



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Implementación de un sistema automático para el control y monitoreo de temperatura en
la planta avícola de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH**

Fiallos Velasco, Cristian Guillermo

Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia Tecnológica Centro de
Posgrados

Maestría en Electrónica y Automatización Mención Redes Industriales

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Magíster en Electrónica y
Automatización Mención Redes Industriales

Ing. Ávila Rosero, Galo Raúl Mgs.

12 de abril de 2022

Latacunga

Reporte de Verificación de Contenido



Proyecto Titulación_Fiallos Cristian_VF-signed-signed.pdf

Scanned on: 19:50 May 25, 2022 UTC



Overall Similarity Score

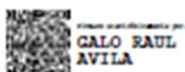


Results Found



Total Words in Text

Identical Words	281
Words with Minor Changes	0
Paraphrased Words	0
Omitted Words	0



Website | Education | Businesses

Ing. Ávila Rosero, Galo Raúl Mag
CC: 0501156061



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, **“Implementación de un sistema automático para el control y monitoreo de temperatura en la planta avícola de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH”** fue realizado por el señor **Fiallos Velasco, Cristian Guillermo** el mismo que ha sido revisado y analizado en su totalidad, por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, abril del 2022

GALO
RAUL
AVILA
ROSERO



Firmado
digitalment
e por GALO
RAUL AVILA
ROSERO

.....
Ing. Ávila Rosero, Galo Raúl Mg.
DIRECTOR
CC: 0501156061



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Responsabilidad de Autoría

Yo **Fiallos Velasco, Cristian Guillermo**, con cédula de ciudadanía N° **0603885989**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Implementación de un sistema automático para el control y monitoreo de temperatura en la planta avícola de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH”** es de mí autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, abril del 2022

CRISTIAN
GUILLERMO
FIALLOS
VELASCO

Firmado digitalmente por
CRISTIAN
GUILLERMO FIALLOS
VELASCO

.....
Fiallos Velasco Cristian Guillermo
CC: 0603885989



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Autorización de Publicación

Yo **Fiallos Velasco, Cristian Guillermo**, con cédula de ciudadanía n° **0603885989**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Implementación de un sistema automático para el control y monitoreo de temperatura en la planta avícola de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, abril del 2022

CRISTIAN
GUILLERMO
FIALLOS
VELASCO

Firmado
digitalmente por
CRISTIAN
GUILLERMO FIALLOS
VELASCO

.....
Fiallos Velasco Cristian Guillermo
CC: 0603885989

Dedicatoria

El trabajo desarrollado lo dedico principalmente a Dios, por ser nuestro creador y llenarme de fuerza para continuar con mis estudios y obtener uno de los anhelos más grandes y deseados. A mis padres, por su amor, trabajo, paciencia y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado cumplir una meta más y convertirme en un mejor ser humano. Ha sido un orgullo y privilegio ser su hijo, gracias por confiar siempre en mí. Son los mejores padres.

A mi esposa, la mujer que escogí para caminar juntos durante toda la vida y superar cualquier adversidad, a la bendición más grande que la vida me pudo dar, Joaquín y Benjamín, mis hijos, mi fuente de inspiración para lograr nuevos retos y desafíos. Los amo.

A mis hermanas y hermano, por estar siempre presentes, aconsejándome, guiándome y por el apoyo moral que me brindaron a lo largo de nuestras vidas.

A todos los profesionales, amigos que me han apoyado para que el trabajo que se realizó sea un éxito. en especial a la Facultad de Ciencias Pecuarias de que me abrieron las puertas, compartieron sus conocimientos.

Cristian Guillermo, Fiallos Velasco

Agradecimiento

Mi profundo agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a toda la Facultad de Ciencias Pecuarias, a las autoridades y personal que hacen la Facultad, por confiar en mí, abirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento. A mis profesores, quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos me ayudaron a crecer en lo personal, así como también en lo profesional.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Vicente Trujillo, decano de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH, al Ing. Manuel Almeida, director del proyecto por parte de la ESPOCH, al Ing. Fabián Vásconez principal colaborador durante todo este proceso, y al Ing. Galo Ávila, mi tutor, quien con su dirección, conocimiento y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

Cristian Guillermo, Fiallos Velasco

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula	1
Reporte de Verificación de Contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Índice de figuras.....	12
Índice de tablas.....	16
Resumen	18
Abstract.....	19
Capítulo I: Contenidos Generales	20
Antecedentes	20
Problema.....	22
Objetivos.	23
<i>Objetivo General</i>	23
<i>Objetivos Específicos</i>	23
Justificación, importancia y alcance del proyecto	24
Hipótesis de la investigación.	25

Categorización de las variables de investigación.....	25
Capítulo II: Marco Teórico Referencial.....	27
Marco legal.....	27
<i>Ley orgánica de emprendimiento e innovación.....</i>	<i>27</i>
<i>Ley orgánica de transparencia y Acceso a la información pública (LOTAIP)</i>	<i>28</i>
<i>Norma IEC 60364-1: 2009.....</i>	<i>28</i>
<i>Norma IEC 61508:.....</i>	<i>29</i>
<i>Norma IEC 61511:.....</i>	<i>29</i>
<i>Norma ANSI/ISA S5.1 -1984 (R1992):.....</i>	<i>30</i>
<i>Norma ISA101 HMI.</i>	<i>30</i>
Marco conceptual.....	31
<i>Factores que influyen en la temperatura de un galpón avícola.....</i>	<i>31</i>
<i>Factores fisiológicos del ave.....</i>	<i>31</i>
<i>Factores de instalaciones y el medio.....</i>	<i>35</i>
<i>Sistemas automatizados para temperatura en avicultura.....</i>	<i>46</i>
<i>Sistemas de control de temperatura</i>	<i>46</i>

