** Se refiere a la dificultad que representa la implementación del sistema para lograr el objetivo propuesto. Donde 5 indica que es de fácil implementación, sin mayores modificaciones en la obra o en la estructura y 1 a implementación compleja requiriendo cambios en la estructura y en la obra.

**Costo Beneficio:** Hace referencia a la relación entre costo pagado por el cliente y el beneficio obtenido al cumplir el objetivo propuesto. 5 indica que se pagara un mejor precio y 1 que pagara un precio elevado.

**Mantenimiento:** Hace referencia a la facilidad que le acarrea al usuario realizar mantenimiento al sistema, teniendo en cuenta costos y duración que tiene el mantenimiento por cada uno de los equipos tratados. 5 indica que su mantenimiento es rápido y demanda menor costo-esfuerzo y 1 que el mantenimiento es demorado y demanda mayor costo-esfuerzo.

**Durabilidad:** Hace referencia a la durabilidad de los equipos teniendo en cuenta que su uso es continuo y exigente. 5 indica mayor durabilidad y 1 menor durabilidad.

Se presenta la **Tabla 2** con los valores que dictaminan el puntaje de cada una de las condiciones tratadas en las características de las soluciones propuestas.

<b>Criterio evaluación</b>	<b>0-1</b>	<b>1-2</b>	<b>2-3</b>	<b>3-4</b>	<b>4-5</b>
Uso	Peor facilidad Uso	Menor facilidad de uso	Facilidad de uso moderada	Mayor facilidad de uso	Mejor facilidad Uso
Implementación	Mayor dificultad de implementación	Dificultad alta de implementación	Moderada dificultad de implementación	Dificultad baja de implementación	Menor dificultad de implementación
Costo Beneficio	Mayor costo pagado para cumplir objetivo	Precio alto pagado para cumplir objetivo	Precio moderado pagado para cumplir objetivo	Precio bajo pagado para cumplir objetivo	Menor precio pagado para cumplir objetivo
Mantenimiento	Mantenimiento implica mayor dificultad para su ejecución	Mantenimiento implica alta dificultad para su ejecución	Mantenimiento implica dificultad moderada para su ejecución	Mantenimiento implica baja dificultad para su ejecución	Mantenimiento implica menor dificultad para su ejecución
Durabilidad	Peor durabilidad del equipo	Baja durabilidad del equipo	Durabilidad media del equipo	Mayor durabilidad del equipo	Mejor durabilidad del equipo

**Tabla 2:** Rúbrica evaluación de los criterios.

La puntuación se realiza comparando las características individuales de los sistemas propuestos para cada objetivo. Se seleccionan las propuestas con mayor puntuación obtenida.

#### **4.1.3.1 Respetto a la temperatura, ¿Cuál es el reto?:**

Controlar la temperatura, manteniéndola estable y con posibilidad de ajustarla en las etapas de crecimiento que se requieran para completar el ciclo de levante y engorde exitosamente.

Respetto a la temperatura, se tienen en cuenta las recomendaciones de varios manuales de manejo y engorde de aves [2] [3], de donde se obtiene que el periodo de engorde de las aves esta dado en 28 días aproximadamente y para completar exitosamente el engorde de las aves se da en 4 etapas donde en cada una de ellas se maneja un rango de temperatura especifico y sin presentar variaciones mayores a dos grados centígrados.

Partiendo de la información obtenida surge la pregunta, ¿Cómo se podría implementar la calefacción del ambiente?

Para el calentamiento del galpón y mantener estable la temperatura del ambiente surgen varias propuestas dentro de las cuales destacan: Emplear sistemas de calefacción

tradicionales a gas, sistema infrarrojo generado por quemadores de gas, emplear calefacción eléctrica incrustada en el piso, emplear calefacción empleando intercambiadores de calor, sistema de calefacción con lámparas infrarrojas, lámparas incandescentes que además de servir para la iluminación permitirían calefacción del lugar, resistencias eléctricas ubicadas estratégicamente en una parte baja o un entrepaño con el piso para calefacción desde abajo hacia arriba, aislar paredes con láminas rellenas con material termoaislante, reducir intercambios de aire entre el interior y exterior del recinto, reducir contacto con exteriores, optimizar el uso de los espacios incluyendo niveles superiores para mejorar el manejo de las condiciones de temperatura, emplear calefactores eléctricos basados en resistencias con aletas o rejillas para la distribución óptima del calor, redistribución de calor y circulación de aire forzado caliente con ventiladores de baja potencia.

<b>IDEA PROPUESTA</b>	<b>CALIFICACION</b>					
	<b>Uso</b>	<b>Implementación</b>	<b>Costo Beneficio</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Durabilidad</b>	<b>TOTAL</b>
Emplear sistemas de calefacción tradicionales a gas.	3	3	3	1	3	13
Sistema calefacción infrarroja generada por quemadores a gas.	5	3	2	1	4	15
Emplear calefacción eléctrica incrustada en el piso.	4	1	2	1	5	13
Emplear calefacción empleando intercambiadores de calor.	5	1	1	3	5	15
Sistema de calefacción con lámparas infrarrojas.	5	4	3	4	5	21
Lámparas incandescentes que además de servir para la iluminación permitirían calefacción del lugar.	3	4	4	3	3	17
Resistencias eléctricas ubicadas estratégicamente en una parte baja o un entrepaño con el piso para calefacción desde abajo hacia arriba.	3	3	4	3	4	17
Aislar paredes con láminas rellenas con material termoaislante.	2	3	3	5	5	18
Emplear algún sistema eléctrico con algún principio similar o	2	1	2	4	4	13



idéntico al empleado con sistemas inverter.						
Emplear calefactores eléctricos basados en resistencias con aletas/rejillas para la distribución del calor.	4	2	2	4	4	16
Redistribución de calor y circulación de aire caliente con ventiladores de baja potencia.	1	3	3	4	4	15
Control de temperatura con microcontrolador.	5	5	5	5	5	25

**Tabla 3:** Puntuación de las posibles soluciones para el manejo de la temperatura del galpón

Con base en los resultados obtenidos en la **Tabla 2**, se opta por implementar el sistema de calefacción basado en calentadores infrarrojos ya que permiten una mejor distribución de calor en las zonas bajas del galpón con calentamiento lento para evitar cambios bruscos de temperatura a las aves.

El sistema de calefacción infrarrojo cuenta con una importante ventaja y es que, al no emanar gases por combustión, se mantienen mejores condiciones ambientales al interior del recinto y requiere de menor manipulación para el mantenimiento.

Es importante resaltar que para la adecuada medición de la temperatura y garantizando que las aves cuenten con suficiente calor, los sensores de temperatura deben ser instalados en la parte inferior del galpón a 40 o 50 centímetros de altura respecto al piso, que corresponden a la altura máxima de las aves.

#### **4.1.3.2 Respecto a la ventilación, ¿Cuál es el reto?**

Controlar el encendido y apagado de la ventilación para reducir la temperatura interna cuando sea superior a los límites establecidos, reducir los niveles de amoníaco generado por las aves facilitando el intercambio de aire fresco del exterior con el aire viciado del interior y permitir la extracción del excedente de humedad que pueda haber dentro del galpón [2][3].

Para el manejo de la ventilación del galpón y mantener estables las condiciones internas del ambiente, surgen varias propuestas dentro de las cuales destacan: Emplear cortinas

con el fin de permitir un intercambio natural mediante diferencial de presión de aire reposado por aire fresco, apertura y cierre de persianas con sistemas adecuados, emplear tubería con ventiladores para forzar el intercambio del aire con el menor flujo de aire que pueda afectar las aves, galpón abierto para el intercambio de aire mediante diferencial de presión de forma natural, mover el aire recirculándolo en el interior empleando ventiladores, instalación de ventiladores de gran formato en la parte frontal y posterior del galpón para provisionar aire fresco desde el exterior y extraer el aire viciado del interior.

<b>IDEA PROPUESTA</b>	<b>CALIFICACION</b>					
	<i>Uso</i>	<i>Implementación</i>	<i>Costo Beneficio</i>	<i>Mantenimiento</i>	<i>Durabilidad</i>	<i>TOTAL</i>
Emplear cortinas con el fin de permitir un intercambio natural mediante diferencial de presión de aire reposado por aire fresco.	3	2	4	2	4	15
Apertura y cierre de persianas con sistemas adecuados.	4	2	3	3	4	16
Emplear tubería con ventiladores para forzar el intercambio del aire con el menor flujo de aire que pueda afectar las aves.	3	2	3	4	4	16
Galpón abierto para el intercambio de aire mediante diferencial de presión de forma natural.	3	4	2	4	4	17
Mover el aire recirculándolo en el interior empleando ventiladores.	2	4	2	3	4	15
Instalación de ventiladores de gran formato en la parte frontal y posterior del galpón para provisionar aire fresco desde el exterior y extraer el aire viciado del interior.	4	4	3	4	4	19

**Tabla 4:** Calificación de las ideas relacionadas con la implementación de la ventilación del galpón.

Con base en la calificación de las propuestas en la **Tabla 3** existentes para la implementación de la ventilación, se implementará un sistema de ventilación con ventiladores instalados en la parte superior del galpón tanto en su estructura frontal como en la posterior, con el fin de permitir el intercambio de aire del recinto sin tener corrientes de aire directamente sobre las aves, evitando de este modo causarles estrés o infecciones respiratorias.

En cuanto a las mejoras propuestas para la ventilación, comparado con el sistema de ventilación natural mayormente empleado en los galpones tradicionales, se permite el control automático de esta cuando se alcancen los límites de alguna o varias de las condiciones establecidas para ser controladas, además de ofrecer disponibilidad durante el transcurso del día y noche según sea requerida.

### 4.1.3.3 Respecto a la iluminación, ¿Cuál es el reto?

Controlar el encendido y apagado de la iluminación durante el día y la noche, evitando los cambios bruscos en las transiciones de estado con el fin de complementar el régimen de iluminación de las distintas etapas de crecimiento favoreciendo la culminación exitosa del proceso de engorde de las aves [2][3]. Para el manejo de la iluminación del galpón y complementar los requerimientos del régimen de iluminación, surgen varias propuestas dentro de las cuales destacan: emplear iluminación LED en tiras difusas atenuables y luz cálida, emplear iluminación con bombillas LED atenuables y luz cálida, emplear bombillas incandescentes, emplear luz natural permitiendo calor del sol e iluminación natural.

<b>IDEA PROPUESTA</b>	<b>CALIFICACION</b>					
	<i>Uso</i>	<i>Implementación</i>	<i>Costo Beneficio</i>	<i>Mantenimiento</i>	<i>Durabilidad</i>	<i>TOTAL</i>
Emplear iluminación LED en tiras difusas atenuables y luz cálida	5	4	3	5	5	22
Emplear iluminación con bombillas LED atenuables y luz cálida	5	5	4	5	5	24
Emplear bombillas incandescentes	3	5	3	3	3	17
Emplear luz natural permitiendo calor del sol e iluminación natural.	5	5	5	5	5	25

**Tabla 5:** Calificación de las ideas relacionadas con la implementación de la iluminación del galpón.

Tras realizar el análisis de las ideas propuestas en la **Tabla 4**, se opta por luz natural durante el día y para completar los ciclos de iluminación se emplearán bombillas LED atenuables y luz cálida durante la noche, favoreciendo el engorde de los pollos, según se indica en los manuales de manejo de aves de engorde [2][3].

#### 4.1.3.4 Respecto al envío de datos de las condiciones ambientales del galpón ¿Cuál es el reto?

Enviar los datos de las condiciones ambientales del galpón hacia un servidor dedicado con acceso remoto para su monitoreo mediante algún tipo de gráfica.

Para el envío de datos de las condiciones ambientales del galpón, surgen varias propuestas dentro de las cuales destacan: Recopilar la información del microcontrolador y transferirla usando red celular, red Wifi o redes satelitales, transferencia de información a puntos cercanos usando transmisor o receptor mediante radio frecuencias, envío de datos desde el galpón a través de red de área local (LAN), envío de datos utilizando microcontrolador con conexión Wifi incorporado.

IDEA PROPUESTA	CALIFICACION					
	Uso	Implementación	Costo Beneficio	Mantenimiento	Durabilidad	TOTAL
Recopilar la información del microcontrolador y transferirla usando red celular.	4	4	4	5	5	22
Recopilar la información del microcontrolador y transferirla usando red Wifi.	5	4	4	5	5	22
Recopilar la información del microcontrolador y transferirla usando red de datos satelital.	3	3	2	4	5	17
Transferencia de información a puntos cercanos usando transmisor o receptor mediante radio frecuencias.	3	3	4	3	5	18
Envío de datos desde el galpón a través de red de área local (LAN)	3	3	2	3	4	15
Envío de datos utilizando microcontrolador con conexión wifi embebido	5	5	5	5	5	25

**Tabla 6:** Calificación de las ideas relacionadas con la implementación del sistema para el envío de datos del galpón

Tras la revisión y puntuación de las ideas propuestas realizadas en la **Tabla 5** para el envío de los datos, el microcontrolador que integra el módulo de comunicación Wifi es la mejor

opción para aplicar al proyecto, ya que este ofrece los recursos necesarios para el control de las condiciones ambientales requeridas en el galpón, facilitando el envío de los datos al usar directamente la red Wifi gracias al módulo incorporado en la misma placa de desarrollo simplificando el sistema y añadiendo una mejora importante al galpón, ya que al hacer envío de datos de las condiciones ambientales hacia un servidor dedicado para tal fin, se puede monitorear el comportamiento del sistema posibilitando tomar decisiones oportunas respecto al comportamiento de los sistemas ambientales del galpón.

#### **4.1.3.5 Respecto al monitoreo de la humedad relativa en el galpón, ¿Cuál es el reto?**

Monitorear las condiciones de la humedad relativa dentro del galpón para que cuando sean superados los niveles máximos se encienda la ventilación y la calefacción simultáneamente para reducir los niveles de humedad relativa al interior de la estructura.

Para el manejo de la concentración de la humedad relativa del galpón, no se dispone de propuestas, ya que con la implementación de un sensor de humedad relativa y el microcontrolador para el procesamiento y transferencia de datos, además de establecer referencias basadas en las recomendaciones sugeridas en los manuales de manejo de aves de engorde u otra sugerencia por parte de entidades avícolas, es suficiente para realizar el monitoreo y control de las condiciones de humedad al interior del galpón cuando estas excedan los límites previamente determinados.

Una vez determinados los aspectos fundamentales que debe incorporar el galpón para generar las condiciones ambientales ideales para las aves de engorde, se procede con el ordenamiento de los datos y se hace la presentación de la idea principal para el galpón con condiciones ambientales autónomamente controladas e integración de Internet de las cosas (IoT) para el monitoreo remoto en plataforma web.

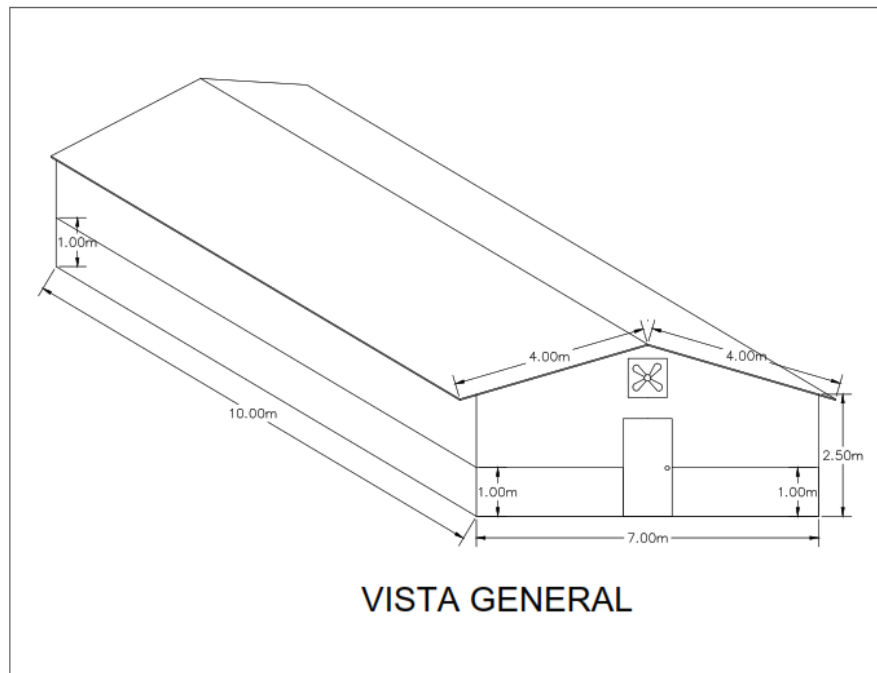
La idea propuesta consiste en diseñar una estructura que cuente con techo traslúcido, para el calentamiento y la iluminación natural durante el día, en conjunto con la calefacción infrarroja para mantener los rangos de temperatura adecuados, que comparado con los galpones tradicionales con tejados de zinc u otro material que impide el paso de la luz

solar, sería una mejora importante para el galpón al no requerir de energía eléctrica para la iluminación y parte de la calefacción durante el día.

En lo referente al bienestar de las aves, utilizando la iluminación solar, favorecería su desarrollo al no depender constantemente de luz artificial. Durante las etapas intermedias de crecimiento cabe resaltar que no se requiere de iluminación permanente durante 23 horas seguidas, en este caso se da el comportamiento natural de los ciclos de luz y oscuridad reduciendo el consumo energético al no requerir iluminación en las noches.

En la propuesta también se incluye que el diseño de las paredes superiores del galpón sea en material traslúcido, preferiblemente transparente dando paso a luz natural por los costados del galpón, favoreciendo la visibilidad hacia el exterior, lo cual reduciría el estrés de las aves por encierro.

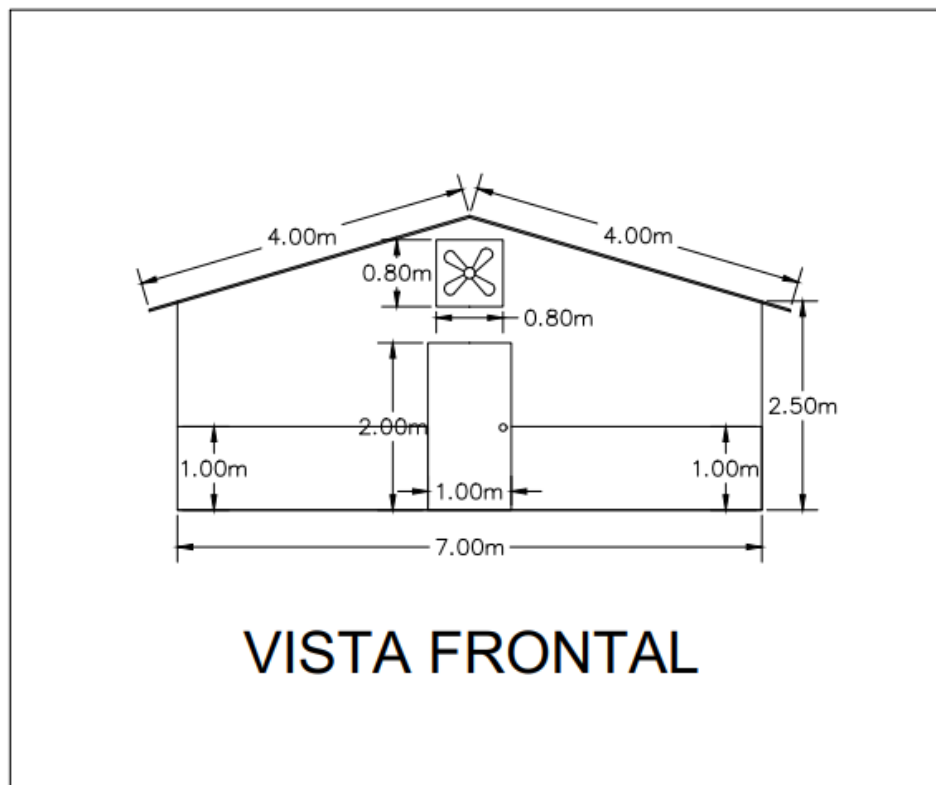
Para comprobar el funcionamiento del sistema en conjunto, a continuación, se muestra la vista general de la estructura del galpón, para la implementación del prototipo, el cual se construirá en escala 1:10 en metros, posteriormente se procederá con la construcción e instrumentación del prototipo y validar de este modo las soluciones propuestas para una futura implementación a escala real.



**Figura 2:** Vista general del prototipo a implementar, sus medidas parten de la escala real, para la construcción del prototipo se tomará una escala 1:10

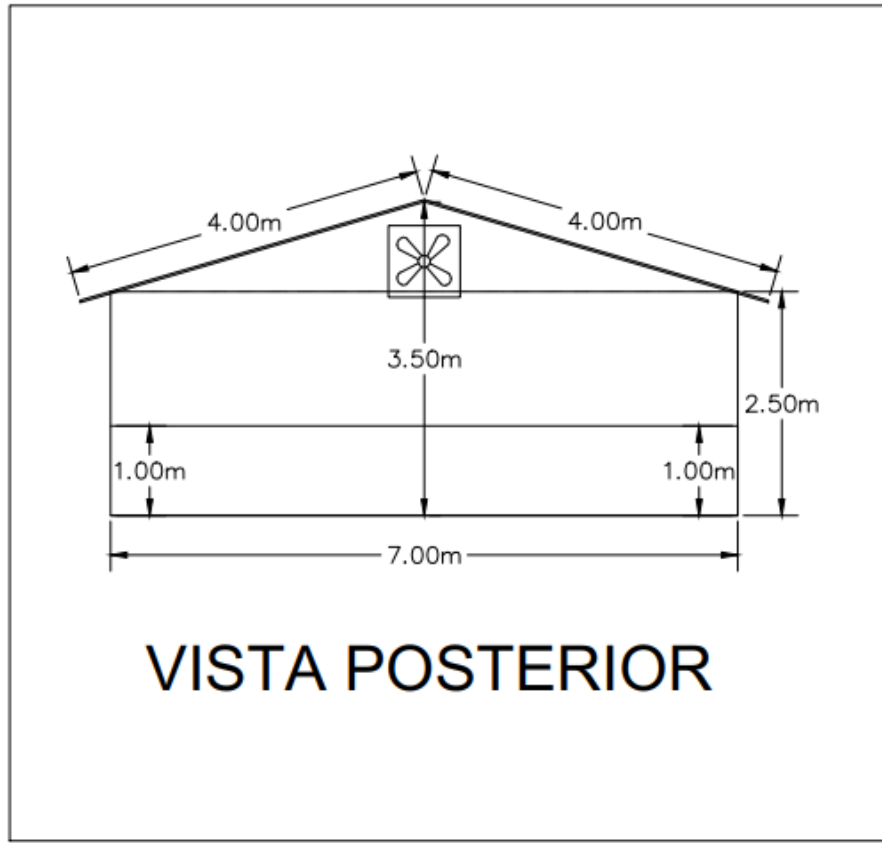
En la **Figura 2** se observan las dimensiones requeridas para un área de 70 metros cuadrados con capacidad hasta de 600 aves, se observa también su parte frontal que adiciona un ventilador en la parte superior de la estructura para el ingreso forzado de aire fresco al galpón.