	10
<i>Sistema de calefacción para avicultura.....</i>	<i>47</i>
<i>Definiciones técnicas para la automatización.</i>	<i>48</i>
<i>Hardware libre u “open hardware”</i>	<i>49</i>
<i>Implementos electrónicos.....</i>	<i>55</i>
<i>Interfaz humano-máquina.....</i>	<i>63</i>
<i>Unidad Académica de Investigación Avícola (UAIA) de la FCP-ESPOCH.....</i>	<i>65</i>
<i>Ubicación y condiciones ambientales.....</i>	<i>65</i>
<i>Las Instalaciones.....</i>	<i>66</i>
<i>Factibilidad operativa y tecnológica de la investigación.....</i>	<i>70</i>
<i>Presupuesto del proyecto.....</i>	<i>71</i>
Capítulo III: Metodología de la investigación.....	72
Diseño y construcción del módulo de adquisición de datos.....	73
<i>Diseño del módulo en Proteus 8.11.....</i>	<i>73</i>
<i>Construcción del módulo de adquisición de datos.....</i>	<i>80</i>
Implementación del algoritmo de control para la variable temperatura.....	84
<i>Establecer el mapa de sensores de temperatura.....</i>	<i>84</i>
<i>Desarrollo del controlador PID.....</i>	<i>88</i>

	11
Desarrollo del HMI.....	90
<i>Desarrollo del HMI para control de temperatura</i>	<i>90</i>
<i>Implementación del interfaz en TKinter.....</i>	<i>93</i>
Resultados de las pruebas experimentales.	98
<i>Verificación del desempeño del módulo y análisis de estabilidad y robustez.</i>	<i>100</i>
<i>Validación de la variación de temperatura y establecer el Set Point de la variable.</i>	<i>104</i>
<i>Validación de hipótesis.</i>	<i>108</i>
Capítulo IV: Conclusiones y Recomendaciones.....	109
Conclusiones.....	109
Recomendaciones.....	111
Bibliografía.....	112
Anexos.....	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Mecanismos del ave para eliminar el calor</i>	32
Figura 2 <i>Métodos de observación de bienestar térmico del pollo.</i>	40
Figura 3 <i>Porcentaje de Mortalidad en Función de la Temperatura del Piso (hormigón)</i>	44
Figura 4 <i>Arduino MEGA 2560</i>	52
Figura 5 <i>Diseño del Raspberry Pi</i>	54
Figura 6 <i>Símbolo de la resistencia</i>	56
Figura 7 <i>Módulo DTH22</i>	57
Figura 8 <i>Sensor de CO2 MQ135</i>	57
Figura 9 <i>Sensor de amoniaco MQ5</i>	58
Figura 10 <i>Transistor NPN 2N3904</i>	58
Figura 11 <i>Baquelina fibra de vidrio</i>	59
Figura 12 <i>Diodo rectificador 1N4007</i>	60
Figura 13 <i>Multímetro</i>	60
Figura 14 <i>Regulador de voltaje LM 7805</i>	61
Figura 15 <i>Bornera de dos pines</i>	61

Figura 16 <i>Relé con base para riel DIN</i>	62
Figura 17 <i>Conductores eléctricos</i>	62
Figura 18 <i>Diagrama de bloque en LabVIEW</i>	65
Figura 19 <i>Vista externa de la Unidad Académica de Investigación Avícola</i>	67
Figura 20 <i>Vista interna de la Unidad Académica de Investigación Avícola</i>	69
Figura 21 <i>Placas de control 3D</i>	74
Figura 22 <i>Diseño de uno de los módulos para salidas digitales</i>	75
Figura 23 <i>Interfaz para entradas digitales</i>	75
Figura 24 <i>Configuración y conexiones de sensores de temperatura y CO2</i>	76
Figura 25 <i>Esquemático de la tarjeta de Arduino Mega 2560</i>	76
Figura 26 <i>Salidas digitales para los diferentes actuadores</i>	77
Figura 27 <i>Interfaz para la alimentación de las inductancias producidas por los relés</i>	77
Figura 28 <i>Interfaz completo de la placa de control</i>	78
Figura 29 <i>Enrutamiento de la placa de control</i>	79
Figura 30 <i>Diseño 3D de los interfaces de los relés de estado sólido</i>	79
Figura 31 <i>Configuración de dos de las salidas por relés de estado sólido</i>	80

Figura 32 <i>Elaboración de las placas de circuito</i>	82
Figura 33 <i>Placa de circuito limpia y resultado final</i>	82
Figura 34 <i>Montaje de los componentes</i>	83
Figura 35 <i>Montaje de tableros de control</i>	84
Figura 36 <i>Cableado de la planta hacia los tableros y bajantes para los sensores</i>	85
Figura 37 <i>Sensores de temperatura, amoniaco y CO2</i>	86
Figura 38 <i>Estructura del tablero de control</i>	86
Figura 39 <i>Instalación de componentes eléctricos y electrónicos en los gabinetes</i>	87
Figura 40 <i>Instalación de los diferentes actuadores de la planta (calefactor)</i>	88
Figura 41 <i>Implementación del HMI (Proceso)</i>	92
Figura 42 <i>Programación Pyton para comunicación serial entre Arduino Mega</i> <i>y Raspberry Pi</i>	93
Figura 43 <i>Declaración de cada uno de los sensores de temperatura, amoniaco y CO2</i>	94
Figura 44 <i>Declaración de cada una de las salidas: mecánicas y las de estados sólido</i>	95
Figura 45 <i>Comunicación de la tarjeta</i>	95

Figura 46 <i>Función específica de temperatura</i>	96
Figura 47 <i>Función para la lectura de valores de amoniaco y CO2</i>	97
Figura 48 <i>Estructura del HMI en el programa Tk</i>	97
Figura 49 <i>Diagrama general del sistema de control de temperatura</i>	99
Figura 50 <i>Prueba del panel HMI y sensores</i>	100
Figura 51 <i>Base de datos de temperatura del galpón</i>	101
Figura 52 <i>Funcionamiento del sistema para el Set Point deseado</i>	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Operacionalización de las Variables</i>	26
Tabla 2 <i>Rango recomendado para parámetros ambientales</i>	37
Tabla 3 <i>Modelos de Calidad de Aire</i>	38
Tabla 4 <i>Requisitos de sistema de Calefacción con aire forzado</i>	41
Tabla 5 <i>Temperatura en Base a la Densidad Poblacional</i>	42
Tabla 6 <i>Densidad de alojamiento según el clima de la zona</i>	43
Tabla 7 <i>Temperaturas para crianza de pollos por edades</i>	45
Tabla 8 <i>Ambiente controlado de la nave por edades</i>	46
Tabla 9 <i>Productos que crea el hardware libre</i>	49
Tabla 10 <i>Componentes del Arduino</i>	53
Tabla 11 <i>Diseño del Raspberry Pi</i>	54
Tabla 12 <i>Condiciones meteorológicas de la Unidad Académica de Investigación</i>	
<i>Avícola 202</i>	66
Tabla 13 <i>Presupuesto en equipos e instrumentos</i>	71
Tabla 14 <i>Especificaciones de Arduino MEGA 2560</i>	91

Tabla 15 *Estadística descriptiva de la variable temperatura*103

Tabla 16 *Programación para el Set Point deado*.....105

Resumen

Se diseña y construye un sistema automatizado para el control de temperatura en la Unidad Académica de Investigación Avícola de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH, ubicada a 1.5 km de la ciudad de Riobamba. Para iniciar con el proceso de tecnificación en los galpones de la Facultad, según los requerimientos ambientales para la crianza de pollos, se construyó un sistema automatizado para el monitoreo de la variable temperatura, para lo cual se diseñó un módulo de adquisición de datos en el programa Proteus 8.11. Para acondicionar las señales y centralizar la información de las variables de control y el envío de datos, se instalaron 4 sensores y actuadores ubicados estratégicamente en base a las características técnicas de la avicultura, con algoritmos en lazo cerrado mediante un controlador PID y técnicas de sintonización seleccionada. El desarrollo de un HMI (Interfaz Hombre Máquina) permitió visualizar y controlar la variable estudiada; compararla con parámetros normales y mediante ventanas interactivas generar información de tendencias, alarmas del proceso y una base de datos disponible en todo momento para la toma de decisiones de manejo del plantel. Finalmente, se realizó pruebas experimentales de control y monitoreo de temperatura con registros cada 45 minutos durante dos semanas, donde se comprueba la estabilidad del controlador y el funcionamiento adecuado del sistema de control de temperatura, por tanto, se acepta la hipótesis planteada.

Palabras Clave: Automatización Industrial, Planta Avícola, Control de Temperatura, Interfaz Hombre Máquina.

Abstract

An automated system for temperature control is designed and built in the Poultry Research Academic Unit of the Faculty of Livestock Sciences of ESPOCH, located 1.5 km from the city of Riobamba. To start with the modernization process in the sheds of the Faculty, according to the environmental requirements for raising chickens, an automated system was built to monitor the temperature variable, for which a data acquisition module was designed in the Proteus program 8.11. To condition the signals and centralize the information of the control variables and the sending of data, 4 strategically located sensors and actuators were installed based on the technical characteristics of poultry farming, with closed-loop algorithms using a PID controller and tuning techniques. selected. The development of an HMI (Human Machine Interface) allowed to visualize and control the studied variable; compare it with normal parameters and through interactive windows generate trend information, process alarms and a database available at all times for making management decisions on the farm. Finally, experimental temperature control and monitoring tests were carried out with records every 45 minutes for two weeks, where the stability of the controller and the proper functioning of the temperature control system are verified, therefore the hypothesis is accepted.

Keywords: Industrial Automation, Poultry Plant, Temperature Control, Man-Machine Interface

Capítulo I

Contenidos Generales

Antecedentes

La evolución de la ciencia de control automático ha permitido el uso intensivo de sistemas de control y medición industrial, que propende a la eliminación de errores humanos, mejorando la calidad y el control de los procesos; aunque los costes son mayores, pero la inversión en equipos y capacitación, se compensa con la optimización de mano de obra pasiva. Los mecanismos de control automático industrial se basan en principios físicos que, junto a los principios electrónicos y termodinámicos, se utilizan en las industrias como: petróleo, maquinaria, equipos, etc.

Según la Universidad Internacional de la Rioja, en Ecuador, la Industria 4.0 comenzó a tener más fuerza a partir del año 2018; para la automatización de procesos, con el objeto de mejorar la calidad y disminuir el tiempo de producción y mejorar la competitividad en el mercado (UNIR, 2021). En la mayoría de las granjas de producción avícola a gran escala como Pronaca, Grupo Oro, Grupo Anhlazer, Pofaza y otros; ya lo vienen haciendo desde años atrás, pero para las medianas y pequeñas producciones avícolas no se han efectuado por diversas causas, siendo las principales la falta de conocimiento de las tecnologías por parte de los productores o administradores y su aparente alto costo de ejecución.