En la siguiente figura se muestra la vista frontal, entrando en detalle de las dimensiones de sus componentes.



**Figura 3:** Vista frontal de la estructura del galpón con las dimensiones tanto de la estructura principal como de la puerta de acceso y el ventilador para el ingreso de aire fresco.

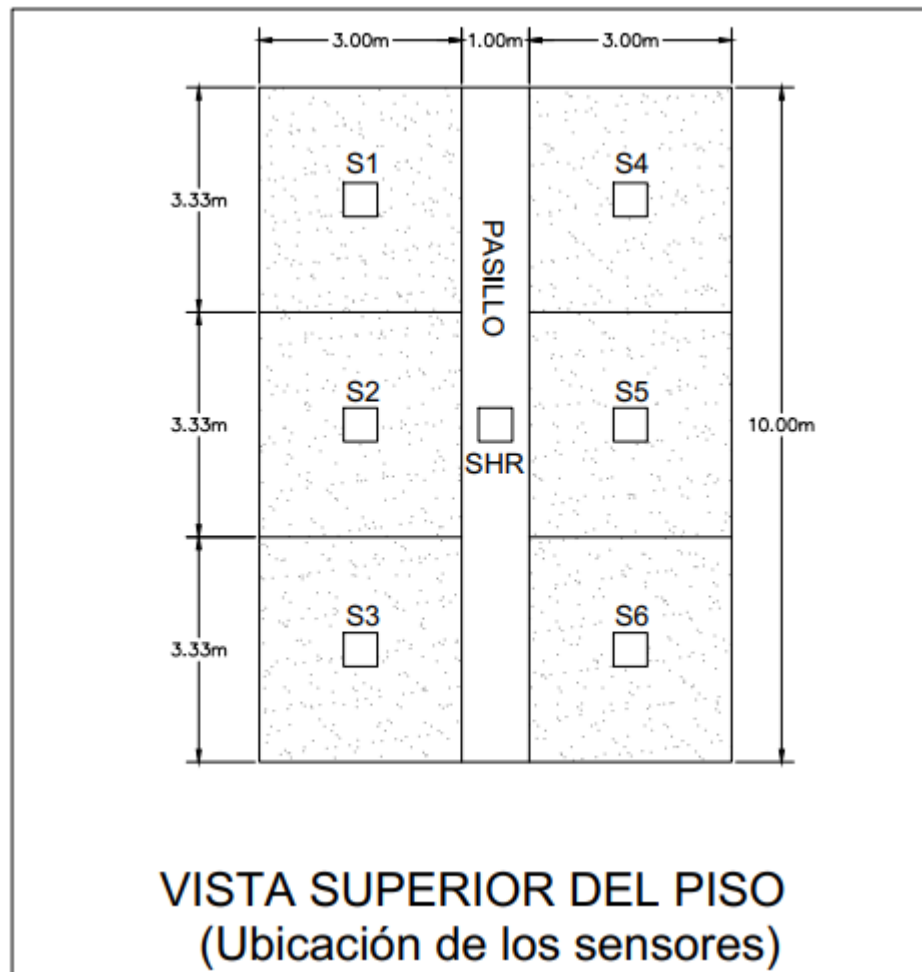
A continuación, en la **Figura 4**, se muestra la parte posterior de la estructura, se observa el ventilador superior que permite la salida de aire viciado desde el interior de la estructura.



**Figura 4:** Vista posterior de la estructura del galpón con las dimensiones tanto de la estructura principal como del ventilador para la extracción de aire contaminado.

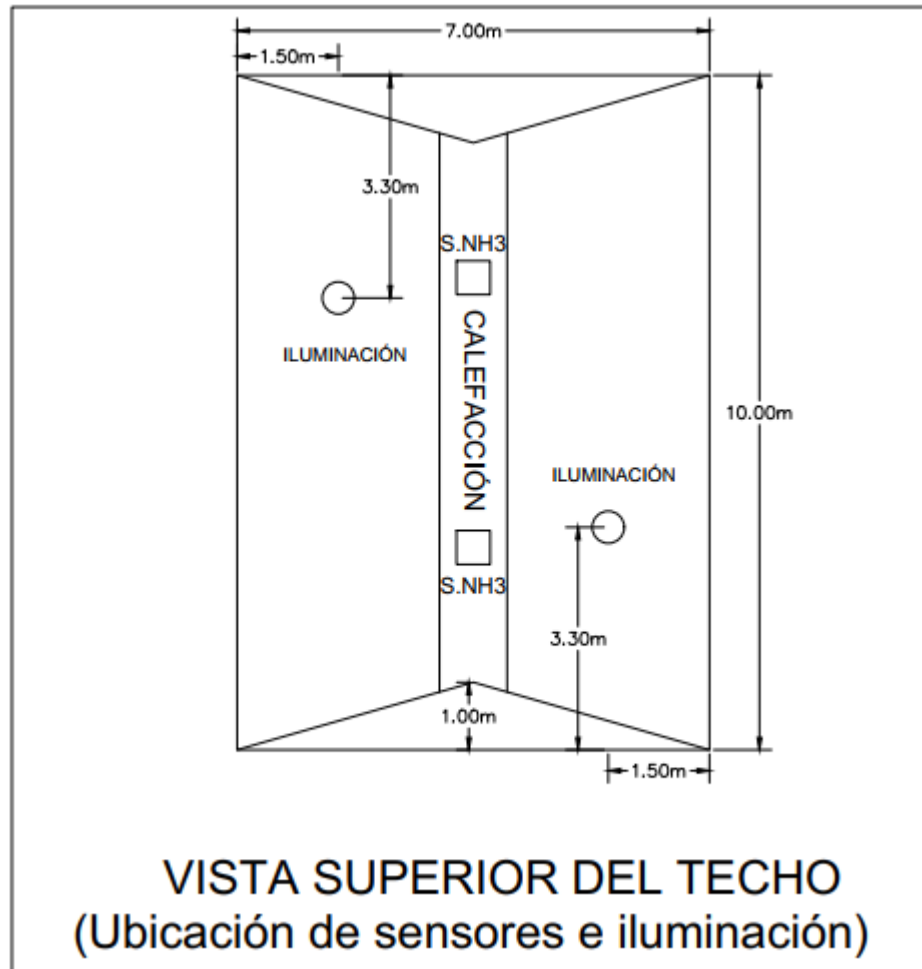
Teniendo la descripción grafica del exterior de la estructura, se procede a incluir las vistas interiores de la ubicación de los sensores de temperatura y humedad relativa, donde los sensores de temperatura estarán ubicados en la parte baja del galpón a una altura de 50 centímetros para la implementación real y 5 centímetros del piso en el prototipo y el sensor de humedad relativa estará ubicado a una altura de 1.1 metros en escala real y para el prototipo estará a 11 centímetros, para monitorear la temperatura y la concentración de la humedad relativa, además de los sensores de amoniaco y sistema de iluminación del recinto.





**Figura 5:** Vista superior del piso del galpón con la ubicación de los sensores de temperatura ( $S_n$ ) y humedad relativa (SHR) en la parte inferior al interior galpón.

En la **Figura 6** se observa la ubicación del sistema de calefacción por lámparas infrarrojas y de las bombillas para la iluminación del galpón.



**Figura 6:** Vista superior de la estructura del galpón con la ubicación de la calefacción, sensores de amoníaco (S. NH3) e iluminación con las bombillas led.

Finalmente teniendo la propuesta definida se procede con la fase 4 del modelo de Design Thinking correspondiente a Prototipar, donde se incluye la información de cada uno de los procesos de selección de componentes, instrumentación y pruebas individuales y conjuntas de todo el prototipo.

#### 4.1.4 Fase 4: Prototipar

Partiendo de la idea propuesta en la sección de ideación, se procede con la construcción del prototipo el cual estará construido con láminas de madera para simular las paredes inferiores, el piso de la estructura y las columnas de sostenimiento del techo y la estructura de la calefacción ubicada en la parte superior, el techo se elaborará de acrílico transparente, para simular el techo traslúcido propuesto en la fase de ideación.

La construcción del prototipo estará dividida en varias etapas describiendo sus pasos e incluyendo la elaboración de la estructura y la selección de los componentes, diagramas de funcionamiento, puesta en marcha de los sensores y actuadores del sistema y la realización de pruebas individuales y conjuntas del prototipo.

En la siguiente ilustración se muestra el prototipo completamente terminado y se detallan los pasos de su elaboración.



**Figura 7:** Prototipo completamente terminado, instrumentado y funcional.

#### 4.1.4.1 Paso 1: Construcción de la estructura del prototipo y selección de los componentes

Para la construcción de la estructura principal del prototipo se emplearán láminas de madera para recrear el piso y las paredes inferiores de la estructura, listones de balsa para las columnas de sostenimiento de la estructura del techo y de la calefacción del sistema. Se escogen estos materiales por ser de fácil manejo para el corte y para el pegado de la estructura, favorecen la manipulación del prototipo ya que su peso es reducido, son materiales con una resistencia física adecuada suficiente para soportar el peso de la estructura y componentes eléctricos y electrónicos.

Para la instalación del techo y las paredes superiores del galpón, teniendo en cuenta la idea de una estructura traslúcida para permitir la iluminación y calor natural de la luz del sol, se colocarán láminas de acrílico transparente en estos espacios para recrear lo que sería una implementación a escala real. Cabe resaltar que para el prototipo se emplean materiales transparentes para su correcta visualización al interior, sin embargo, al momento de la construcción de un galpón basta con intercalar tejas traslúcidas intercaladas con tejas convencionales según los requerimientos del cliente.

Una vez construida la estructura, se procede con la selección y caracterización de los componentes eléctricos y electrónicos para generar las condiciones ambientales requeridas, donde en primer lugar se establecen los límites y rangos de operación del sistema mostrados en la siguiente tabla.

<b>VARIABLE POR CONTROLAR</b>	<b>LIMITES DE OPERACION</b>
Temperatura Etapa 1	32°C +/- 2°C
Temperatura Etapa 2	30°C +/- 2°C
Temperatura Etapa 3	28°C +/- 2°C
Temperatura Etapa 4	26°C +/- 2°C
Humedad Relativa	50 %
Amoniaco	20 partes por millón (ppm)
Iluminación Etapa 1 y 4	23 horas luz, 1 oscuridad
Iluminación Etapa 2 y 3	12 horas luz, 12 horas oscuridad
Envío de datos Wifi ThingSpeak	Perdida no mayor al 2%

**Tabla 7:** Rangos de operación de temperatura, amoniaco y humedad relativa para la operación de las condiciones ambientales del galpón.

Los rangos de operación de la **Tabla 6** han sido seleccionados bajo criterio propio teniendo en cuenta la información suministrada por los diversos manuales de engorde que se encuentran disponibles [2] [3]. Al momento de hacer su implementación en tamaño real, deben ser ajustados según sea requerido, dependiendo de la raza de las aves que vayan a ser encasetas en el galpón. Sin embargo, el prototipo estará en la capacidad de generar las condiciones adecuadas gracias a su instrumentación y componentes previamente caracterizados que se muestran a continuación.

Partiendo de los requerimientos de las condiciones ambientales presentados en la tabla 6, se procede con la selección y caracterización de cada uno de los componentes necesarios para el desarrollo del prototipo del Galpón IoT.

- Para el desarrollo del prototipo, se requieren de sensores de temperatura y de concentración de gases, específicamente de amoníaco  $\text{NH}_3$ .
- Dentro de las condiciones principales para hacer la selección de los sensores, se tiene en cuenta que la temperatura requiere de mayor precisión, aproximadamente  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ , porque de esta depende la generación de las condiciones ideales para el desarrollo de las aves, donde una variación de un rango mayor a  $\pm 2^\circ\text{C}$  podría afectar considerablemente este proceso, incluso llegando a significar el fracaso en el levante de una parvada, causando un impacto económico negativo al avicultor.
- El monitoreo de gases requiere de un sensor con precisión adecuada, cuyo rango de tolerancia no exceda  $\pm 3$  partículas por millón (ppm) en la concentración de amoníaco para su correcto monitoreo y control en el ambiente, la cual no debe superar las 20 ppm en una franja de 8 horas y tampoco 30 ppm en una franja de 10 minutos, ya que los niveles altos de amoníaco incurrirían en posibles afecciones e incluso infecciones severas en el tracto respiratorio de las aves.

#### 4.1.4.1.1 Caracterización de los sensores de temperatura

Su rango estimado debe estar entre 1 y 50 grados centígrados, se debe tener en cuenta que la temperatura adecuada para el desarrollo varía entre 24°C y los 32°C que se deben ajustar según la etapa de crecimiento.

<b>Sensor</b>	<b>Rango Operación °C</b>	<b>Tipo Comunicación</b>	<b>Precisión °C</b>	<b>Res. Temperatura</b>	<b>Res. Datos</b>	<b>Consumo Corriente</b>	<b>Costo</b>
BMP180	0, 65	I2C	+/- 0.5	0.1°C	16 bit	650 uA	10000
BME280	-40, 85	I2C-SPI	+/- 1	0.01°C	20 bit	350 uA	15000
TMP117	-20, 50	SMB-I2C	+/- 0.1	0.0078°C	16 bit	240 uA	49700
DS18B20	-10, 85	One Wire	+/- 0.5	0.0625°C	12 bit	1 mA	25000
MCP9808	-40, 125	I2C	+/- 0.25	0.0625°C	11 bit	400uA	20000
LM35D	0, 100	Análogo	+/- 0.5	-	10mv/°C	60uA	10000
MLX90614	-40, 85	I2C	+/- 0.5	0.02°C	17 bit	2.5mA	31000

**Tabla 8:** Caracterización de distintos sensores de temperatura que se adecuan para la instrumentación del prototipo.

Se selecciona el sensor MCP9808 por cumplir con los requisitos necesarios para la toma de muestras de temperatura en el sistema y por disponer del protocolo de comunicaciones I<sup>2</sup>C el cual facilita su interconexión con varios módulos abarcando el espacio inferior del prototipo para la toma adecuada de los registros de la temperatura. Este sensor cuenta con la ventaja que viene calibrado de fabrica ofreciendo mediciones exactas.

#### 4.1.4.1.2 Caracterización medición amoniaco

El sensor de concentración de amoniaco NH<sub>3</sub>, debe estar en un rango entre 0ppm hasta 50 ppm, teniendo en cuenta que la concentración máxima permitida en un lapso de 8 horas corresponde a 20 ppm y en casos extremos 30 ppm en un periodo de tiempo no mayor a 10 minutos.

Con base en las características básicas establecidas, se procede con la búsqueda de los sensores más cercanos a dichos parámetros.

<b>Sensor</b>	<b>Rango Operación</b>	<b>Tipo Comunicación</b>	<b>Precisión</b>	<b>Consumo Potencia</b>	<b>Costo</b>
MQ135	10-300 ppm	Digital/Análoga	+/- 5%	800 mW	11.000
MQ137	5-500 ppm	Digital/Análoga	+/- 2%	180 mW	197.500
MICS 6814	1-500 ppm	I2C	1.5-15 %	60 mW	143.752

**Tabla 9:** Caracterización de distintos sensores de amoniaco que se adecuan para la instrumentación del prototipo.

Se realiza la búsqueda de los sensores adecuados para la medición de amoníaco en el ambiente, encontrando únicamente tres opciones para este propósito. Para el diseño del prototipo se manejará el sensor de amoníaco MQ135 que cuenta con opción de conexión digital únicamente por medio de señales en alto y bajo (encendido/apagado) y también en comunicación análoga la cual es viable para tener un mejor análisis de las lecturas específicamente a través de las entradas analógicas que posee el microcontrolador.

#### 4.1.4.1.3 Caracterización de la iluminación

Para la iluminación tanto en el prototipo como en su implementación a escala real, se emplearán bombillas con luz led, para no interferir con la temperatura ambiental y consumo energético óptimo.

Se detalla a continuación la tabla con la caracterización de la iluminación.

<i>Artículo</i>	<i>Temp.</i>	<i>Voltaje</i>	<i>Consumo Potencia</i>	<i>Costo</i>
Tira LED 8m	5500K	12 voltios	4.8 W/m	143000
Tira LED 5m RGB	Adaptable	12 voltios	7.2 W/m	50000
Tira LED 5m Blanco	-	12 voltios	7.2 W/m	35000
Tira LED 5m Cálido	-	120 voltios	8 W/m	45000
Tira LED 5m Blanco	-	120 voltios	8 W/m	45000
Bombilla LED Atenuable Cálida	3500K	120 voltios	6 W	5500

**Tabla 10:** Caracterización de distintos tipos de iluminación que se adecuan para la instrumentación del prototipo.

La luz debe ser atenuable, evitando así cambios bruscos del encendido y apagado de la iluminación ya que las aves deben recibir estímulo luminoso similar a la luz natural durante su desarrollo.

Se incluyen las presentaciones de tiras tanto en DC como AC, sin embargo, por manejo de potencia y versatilidad de uso se seleccionan las bombillas LED atenuables e iluminación cálida, que además de cumplir con los requerimientos necesarios para el prototipo, es más económica que las tiras LED y al momento de implementarse en un galpón a escala real no se requieren de cambios importantes de su diseño respecto a las características del prototipo.

#### 4.1.4.1.4 Caracterización de la ventilación

Se presentan a continuación las opciones disponibles para la implementación en el prototipo.

<i>Artículo</i>	<i>Ref.</i>	<i>Alimentación</i>	<i>Consumo en vatios</i>	<i>RPM</i>	<i>Flujo de aire m3/h</i>	<i>Medidas en centímetros</i>	<i>Costo</i>
Ventilador axial DC Implementación prototipo	Sunflow Fan	DC 12 V	1.8 W	6200	65.5	8 x 8 x 1.5	9000
Ventilador axial DC Implementación prototipo	Sunflow Fan Mini	DC 5 V	1 W	5800	50.5	3 x 3x1.2	7000

**Tabla 11:** Caracterización de distintos tipos de ventiladores que se adecuan para la instrumentación del galpón.

Para la implementación de la ventilación se prevé emplear ventiladores de corriente directa donde se usarán ventiladores axiales de 80mm x 80mm que permitirían la circulación del aire desde el exterior para introducir aire fresco y un segundo ventilador posterior para la extracción del aire viciado generando las condiciones ambientales ideales.

#### 4.1.4.1.5 Caracterización de los microcontroladores

Se muestra a continuación la tabla de descripción con los microcontroladores disponibles que tengan la capacidad mínima para los requerimientos anteriormente mencionados y que sean fácilmente acoplables con módulos adicionales wifi o sean incorporados en la misma placa de desarrollo.

<i>Microcontrolador</i>	<i>Puertos A/D</i>	<i>Frecuencia Interna</i>	<i>Memoria EEPROM</i>	<i>Timers</i>	<i>Com. Digital</i>	<i>Voltaje puertos I/O</i>	<i>Costo</i>
Arduino Uno	20	16 MHz	1 KB	2 x 8bit 1 x 16 bit	UART SPI I <sup>2</sup> C Serial	5 v	50.000
Arduino Mega 2560	70	16 MHz	4 KB	2 x 8bit 4 x 16bit		5 v	45.000
Wemos Mega 2560 ESP 8266	70	16 MHz	4 KB	2 x 8bit 4 x 16bit		5 v	75.000
ESP 32	48	160 MHz	4 KB	4 x 64bit	UART SPI I <sup>2</sup> C I <sup>2</sup> S Serial	3.3 v	36.000
ESP 8266	17	80 MHz	4 KB	4 x 16bit		3.3 v	15.000
Raspberry PI 3 B+	40	1,4 GHz	-	4	UART SPI I <sup>2</sup> C Serial	3.3 v	190.000
Raspberry PI Zero W	40	1 GHz	-				98.000
Raspberry PI 4	40	1.5 GHz	-				240.000

**Tabla 12:** Caracterización de microcontroladores que se adecuan para la instrumentación del galpón.



Para la implementación del prototipo se ha seleccionado el microcontrolador Wemos Mega 2560 ESP 8266 que incorpora las características del Arduino Mega 2560 e incluye el circuito integrado ESP8266 para hacer el envío de los datos desde el galpón hacia el servidor web para su procesamiento y visualización. Este microcontrolador mantiene una relación adecuada entre características de uso y costo e incluso podría ser empleado para una implementación a escala real revisando el comportamiento de los datos obtenidos durante las pruebas del prototipo y haciendo la optimización del código implementado, ya que se busca el uso de tecnologías económicas, sencillas de manejar y configurar sin dejar de lado su óptimo desempeño.

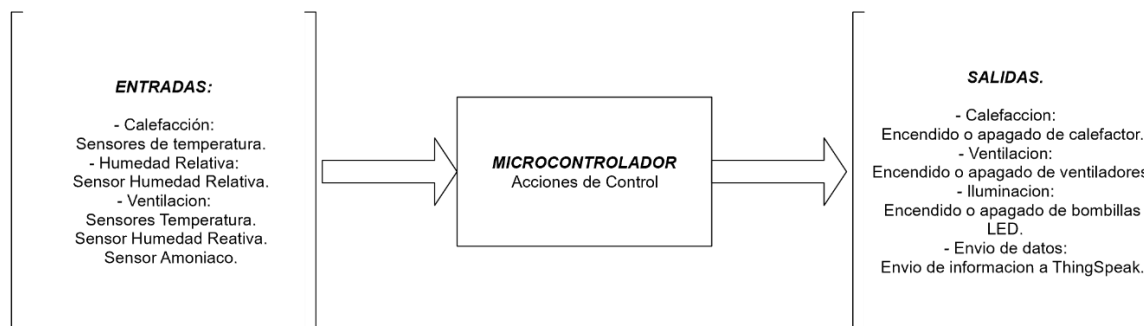
Ahora bien, al momento de operar ambos sistemas de Arduino la placa de desarrollo Mega 2560 sería más útil al momento de realizar el prototipo, ya que, gracias a la gran cantidad de puertos disponibles, permite conexiones más flexibles sin llegar a afectar la cantidad de dispositivos conectados.

También se considera que la capacidad de procesamiento que debe efectuar el microcontrolador es relativamente pequeña, por lo que el uso de un procesador más avanzado quedaría desaprovechado además de aumentar el costo del microcontrolador considerablemente.

Para la transferencia de datos a la nube se disponen de las plataformas ThingSpeak y Ubidots que permiten la transferencia de datos de dispositivos de internet de las cosas empleados en el prototipo y facilitan el monitoreo remoto del canal por parte del usuario final en su página web de fácil visualización y análisis permitiendo el acceso desde dispositivos móviles o navegador web.

Para la implementación del prototipo se hará uso de la plataforma ThingSpeak, la cual permite la toma de gran cantidad de datos y la generación de gráficas del comportamiento de las variables analizadas, para realizar las pruebas y verificar su funcionamiento, siendo también de utilidad para el usuario final con la adquisición de una licencia básica anual.

Ya teniendo los componentes adecuados, se muestra el esquema de las cajas negras el cual incluye las entradas y salidas del sistema.



**Figura 8:** Cajas negras de entradas y salidas del sistema

Para la calefacción y tomando como base lo indicado en la fase de ideación, se emplearán calefactores eléctricos infrarrojos ya que permiten calentamiento uniforme, lento y sensación de calor en corto tiempo. Para el manejo en el prototipo se utilizarán calefactores cerámicos que garanticen la calefacción adecuada en las zonas bajas del galpón.

Para el correcto funcionamiento de las horas de encendido y apagado de la iluminación en las etapas uno y cuatro de crecimiento establecidas anteriormente (refiérase a la tabla 6), se debe incorporar al sistema un reloj de precisión que para este propósito se implementara con el reloj DS3231, que permite conectividad I<sup>2</sup>C además que cuenta con batería de reserva por si hay un fallo eléctrico no perder la configuración de la hora permitiendo la restauración de la iluminación previa configuración de la etapa por parte del operario.

Para culminar la fase 1 de la construcción de la estructura del prototipo, se adjunta la imagen de la estructura terminada.



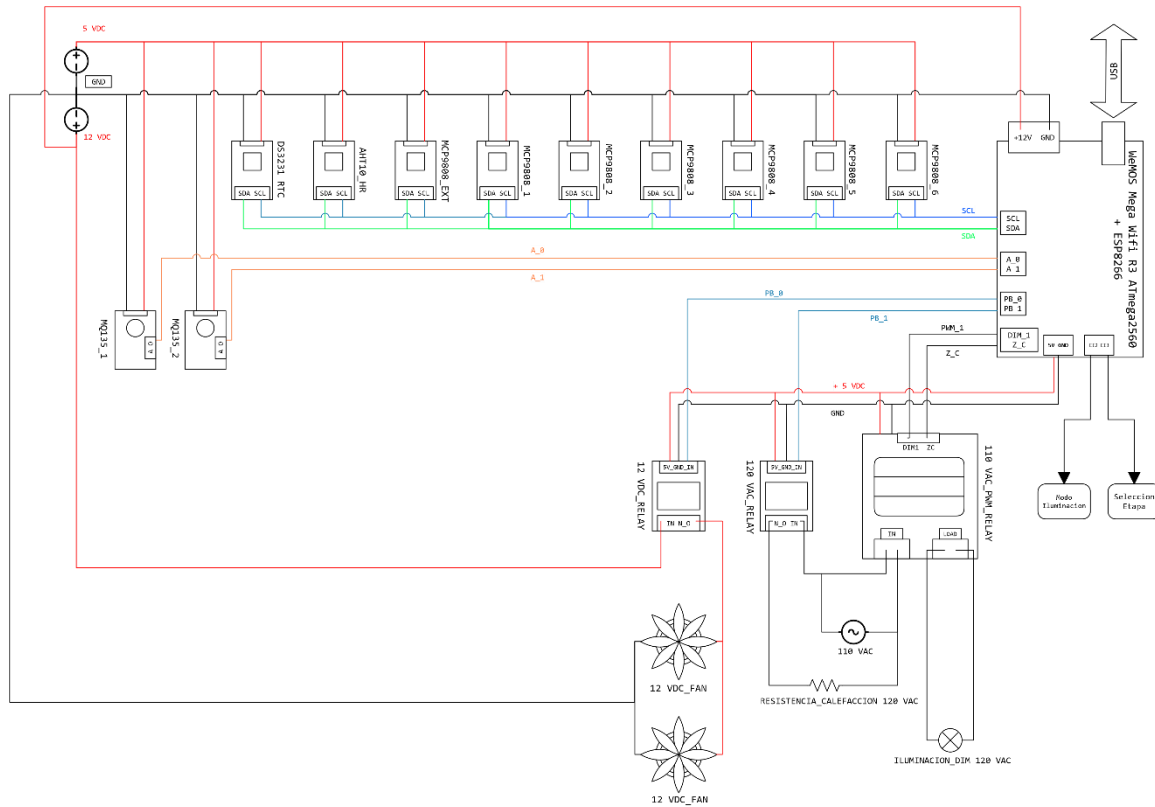
**Figura 9:** Estructura principal del prototipo a escala 1:10

Se procede ahora con la fase 2 correspondiente a la instrumentación con sensores del prototipo.

#### **4.1.4.2 Paso 2: Instrumentación del prototipo y prueba individual de los componentes**

En la fase 2 de la construcción del prototipo se hará la instrumentación de cada uno de los sistemas, se realizarán las pruebas y se verificará el correcto funcionamiento de cada una de las secciones previamente determinadas para la generación de las condiciones ambientales adecuadas para la cría de aves de engorde.

Se adjunta la imagen de la interconexión de todo el sistema.



**Figura 10:** Esquemático de los sistemas incorporados en el prototipo para generar las condiciones ambientales requeridas por las aves.

Para las pruebas individuales y la puesta en marcha del sistema se utiliza el software Arduino IDE, que incorpora las distintas librerías necesarias para la manipulación de los módulos sensores incorporados.

Partiendo del diagrama completo del sistema a implementar para la generación y mantenimiento de las condiciones ambientales del galpón, se procede a detallar cada uno de los sistemas que lo componen.

En la siguiente tabla se detallan las conexiones necesarias entre todos los componentes para la generación del ambiente controlado requerido por las aves.

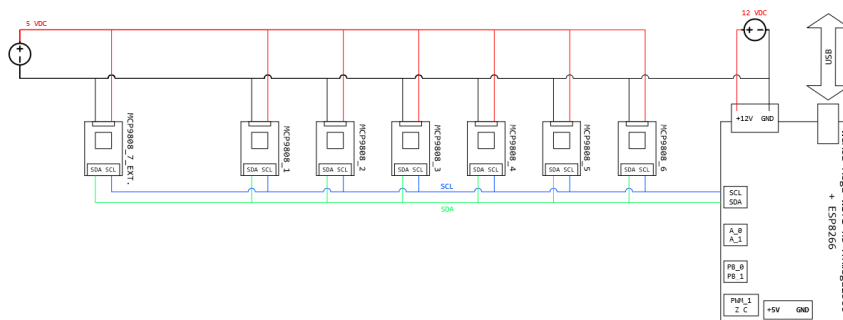
<b>MODULO SENSOR/ACTUADOR</b>	<b>Modelo</b>	<b>Cant.</b>	<b>Comunicación</b>	<b>Puerto</b>
Sensores de temperatura	MCP9808	7	Digital I <sup>2</sup> C	SDA/SCL
Sensor Humedad Relativa	AHT10	1	Digital I <sup>2</sup> C	SDA/SCL
Reloj Alta Precisión	DS3231	1	Digital I <sup>2</sup> C	SDA/SCL
Sensor Amoniaco	MQ135	2	Analógico	A0 / A1
Relevo Estado Solido Calefactor Low Level Trigger	G3MB-202P	1	Digital	PB0
Relevo Estado Solido Ventiladores Low Level Trigger	G3MB-202P	1	Digital	PB1
TRIAC Dimmer AC	BTA312	1	Digital	INT4(ZC), PL0
Botones para la selección Modo Iluminación y Etapa	Pulsador touch genérico	2	Digital	INT2, INT3
Microcontrolador Terminal	Wemos Mega2560 & ESP8266	1	Análogo/Digital/Wifi	-

**Tabla 13:** Tabla interconexión de los componentes, puertos, tipos de conexión y cantidades de sensores del prototipo.

Se procede con la descripción individualizada de los aspectos fundamentales del prototipo para el manejo de las condiciones ambientales adecuadas para el pollo de engorde.

#### 4.1.4.2.1 Implementación de los sensores de temperatura

Se realizan las pruebas de los módulos sensores de temperatura MCP9808 tanto del interior del prototipo, como del exterior que será colocado para evidenciar el funcionamiento adecuado de la calefacción y su control durante las pruebas que se realizaran. Se hace la interconexión de los siete sensores mediante el protocolo I<sup>2</sup>C, teniendo en cuenta la configuración planteada en el siguiente esquema de conexiones.



**Figura 11:** Esquemático de las conexiones para los módulos sensores de temperatura interna y sensor ambiental externo MCP9808

Para la conexión de los sensores se hace asignación de las direcciones de cada uno de ellos, para que puedan ser reconocidos y no haya conflictos por no tener asignaciones distintas. Posteriormente, se hace una prueba básica suministrada por el fabricante de los sensores, verificando su correcta identificación, correcta calibración y mediciones con cuatro decimales realizadas exitosamente.

Se adjunta imagen de la prueba de los sensores en conjunto.

```
22:38:03.975 -> La temperatura medida es:  
22:38:03.975 -> Sensor 1: 32.0000 °C ; Sensor 2: 33.0000 °C ; Sensor 3: 31.0000 °C  
22:38:03.975 -> Sensor 4: 31.0000 °C ; Sensor 5: 32.0000 °C ; Sensor 6: 31.5000 °C  
22:38:03.975 -> Promedio de temperatura: 31.7500 °C  
22:38:04.009 ->
```

**Figura 12:** Revisión de la lectura de los sensores de temperatura.

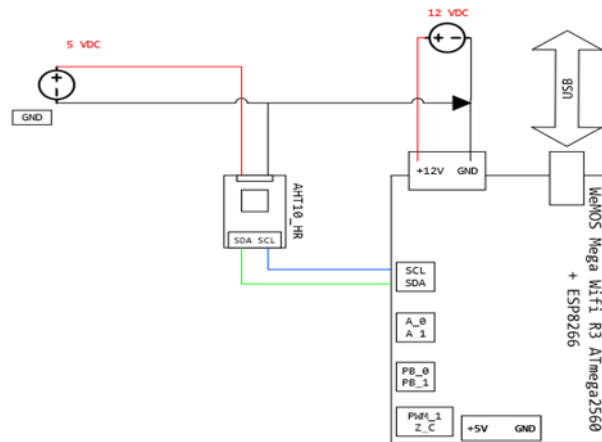
Una vez realizada la prueba de los sensores, se verifica el correcto funcionamiento de estos y la toma de muestras de temperatura adecuadamente, sin variaciones considerables entre cada sensor.

Para la medición de la temperatura y la verificación de su adecuado funcionamiento, se instala un sensor al exterior del prototipo, para obtener los valores de temperatura ambiental. Al interior se encuentran seis sensores para tomar la temperatura, con el fin de poder obtener un valor más preciso y del mismo modo poder encender o apagar la calefacción de forma oportuna.

#### **4.1.4.2.2 Implementación del sensor de humedad relativa**

La prueba del sensor de humedad relativa se realiza con el módulo AHT10, cuya conectividad es también I<sup>2</sup>C. Al haber solo un sensor de humedad relativa ubicado en el prototipo, no es necesario hacer modificaciones en cuanto a sus direcciones físicas. La prueba se ejecuta de forma separada de los demás componentes, con el fin de verificar su correcto funcionamiento y mediciones.

Para esta prueba se tiene en cuenta el siguiente diagrama de conexiones.



**Figura 13:** Esquemático de las conexiones para el módulo sensor de humedad relativa AHT10

Una vez verificada la correcta conexión de los circuitos se procede a realizar las pruebas de funcionamiento evidenciando la medición de humedad relativa correctamente. Esta información es arrojada en valores porcentuales, lo cual facilita su análisis y toma de decisiones al momento de procesar los datos en la máquina de estados que se prevé implementar para el sistema conjunto.

```
22:38:04.009 ->
22:38:04.009 -> Humedad Relativa (HR): 23.10%
```

**Figura 14:** Revisión de la lectura del sensor de humedad relativa.

### 4.1.4.2.3 Implementación del reloj tiempo real RTC

Posteriormente se realiza la conexión y prueba del módulo reloj DS3231, que con el código suministrado por el fabricante se establece manualmente la hora del reloj para luego hacer la lectura en varios momentos verificando su correcto funcionamiento.

Se debe tener en cuenta que, para la toma de los datos de la hora y su correcta implementación en el sistema debe estar en formato de 24 horas para poder determinar los ciclos de encendido, apagado y transiciones adecuadamente.

Para la conexión del reloj con el microcontrolador se emplea el siguiente diagrama.

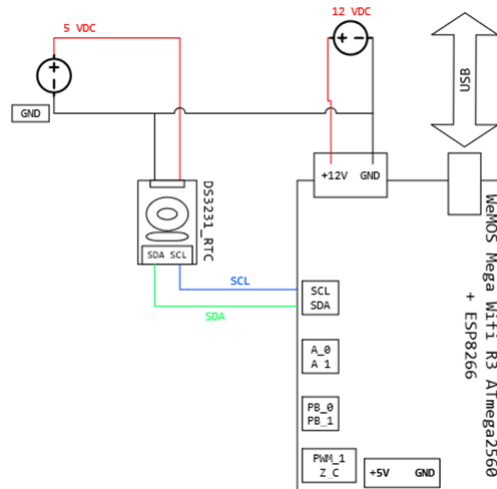


Figura 15: Esquemático de las conexiones para el módulo reloj DS3231

Para la verificación de la hora del módulo reloj DS3231, se procede con la lectura de los datos en comunicación serial.

```
22:38:03.975 ->
22:38:03.975 -> La hora es: 22:39:10
22:38:03.975 ->
```

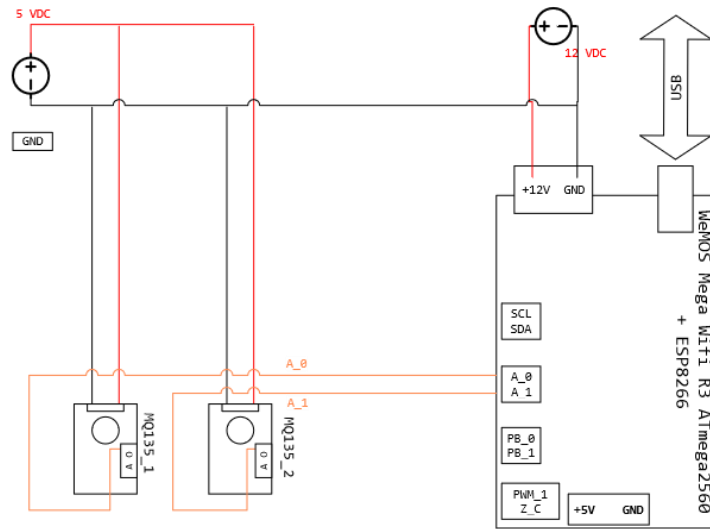
Figura 16: Hora obtenida del sistema.

#### 4.1.4.2.4 Implementación de los sensores de amoniaco

Ya habiendo realizado las pruebas de los módulos sensores tipo digital, se procede con la prueba de los módulos de sensores de amoniaco MQ135, que serán conectados a los puertos analógicos del microcontrolador, puesto que la configuración digital de los mismos no permite realizar mediciones como es requerido para la toma de datos de la concentración de amoniaco del galpón.

Para esta prueba, se realiza la conexión de los módulos como se indica en el siguiente esquemático.





**Figura 17:** Esquemático de las conexiones para los módulos de amoníaco MQ135

Para las prueba y verificación del funcionamiento de la lectura analógica del módulo MQ135, se hace la conexión de cada sensor con los canales A0 y A1 respectivamente para el procesamiento de los voltajes que entregan los módulos analógicos.

Para el tratamiento de los datos de la lectura del amoníaco se realizará el cálculo del voltaje correspondiente a 20 partículas por millón de amoníaco en el aire. Sin embargo, para las pruebas basta con utilizar amoníaco cerca a cada módulo sensor y verificar las variaciones de voltaje que estos presentan. Es importante resaltar que para tomar las medidas acertadamente los sensores deben precalentarse 48 horas antes de la toma de muestras.

```
22:38:04.009 -> Amoniaco 1 = 146 ; Amoniaco 2 = 153
22:38:04.009 -> Concentracion de amoniaco: 149
```

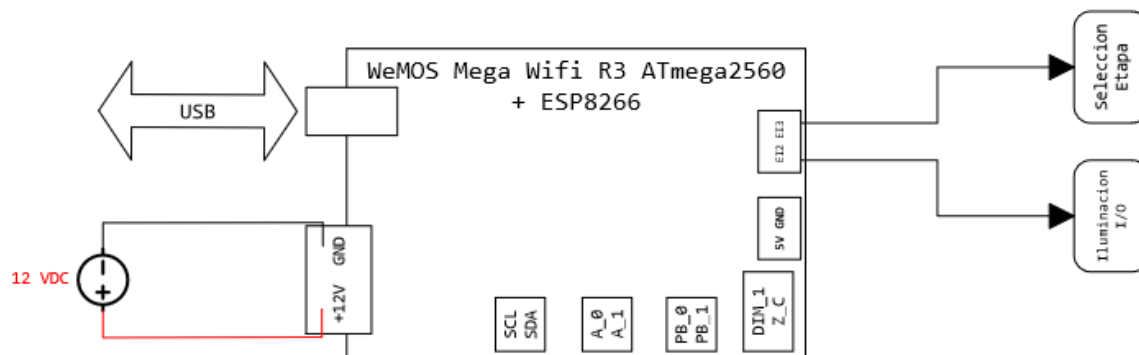
**Figura 18:** Lectura de las entradas analógicas de los sensores analógicos, los valores mostrados en la lectura serial, corresponden aire limpio.

#### 4.1.4.2.5 Implementación de los pulsadores de etapa y modo de iluminación

Para la selección de las etapas de crecimiento de las aves, se cuenta con un botón para intercambiarlas una a una comenzando en la etapa 1, además se cuenta con otro botón que permite encender o apagar la luz en cualquier momento para poder revisar algún

acontecimiento dentro del galpón cuando la iluminación no sea suficiente. Estos botones están configurados a las interrupciones externas del microcontrolador con el fin de no intervenir en la ejecución de las demás actividades, como el control de la máquina de estados o la toma de decisiones según los requerimientos del sistema.

Esta conexión de los botones se muestra en el siguiente esquema.



**Figura 19:** Esquemático de las conexiones para los botones de selección de la etapa de crecimiento y modo de iluminación del prototipo.

Se adjuntan las imágenes correspondientes a la construcción e instrumentación del prototipo.

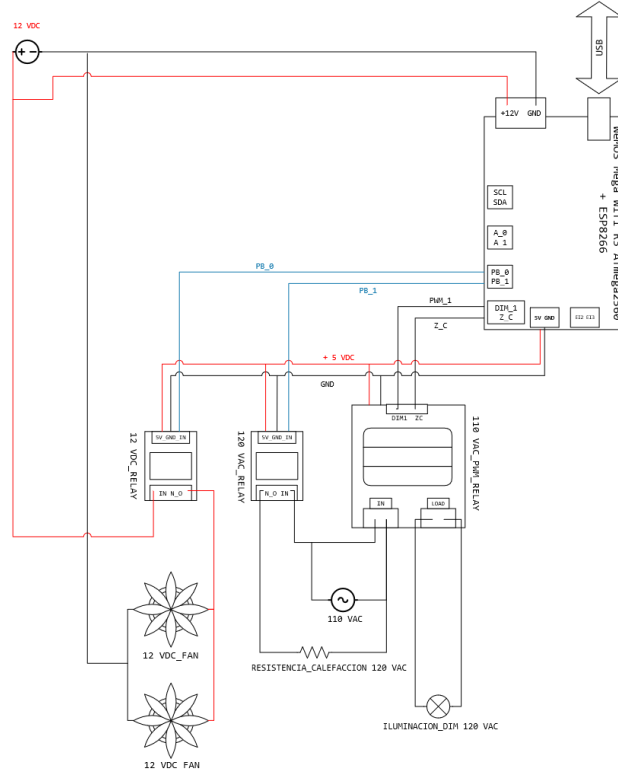


**Figura 20:** Construcción e instrumentación del prototipo.

### 4.1.4.2.6 Implementación de los actuadores

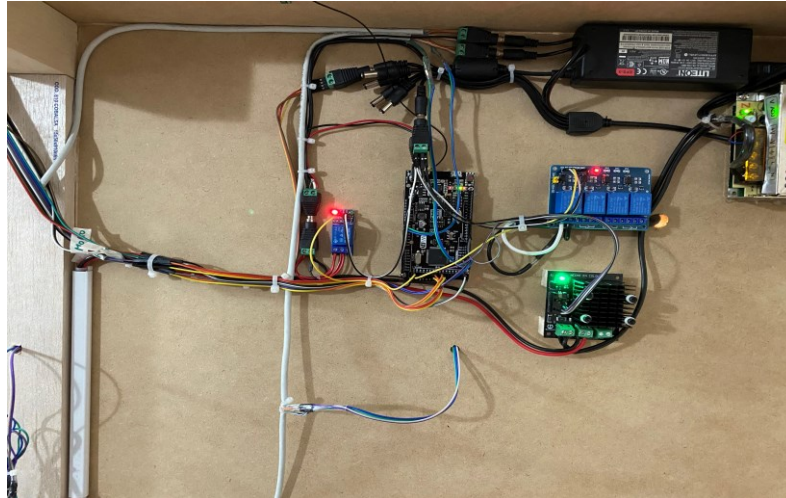
Una vez se ha verificado el correcto funcionamiento de cada uno de los componentes de mediciones y entrada para el sistema, se procede con la conexión de los actuadores correspondientes a la iluminación, encendido de calefacción y ventiladores. En este orden de ideas, para el control de la iluminación respecto a su encendido y apagado paulatino y para mantener la iluminación constante durante las horas indicadas, se empleará un módulo dimmer AC; para el encendido y apagado de la calefacción y ventilación se emplearán módulos de relevo de estado sólido; para el manejo de la calefacción como se ha mencionado anteriormente se empleará un calefactor cerámico infrarrojo; para la ventilación se emplearan dos ventiladores axiales DC, uno ubicado en la estructura frontal superior y el segundo en la parte posterior superior de 80mm x 80mm x 15 mm; y, para la iluminación se emplearan dos bombillas LED luz cálida y 2 vatios de potencia con conexión socket GU10.

Esta conexión de componentes y actuadores está dada con base al siguiente esquemático.



**Figura 21:** Esquemático de la conexión de los actuadores AC y DC para la generación y mantenimiento de las condiciones ambientales en el prototipo.

En la siguiente ilustración se muestra la parte inferior del prototipo con las conexiones entre los actuadores, el microcontrolador y las fuentes de energía de los componentes.