La industria avícola representa un rubro muy importante en la producción de proteína animal para el Ecuador; así: el Boletín Técnico Agropecuario de INEC establece que para el 2020 la cantidad de aves en crecimiento en planteles avícolas son de 23 millones de animales (INEC, 2021, pág. 12). Siendo un sector de gran importancia ya que involucra a cerca de 560

mil personas en toda la cadena de valor (Ergomix, 2009). Es uno de los subsectores del sector primario de la economía que está apta para la aplicación de tecnologías inteligentes.

El potencial económico de la implementación de sistemas automatizados para el control y monitoreo de temperatura en galpones avícolas, permite poner al mediano y pequeño productor a otro nivel, mediante una red inteligente autocontrolada y acceso de datos en tiempo real para la toma de decisiones rápidas y a tiempo con tecnologías innovadoras. El Sitio AviNews hace referencia a un estudio realizado por la consultora McKinsey, quienes estimaron que “hasta el 2025 será posible bajar el costo del mantenimiento industrial entre 10% y 40%, el costo de energía entre 10% y 20%, y aumentar de 10% a 25% la eficiencia operacional de las empresas” (AviNews, 2021).

Para realizar un proceso de implementación de un sistema automático para el control y monitoreo de temperatura en la planta avícola de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH; se debe conocer los diferentes procesos inherentes al manejo de un galpón, determinar cuáles de estos pueden ser parte de un sistema de transformación digital y poder sacar el máximo provecho. En países con gran cultura de producción avícola como México, de acuerdo con (Castillo, Cruz, Gonzaga, & Luna, 2019) el control del ambiente dentro de los galpones de pollo es todavía un asunto pendiente en la avicultura moderna de ese país.

Existen muchas formas de controlar el ambiente interno de los galpones para el confort de las aves, las principales es mediante la infraestructura y equipamiento que permite la ventilación tanto en frío como en calor, control de temperatura mediante la calefacción, evaporación, control de humedad, etc. Según (Estrada & Márquez, 2005), un ambiente controlado no solo implica el diseñar las instalaciones y equipos que le garanticen bienestar al

animal; sino también el conocimiento exhaustivo de lo que sucede con las interacciones físicas de la materia ante los diferentes fenómenos climáticos, como: que sucede con la mezcla de vapor de agua y aire, la transferencia de calor entre diferentes medios o el comportamiento de los fenómenos climáticos.

Problema

En la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se encuentra la Unidad Académica de Investigación Avícola, que es un laboratorio de semovientes destinados a investigaciones de campo en el área avícola, específicamente para pollos de engorde, parrilleros o también denominados broiler. Durante el diagnóstico realizado, se detectó como problema principal la *Falta de un sistema tecnificado para control y monitoreo de la temperatura en los galpones* considerando que la temperatura es una de las variables más importantes en el manejo del ambiente interno de una granja avícola. Entre las causas de este problema se describe el hecho que sus instalaciones tienen más de 10 años, por tanto, el equipamiento e infraestructura básica que fue construida ha sido mejorada paulatinamente, pero no cuenta aún con el nivel de tecnificación acorde para la producción avícola industrial y/o la investigación experimental actual.

Las líneas genéticas especializadas de pollos de engorde permiten obtener aves de mayor peso en menor tiempo, lo que determina que se debe controlar con precisión el medio donde se desarrollan, si no se cumplen los estándares de temperatura, ventilación, humedad, calidad del aire, etc., especialmente cuando la densidad de las aves es mayor; se produce aumento de temperatura del entorno y acumulación de gases nocivos en el ambiente interno. En los sistemas de producción tradicional el monitoreo del confort de las aves se realizaba

mediante la observación del confort del grupo de aves, pero depende totalmente de la intuición y la experiencia del avicultor; lo que requiere de personal capacitado que esté todo el tiempo con los animales, siendo sistemas que no permiten mejorar la eficiencia del control de datos y de costos.

En definitiva, la falta de registros de variables ambientales no permite tener una estadística de las curvas de comportamiento de las variables ambientales, que no permiten la aplicación de medidas correctivas para la producción avícola a pequeña escala que generalmente se da en galpones abiertos donde la influencia del ambiente externo es un gran problema, en relación a la crianza tecnificada donde los galpones son en túnel cerrado y controlado.

Objetivos.

Objetivo General

Implementar un Sistema Automático para controlar y monitorear la temperatura a través de tecnología de bajo costo en la Planta Avícola de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH.

Objetivos Específicos

- Investigar en fuentes bibliográficas científicas y técnicas los sistemas de control de temperatura para plantas avícolas
- Construir un módulo de adquisición de datos en base al diseño en un software, que permita centralizar la información de las variables temperatura de la planta avícola.

- Implementar un algoritmo de control en lazo cerrado para la variable de temperatura considerando técnicas de sintonización descritas en la bibliografía, para cumplir con parámetros establecidos para plantas avícola.
- Desarrollar el HMI para temperatura, amoniaco, CO2 y cantidad de agua de bebederos; mediante la visualización de los estados mediante ventanas interactivas que generen información de tendencias, alarmas del proceso y una base de datos.
- Realizar pruebas experimentales del sistema de automatización implementado para el monitoreo y control de la variable de temperatura en la planta avícola de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH.