**Figura 22:** Imagen de las interconexiones de los actuadores del sistema.

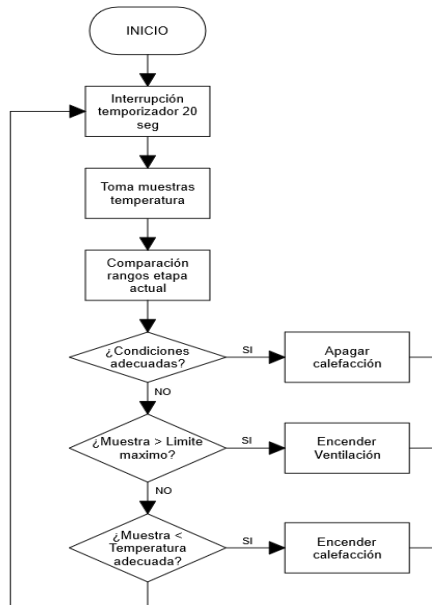
Teniendo establecidas y verificadas las conexiones de los componentes, se procede con la adecuación del software para ajustar el comportamiento del prototipo. Se hará una descripción general del funcionamiento y se representará mediante una máquina de estados mostrando los diferentes momentos presentes en el sistema para la generación de las condiciones ambientales requeridas para el desarrollo adecuado de las aves.

En cuanto al funcionamiento general del sistema:

La temperatura según la información consignada en la tabla 6, se trabajará en 4 etapas, cada una tiene sus rangos de operación determinados y en los cuales no puede haber variaciones de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Partiendo de esta información, se establece que cuando alguna de las etapas está por debajo de su rango establecido, deberá encender la calefacción para compensar la temperatura requerida, al momento de haber llegado al valor ideal, deberá apagarse y hacer la verificación nuevamente para mantenerla estable en todo momento.

Si la temperatura excede el límite superior, que es de  $+2^{\circ}\text{C}$ , se procederá a encender la ventilación para reducir con mayor velocidad la temperatura crítica manteniendo apagada la calefacción.

En el siguiente diagrama de flujo se muestra el funcionamiento general de la calefacción.

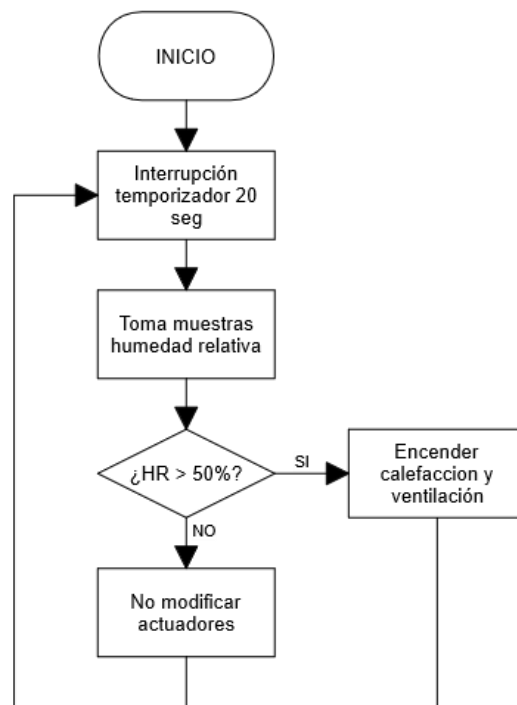


**Figura 23:** Diagrama de flujo del funcionamiento de la calefacción.

Para el control y manejo de la concentración de amoníaco se toma la información de los valores obtenidos con la ecuación suministrada por el fabricante y al momento de ser superada, se procederá a encender la ventilación para reducir los niveles de concentración de amónico que no debe superar las 20 partículas por millón. Este proceso de ventilación se realiza independientemente esté activa o no la calefacción, hasta llegar a niveles adecuados.

La humedad relativa tiene un manejo especial, puesto que se parte de un rango ideal correspondiente al 50%, entonces al momento de exceder este límite se procede con el encendido conjunto de la calefacción y ventilación, con el fin de evaporar la humedad y que pueda ser extraída por el sistema de ventilación. Si la concentración de humedad relativa es menor a la ideal, se mantendrá el sistema en reposo, puesto que al momento de implementar el sistema se debe tener en cuenta el tipo de los bebederos que habrán instalados si son de niple o son abiertos, además de la humedad de la zona donde se ejecutara la obra.

El diagrama de flujo describe el funcionamiento de la humedad relativa.



**Figura 24:** Diagrama de flujo de humedad relativa.

La iluminación del sistema se relaciona con las etapas, donde la etapa 1 y etapa 4 requieren de iluminación por periodos de 23 horas y 1 de oscuridad, las etapas 2 y 3 basta con el ciclo natural de iluminación día. Para los ciclos de iluminación de 23 horas luz y 1 hora oscuridad, se establece que, al ser las 17 horas, iniciará el encendido paulatino de la iluminación hasta alcanzar su máxima intensidad, quedando encendida hasta las 04 horas del siguiente día, permitiendo completar el ciclo de 23 horas luz y 1 hora oscuridad, ya que por lo general a las 5 inicia el amanecer y así comenzar el conteo de las 23 horas correspondientes.

El siguiente diagrama de flujo describe el funcionamiento de la iluminación.

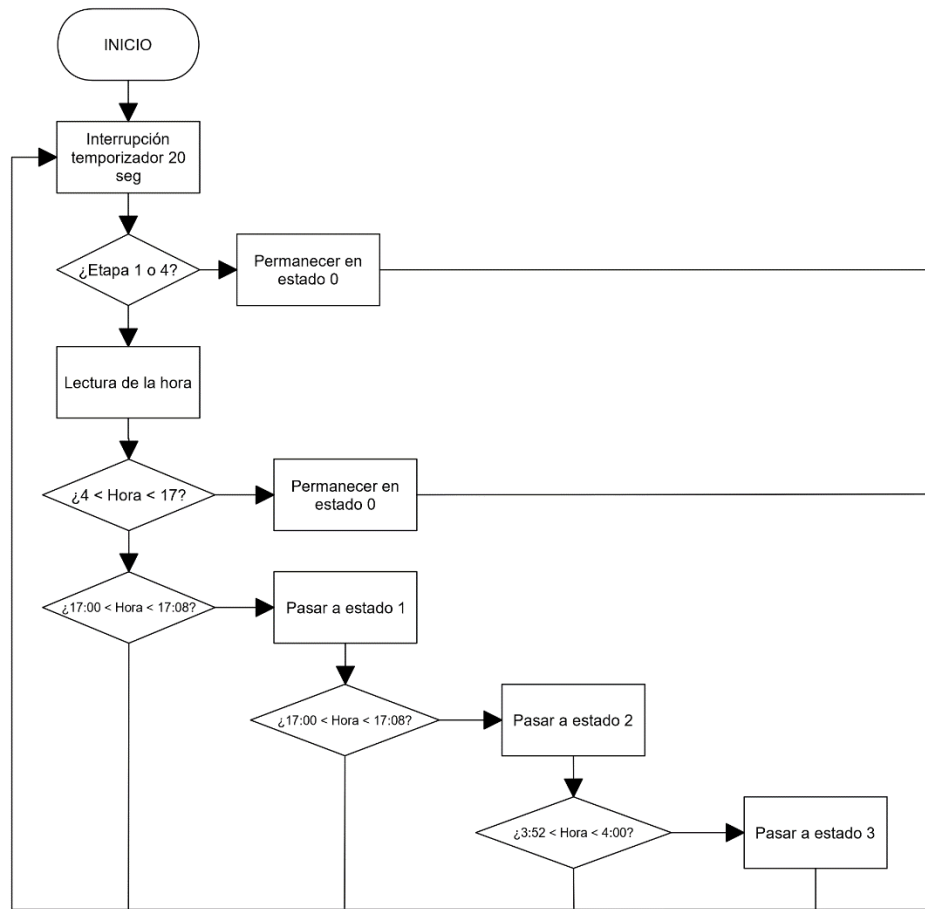


Figura 25: Diagrama de flujo etapas de la iluminación.

Estas mediciones del ciclo de la iluminación estarán controladas también por el reloj DS3231 para garantizar su ejecución a tiempo, evitando retrasos que se puedan generar en los temporizadores internos del microcontrolador y sus ciclos de ejecución de los trabajos asignados.

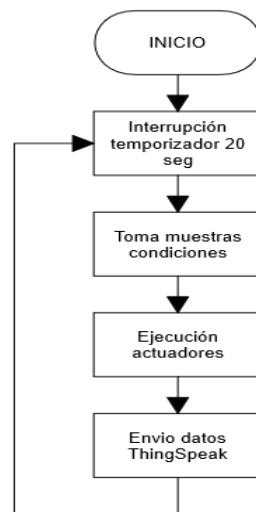
Estas tomas de muestras de las condiciones ambientales se tomarán cada 20 segundos, para tomar acciones con las menores variaciones posibles sin llegar a límites comprometedores, además de permitir que el microcontrolador pueda ejecutar por completo las instrucciones dadas.

El envío de los datos desde el galpón hacia el servidor de ThingSpeak se realizará cada 20 segundos, tan pronto sean tomadas las muestras y se hayan ejecutado las acciones

pertinentes para asegurar las condiciones ambientales ideales. Estos datos contienen valores de las variables de temperatura, humedad relativa y amoniaco.

En el servidor de ThingSpeak se almacenarán variables relacionadas con la temperatura ambiente del galpón, la concentración de la humedad relativa, la concentración de amoniaco, la etapa de crecimiento y la temperatura ambiente exterior al galpón para revisar el correcto desempeño del sistema.

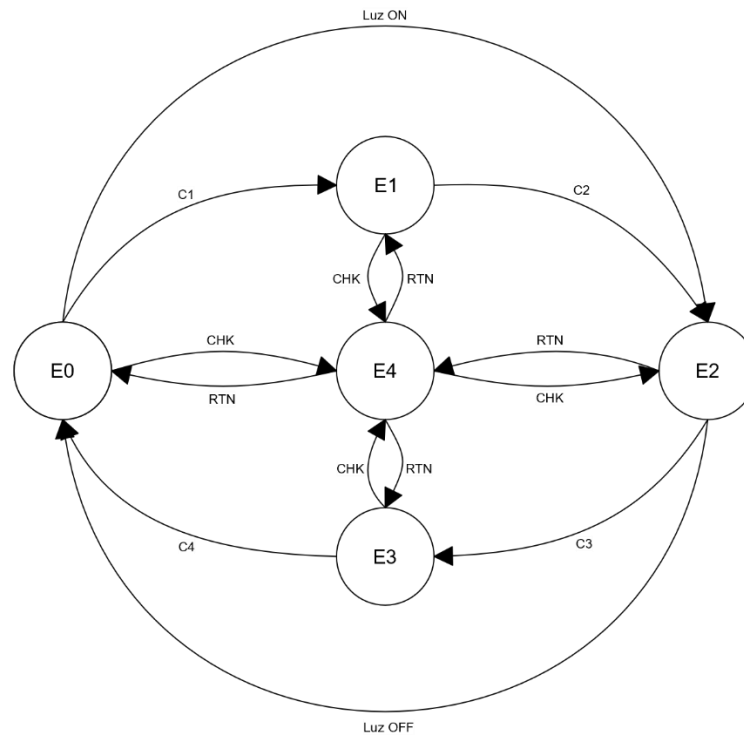
El diagrama de flujo describe el proceso de envío de datos desde el microcontrolador hacia el servidor ThingSpeak.



**Figura 26:** Diagrama de flujo envío de datos condiciones ambientales a ThingSpeak.

A continuación, se muestra el funcionamiento del software basado en máquina de estados con el fin de generar el ambiente ideal para el adecuado desarrollo de las aves de engorde.





**Figura 27:** Máquina de estados del funcionamiento del sistema para la generación de las condiciones ambientales previamente establecidas.

Descripción general de la máquina de estados.

Estados:

- E0 = Estado de Reposo, mantiene la iluminación apagada (Dimmer = 65), su funcionamiento se basa en las interrupciones generadas cada veinte segundos desde el timer 5 del microcontrolador.
- E1 = Encendiendo Dimmer, este estado aumenta el ciclo de trabajo del dimmer desde 0% hasta 100% en un periodo de dos minutos, su funcionamiento se basa en las interrupciones generadas cada veinte segundos desde el timer 5 del microcontrolador.
- E2 = Dimmer 100%, este estado mantiene la iluminación encendida a su máxima capacidad, el estado de encendido está determinado en aproximadamente 11 horas, con el fin de completar el ciclo de 23 horas iluminación y 1 hora de oscuridad. Su trabajo está basado únicamente en la obtención de las horas y minutos desde el reloj externo de alta precisión DS3231. Su funcionamiento se basa en las

interrupciones generadas cada veinte segundos desde el timer 5 del microcontrolador.

- E3 = Apagando Dimmer, este estado disminuye el ciclo de trabajo del dimmer desde 100 % hasta 0% en un periodo de dos minutos. Su funcionamiento se basa en las interrupciones generadas cada 20 segundos desde el timer 5 del microcontrolador.
- E4 = Estado donde se hace la verificación de todas las condiciones ambientales por los sensores de temperatura, humedad relativa y amoniaco, realizando las acciones necesarias según corresponda manteniéndolas de forma correcta para garantizar el bienestar de las aves.

<b>ESTADO ACTUAL</b>	<b>ENTRADAS</b>	<b>IND</b>	<b>ESTADO PROXIMO</b>
E0	PASO_MINUTO = True (Interrupción Timer5)	CHK	E4
E0	(Hora ≥4 && Minu >0) && (Hora ≤ 16 && Minu ≤ 59) && (Etapa==1    Etapa == 4)	C5	E0
E0	(Hora≥17 && Minu≥0) && (Etapa==1    Etapa == 4)	C1	E1
E0	CTRL_LUZ == 2 (INT3)	L. ON	E2
E1	PASO_MINUTO = True (Interrupción Timer5)	CHK	E4
E1	(Hora≥17 && Minu≥8) && (Etapa==1    Etapa == 4)	C2	E2
E1	(Hora≥17 && Minu>0) && (Hora≥17 && Minu<8) && (Etapa==1    Etapa == 4)	C6	E1
E2	PASO_MINUTO = True (Interrupción Timer5)	CHK	E4
E2	CTRL_LUZ = 2 (INT3)	L.OFF	E0
E2	(Hora≥17 && Minu >8) && (Hora≤3 && Minu<52) && (Etapa==1    Etapa == 4)	C7	E2
E2	(Hora≥3 && Minu≥52) && (Etapa==1    Etapa == 4)	C3	E3
E3	PASO_MINUTO = True (Interrupción Timer5)	CHK	E4
E3	(Hora≥3 && Minu>52) && (Hora≥3 && Minu≥59) && (Etapa==1    Etapa == 4)	C8	E3
E3	(Hora≥4 && Minu≥0) && (Etapa==1    Etapa == 4)	C4	E0
E4	PASO_MINUTO = True & ESTADO ANTERIOR = 0	RTN	E0
E4	PASO_MINUTO = True & ESTADO ANTERIOR = 1	RTN	E1
E4	PASO_MINUTO = True & ESTADO ANTERIOR = 2	RTN	E2
E4	PASO_MINUTO = True & ESTADO ANTERIOR = 3	RTN	E3

**Tabla 14:** Estados y transiciones de la máquina de estados para el funcionamiento del software del prototipo.

Descripción de las condiciones para transiciones.

- C1 (Hora≥17 && Minu≥0) && (Etapa==1 || Etapa == 4) = Condición que realiza la transición desde el estado 0 al estado 1. Su comportamiento se basa en que al

cumplir la condición de la hora mayor o igual a las 17 horas y 00 minutos y si la etapa es la uno o la cuatro, hace el cambio hacia el estado dos.

- C2 ( $\text{Hora} \geq 17 \ \&\& \ \text{Minu} \geq 8$ )  $\&\& \ (\text{Etapa} == 1 \ || \ \text{Etapa} == 4)$  = Condición para hacer la transición del estado 1 al estado 2. Su comportamiento se basa en que al momento de cumplir la condición de la hora mayor o igual a las 17 horas y 08 minutos y si la etapa es la uno o la cuatro, hace el cambio hacia el estado dos.
- C3 ( $\text{Hora} \geq 3 \ \&\& \ \text{Minu} \geq 52$ )  $\&\& \ (\text{Etapa} == 1 \ || \ \text{Etapa} == 4)$  = Condición para hacer la transición del estado 2 al estado 3. Su comportamiento se basa en que al momento de cumplir la condición de la hora mayor o igual a las 3 horas y 52 minutos y si la etapa es la uno o la cuatro, hace el cambio hacia el estado tres.
- C4 ( $\text{Hora} \geq 4 \ \&\& \ \text{Minu} \geq 0$ )  $\&\& \ (\text{Etapa} == 1 \ || \ \text{Etapa} == 4)$  = Condición para hacer la transición del estado 3 al estado 4. Su comportamiento se basa en que al momento de cumplir la condición de la hora mayor o igual a las 4 horas y 00 minutos y si la etapa es la uno o la cuatro, hace el cambio hacia el estado cero.

La transición CHK, hace referencia a que partiendo desde alguno de los estados entre 0 y 3 hace paso al estado 4 para hacer la revisión de las condiciones y tomar las acciones necesarias. Las indicaciones de transición RTN, indica el regreso desde el estado 4 a los estados entre el 0 y 3; estas transiciones se ejecutan cuando se ha cumplido el paso de un minuto contabilizado en el microcontrolador y la función booleana PASO\_MINUTO se hace verdadera.

El diseño de la máquina de estados hace que al estar en un estado entre 0 y 3, cada veinte segundos se pase al estado 4 para hacer la toma de muestras del ambiente y se tomen las acciones necesarias para mantener las condiciones ambientales de forma oportuna y posteriormente se regrese al estado anterior.

La iluminación cuenta con dos modos, modo 1 y modo 2. El modo 1 mantiene la iluminación apagada con el fin de poder controlar los estados de la iluminación según la etapa de crecimiento, haciendo las transiciones a las horas establecidas. El modo 2 hace que se pase a tener la iluminación encendida en cualquier momento y sin tener un aumento paulatino y al momento de regresar al modo 1 se regresa al estado 0, para luego según la

hora y la etapa de crecimiento el sistema proceda a hacer el encendido paulatino de la iluminación según corresponda.

Las opciones de encendido y apagado paulatino que realiza el dimmer se toma en los tiempos generados por el timer 5 del microcontrolador.

Para el desarrollo del proyecto, se emplea el timer 5 del microcontrolador ya que este temporizador no es utilizado por otras librerías o por la función delay ofrecida por la plataforma Arduino permitiendo el manejo adecuado y sin interferencias que puedan causar fallos en el funcionamiento del software.

#### **4.1.5 Fase 5: Testear/Probar**

En la última fase del modelo de negocio Design Thinking, se procede con la realización de las pruebas del prototipo en conjunto para comprobar su adecuado funcionamiento y corregir los posibles errores que se estén presentando. Para este caso no es posible realizar las pruebas iniciales con aves en crecimiento puesto que, de presentarse fallas en el prototipo, éstas podrían sufrir daños graves, además, por ser un prototipo a escala reducida, las aves en su crecimiento podrían alcanzar altura mayor a la que el prototipo está construido afectando su bienestar, sufrir daños importantes por quemaduras o cortaduras ocasionadas por los ventiladores en funcionamiento.

Se sugiere realizar las pruebas con animales vivos cuando se disponga de mayor espacio para permitir el crecimiento adecuado y se corrijan posibles errores que pueden acarrear problemas a las aves.

Se describe a continuación los procedimientos que se han ejecutado para la realización de las pruebas del sistema; es importante tener en cuenta que los resultados obtenidos se mostraran en la sección 5.

##### **4.1.5.1 Pruebas para la temperatura**

Para la prueba de la temperatura se ejecutó en cuatro momentos, cada momento hace referencia a etapa, en donde cada uno de estos se llevará a cabo en turnos de 12 horas,

pasadas las 12 horas se cambió a la etapa siguiente y de este modo se completaron las 4 etapas que han sido estipuladas para el desarrollo del prototipo.

Para soportar el correcto funcionamiento de la temperatura y las etapas se adicionó un sensor de temperatura que revisó las condiciones ambientales (temperatura externa al galpón), en los mismos tiempos que se hace la toma de muestras de los sensores internos del prototipo, esto con el fin de verificar la capacidad para mantener las condiciones adecuadamente.

Es importante tener en cuenta que las pruebas se realizan en ambiente cerrado, es decir, el prototipo no está en condiciones exteriores ya que por su construcción tendría un deterioro importante al estar expuesto a luz solar y humedad, además de no contar con un espacio disponible para la realización de las pruebas, sin embargo, para permitir variaciones de las condiciones de temperatura ambiente, se ubica el prototipo cerca de una ventana abierta.



**Figura 28:** Prototipo en precalentamiento para la toma de muestras, sistema de calefacción infrarrojo cerámico.

#### 4.1.5.2 Pruebas para la humedad relativa

Para las pruebas de humedad relativa se emplean humidificadores de ambiente dentro del prototipo para aplicar humedad al sistema y se puedan hacer las mediciones y los ajustes de forma adecuada. Estos humidificadores tienen una ventaja importante y es que generan humedad en forma de vapor no condensado incrementando la humedad relativa del ambiente y al llegar al 50% de la concentración se activan los actuadores establecidos para reducir su concentración y estabilizar el ambiente manteniéndolo con las condiciones óptimas.



Figura 29: Pruebas de concentración de humedad relativa

#### 4.1.5.3 Pruebas para la medición de amoníaco

Para las pruebas de amoníaco, al no disponer del producto puro, se realizan con productos que cuentan con una cantidad importante de amoníaco. Para tal fin, se toman tintes para cabello y tabletas fertilizantes con amoníaco como producto activo y de este modo se representan las condiciones de concentración de amoníaco.

Para la realización de la prueba se hace la mezcla de estos productos hasta obtener una pasta cremosa homogénea y se coloca al interior del prototipo para que a medida que pasa el tiempo vaya desprendiendo amoníaco al ambiente y tomar las mediciones adecuadamente.



Figura 30: Mezcla de productos químicos con amónico



Figura 31: Mezcla química con amoniaco para la toma de muestras

#### 4.1.5.4 Pruebas realizadas para la iluminación

Respecto a las pruebas realizadas para la iluminación, se tuvo en cuenta que, a las horas previamente establecidas en la máquina de estados, se efectuaron las transiciones de iluminación de todas las etapas. Para la verificación de los resultados, se toma como patrón un reloj y se comprueba que haga las transiciones adecuadamente, en este caso se evidenció exitosamente el encendido paulatino de la iluminación iniciando a las 17:00 horas, manteniéndola encendida al 100% hasta las 3:59 horas y su apagado completo se da a las 4:03 horas.

En la sección 4, se presentan los resultados de las pruebas.

#### 4.1.5.5 Pruebas realizadas para el envío de los datos al servidor ThingSpeak

Para la ejecución de esta prueba se mantuvo en todo momento encendido el envío de información, que puede ser verificada accediendo al canal y en los resultados obtenidos, ya que, para la presentación de estos, solo se tiene en cuenta la información del servidor, evidenciando su correcto funcionamiento, además del envío sin interrupciones de los datos.

```
21:14:48.246 -> [WiFiEsp] Disconnecting 3
21:14:48.279 -> Channel update successful.
21:14:48.279 ->
21:14:48.279 -> La hora es: 21:15:53
```

**Figura 32:** Ilustración de la conexión exitosa con el servidor de ThingSpeak.

#### 4.1.5.6 Reporte de fallas durante la ejecución de pruebas

Durante la ejecución de las pruebas, se presentaron inconvenientes como fallos eléctricos (fluctuaciones de energía) que, aunque pasajeros afectaron el envío de datos por periodos no mayores a dos minutos, que en la toma de datos desde ThingSpeak no son relevantes, ya que las condiciones no cambiaron de forma importante.