Justificación, importancia y alcance del proyecto

El Programa de Maestría en Electrónica y Automatización Mención Redes Industriales, permite al maestrante tener las capacidades para aplicar sus conocimientos de automatizaciones en todo tipo de industrias que requieren innovar sus procesos. El diseño de una solución para controlar y monitorear variables medioambientales de mayor importancia como la temperatura en galpones de crianza de aves no tecnificados, es una de las aplicaciones que permitirá poner a disposición del pequeño y mediano productor un sistema de fácil manejo a costo moderado.

La importancia radica en la sustitución de la manera tradicional de monitorear las variables ambientales en el galpón, que se realiza mediante observación de un personal capacitado escaso, que difícilmente puede permanecer las 24 horas al día en el galpón; considerando que dicho personal puede ocupar su tiempo y conocimientos para analizar los datos principalmente de temperatura y calidad del aire obtenidos en tiempo real mediante el

HMI y realizar los controles y acciones necesarias para reducir pérdidas de peso de las aves, estrés térmico y mortalidad.

La Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH, es generadora de investigaciones que impulsan la producción de proteína animal a bajo costo y es de gran importancia la implementación del sistema automatizado en los galpones de investigación avícola, que permite dar salto tecnológico en beneficio de los estudiantes y tesis para el aprendizaje práctico de las tecnologías de punta para el control automático del ambiente en las naves de producción y disminuir la dependencia de sistemas empíricos o antiguos para medir dichos parámetros.

Hipótesis de la investigación

La implementación de un sistema automático de control y monitoreo de temperatura, mejorará la eficiencia de manejo del ambiente interno de la planta avícola de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH.

Categorización de las variables de investigación

En la hipótesis planteada se identifican dos variables.

- **Variable Independiente:**

Sistema automático de control de temperatura.

- **Variable Dependiente:**

Eficiencia en el control de la temperatura de la planta avícola.

Tabla 1*Operacionalización de las Variables*

Variables	Tipo	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	INDICADORES
Sistema automático de control de temperatura.	Independiente	Instrumento diseñado para controlar la temperatura en la planta, dentro de un rango deseado.	Desarrollar un controlador PID en función a la edad de los pollos para mantener la temperatura de la planta avícola.	-Número de variables SISO. -Período de muestreo del controlador. - Variación de la temperatura con respecto a la deseada.	Estabilidad y robustez del controlador.
Eficiencia en el control de la temperatura de la planta avícola.	Dependiente	Capacidad para mantener la temperatura dentro de los parámetros deseados.	Mantener la temperatura de la planta avícola en los valores predeterminados para la mejor crianza de los pollos.	-Relación entre la temperatura de la planta avícola – edad de los pollos. -Rango de temperatura de la avícola. -Tiempo de establecimiento de la temperatura deseada.	Variación de la temperatura de acuerdo a su edad.

Capítulo II

Marco Teórico Referencial

Marco legal

El marco legal para el desarrollo del proyecto se relaciona con las normativas y reglamentaciones que rigen en el Ecuador en temas relacionados a la producción, al emprendimiento, al manejo de granjas avícolas entre las principales. También se refieren las normas internacionales para la automatización industriales que son de cumplimiento recomendatorio y/u obligatorio en industrias 4.0.

Ley orgánica de emprendimiento e innovación

(Registro oficial Ecuador, 2020) Entre las consideraciones de la presente ley, la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil, UNCITRAL, por sus siglas en inglés, ha planteado varias leyes modelo sobre ámbitos materia del fomento al emprendimiento y la innovación; que son la base del documento normativo en el Ecuador para las diversas formas de economía; entre los artículos más sustanciales están:

Art. 4 (2). - Desarrollo económico. - Favorecer el desarrollo económico a partir del emprendimiento y la innovación, de manera justa, democrática, productiva, solidaria y sostenible, basado en la generación de riqueza, trabajo digno y estable.

Art. 5.- Obligaciones del Estado. - Son obligaciones del Estado para garantizar el desarrollo del emprendimiento y la innovación (...)

Art. 21.- Opción de trabajo de titulación. Establecerán sin perjuicio de su régimen de autonomía, como alternativa a los trabajos de titulación y dependiendo de la carrera que se

opte, el desarrollo de planes de negocios o proyectos de emprendimiento, donde se promoverá la formación, capacitación e intercambio de experiencias con el cuerpo docente y empresarios invitados (...).

Art. 23.- El emprendimiento y la innovación en la enseñanza universitaria. - El Consejo de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior, para efectos del acompañamiento, evaluación, acreditación y cualificación de las Instituciones de Educación Superior, tomará en cuenta dentro de este proceso el desarrollo del componente de emprendimiento y la innovación.

Ley orgánica de transparencia y Acceso a la información pública (LOTAIP)

Entre los objetivos de la LOTAIP está: La democratización de la sociedad ecuatoriana y la plena vigencia del estado de derecho, a través de un genuino y legítimo acceso a la información pública. (Congreso Nacional, 2004)

Norma IEC 60364-1: 2009

Reglas para el diseño, la instalación y la verificación de las instalaciones eléctricas de baja tensión para dispositivos eléctricos. (UNE España, 2022) La normativa establece las reglas desde sus principios fundamentales, caracterización y definiciones; protección contra choques eléctricos; protección contra el riesgo de incendios; marcado y documentación. La Norma ha sido elaborada por el comité técnico CNT 202 de la AFME (Asociación de Fabricantes de Material Eléctrico de España), está sujeta a un costo de adquisición y está prohibida la reproducción sin el consentimiento de la UNE (Organismo de Normalización de España)

Norma IEC 61508

Seguridad funcional de sistemas eléctricos, electrónicos y electrónicos programables” (...). (Emerson Electric Co., 2022) determina que es una norma de basada en rendimiento y aplicada para fabricantes e implementadores de sistemas de seguridad funcional a nivel industrial, pero las empresas del ramo que la implementaron primero, se percataron que la norma era de difícil cumplimiento, el IEC las armonizó para formar la Norma 61511, específica para las industrias de procesos.