Fallas intermedias se presentaron en un periodo comprendido entre 20 a 30 minutos, donde el sistema tuvo fallos de calefacción, en este punto se abrió el circuito del calefactor acarreando bajas de temperatura considerables.

Fallas importantes, se presentó problema con la lectura de los sensores de temperatura, debido a una desconexión imprevista en el cableado, lo cual hizo que se sobrecalentara el prototipo y concluyo en daño físico de la estructura, el cual pudo repararse de forma oportuna para la toma de las muestras restantes.

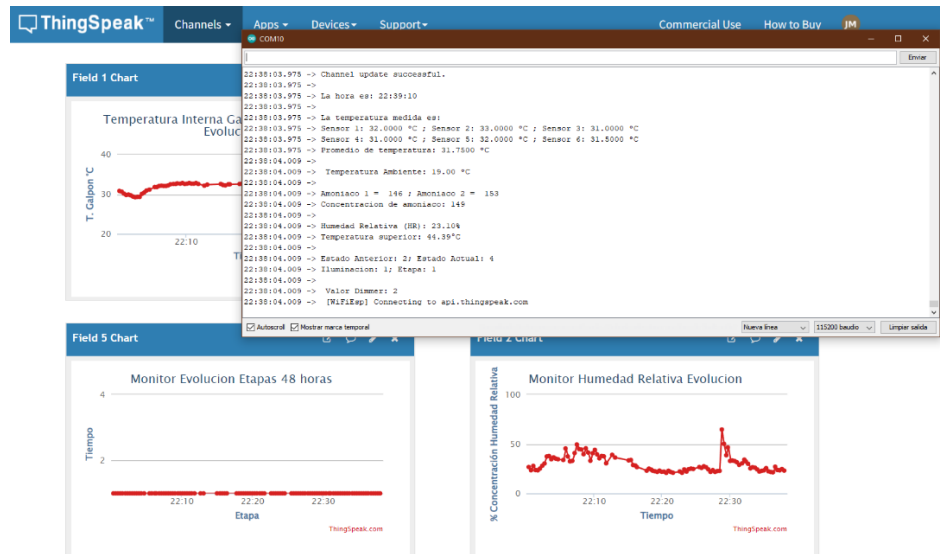




**Figura 33:** Fallo estructural del prototipo debido al bloqueo del sistema generando sobrecalentamiento del prototipo.

Luego de la falla, se procede con el refuerzo de la estructura del prototipo y se hace una verificación rápida del funcionamiento de cada uno de los componentes del sistema, no se presentan mayores inconvenientes tras el daño presentado, pudiendo retomar la ejecución de pruebas rápidamente.

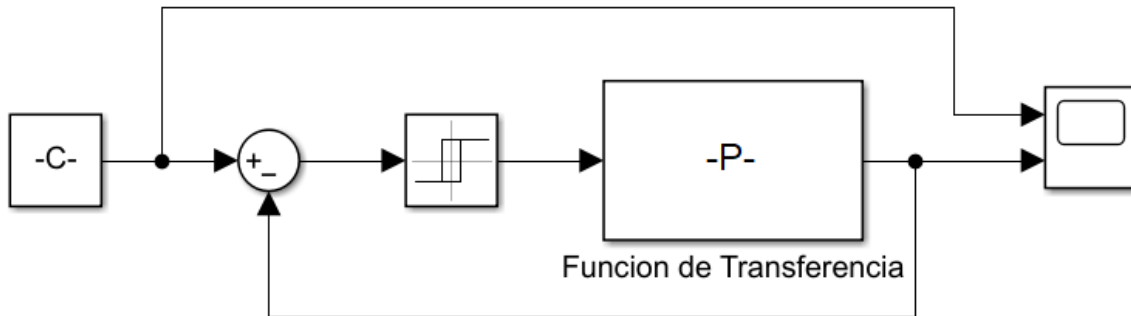
Se presenta captura de pantalla con todos los sistemas funcionando adecuadamente.



**Figura 34:** Comportamiento completo del sistema y procesamiento grafico de datos IoT ThingSpeak.

## 4.2 Modelo de control del sistema

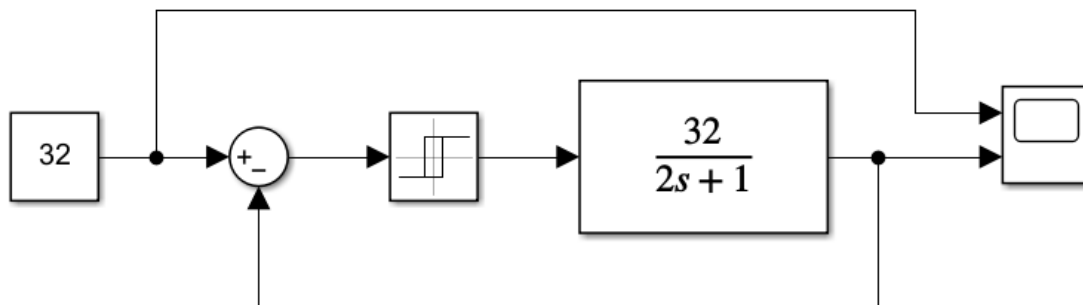
En la **Figura 35** se observa el esquema del sistema de control que rige los sistemas involucrados en el prototipo, estos se caracterizan por ser tipo ON/OFF.



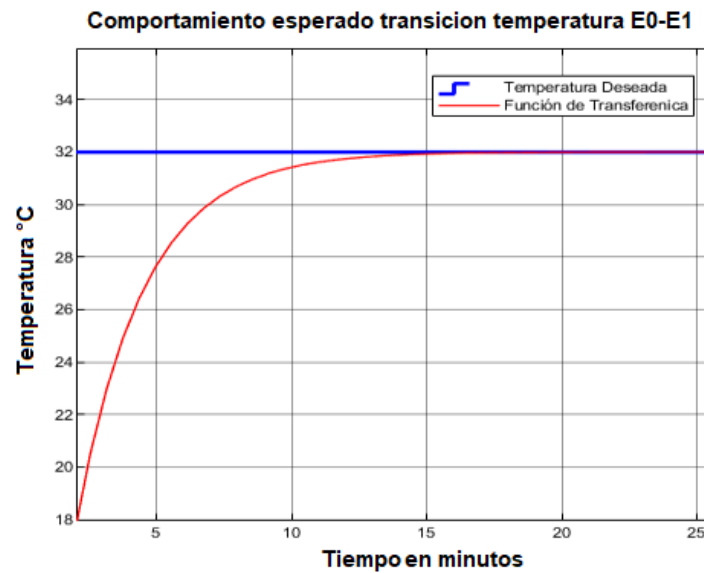
**Figura 35:** Modelo de control sistemas ambientales

De forma general, se observa que el sistema de control de izquierda a derecha cuenta con un valor constante  $-C-$  que es el que establece las condiciones en las que el sistema debe operar, luego se encuentra el sumador que opera las condiciones ideales con las obtenidas del sistema para determinar la acción a ejecutar por el relevo ON/OFF y finalmente permitir al sistema que se mantenga las condiciones estipuladas.

Específicamente para la temperatura en la transición entre el primer momento hasta estabilizarse en la etapa 1, de forma heurística se establece el siguiente controlador.



Para la transición de la temperatura desde 0 (Temperatura ambiente) hasta la temperatura deseada, se espera el siguiente comportamiento.



**Figura 36:** Comportamiento esperado temperatura E0-E1

Para las transiciones de las demás etapas se prevé el descenso gradual de la temperatura hasta llegar a su límite establecido, lo que depende de las condiciones ambientales que se presenten. Se toman los estados estacionarios como ideales puesto que no se tienen en cuenta en el modelo los momentos extra en que el controlador este encendido o apagado. Lo que mostraría un efecto ondulatorio respecto a la temperatura ideal.

## 5. Resultados y análisis

En esta sección se muestran los resultados y el análisis de las pruebas de la fase 5 de la metodología Design Thinking.

Los resultados, se presentarán por variables a controlar, temperatura, humedad relativa, concentración de amoníaco, iluminación y envío de datos.

Se establecen cuatro etapas de crecimiento. En la etapa uno, se reciben las aves recién nacidas y debe mantener la temperatura alta (32 °C), para garantizar el confort de las aves, además del régimen de iluminación de 23 horas luz y 1 hora oscuridad para promover la ingesta de alimento en las aves, iniciando su proceso de engorde.

En las etapas dos y tres, se reduce la temperatura a 30°C y 28°C respectivamente y su régimen de iluminación pasa a ser 12 horas luz (día) y 12 horas oscuridad (noche), permitiendo la ingesta de alimento y el estado de reposo de las aves. Finalmente, la etapa cuatro se establece la temperatura en 26°C y su régimen de iluminación es de 23 horas luz y 1 hora oscuridad, estimulando mayor ingesta de alimento y concluyendo el ciclo de crecimiento y engorde de las aves.

Durante todo el proceso de crecimiento la humedad relativa del ambiente debe estar sobre el 50% y la concentración de amoníaco del galpón no debe superar las 20 partes por millón, evitando daños en el sistema respiratorio de las aves, manteniendo la salud física y emocional de las aves en su proceso de engorde.

Los valores de cada una de las variables tratadas en el proyecto se toman del análisis realizado en los manuales para aves de engorde disponibles [2] [3].

### 5.1 Resultados y análisis temperatura

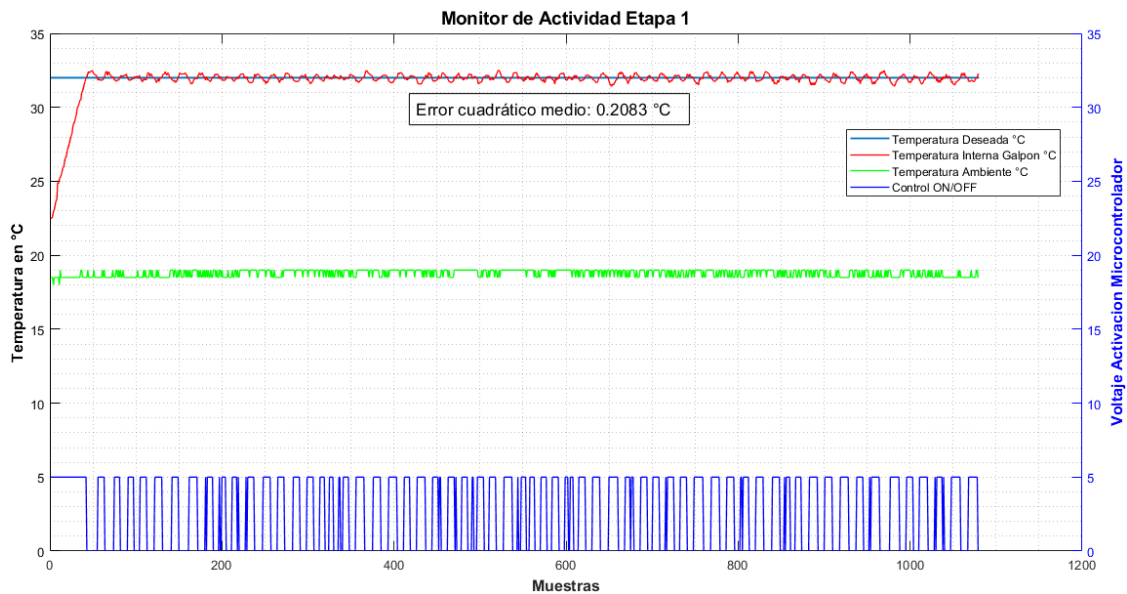
Se muestra el comportamiento de la temperatura durante las cuatro etapas que fueron establecidas para el manejo de las condiciones ambientales en el prototipo, cabe recordar que los rangos establecidos en la tabla 6 para el manejo de la temperatura son de:

<b>Etapa</b>	<b>Temperatura</b>
1	32 °C
2	30 °C
3	28 °C
4	26 °C

**Tabla 15:** Rangos de temperatura para cada etapa.

Para la toma de las muestras se hace en un periodo de 6 horas con cada una de las etapas, que corresponden a 1080 muestras, en cada gráfica se muestra la temperatura ideal de la etapa, el comportamiento de la temperatura interna del galpón, la temperatura ambiente y el funcionamiento del controlador ON/OFF y el error cuadrático medio. En las gráficas se muestra el voltaje del controlador lo que indica que cuando está en 5 voltios significa que está encendido el calefactor y 0 voltios que está apagado.

### 5.1.1 Temperatura etapa 1



**Figura 37:** Toma de muestras de temperatura de la etapa 1

En la **Figura 37** se observa que, para las 1080 muestras, el sistema ha tenido buen desempeño al mantener la temperatura fluctuando muy cerca al límite ideal, debido al comportamiento de encendido y apagado del controlador para mantener la temperatura establecida, con variación de 0.2083 °C dada por el error cuadrático medio (RMSE), sin superar los límites de +/- 2 °C [2] [3]. Se evidencia que la temperatura se mantiene cerca a los 32 °C, que es el rango indicado para la etapa 1, en contraste, se observa el comportamiento de la temperatura ambiental que en promedio se mantiene sobre los 19 °C.

Al hacer el análisis del error cuadrático medio empleando el software Matlab, teniendo en cuenta las muestras desde donde se estabiliza la temperatura en 32 °C hasta completar las 1080 muestras, se tiene que el error para la etapa 1 es de 0.2083 °C, lo que evidencia el funcionamiento adecuado del controlador para garantizar la temperatura sin mayor inconveniente. Partiendo desde el encendido de la calefacción estando a temperatura interna del galpón en 22.5 °C, hasta alcanzar la temperatura deseada de 32 °C, se tarda 13.3 minutos. Para la obtención de este dato se toman la cantidad de muestras transcurridas desde el encendido hasta lograr el establecimiento de la temperatura en 32 °C, para después obtener el tiempo de establecimiento en minutos.

### 5.1.2 Temperatura etapa 2



**Figura 38:** Toma de muestras de temperatura de la etapa 2

En la **Figura 38** se muestra el comportamiento de la temperatura de la etapa 2. En esta etapa el error cuadrático medio es de 0.1990 °C y el tiempo de establecimiento de la temperatura en la etapa 2 es de 7.1 minutos, desde que el sistema pasa de la etapa 1 y la temperatura baja hasta alcanzar la estipulada para la etapa 2.

### 5.1.3 Temperatura etapa 3

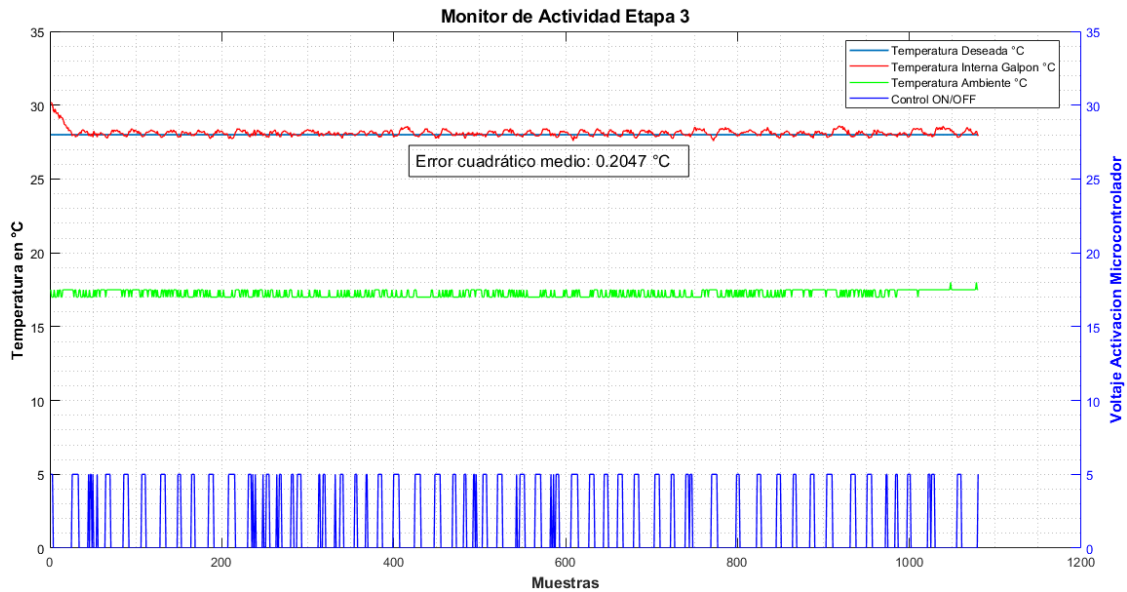


Figura 39: Toma de muestras de temperatura de la etapa 3

En la **Figura 39**, se observa el desempeño que ha tenido el sistema para establecer y mantener la temperatura en el límite establecido, para esta etapa el error cuadrático medio es de 0.2047 °C, manteniendo su óptimo funcionamiento comparado con las etapas anteriores. El tiempo de establecimiento para esta etapa es de 8.7 minutos desde que el sistema pasa de la etapa 2 y la temperatura baja hasta alcanzar la estipulada para la etapa 3.

### 5.1.4 Temperatura etapa 4

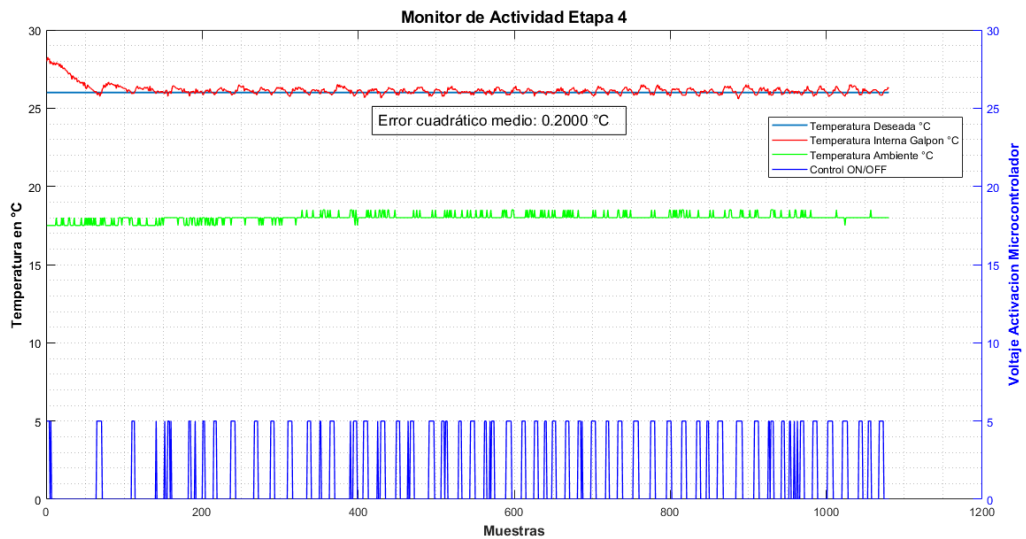
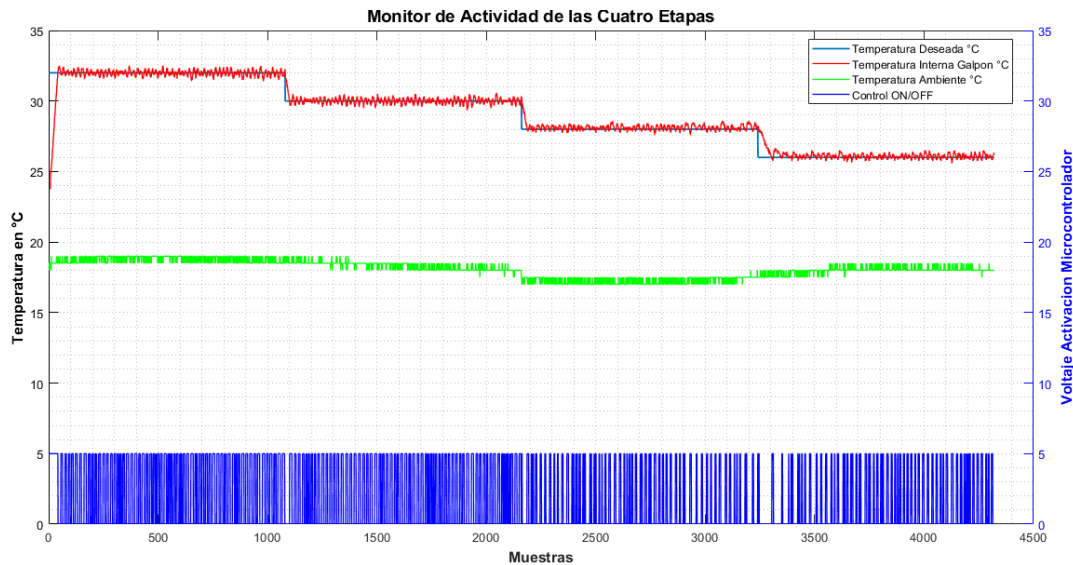


Figura 40: Toma de muestras de temperatura de la etapa 4

En la **Figura 40**, se observa el desempeño que ha tenido el sistema para establecer y mantener la temperatura en el límite establecido, para esta etapa el error cuadrático medio es de  $0.2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , manteniendo su óptimo funcionamiento comparado con las etapas anteriores. El tiempo de establecimiento para esta etapa es de 21.6 minutos desde que el sistema pasa de la etapa 3 y la temperatura baja hasta alcanzar la estipulada para la etapa 4.



**Figura 41:** Comportamiento de temperatura y transiciones de las etapas

En la **Figura 41** se observa el comportamiento de la temperatura interna del prototipo del galpón y sus transiciones entre las cuatro etapas establecidas, en contraste con la temperatura ambiental y el funcionamiento del controlador ON/OFF. Esta gráfica contiene 4320 muestras correspondientes a 24 horas de funcionamiento del prototipo.



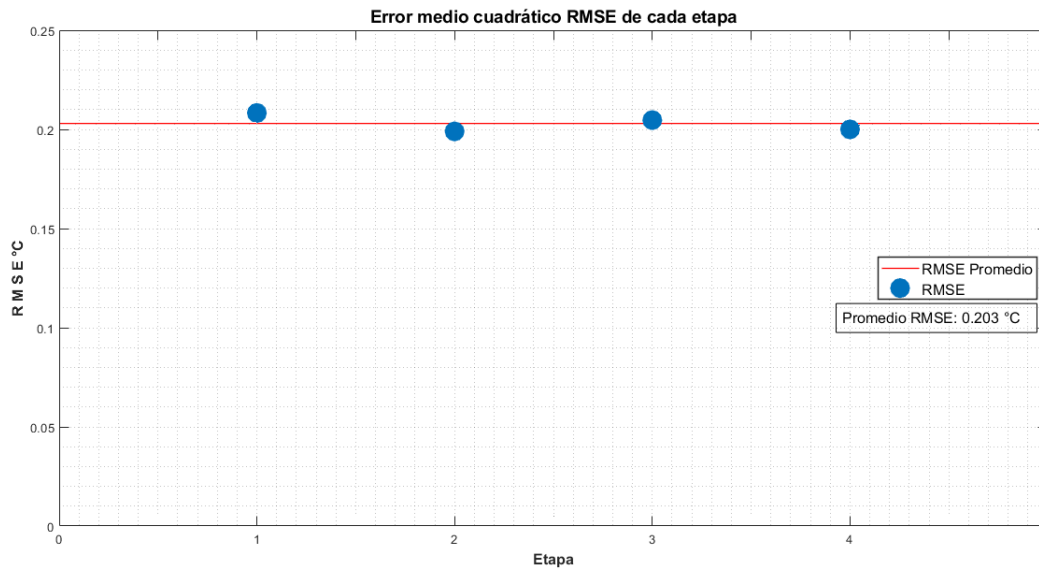


Figura 42: Error Cuadrático Medio temperatura 4 etapas

En la **Figura 42** se observan los errores cuadráticos dados durante la toma de muestras de las cuatro etapas de la temperatura. Se observa un comportamiento sin mayor variación entre estas, validando el buen desempeño del control de temperatura, lo que garantizaría el bienestar de las aves.

El error medio de las cuatro etapas de funcionamiento es de 0.203, evidenciándose el correcto control de temperatura con un error medio cuadrado similar en todas las etapas.

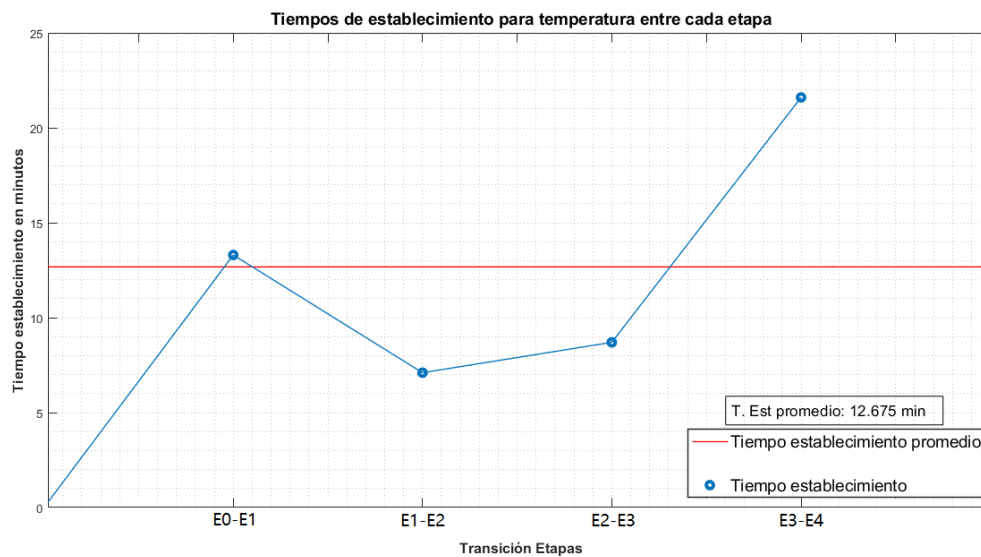


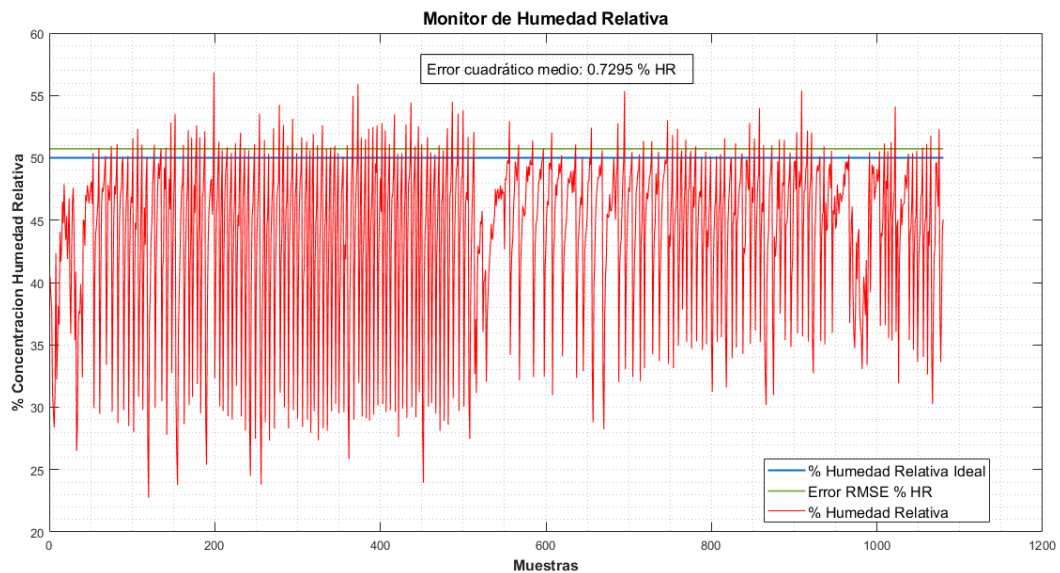
Figura 43: Tiempos de establecimiento entre las cuatro etapas

Los tiempos de establecimiento presentan una mayor variación respecto al error medido, esto debido a que cuando se inicia con el encendido del calefactor, el sistema debe calentar el interior del prototipo partiendo desde la temperatura ambiental, hasta que alcanza el límite para la etapa 1, posteriormente se observa menor tiempo de establecimiento para la etapa 2 y 3, la temperatura desciende con mayor facilidad y finalmente para la etapa 4 el tiempo es considerablemente alto porque el cerramiento de la estructura conserva el calor haciendo que haya menor pérdida comparados con las etapas 2 y 3. En promedio el tiempo de establecimiento del sistema es de 12,675 minutos.

Durante la ejecución de la toma de muestras no se presenta ningún fallo sobre el prototipo o el envío de datos al servidor ThingSpeak. El prototipo presenta el comportamiento esperado para la generación de las condiciones adecuadas de la temperatura sin presentar variaciones que comprometieran su funcionamiento, evidenciando que no se exceden los límites críticos de  $\pm 2$  °C.

## **5.2 Resultados y análisis de la toma de muestras de la humedad relativa**

Para la humedad relativa, se realiza la toma de muestras por un periodo de 6 horas y se ha establecido el límite ideal de trabajo al 50% de concentración, como fue mencionado en la fase 5 de testeo. Para la toma de las muestras de la humedad relativa se utilizan dos humidificadores de ambiente para forzar el aumento de la concentración de humedad relativa del prototipo puesto que naturalmente no es posible debido a que al mantener las condiciones de temperatura se reduce la humedad al interior de sistema, para este caso los humidificadores se ponen en funcionamiento de forma continua.



**Figura 44:** Control de las condiciones ideales de concentración de humedad relativa.

En la **Figura 44** se muestra el comportamiento de las condiciones de humedad, evidenciando que cuando se alcanza el límite establecido se activan los actuadores oportunamente manteniendo el ambiente en condiciones adecuadas, al analizar la gráfica se observa que al superarse el límite de 50% los actuadores logran reducir la concentración de la humedad, hasta aproximadamente 30%. El error cuadrático medio para la humedad relativa es de 0.72950%, se debe tener en cuenta que este error se calcula tomando en cuenta los valores que están por encima del 50% de la concentración, puesto que este es el límite ideal.

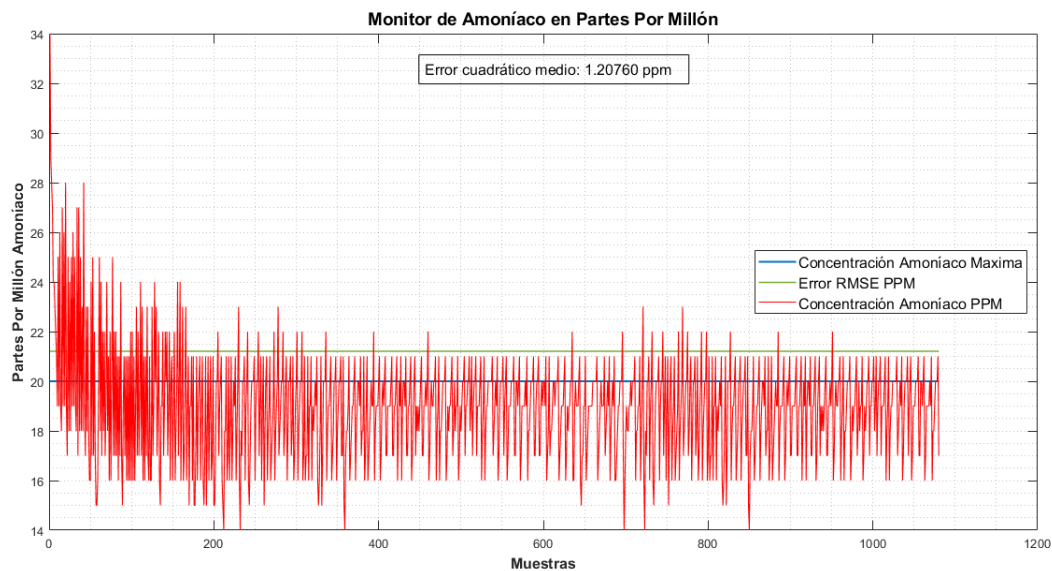
El manejo de esta variable presenta un comportamiento característico que consiste en que al haber reducción de la temperatura las condiciones de humedad aumentan paulatinamente hasta tratar de nivelarse con el ambiente exterior, sin embargo, al haber aumento de temperatura para mantener las condiciones ambientales esta baja.

Cuando los límites están dentro del rango ideal, no se efectúa ninguna acción del sistema puesto que no se tiene información de los factores que incidan en el aumento de la concentración de humedad en un galpón a escala real.

Este valor ideal puede ser modificado según los requerimientos del cliente y de acuerdo con la zona dónde se fuese a implementar el sistema a escala real.

### 5.3 Resultados y análisis toma de muestras de la concentración de amoniaco

Para la toma de muestras de la concentración de amoniaco se utiliza la mezcla de productos químicos que liberaran amoniaco aumentando la concentración de partes por millón en el aire al interior del prototipo, permitiendo tomar las acciones de control ambiental. Se establece el límite máximo permitido de 20 ppm, momento en el que la ventilación se encenderá y hará la extracción del aire contaminado. La toma de muestras se da durante un periodo de seis horas.



**Figura 45:** Medición y control de las condiciones de amoniaco.

En la **Figura 45**, se observa el comportamiento de la concentración de amoniaco al interior del prototipo, se evidencian dos momentos con concentraciones por encima de lo normal, esto debido a que recién es introducida la mezcla química y transcurridas aproximadamente dos horas se agita nuevamente el producto para saturar el aire al interior.

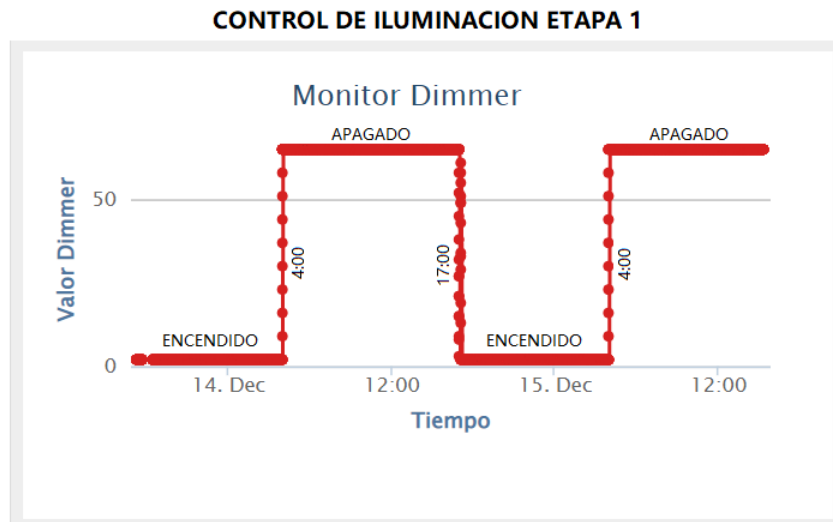
Se demuestra el correcto funcionamiento del sistema de ventilación manteniendo el ambiente dentro de los límites de partes por millón adecuados. El error cuadrático medio para el amoniaco es de 1.20760 ppm partiendo desde el límite ideal de 20 ppm, manteniéndose en los límites adecuados para las aves.

Respecto a la toma de muestras de amoniaco cabe destacar que, en un primer momento de la toma de muestras, al acercarse considerablemente la mezcla química a uno de los sensores de amoniaco buscando aumentar drásticamente la concentración, este sufrió daños permanentes y no presentaba alguna modificación al acercarse nuevamente el producto, en este caso debió ser reemplazado por uno nuevo y de este modo asegurar la toma de muestras adecuadamente.

#### **5.4 Resultados y análisis control de iluminación y envío de datos**

El análisis de resultados radica en que durante las pruebas y la toma de muestras el prototipo realizó las transiciones de iluminación, las cuales se ejecutaron en las horas que fueron fijadas, según los requerimientos estipulados en la máquina de estados. Las transiciones se ejecutan de forma paulatina en el encendido desde las 17:00 hasta las 17:08 manteniéndose al 100% en la franja horaria comprendida entre las 17:08 y las 3:52, finalmente se procede con el apagado paulatino desde las 3:52 hasta las 4:00. Las horas para las transiciones son fijas.

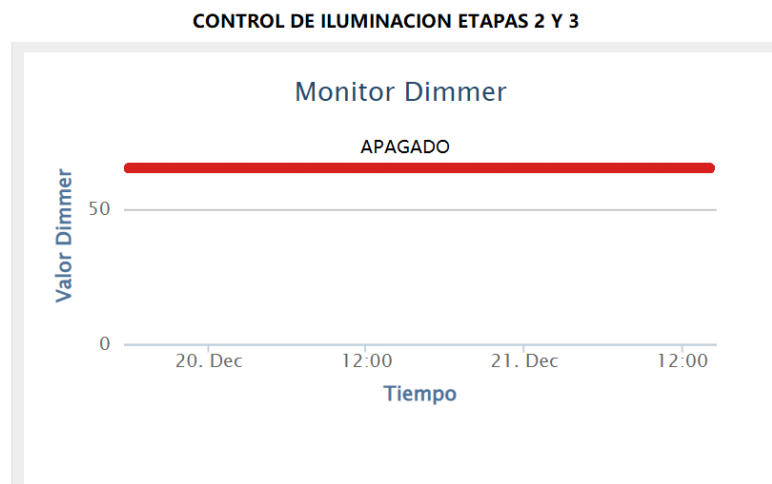
Para evidenciar el correcto funcionamiento se procede a enviar los valores del dimmer al servidor de ThingSpeak, con el fin de visualizar los periodos de apagado o encendido de la iluminación. Se debe tener en cuenta que debido al funcionamiento del sistema cuando los valores están altos (65) la iluminación permanece apagada, mientras que si los valores del dimmer están bajos (2), la iluminación está encendida. También es importante resaltar que, como el dimmer debe hacer la transición paulatina de apagado a encendido y viceversa se observan cambios bruscos en la gráfica, pero es debido al tiempo en que deben ser tomadas las muestras de la evolución.



**Figura 46:** Proceso de encendido y apagado de iluminación en etapa 1 en 48 horas.

En la **Figura 46** se observa el correcto funcionamiento de las horas de trabajo del dimmer del prototipo permitiendo la generación de las condiciones ambientales adecuadas requeridas por las aves evitando cambios bruscos de la iluminación.

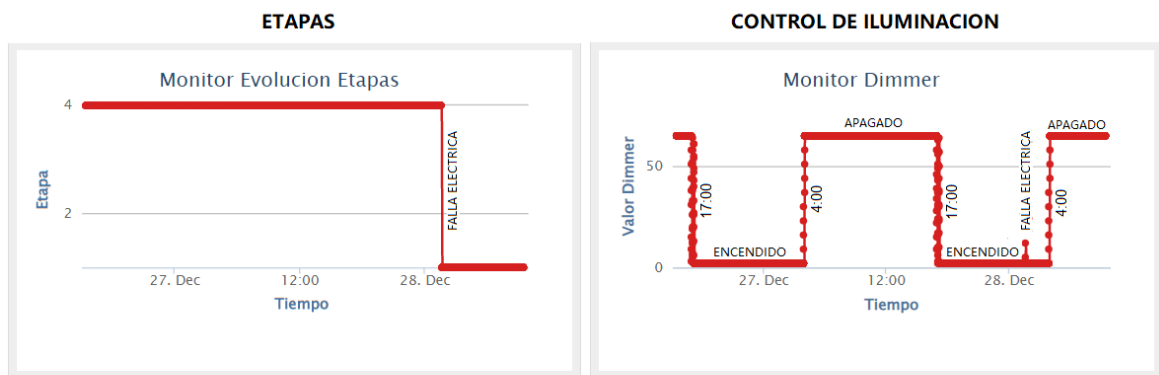
A continuación, se presenta la gráfica que muestra el funcionamiento adecuado del dimmer al mantener la iluminación apagada en las etapas dos y tres.



**Figura 47:** Proceso de encendido y apagado de iluminación en etapa 2 y 3 en 48 horas.

En la **Figura 47** se evidencia que durante las 48 horas de pruebas realizadas en las etapas 2 y 3 el dimmer se mantiene con valor alto (65), manteniendo la iluminación apagada. En estas etapas se mantiene apagada la iluminación para promover el engorde y reposo de las aves acelerando su crecimiento.

Por último, se adjunta la ilustración del comportamiento de la iluminación para la etapa cuatro que del mismo modo que la etapa uno, esta debe ejecutar ciclos de encendido y apagado para completar la formación de las aves en proceso de engorde.



**Figura 48:** Proceso de encendido y apagado de iluminación en etapa 4 en 48 horas.

Respecto al envío de los datos al servidor, se tiene que el periodo de toma de muestras es de 48 horas, equivalente a 8640 muestras esperadas, al momento de la cantidad de los datos obtenidos por el servidor se obtienen 8504 muestras evidenciando la pérdida de 136 muestras, equivalentes a 45.3 minutos, estas pérdidas no afectan las gráficas obtenidas ya que al ser esporádicas no se evidencian en alguna de estas.

$$\% Paquetes Perdidos = \frac{Muestras Perdidas}{Muestras Totales} = \frac{136}{8640} = 1.574 \%$$

Con base en los resultados obtenidos se verifica que se está dentro del rango tolerable de perdida de paquetes al no exceder el 2% que se considera tolerable para las redes Wifi-modernas [38].

## 5.5 Análisis de condiciones ideales frente a resultados obtenidos

<i>Variable por controlar</i>	<i>Límite de operación ideal</i>	<i>Valores prototipo</i>	<i>Observaciones</i>
Temperatura etapa 1	32°C +/- 2°C	32°C RMSE: 0.2083°C T. Establecimiento: 13.3 min	Se evidencia el correcto funcionamiento del prototipo, sin mayor variación respecto al rango establecido y sin exceder los límites de operación ideal de la temperatura etapa 1
Temperatura etapa 2	30°C +/- 2°C	30°C RMSE: 0.1990°C T. Establecimiento: 7.1 min	Se evidencia el correcto funcionamiento del prototipo, sin mayor variación respecto al rango establecido y sin exceder los límites de operación ideal de la temperatura etapa 2
Temperatura etapa 3	28°C +/- 2°C	28°C RMSE 0.2047°C T. Establecimiento: 8.7 min	Se evidencia el correcto funcionamiento del prototipo, sin mayor variación respecto al rango establecido y sin exceder los límites de operación ideal de la temperatura etapa 3
Temperatura etapa 4	26°C +/- 2°C	26°C RMSE 0.2000°C T. Establecimiento: 21.6 min	Se evidencia el correcto funcionamiento del prototipo, sin mayor variación respecto al rango establecido y sin exceder los límites de operación ideal de la temperatura etapa 4
Humedad relativa	50%	50% RMSE 0.72950 %HR	Se evidencia el correcto funcionamiento del control de humedad relativa ya que al superar el límite establecido se toman las acciones correctivas
Amoniaco	20 partes por millón (ppm)	20 partes por millón (ppm) RMSE 1.20760 ppm	Se evidencia el correcto funcionamiento del control de amoniaco ya que al superar el límite establecido se toman las acciones correctivas
Iluminación etapa 1 y 4	23 h. luz, 1 h. oscuridad	23 h. luz, 1 h. oscuridad	El sistema cumple con los ciclos de iluminación establecidos para la etapa 1 y 4
Iluminación etapa 2 y 3	12 h. luz, 12 h. oscuridad	12 h. luz, 12 h. oscuridad	El sistema cumple con los ciclos de iluminación establecidos para la etapa 2 y 3
Porcentaje de paquetes perdidos (TX)	No mayor al 2% para redes Wifi-modernas	1.574%	El sistema cumple con la tasa de pérdidas máxima permitidas

**Tabla 16:** Condiciones ambientales ideales frente a resultados prototipo



## **6. Extrapolación de resultados y escalabilidad a tamaño real**

Con base en los resultados obtenidos durante las diferentes pruebas ejecutadas sobre el prototipo y al hacer un análisis de los datos obtenidos, se verifica que, si es posible hacerse su escalamiento a un diseño de mayor escala o de tamaño real, donde para cumplir los criterios ambientales a mayor escala se deben hacer modificaciones a los componentes y actuadores para obtener el rendimiento deseado.

### **6.1 Extrapolación de sensores y actuadores para manejo de temperatura**

Se sugiere implementar el sensor MCP9808 haciendo las modificaciones adecuadas para su protección a escala real. Gracias a que este sensor posee alta precisión y maneja el estándar I<sup>2</sup>C se facilita su uso a una escala mayor, favoreciendo su manejo y adecuación.

Para la calefacción de un sistema a escala mayor, debe considerarse el cambio de los calefactores, estos deben ser reemplazados por lámparas o radiadores infrarrojos de mayor tamaño, que ofrezcan calentamiento lento. Este cambio permitiría el calentamiento ideal para las aves sin ocasionar posibles quemaduras y daños sobre las mismas, ya que al conservar las características propuestas en el prototipo basado en calor infrarrojo permitirían calentamiento desde la parte inferior de la estructura.

Teniendo en cuenta que el área de operabilidad prevista es de 70 metros cuadrados se ofrecen algunas alternativas, las cuales cumplen con los requerimientos de trabajo presentados en el prototipo además que permiten acceso detallado de la información.