Norma IEC 61511

Seguridad Funcional SIS (Sistemas Instrumentados de Seguridad). La Norma Internacional IEC 61511 promulgado por la Comisión Electrónica Internacional, al igual que la IEC 61508, fueron elaboradas por comités de expertos para establecer estándares en cualquier país, para el uso de dispositivos eléctricos, electrónico y/o instrumentos que garantiza la seguridad en la industria de procesos. (Emerson Electric Co., 2022)

(Safetyandsis, 2020) La Norma fue publicada en el año 2003 con una actualización del 2016 y establece funciones de seguridad de la producción mediante el análisis, realización, mantenimiento y funciones continuas. Pueden ser de uso obligatorio si la legislación local determina su cumplimiento. Tiene 3 partes:

Parte 1: Establece Marco de referencia, definiciones, sistema, requisitos de hardware y software.

Parte 2: Directrices en la aplicación de IEC 61511-1

Parte 3: Orientación para la determinación de los niveles de integridad de seguridad requeridos

Norma ANSI/ISA S5.1 -1984 (R1992)

Simbología y diagramas de Instrumentación, establece un medio uniforme de designación de los instrumentos y los sistemas de la instrumentación usados para la medición y control. Con este fin, el sistema de designación incluye los símbolos y presenta un código de identificación.

(Scrib, 2020)El American National Standards Institute (ANSI) de Estados Unidos y la International Society Automation (ISA) desarrollaron estándares para la instrumentación y el control de la automatización, en la norma se establecen reglas para la identificación funcional de instrumentos representados en un diagrama por medio de simbologías y códigos alfa numéricos según tablas establecidas. Las primeras letras designan la variable medida o controlada y las otras subsecuentes identifican la función del instrumento.

Norma ISA101 HMI

Las Normas ISA 101 (ANSI/ISA-101.01-2015) es el conjunto de acuerdos para el desarrollo de interfaces Humano – Máquinas dentro de la automatización industrial que garantizan omitir el flujo innecesario de información no deseada para el operador, obteniendo así la eficiencia y reducción de sobrecarga de datos. Proveer las herramientas al usuario para detectar, diagnosticar y responder ante situaciones anormales en un sistema. (Library, 2017).

Marco conceptual

Para el desarrollo del marco conceptual, es importante conocer los factores que influyen en la producción avícola especialmente en la variable control y monitoreo de temperatura a través de un sistema automático; para lo cual se detalla los sistemas tecnológicos de uso común en galpones tecnificados, y las definiciones base para la automatización en galpones que aún no establecen dichos sistemas de manera segura y confiable.

Factores que influyen en la temperatura de un galpón avícola

Factores fisiológicos del ave

“Desde un punto de vista fisiológico, actualmente existe una mayor velocidad de crecimiento y las temperaturas ambientales óptimas han ido disminuyendo, ya que los pollos son más sensibles a los incrementos de temperatura” (AviNews, 2019), así que las medidas a tomar son de manejo ambiental y de alimentación para disminuir la acción del exceso de temperatura. Fisiológicamente el pollo broiler se desarrolla mejor si las condiciones del medio son las adecuadas, pero las condiciones externas pueden verse afectadas por factores fisiológicos del propio animal que deben ser considerados al realizar los cálculos de las variables ambientales requeridas para la crianza.

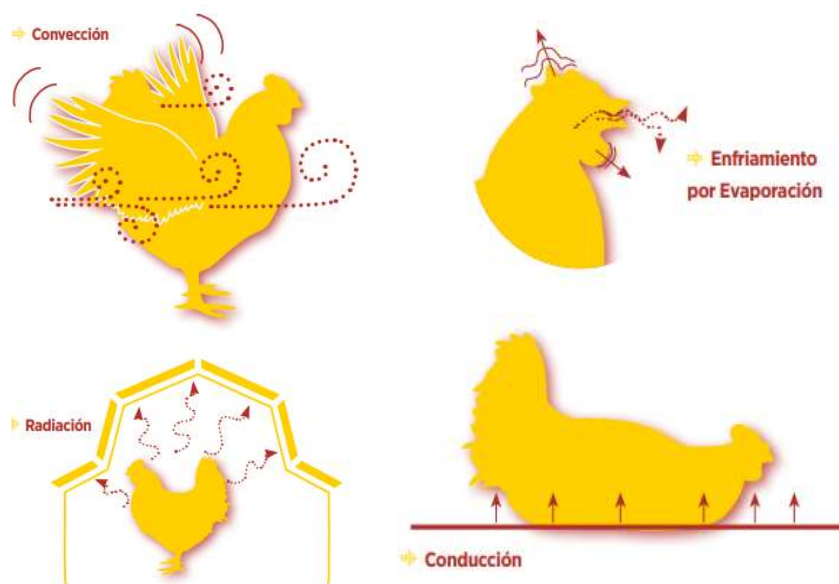
Los manuales de crianza de pollos de las líneas de pollos broiler, indican que los pollos recién nacidos, no son capaces de regular completamente su temperatura corporal durante los primeros 5 días y si la temperatura ambiente está por debajo de los 32°C se presentarán serios problemas en la crianza; la termorregulación no está totalmente

desarrollada hasta los 14 días de edad. (Cobb-Vantress, 2018, pág. 42) y (Hubbard, 2017, pág. 3)

En un artículo sobre consejos de manejo de lotes en climas cálidos, indica Los mecanismos del ave para termorregularse. (Hy Line, 2016, pág. 42) donde “el exceso de calor corporal de las aves es eliminado por cuatro mecanismos diferentes que se identifican en la Figura 1.