<i>Referencia</i>	<i>Tipo</i>	<i>Consumo</i>	<i>Dimensiones (mm)</i>	<i>Cobertura (m<sup>2</sup>)</i>	<i>Coste unitario (USD)</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Coste total</i>
JH-NR18-13A	Radia dor Infrarr ojo	1800 W	1000*189*67	20	195	4	780
JH-NR32-13A	Radia dor Infrarr ojo	3200 W	2000*189*67	40	345	2	690
SK15 R7S	Lamp ara Infrarr oja	800 W	Largo: 565 Diam: 18	8	65	9	585
DQN-1G	Radia dor infrarr ojo	1600 W	1055*415*375	12	183	6	1098

**Tabla 17:** Calefactores tipo lámparas o radiadores infrarrojos aplicables a la implementación de tamaño real para 70 metros cuadrados del sistema del galpón.

Se debe tener en cuenta que la información consignada en las tablas está sujeta a cambios sin previo aviso, según los requerimientos del fabricante o plataformas de mercado en línea.

A continuación, se presenta el costo aproximado del costo energético necesario para la calefacción del galpón, teniendo en cuenta el modelo del calefactor JH-NR18-13A, encendido durante 12 horas al día.

Teniendo en cuenta que el consumo de cada uno de los calefactores es de 1800 vatios, y se cuenta con cuatro de estos equipos, tenemos que el consumo de los cuatro equipos durante 12 horas de funcionamiento es de:

$$\text{Costo Energetico} = (\text{Co.E} * \text{Nu.E} * \text{H.E} * \text{D}) * \left( \frac{1 \text{ Kilovatio}}{1000 \text{ vatios}} \right) * \text{C.Kv}$$

**Ecuación 1:** Calculo costo del consumo energético.

*Co.E = Consumo energético*

*Nu.E = Numero Equipos*

*H.E = Horas Encendido*

*D = Días Encendido*

*C.Kv = Costo Kilovatio*

En promedio durante un mes de funcionamiento teniendo en cuenta que el costo del Kilovatio en Choachí es de 300 pesos incluido su subsidio, el costo del consumo energético de la calefacción es de 777.000 pesos aproximadamente, mientras que el consumo de gas de un sistema tradicional operado a gas es de 950.000 pesos durante el mismo periodo de tiempo. Esta información del costo de un sistema operado a gas se obtiene de forma verbal de un avicultor de la zona.

## 6.2 Extrapolación para el sistema de ventilación

Para el manejo de la ventilación, se debe tener en cuenta las dimensiones de los ventiladores a escala real, que en este caso pasarían a ser de 80\*80 cm, correspondientes a las dimensiones propuestas en el prototipo.

A continuación, se ofrecen las siguientes opciones para los ventiladores.

<i>Referencia</i>	<i>Tipo</i>	<i>Entrada AC</i>	<i>Consumo</i>	<i>Extracción (m³/h)</i>	<i>Dimensiones</i>	<i>Coste unitario</i>	<i>Coste Total</i>
Ventilador axial AC	TV24	AC 120 V Monofásico	350 W	8410	70 x 70 x24	380000	760000
Ventilador axial AC	TV16	AC 120 V Monofásico	180 W	4082	50x50x24	310000	620000
Ventilador axial AC	HXT 500H	AC 120 V Monofásico	700 W	12110	80x80x25	1.810.900	3621800

**Tabla 18:** Ventiladores aplicables al prototipo a escala real.

Al momento de realizar el escalamiento a un tamaño real se presenta el inconveniente de los costos de un ventilador de 80x80x25 cm, estos tienen un costo elevado lo que puede afectar la inversión inicial, para dar solución a este inconveniente, se podrían colocar más de dos ventiladores axiales que tengan la capacidad de extracción de un caudal alto de aire. Se sugiere el ventilador modelo TV24, que posee una extracción de 8410 m<sup>3</sup> por hora, teniendo en cuenta que se dispone de un volumen de aproximadamente 240 m<sup>3</sup>, estos serían adecuados para hacer el intercambio de aire rápido y efectivamente.

Al hacer un cálculo de consumo energético de la ventilación con la ecuación 1 empleando estos equipos en un periodo de 8 horas de actividad, con dos de los ventiladores (TV24) sugeridos en la implementación, se obtiene que el consumo energético por parte de la ventilación equivale a 50.400 pesos mensuales.

Debe tenerse en cuenta que la ventilación al depender de las mediciones de temperatura, amoniaco o humedad relativa no requieren detallar otro sensor, cada uno de estos esta detallado en su categoría de extrapolación.

### 6.3 Extrapolación del sistema de iluminación

La iluminación al ser aplicada a una escala de mayor tamaño, se sugiere emplear las mismas bombillas LED que fueron empleadas para el prototipo. Estas bombillas tienen las características adecuadas para su implementación, ya que además de ser atenuables, su estructura en forma de reflector distribuirá la iluminación hacia la parte baja del galpón, sin necesidad de colocarle reflector adicional, también, al ser tecnología LED, no interfiere de forma importante con la temperatura ambiental del galpón. Al considerar que cada una de estas bombillas podrían iluminar hasta un área de aproximadamente 5m<sup>2</sup>, se requerirían 14 bombillas para iluminar el espacio del galpón.

<i>Tipo</i>	<i>Temperatura Iluminación</i>	<i>Alimentación</i>	<i>Consumo Potencia</i>	<i>Costo Unitario</i>	<i>Costo Total</i>
Bombilla LED Philips Atenuable Cálida	3500K	120 voltios	6 W	5.500	77.000

**Tabla 19:** Información extrapolación de la iluminación del galpón.

Se prevé que el consumo energético de la iluminación del galpón, al estar encendidas 11 horas en las etapas 1 o 4, el costo energético es de aproximadamente 8316 pesos mensuales; los valores energéticos para las etapas 2 y 3 no pueden ser calculados puesto que se considera que el sistema está apagado y no hay certeza del momento en que estará encendido según sea requerido por el operario del galpón para alguna revisión o imprevisto que requiera encender la iluminación. La activación de la iluminación es a través de pulsadores conectados al microcontrolador.

#### 6.4 Extrapolación de los sensores de humedad relativa y amoniaco

Para la toma de muestras de la humedad relativa, se ofrecen dos alternativas, podría usarse el mismo tipo de sensor AHT10 empleado en el prototipo, cuenta con resolución de 0.024 %RH y exactitud de +/- 2 %RH adecuando su estructura para evitar que posibles accidentes dentro del galpón puedan averiarlo o que la combinación de amoniaco y humedad dispersas en el ambiente puedan afectar las mediciones y deteriorar el sensor en corto tiempo. Con esta primera propuesta lo que se pretende es la simplicidad en la implementación, además de la reducción de costos de los equipos. Como segunda alternativa se ofrecen los siguientes sensores I<sup>2</sup>C diseñados para uso industrial.

<i>Referencia del sensor</i>	<i>Conectividad</i>	<i>Cantidad requerida</i>	<i>Costo en pesos</i>	<i>Costo Total</i>
AM2315	Digital I <sup>2</sup> C	2	119.000	238.000
SHT30	Digital I <sup>2</sup> C	2	47.400	94.800
CS037	Digital I <sup>2</sup> C	2	19.750	39.500

**Tabla 20:** Sensores de humedad relativa I<sup>2</sup>C opcionales para implementación en el galpón de tamaño real.

Haciendo la comparación entre los sensores disponibles se sugiere la implementación del sensor AHT10 con las adecuaciones necesarias para que obtenga adecuadamente las mediciones de la humedad relativa sin que este propenso a daños. Se recomienda que para obtener una mejor medición de la humedad relativa en el área del galpón (70 m<sup>2</sup>), se coloquen dos sensores ubicados estratégicamente dentro del recinto y poder obtener el valor promedio de la humedad para poder tomar acciones de control adecuadamente.

Referente a los sensores de amoniaco al ser de tipo analógico, se sugiere sea reemplazado por un sensor digital, que permita mayor precisión, facilite su calibración y lectura de los datos, ya que, comparado con el sensor implementado en el prototipo, presenta mediciones no precisas entre uno y otro y al no haber podido encontrar un patrón para tomar los valores adecuadamente se complica la toma de decisiones para mantener las condiciones ambientales del sistema.

<b>Referencia del sensor</b>	<b>Conectividad</b>	<b>Cantidad requerida</b>	<b>Costo en pesos</b>	<b>Costo Total</b>
MIKROE-3056	Digital I <sup>2</sup> C	2	162.000	324.000
TB200	Digital UART	2	47.400	94.800
RY-CNH3	Digital/RS485	2	1.192.000	2.383.400

**Tabla 21:** Sensores de amoniaco I2C opcionales para implementación en el galpón de tamaño real.

Se sugiere la implementación del módulo MIKROE-3056 basado en el sensor MiCS-6814, que posee características adecuadas para las mediciones de amoniaco (1-300 ppm), y exactitud de +/- 1 ppm, además de poseer conectividad I2C favoreciendo la conectividad entre los distintos sensores sugeridos para la implementación del sistema y mantiene la relación adecuada entre calidad y precio.

## 6.5 Extrapolación del microcontrolador y envío de datos

En cuanto al microcontrolador y el envío de los datos, se podría emplear el mismo microcontrolador empleado en la implementación del prototipo (Wemos Mega 2560).

La implementación de un microcontrolador de este tipo permitiría al usuario final usar un sistema económico sin perder la versatilidad de su uso y la importancia de mejorar las condiciones ambientales de su proyecto.

Se debe tener en cuenta que, para la implementación de este dispositivo en un modelo real, debe diseñarse una etapa de energía robusta para evitar ruidos en los sistemas electrónicos, además del aislamiento adecuado de las líneas de datos e interconexión entre los dispositivos, con el fin de garantizar su correcto funcionamiento evitando interferencias que puedan afectar el rendimiento del sistema.

Para una extrapolación del proyecto a escala real se sugiere microcontrolador de grado industrial, como la ofrecida por IndustrialShields, que combina la robustez de sistemas PLC industriales, con la versatilidad y simplicidad de los microcontroladores de Arduino y las licencias de código abierto. Se considera la implementación del sistema PLC basado en microcontrolador Arduino Mega, con hasta 58 entradas y salidas [35].

## 6.6 Extrapolación de sistemas electrónicos

Es importante hacer la revisión de los requerimientos del consumo de potencia y de suministro eléctrico de cada uno de los sistemas, donde según las previsiones hechas a los dispositivos sugeridos para una mayor escala trabajan con voltajes tanto de 120 voltios como de 240 voltios, que comparado con la implementación en el prototipo se han empleado módulos que incorporan su adecuación electrónica básica para su trabajo en condiciones relativamente ideales y podrían llegar a ser susceptibles a mal funcionamiento por interferencias o manejo de altas potencias e incluso presentar daños importantes.

Se sugiere para este caso el diseño de placas PCB con componentes para alta potencia, requerida principalmente por los sistemas de calefacción y ventilación. La placa PCB debe ser diseñada con su adecuada separación de tierras analógicas y digitales y los circuitos de desacople AC-DC, para obtener el mejor desempeño sin interferencias ni errores por mal funcionamiento.

Para el diseño de los circuitos en mención se sugeriría emplear relevos de estado sólido, tal como se implementó en el prototipo, generando menos desgaste de las partes móviles y sin interferencias al momento de realizar el cierre o apertura comparado con un relevo tradicional.

Para el dimmer de iluminación es viable emplear el mismo tipo de dimmer empleado para el prototipo, ya que la potencia máxima requerida para todas las lámparas no excede los 100 vatios.

## 7. Modelo de negocio

Para la presentación del modelo de negocio se toma como base la metodología Canvas, en la **Tabla 22** se muestra el diligenciamiento del formato y posteriormente se hace una breve explicación de sus aspectos.

- **Modelo de Negocio Canvas**

Aliados Clave	Actividades Clave	Propuesta de Valor	Relación con el Cliente	Segmentos de Clientes
- Proveedores de Construcción, eléctricos, herramientas, seguridad. - Empresas externas obras-labor e importaciones. - Empresas externas, servicios avícolas - Alianzas externas con posibles competidores.	- Diseño arquitectónico y construcción - Venta de materias primas e insumos - Obras de adecuación. - Ambiente controlado - Venta equipos y accesorios Ambientales. - Mantenimiento posventa - Servicios veterinarios - Venta de licencias  <b>Recursos Clave</b> - Recursos financieros, humanos, físicos, intelectuales	- Generación de ambientes controlados para aves de corral. - Aumento de la producción de aves de corral. - Monitoreo remoto del sistema.	- Acompañamiento personal (Antes, durante, después). - Autoservicio presentado en página web o redes sociales - Telefónicamente. - Creación de contenido multimedia colectivo  <b>Canales</b> - Directo, indirecto - WEB - Ferias especializadas - Oficina	- Personas naturales - Empresas avícolas
<b>Estructura de Costes</b> - Costos de mobiliario - Salario de empleados - Costos de equipo de trabajo - Canales de comunicación - Costos de maquinaria - Publicidad - Licencias. - Transporte - Seguros - Servicios públicos - Imprevistos		<b>Estructura de Ingresos</b> - Venta de equipos y accesorios - Instalación y acondicionamiento - Mantenimiento - Repuestos - Diseño arquitectónico - Insumos de la construcción - Venta de licencias - Tercerización de servicios avícolas		

**Tabla 22:** Modelo de negocio formato Canvas

Dentro del modelo Canvas encontramos 9 aspectos importantes para poner en marcha el negocio.

### 7.1 Segmentación de los clientes

Se identifican las personas y las empresas a quienes está dirigidos nuestros productos y servicios.

Los clientes a quienes está dirigida la propuesta son para personas en un rango de edad entre 35 a 55 años hombres o mujeres y para empresas enfocadas al sector avícola, tipificados como pequeñas o medianas superficies, que requieran de herramientas tecnológicas para crear condiciones ambientales controladas para el desarrollo de actividades relacionadas con el engorde de aves de corral desde los primeros días de nacimiento hasta salida a sacrificio, dispuestos a pagar un precio bajo-medio según los requerimientos particulares.



Los clientes de mayor importancia están catalogados como empresas, puesto que la posibilidad de concretar la ejecución de la obra es más alta, además que podrían requerir de mayor cantidad de servicios y equipos.

## **7.2 Propuesta de valor**

Son los productos y servicios ofrecidos y cómo satisfacen las necesidades de los clientes.

Es fundamental para el éxito empresarial. Es el motivo por el cual el cliente compra el producto o hace uso del servicio ofrecido. Aquí se incluye lo innovador.

La propuesta de valor está centrada en la creación de espacios con ambiente controlado para el óptimo crecimiento de aves de engorde, permitiendo el monitoreo remoto de las condiciones ambientales para aumentar la producción.

## **7.3 Canales**

Son los medios empleados para la comunicación, distribución y venta de los servicios y productos.

Para establecer contacto con los clientes o posibles interesados se hará de forma personalizada mediante la presentación de brochure exponiendo las características principales de la propuesta y las ventajas que tendría el cliente al momento de emplear la solución tecnológica ofertada. Contacto indirecto por la recomendación hecha por parte de un cliente potencial o que ya cuente con los servicios ofrecidos.

Publicidad digital promocionada en las redes sociales o grupos específicos presentes en las redes.

Espacios dedicados, por ejemplo, las ferias agrícolas como las realizadas en Corferias. En tiempo futuro se pretende ubicar un punto físico atendiendo las visitas, inquietudes o necesidades de los clientes.

## 7.4 Relación con los clientes

Se refiere a la clase de relación que la empresa establece con los clientes. Puede ser personalizada, con material de apoyo o automatizada.

Establecer una relación clara y sólida con el cliente radica en brindar acompañamiento, con asesoría y aclarando dudas e inquietudes que se puedan presentar durante la explicación de la propuesta de negocio. Durante la negociación se mantiene contacto frecuente con el cliente para aclarar todas las dudas relacionadas con los estudios preliminares o con algún aspecto del proyecto, ofreciendo sugerencias para la mejor implementación de este. Posterior al cierre de la venta se le acompaña al cliente brindándole información clara y puntual de las inquietudes del funcionamiento o algún otro inconveniente que se pueda presentar.

Se ofrece canales de autoatención en página web o redes sociales con la información suficiente para la comprensión de la propuesta, con el fin de motivar al posible cliente a buscar contacto personal con la empresa y así aumentar las posibilidades de concretar el negocio.

Contacto telefónico brindando atención bien sea para buscar un primer contacto o servicio posventa.

Se busca la opción de generar contenido multimedia de la experiencia vivida por lo clientes que ya cuenten con el producto presentándola desde el primer contacto hasta la entrega definitiva del sistema en funcionamiento, generando así confianza a potenciales y nuevos clientes.

## 7.5 Fuentes de ingresos

Son los recursos financieros (ingresos) con los que cuenta la empresa para su funcionamiento.

Los ingresos percibidos por la empresa provienen de la adecuación, venta, instalación de sistemas, entre otros, detallados en la **Tabla 22** modelo Canvas.

## **7.6 Recursos Clave**

Son los recursos humanos, físicos, económicos, etc. con que cuenta la empresa para realizar su actividad. La empresa requiere de talento humano para ejercer diversas actividades, dentro de las cuales se destacan personal de servicios generales, atención al cliente, personal técnico e instaladores, personal de ingeniería, administradores, contabilidad y legal.

Se debe contar con recursos financieros para asumir los costos iniciales de los equipos o materiales de construcción, pago de personal, arrendamientos, alquiler de maquinarias y en general para el sostenimiento de la empresa, destinando un monto de reserva para solventar percances que se puedan presentar.

Finalmente se incluyen también recursos físicos como equipos de cómputo, comunicaciones, locativas requeridos para el buen rendimiento de la empresa en todo momento.

## **7.7 Actividades clave**

Hace referencia a las estrategias que la empresa lleva a cabo con sus objetivos.

Las actividades deben estar relacionadas con la construcción y adecuación de espacios, se ofrecerán estudios para la construcción y/o adecuación, se ofrecen los insumos necesarios para llevar a cabo la construcción y/o adecuación del espacio con las condiciones ideales para poder implementar el sistema micro ambiental (a criterio del cliente), se venden los equipos y accesorios requeridos, repuestos y licencias de software y finalmente todo el soporte posventa requerido por el cliente. Se prevé la tercerización de servicios veterinarios que además de velar por el bienestar de las aves permite contacto con el cliente o con potenciales nuevos clientes.

## **7.8 Socios Clave**

Se refiere a las relaciones que se establecen con colaboradores, proveedores y socios para hacer más eficiente la empresa.

Las alianzas clave para la ejecución de toda obra radica en disponer de empresas o personal de ingeniería para la realización de estudios de construcción, con proveedores de materiales para construcción y equipos de seguridad industrial, alquiler de maquinarias, empresas dedicadas a la importación de equipos industriales, en este caso específicamente para calefactores y sensores requeridos, empresas de sistemas electrónicos locales que dispongan equipos necesarios para el procesamiento de las placas electrónicas y tercerización de actividades avícolas.

## 7.9 Estructura de costes

Son los costos y los gastos de la empresa para ofrecer y mantener los productos y servicios, los egresos para la empresa están relacionados con los costos de mobiliario, equipo de trabajo, papelería, maquinaria, canales de comunicación, publicidad, transporte, licencias, salarios de empleados, seguros, servicios públicos e imprevistos. Se relacionan los costos para la construcción de la estructura y para la instalación del sistema ambiental. En ambos casos se considera un área de 70 metros cuadrados equivalentes a la implementación a escala real del proyecto.

### 7.9.1 Detalle de costos construcción de la estructura

<i>Descripción</i>	<i>Costo unitario</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo Total</i>
Visita estudio previo a obra	140.000 hora	6 horas	840.000
Nivelación de terreno	19.800 m <sup>2</sup>	70 m <sup>2</sup>	1'386.000
Tuberías agua limpia ½ pulgada	8.500 m	50 m	425.000
Tuberías aguas negras	28.000 m	30 m	840.000
Malla acero	105.000	6	630.000
Placa concreto reforzado piso	65.200 m <sup>2</sup>	70 m <sup>2</sup>	4'564.000
Cimentación columnas	52.800	12	633.600
Columnas estructura	110.000 m	38 m	4'180.000
Estructura metálica techo	85.400 m	66 m	5'636.400
Tejado intercalado (Opaco-traslucido)	39.500 m	85 m	3'357.000
Soldadura	12.000 kg	30 kg	360.000
Pared estructura inferior	65.000 m	34	2'210.000
Pared estructura superior traslucida	85.000 m	51	4'335.000
Puertas acceso	450.000	2	900.000
Accesorios herramientas (Brocas, cuchillas, etc.)	70.000	5	350.000
Pozos sépticos	2'450.000	1	2'450.000
<b>Costo bruto de la estructura</b>			<b>33'097.000</b>
<b>Descuentos por socio constructor (4 %)</b>			<b>1'272.961</b>
<b>COSTO NETO DE LA OBRA</b>			<b>31'824.038</b>
<b>Rubro gastos imprevistos (15 %)</b>			<b>4'773.605</b>
<b>INVERSION TOTAL PARA LA ESTRUCTURA</b>			<b>36'597.643</b>

Tabla 23: Costos de la construcción de la estructura de un galpón de 70m<sup>2</sup>

Los costos estructurales incluyen mano de obra por instalación, costos de maquinaria requerida para llevar a cabo la construcción e impuestos. Los precios estimados para una zona rural hasta 15 km de distancia desde cabecera municipal. Se seleccionaron materiales de primera calidad, para ofrecer construcción adecuada evitando contratiempos o perdidas por material defectuoso. Se opta por proveedores que facturan IVA evitando posibles inconsistencias por impuestos.

### 7.9.2 Detalle de costos implementación del sistema ambiental

<i>Descripción</i>	<i>Costo unitario</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo Total</i>
Estudio ingenieril por hora	190.000	8	1'520.000
Adecuación estructura m <sup>2</sup> sin material	25.000	-	-
Materiales requeridos adecuación	-	-	-
Instalación eléctrica por metro ½ (EMT)	31.500	50 m	1'575.000
Accesorios instalación eléctrica	9.000	50	450.000
Calefactor JH-NR18-13A	1'252.200	4	5'008.800
Ventilador TV24	450.000	2	900.000
Iluminación LED Philips	8.500	14	119.000
Sensores requeridos	-	10	922.000
Cableado y acoples sensores	9.000	120	1'080.000
Microcontrolador PLC	1'790.000	1	1'790.000
Microcontrolador Sencillo	105.000	1	105.000
Circuitos electrónicos PCB	175.000	1	175.000
Fuentes eléctricas	80.000	1	80.000
Cableados actuadores	8.300	120	996.000
Licencia software ThingSpeak (1 año)	380.000	1	380.000
Desarrollo software requerido por el sistema (Precio por hora)	35.000	60	2'100.000
Salario ingeniero por hora	25.000	144	3'600.000
<b>Costo bruto de la implementación con PLC</b>			<b>20'695.800</b>
<b>Rubro gastos imprevistos (15 %)</b>			<b>3'104370</b>
<b>COSTO NETO DE LA OBRA</b>			<b>23'800.170</b>
<b>Costos Individualizados</b>			
Costos equipos con su instalación			<b>14'995.800</b>
Beneficio obra realizada			<b>5'700.000</b>

Tabla 24: Costos de la instalación de un sistema ambiental para 70m<sup>2</sup>

Se detallan los precios de los materiales y equipos requeridos para la implementación del sistema medio ambiental. Dentro de los equipos se incluye el controlador PLC que se caracteriza por ofrecer mayor robustez de operación, en el estudio de ingeniería se revisa la factibilidad de emplearlo o si se opta por el microcontrolador convencional lo que permitiría reducir los costos de implementación.

Los precios descritos anteriormente están sujetos a variaciones, pueden disminuir al hacer un estudio más detallado de los requerimientos del cliente o también pueden tener algún aumento dadas las condiciones de la obra o los costos de los equipos importados.

Según sea requerido por el usuario final, se puede hacer la implementación de un único sistema de control, bien sea temperatura, ventilación o iluminación, esto con el fin de mejorar costos; también se puede validar la opción de usar otros componentes para las necesidades expuestas. Sin embargo, para detallar estos costos se deben conocer los requerimientos del cliente y así ofrecer un valor final. Los costos de los estudios de ingeniería no se negocian ni tampoco los de instalación puesto que en la mayoría de los casos esta tercerizada la obra de la estructura o de la instalación de los componentes del sistema ambiental.

### 7.9.3 Detalle de ingresos adicionales

Estos ingresos hacen referencia a ingresos son catalogados como eventuales, no se cuenta su desarrollo mínimo mensual.

<i>Descripción</i>	<i>Costo unitario</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo Total</i>
<b>Mantenimientos</b>			
Equipos y calibración*	250.000	1	250.000
Reprogramación software (Por hora)	35.000	-	-
<b>Ventas</b>			
Repuestos	Según equipo	-	-
<b>Tercerización servicios veterinarios</b>			
Vacunación por ave	2.500	-	-
Verificación salud de la parvada*	18.750	-	-
Identificación enfermedades*	18.750	-	-
Análisis por disminución de producción*	18.750	-	-
Identificación riesgos biológicos a humanos u otras especies*	18.750	-	-
Trabajo de laboratorio*	18.750	-	-

**Tabla 25:** Ingresos adicionales percibidos por la empresa

(\*) Se debe incluir los costos del transporte y alimentación del personal que se moviliza al galpón a visitar, tiempo mínimo consulta 8 horas, por consiguiente, si el médico se tarda menos de 8 horas se cobrara la tarifa correspondiente a 8 horas. (150.000 + viáticos).

### 7.9.4 Detalle de costos fijos de operación

<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo Mensual</i>	<i>Costo Mensual Total</i>	<i>Costo Anual</i>
Salario gerente	1	3'000.000	3'000.000	36'000.000
Salario personal de apoyo, incluyendo plan comunicaciones móviles (Por persona)	3	1'400.000	4'200.000	50'400.000
Página web (Anual)	1	15.200	15.200	182.400
Publicidad digital	1	150.000	150.000	1'800.000
Oficina en casa	1	-	-	-
Energía eléctrica	-	50.000	50.000	600.000
Servicios comunicaciones fijas	1	90.000	90.000	1'080.000
Servicio comunicaciones móviles	1	60.000	60.000	60.000
Transporte	1	100.000	100.000	1'200.000
Seguros	1	180.000	180.000	2'160.000
Imprevistos	1	1'500.000	1'500.000	18'000.000
<b>Costos de funcionamiento Mensual</b>			<b>9'345.200</b>	<b>111'482.400</b>

Tabla 26: Costos fijos de operación

Se prevé que las ganancias de la empresa por la construcción de las estructuras y/o la instalación de los sistemas ambientales se establecen en 5% sobre el valor neto a pagar por las obras a ejecutar.

<i>Operación</i>	<i>Ganancia del 5%</i>
Ejecución construcción estructura galpón	1'829.882
Ejecución instalación sistema ambiental	1'190.008

Tabla 27: Ganancias adicionales por ejecución de obras

Las ganancias por las obras realizadas varían dependiendo de los requerimientos de los clientes, suponiendo que se instalan tres sistemas ambientales se estima que las ganancias mensuales equivalen a **3'570.024**.

<i>Movimientos de entradas y salidas de la empresa</i>	<i>Ingresos</i>	<i>Egresos</i>
Beneficio venta sistemas ambientales (3)	17'100.000	-
Beneficio instalación de sistema ambiental (3)	3'570.024	-
Pagos mensuales	-	9'345.200
<b>Beneficio neto mensual</b>	<b>11'324.824</b>	

Tabla 28: Costos de entradas y salidas

Con el planteamiento de los costos mensuales de operación de la empresa en su etapa inicial, se proyecta que se deben instalar 3 sistemas ambientales por mes en promedio de 70 m<sup>2</sup> cada uno, para satisfacer los pagos mensuales de funcionamiento además de ir consolidando el capital, la solidez de la empresa y ampliar las operaciones.

No se incluyen las ganancias obtenidas por ingresos adicionales ya que estos pueden ser variables y al ser tenidos en cuenta podrían afectar el rendimiento económico de la empresa, estas ganancias no reportadas se añadirán al beneficio mensual

## **7.10 Normatividad**

Para la ejecución de las obras propuestas en el modelo de negocio, bien sea obra completa o implementación del sistema ambiental se debe tener en cuenta la normatividad vigente en Colombia para el desarrollo de este tipo de proyectos. Entre estas se destacan:

Ley 1774 de 6 enero de 2016, expedida por el Congreso de la República, “Por medio del cual se modifican el código civil, la ley 84 de 1989, el código penal, el código de procedimiento penal y se dictan otras disposiciones” (Maltrato animal)

Resolución 1515 de 21 mayo 2015, expedida por el ICA, “Por medio de la cual se establecen los requisitos para obtener el registro sanitario de predio avícola – RSPA”.

Resolución 2108 de octubre de 2004, expedida por el ICA, “Por la cual se reglamentan la construcción y la ubicación de nuevas granjas avícolas”.

Resolución 3283 de septiembre 22 de 2008, expedida por el ICA, “Por la cual se establecen las medidas básicas de bioseguridad que deben cumplir las granjas avícolas comerciales en el país”.

Resolución No. 003652 del 13 de noviembre de 2014, expedida por el ICA, “Por medio de la cual se establecen los requisitos para la certificación de granjas avícolas bioseguras de engorde y se dictan otras disposiciones”.

Resolución No. 000253 de 2020, expedida por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, “Por la cual se adopta el Manual de Condiciones de Bienestar Animal propias de cada una de las especies de producción del sector agropecuario; bovina, bufalina, aves de corral y animales acuáticos”.



Resolución N. 957 de abril de 2008, expedida por el ICA, “Por la cual se norman las medidas de bioseguridad en las granjas avícolas comerciales y granjas avícolas de autoconsumo en el territorio nacional”.

## 8. Conclusiones

- Con la ejecución de este tipo de proyectos, se pretende fomentar el desarrollo de la avicultura en pequeña escala, con tecnologías de fácil implementación en los galpones para favorecer el crecimiento adecuado de las aves, lo que llegaría a tener un impacto benéfico para el avicultor y la región donde se vaya a implementar, ofreciendo un producto de alta calidad de tal forma que pueda competir con las grandes granjas avícolas no en cantidad de producción si no en calidad.
- El RMSE promedio para el sistema de control de la temperatura es de 0,2030 °C y el tiempo de establecimiento promedio para la temperatura es de 12.675 minutos.
- La humedad relativa tiene RMSE promedio de 0.72950 %.
- El amoniaco tiene RMSE promedio de 1.20760.
- La pérdida de paquetes enviados al servidor ThingSpeak es de 1.574% manteniéndose dentro del límite del 2% aceptable para las redes Wifi modernas.
- El desarrollo de proyectos que combinen la metodología del Modelo Design Thinking con aplicaciones ingenieriles permiten llevar a cabo proyectos más puntuales al estar en contacto directo con el cliente para conocer sus necesidades y ofrecerle soluciones concretas y efectivas.

### 8.1 Trabajos futuros

- Para un trabajo futuro en una escala real, se debe realizar el estudio del desarrollo de las aves y realizar los ajustes pertinentes según la genética del ave que va a ser introducida al galpón, también con los mismos principios de funcionamiento se pueden hacer adaptaciones para otro tipo de aves de corral.

- 
- Esta propuesta de implementación se centra específicamente en los pequeños avicultores, donde se facilita una implementación no costosa favoreciendo el adecuado desarrollo del agro nacional, sin embargo al hacerle las modificaciones pertinentes para grandes espacios y al combinarlo con tomas y análisis de diversos tipos de datos relacionados con aves de corral para buscar el mejoramiento de las aves se podría convertir en una herramienta de desarrollo potencial, buscando siempre el beneficio conjunto tanto para el avicultor que ha decidido poner en marcha el sistema y también de las aves brindándoles mejores condiciones de vida promoviendo su correcto desarrollo.
  - Un avance importante para la evolución de la propuesta resulta en el desarrollo e implementación de un sistema de calefacción basado en las nuevas tecnologías de ahorro energético, por ejemplo, los sistemas inverter para mejorar el consumo energético, ofreciendo más eficiencia en su funcionamiento, también promover el uso de energías renovables, por ejemplo, el uso de paneles solares de alta eficiencia reduciría los costos de la energía requerida por los sistemas medioambientales.



## **A. Anexo: Actividades realizadas fase empatizar y definir Design Thinking**

Se presentan las observaciones realizadas al proceso de engorde que actualmente desempeñan los clientes, donde se exponen las respuestas y los resultados obtenidos en esta primera fase, empatizar.

### **Esfuerzos (Se preguntan miedos, frustraciones, obstáculos)**

- Miedos: “Miedos no, ninguno, más bien genera ansiedad que no se pueda desarrollar un proyecto de este tipo con estas ventajas o que llegue otra persona con algo similar y nos pueda colocar algún bloqueo, o no se puedan demostrar los resultados esperados”.
- Frustraciones: “Si, cuando se realizan trabajos avícolas de engorde de la forma tradicional sin herramientas, saber que solo el 60% de los pollitos cumplieron la etapa de crecimiento, esto es duro controlar las cosas de forma manual, ya que no hay ni siquiera una alarma que nos diga que los pollitos tienen frío o calor y nos toca encender las cosas manualmente, pero bueno se recuperó algo de la inversión con los que sobrevivieron”.
- Obstáculos: “Si, ahora la situación económica está difícil, se sugiere prototipar a escala y cuando haya mejor rendimiento económico, se destina un espacio del área del galpón que hay ya construido para implementar el sistema e ir avanzando con eso”.

### **Resultados**

- Deseos/Necesidades: “Necesidad como tal, que no se nos mueran tantos pollos en la etapa de engorde y que se nos de aviso de que está pasando allá, los clientes mayormente no residen en el mismo sitio del galpón y no pueden estar en el galpón todo el día, ni tampoco cada dos días, sería bueno algo para revisar el ambiente interno del galpón, que indique como está la temperatura o algo así... ya con los

sistemas de cámaras existentes podemos ver que pasa dentro del galpón, además con las calefactoras tradicionales hay veces que hace tanto frio que hasta el gas se congela y toca ir a darle vueltas al cilindro para que siga fluyendo, el sistema eléctrico sería muy bueno para quitarnos ese problema de encima”.

- Medida del éxito: “Medida de éxito está en reducir tiempo de producción y aumentar la producción, que pase de 60% a un 80% mínimo, en pocas palabras lo más cercano al 100%”

Obstáculos: “La afección económica del país, terreno hay, estructura también hay, no totalmente, faltan detalles, pero lo más importante esta...”

Actividades realizadas en la fase dos de Design Thinking, definir.

- Necesito: “Necesito un sistema que me controle la temperatura del galpón, que la mantenga estable y que la pueda ajustar dependiendo de la etapa de crecimiento en que se encuentren las aves y sería muy bueno con acceso remoto para ver qué condiciones ambientales tienen las aves, también que se me indique la humedad relativa dentro del galpón ya que esto es auditado de vez en cuando, ventilación también, para cambiar el aire o refrescar el espacio sin que sufran tanto los pollitos, la iluminación también he oído que tienen un régimen con distintas iluminaciones durante la etapa de crecimiento, para que den todo el potencial”.
- Pero: “Actualmente con la situación del país nos afecta la parte económica un poco, también el uso de la tecnología, que sea fácil de manejar, sencillo de controlarlo y robusto, porque a veces estos sistemas se bloquean y quien puede solventarlo... simplemente me llaman y me toca irme hasta el galpón a desbloquear y reconfigurarlo, algo sencillo de restaurar y de configurar facilitaría el trabajo”.
- Lo cual me hace sentir: “Me entusiasma estas actividades, por que como le he comentado, en el agro esta potencial económico, solo que toca tener este tipo de herramientas y como a la gente de ciudad le da pereza porque es el campo entonces no hay mucho interesado en esto, también me entusiasma el

funcionamiento adecuado del sistema y así poder innovar y liderar con este tipo de proyectos.”

Comentarios adicionales que surgieron durante la entrevista.

Respecto a las fallas: “La manipulación de los equipos la están haciendo mal, porque las calefactoras se colocan muy altas y el calor se concentra en la parte alta y los pollitos están fríos, en nada más aproximadamente un metro de altura, hay una variación de aproximadamente 12 grados según las mediciones que hemos realizado en otros espacios, entonces los pollitos sufren mucho los cambios de temperatura y es fundamental solucionar esto de la distribución del calor, me gustaría una especie de persiana que suba y baje o algo que permita también ventilación e iluminación natural.”

## **Definiendo/Caracterizando al cliente**

Los clientes principalmente son, profesionales de diversas áreas, en cuanto a sus gustos en tiempo libre, prefieren actividades al aire libre con su familia, respecto a sus actividades laborales, están relacionadas con la agricultura y avicultura, poseen microempresa o desempeñan actividades relacionadas con la comercialización de productos agrícolas, también la ejecución de actividades dadas de cada profesión particular, los clientes están distribuidos mayormente en los estratos 3 y 4, cuentan con vehículo para uso personal y propiedades finca raíz.

Dentro del desarrollo de sus actividades laborales, determina que existe un problema importante con los espacios para el desarrollo de actividades relacionadas con el levante de pollo de engorde, donde no hay un sistema que mantenga la temperatura, ventilación y monitoreo remoto de las condiciones micro ambientales del lugar, por lo pronto en cuanto a sus actividades relacionadas con el campo, se basan en producción agrícola, manejo de pollo de engorde y gallina ponedora además de actividades relacionadas con ganadería.





# Bibliografía

- [1] Aviagen. (2009). Manejo del ambiente y en el galpón de pollo de engorde. *Aviagen* 39.
- [2] Aviagen. (2018). Manual de manejo pollos de engorde, Ross. 148.
- [3] Cobb. (2012). Guía de manejo del pollo de engorde pollo de engorde COBB. 73. Recuperado de <http://www.pronavicola.com/contenido/manuales/manualcoob.pdf>
- [4] Coy Sierra, S. A., Daza Leguizamón, E. A. (2019). Desarrollo del control automático de temperatura para un galpón de aves de corral en la avícola Optipollo. [Tesis de pregrado]. Universidad Santo Tomás, Bogotá.
- [5] Defra. Department for Environment Food and Rural Affairs. (2005). Heat stress in poultry: solving the problema. Londres. Defra publications.
- [6] Estrada Pareja, M., Márquez-Girón, S. M., Restrepo Betancur, L. F. (2007). Efecto de la temperatura y la humedad relativa en los parámetros productivos y la transferencia de calor en pollos de engorde. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 20:288-303.
- [7] Fairchild, B. (2012, Julio 03). Control de factores ambientales en la crianza de pollitos: 1 y 2. El sitio avícola. Recuperado de <https://www.elsitioavicola.com/newsletter/60/boletan-de-elsitioavicola-martes-03-de-julio-de-2012>
- [8] Fenavi. (2020). Boletín Fenavi N°304 marzo 2020. Boletín Fenavi 304, 1–17.
- [9] Ferreira-Herrera, D. C. (2015). El modelo Canvas en la formulación de proyectos. *Cooperativismo y desarrollo* 23(107): 69-80
- [10] Galeano Moyano, Y. K. (2018) Automatización de planta avícola. [Tesis de pregrado]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.
- [11] González Acevedo, J. P., Monroy Bustos, J. P., Patarroyo Sánchez, A. (2011). Monitoreo de variables ambientales influyentes en la crianza de pollos de engorde utilizando redes de sensores inalámbricas. [Tesis de pregrado]. Universidad de San Buenaventura, Bogotá.
- [12] Guamán Guamán, M. V. (2018). Análisis de diseño para la automatización en una empresa avícola. [Tesis de pregrado]. Universidad Católica de Cuenca, Cuenca.
- [13] Gunawan, T. S., Sadar, M. F., Nasir, H., Kartiwi, M., Motakabber, S. M. A. (2019, 27-29 de Agosto). Development of smart chicken poultry farm using RTOS on Arduino. IEEE 6th International Conference on Smart Instrumentation, and Applications
- [14] Hilarión, F., Bojacá, E. y Bojacá, D. (2020) Diseño y simulación de un sistema automatizado para producción avícola en la región del Guavio. *Inventum*, vol. 15, no. 28. Recuperado de <https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Inventum/article/view/2334/2036>
- [15] Lahoz Fuerte, D. (2006). Control ambiental en galpones de pollos. Engormix. Recuperado de <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/control-ambiental-galpones-pollos-t25959.htm>

- 
- [16] Li, H., Wang, H., Yin, W., Qian, Y., Hu, F. (2015). Development of a remote monitoring system for henhouse environment based on IoT technology. *Future internet* 7:329-341.
- [17] Lozano Chaguay, L., Caicedo Flores, J., Fernández Bayas, T., Onofre Zapata, R. (2019). El modelo de negocio: metodología Canvas como innovación estratégica para el diseño de proyectos empresariales. *Journal of science and research* 4:87-99. Recuperado de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/786/576>
- [18] Maman, A. H., Ozlu, S., Ucar, A., Elibol, O. (2019). Effect of chick body temperature during post-hatch handling on broiler live performance. *Poultry Science* 98(1):244–50.
- [19] Mera Chilito, C. (2016). Diseño e implementación de un sistema embebido para control de temperatura y humedad relativa en criaderos de pollos de engorde. [Tesis de pregrado]. Universidad de San Buenaventura, Cali.
- [20] Mueller-Rottenberg, Ch. (2018). Handboof of design thinking: tips & tools for how to Design thinking. Traverse City, Michigan. Independently
- [21] Muñoz Castiblanco, Guillermo. (2014). Arte rupestre en Choachí. 1–69.
- [22] Nawab, A., Fahar, I., Guanghui L., Kieser, B., Jiang, W., Wenchao, L., Zhao, Y., Nawab, Y., Li, K., Xiao, M. and An, L. (2018). Heat stress in poultry production: mitigation strategies to overcome the future challenges facing the global poultry industry. *Journal of Thermal Biology* 78(June):131–39.
- [23] Paul M. Muchinsky. (2012). Pollo un mundo de beneficios. Psychology applied to work: an introduction to industrial and organizational psychology, 10 ed. Paul 53(9):1689–9
- [24] Pan, Ch., Lu, M., Zhang, Y., Yu, Y., Liu, Q., Yang, Y., Pan, J. (2019). Unevenly distributed LED light produces distinct behavioral preferences and production performance of broilers. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 12(2):49–53.
- [25] Pantoja-Estrada, D. (2014). Manejo de temperatura ambiental y calidad de aire, su influencia en líneas de pollo de engorde: una revisión. Engormix. Recuperado de <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/manejo-temperatura-ambiental-calidad-t31776.htm>
- [26] Papatungan, I. V., Abidurrahman Al Faruq, Puspasari, F., Furqaan Al Hakim, Fahrurrozi, I., Oktiawati, U. Y., Mutakhiroh, I. (2020). Temperature and humidity monitoring system in broiler poultry farm. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 803(1).
- [27] Pedroza, J. (2005). Manual de producción avícola. Tuluá, Valle. Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA. Recuperado de <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/4271>

- [28] Pedrozo, F. (2020, 19 de junio). Los efectos del amoniaco en la producción avícola. El productor: el periódico del campo. Recuperado de <https://elproductor.com/2020/06/los-efectos-del-amoniaco-en-la-produccion-avicola/>
- [29] Pineda de Alcázar, M. (2018) La Internet de las Cosas, el Big Data y los nuevos Problemas de la comunicación en el Siglo XXI. Mediaciones Sociales Vol. 17. Recuperado el 25 de octubre 2021 de <https://revistas.ucm.es/index.php/MESO/issue/view/3336>
- [30] Rodríguez Bastías, D., Rodríguez Musso, A. (2013). Innovación por design thinking: creatividad para los negocios. Valparaiso, Chile. Consulting design
- [31] Romero Sánchez, J. L., Quinde Gonzabai, J. R. (2021). Sistema embebido para la automatización del control y monitoreo de la producción en la granja avícola “Romero & Hnos.”: propuesta tecnológica. [Tesis de pregrado]. Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil.
- [32] Rosas, G., Ruíz, S., de León, A., Martínez, N., Cantú, M. (2018). Manual de design thinking, 48
- [33] Rose, K., Eldridge, S., Chapin, L. (2015). La internet de las cosas – una breve reseña: para entender mejor los problemas y desafíos de un mundo conectado. Reston, Virginia. Internet Society (ISOC). Recuperado de <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/09/report-InternetOfThings-20160817>
- [34] Serrano Ortega M., Blázquez Ceballos, P. (2015). Design thinking: lidera el presente crea el futuro. 2ed. Madrid: Esic. Recuperado de [https://www.academia.edu/37936016/Desing\\_thinking\\_lidera\\_el\\_presente\\_crea\\_el\\_futuro\\_pdf](https://www.academia.edu/37936016/Desing_thinking_lidera_el_presente_crea_el_futuro_pdf)
- [35] Spodynluk, N., Zhelykh, V., Dzeryn, O. (2018). Combined heating systems of premises for breeding of Young pigs and poultry. *FME transactions* 46:651-657.
- [36] Zhao, R. X., Cai, C. H., Wang, P., Zheng, L., Wang, J. S., Li, K. X., Liu, W., Guo, X. Y., X. A. Zhan, X. A., K. Y. Wang, K. Y. (2019). Effect of night light regimen on growth performance, antioxidant status and health of broiler chickens from 1 to 21 days of age. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 32(6):904–11.
- [37] [https://www.industrialshields.com/es\\_ES/industrial-plc-based-on-arduino-original-boards-automation-solutions-202009](https://www.industrialshields.com/es_ES/industrial-plc-based-on-arduino-original-boards-automation-solutions-202009)
- [38] <https://www.vyopta.com/blog/video-conferencing/understanding-packet-loss/>