Figura 1

Mecanismos del ave para eliminar el calor



Nota. Tomado de (Hy Line, 2016, pág. 42)

- **Convección:** pérdida de calor corporal a través del aire frío circundante; las aves aumentan el área expuesta extendiendo las alas y vasodilatación de la sangre que hincha las barbillas y las crestas sacando el calor corporal a la superficie.

- Radiación: Las ondas electromagnéticas transfieren el calor a través del aire a un objeto distante. El calor corporal se irradia a los objetos más fríos en el galpón (por ejemplo: las paredes, el techo, el equipo).
- Enfriamiento por evaporación: La respiración rápida, con la boca abierta aumenta la pérdida del calor corporal aumentando la evaporación del agua de la boca y del tracto respiratorio. La disminución de la humedad del aire ayuda al enfriamiento por evaporación.
- Conducción: pérdida del calor corporal por contactos con objetos más fríos en (cama, piso, jaulas), las aves buscan lugares más frescos en el galpón; se acuestan en el piso o escarban la cama para encontrar un lugar más fresco.

El retraso en el envío de los pollitos a la granja desde la incubadora puede ser determinante, ya que el saco vitelino brinda nutrición e hidratación para el pollito. durante 24 horas después de la eclosión. (Cobb-Vantress, 2018, pág. 42). Considerar que en transporte debe tener el confort térmico y de ventilación óptimo para lograr llegar con un producto de calidad a la granja. (Hubbard, 2017, pág. 3)

Si los pollos recién ingresados en el galpón, “tienen frío, se acurrucan y tienen menos actividad, una ingesta menor de agua y ración, por lo tanto, menor crecimiento; pero si están cómodos y tibios, se distribuyen uniforme y se mueven activamente por el área de la criadora”. (Cobb-Vantress, 2018, pág. 42). El consumo de alimento y agua a primera hora es la base para que la temperatura corporal interna se mantenga y la supervivencia del animal esté garantizada, se evitará un porcentaje de mortalidad fuera de los parámetros normales de la crianza de pollos. (Hubbard, 2017, pág. 4)

Ciertas características de las aves en el galpón, pueden causar estrés, y se ve reflejado en pérdida de productividad y mortalidad de las aves; entre las principales características son:

- El ave debe mantener una temperatura corporal de 41°C , el estrés de las aves en sistemas de producción intensivo puede ser causado por: Temperatura (frío o calor); Gases (Amoníaco, CO_2 y CO) y Manejo (vacunaciones, densidad poblacional etc.) (Marín, 2001, pág. 7)
- El tracto respiratorio se convierte en el mecanismo principal de la pérdida de calor del ave, la evaporación de un gramo de agua disipa 540 calorías de calor corporal. (Hy Line, 2016, pág. 43)
- En climas cálidos, el ave gasta su energía para mantener una temperatura corporal normal y sus actividades metabólicas desviando la energía de crecimiento con una pérdida de rendimiento. (Hy Line, 2016)
- A temperaturas ambientales altas, las aves jadean con la boca abierta y en forma continua, para aumentar la evaporación del agua del tracto respiratorio; si el sistema falla en mantener la temperatura corporal, el ave se vuelve letárgica, en coma y puede morir. (Hubbard, 2017, pág. 43).
- Durante períodos de temperaturas ambientales altas, el lote tiene una alta demanda de consumo de agua, la proporción agua-alimento normalmente es de 2:1 a 21°C , pero aumenta a 8:1 a 38°C (Hy Line, 2016, pág. 47)
- Luego del consumo de alimento el ave inicia su metabolismo para transformar lo consumido en energía para sus procesos; estos mecanismos elevan la temperatura

del pollo y si las condiciones externas no son adecuadas se produce estrés calórico en el animal (AviNews, 2019).

- La actividad física aumenta la temperatura corporal, así las aves en el piso tienen mayor producción de calor que las aves que están en jaula; es el caso de los pollos broiler o de carne. (Marín, 2001, pág. 21)
- La temperatura corporal del pollo es mayor durante los períodos de mayor intensidad luminosa que en los oscuros (Álvarez & Herrera, 2009)

Factores de instalaciones y el medio

Implica el diseño de las instalaciones y equipos que garanticen el bienestar al animal; ya que el tipo de galpón para pollos de engorde y los equipos con los que cuenta, son factores importantes para maximizar el desempeño de las aves ya que un ambiente controlado impide variaciones grandes de la temperatura, que es la causa del estrés calórico en las aves; afectando el consumo de alimento y por ende la ganancia de peso, aumentando los costos de producción (Cobb-Vantress, 2018, pág. 2). Con esto coincide (Ross Aviagen Brand, 2018, pág. 79) ya que indica que se debe brindar un ambiente que permita alcanzar un desempeño óptimo para crecimiento, uniformidad, eficiencia de alimentación y rendimiento; sin comprometer la salud y bienestar del ave.

Logar un animal peso ideal en menor tiempo posible y dentro de unas limitaciones económicas, es el objetivo de la producción avícola de pollos de engorde, por tanto, el manejo del ambiente (sentido del cuidado) es la clave.

Aislamiento y ventilación. El Manual Cobb de pollos de engorde indica que "Los requisitos de aislamiento más importantes están en el techo, ya que reduce la penetración

de calor solar en los días calurosos, y en condiciones de frío, ayuda a reducir la pérdida de calor y el consumo de energía” (Cobb-Vantress, 2018, pág. 2)

En cuanto al uso de cortinas, (Cobb-Vantress, 2018, pág. 4) indica que “ayudan a mantener un ambiente controlado usando la velocidad del viento y la temperatura del galpón como criterios para abrir y cerrar las mismas; es mejor si las mismas operan automáticamente”, aunque en la producción de pollos de engorde a nivel semi tecnificado se manejan aún cortinas manuales.

El manual de (Hubbard, 2017, pág. 6) establece que hay varios parámetros ambientales que dependen entre sí y modificar uno altera el otro, se habla de variables como la temperatura, humedad y velocidad del aire, en la Tabla 2., se presenta el rango recomendado para parámetros ambientales. El manejo de la ventilación depende cada vez más de controladores y sensores, que mejoran el ambiente durante las 24 horas en ausencia de gente.

(Ross An Aviagen Brand, 2018, pág. 79) establece que la “ventilación es el principal medio de control del ambiente de las aves ya que permite mantener una calidad de aire y temperatura cómoda, además que elimina el exceso de humedad y la acumulación de gases perjudiciales”, existen dos sistemas básicos de ventilación: natural (entrada de aire) y forzada (ventiladores). Las entradas de aire en el galpón son básicas para mantenerlo ventilado en forma constante, dentro del sistema de construcción se realiza obstrucciones estructurales para que el aire no pase directo y sea distribuido equitativamente a toda la estructura; se utiliza un sistema mecánico de control de presión del galpón, según indica (Cobb-Vantress, 2018, pág. 6).

Tabla 2*Rango recomendado para parámetros ambientales*

Parámetro	Rango	Ventilación requerida (m³/kg/h)	Factores que influyen en el nivel óptimo y ventilación.
Temperatura	34 a 18°C	0.5 a 6 m ³ /kg/h	Edad y emplume
Humedad	40 a 70%	0.5 a más de 2 m ³ /kg/h	Condiciones interiores y exteriores
Velocidad aire	0.1 a 3.5 m/s	0.5 a 6 m ³ /kg/h	Edad, emplume y temperatura
Amonio (NH ₃)	< 15ppm	0.5 a 4 m ³ /kg/h	Yacija: nueva o no, humedad, tratamiento, temperatura
Oxígeno	> 19.5%	0.1 m ³ /kg/h	Nunca en un factor limitante
Monóxido de carbono	< 50 ppm		Mantenimiento calefacción. combustión directa
Dióxido de carbono	< 3 000 ppm (EU)	0.5 – 0.8 m ³ /kg/h	Calefactores combustión directa, altas necesarias de calefac., metabolismos aves
Partículas		indefinido	Baja humedad, material yacija, actividad aves

Nota. Tomado de (Hubbard, 2017)

En cuanto a los ventiladores para circulación de aire, (Cobb-Vantress, 2018, pág. 7) dice que “ayudan a reducir el diferencial de temperatura entre el cielorraso y el piso empujando el calor hacia el nivel del piso; son fundamentales en climas fríos para reducir los costos de calefacción y mantener la cama seca”. La capacidad de un ventilador depende del volumen del galpón y debe contar con un control de velocidad. (Ross An Aviagen Brand, 2018, pág. 79) coincide con Cobb e indica que el sistema funciona sin importar la temperatura ya que su función es mantener niveles de calidad de aire (oxígeno) para cubrir la demanda metabólica de las aves; que a medida que crecen necesitan eliminar del galpón más calor y los productos de la respiración como la humedad; además mantiene la cama en buenas condiciones.

En la Tabla 3., se identifica las características de un aire de buena calidad, donde los contaminantes principales son: polvo, CO₂, CO, vapor de agua; y sus niveles deben mantener ciertos límites para no bajar la eficiencia de respiración que daña el tracto respiratorio y provoca enfermedades pulmonares crónicas, entre otras.

Tabla 3

Modelos de Calidad de Aire

Contaminante	Niveles óptimos		Observaciones
	Cobb	Ross	
Porcentaje de oxígeno	>19,6 %		
Dióxido de Carbono (CO ₂)	<0,3%	<3000ppm	Fatal en niveles elevados
Monóxido de Carbono	<10 ppm	<10 ppm	Fatal en niveles elevados
Amoniaco	<10 ppm	<10 ppm	Se detecta con el olfato
Polvo respirable	<3,4mg/m ³		Mantener mínimos
Humedad relativa	<70%	50-60%	Depende de la temperatura

Nota. Tomado de (Cobb-Vantress, 2018, pág. 61), (Ross An Aviagen Brand, 2018, pág. 79)

Humedad y Temperatura: Generalmente, durante el día, la temperatura aumenta y la humedad relativa baja, para refrescar durante los períodos de humedad baja es por medio del enfriamiento por evaporación (nebulizador, rociador o almohadilla húmeda) (Hy Line, 2016, pág. 45). En galpones con alta tecnificación se estructura también un panel de evaporación que “será proporcional a la abertura de la zona de ventilación con una eficiencia de enfriado del 75%, que están muy relacionados a la presión óptima que debe tener el

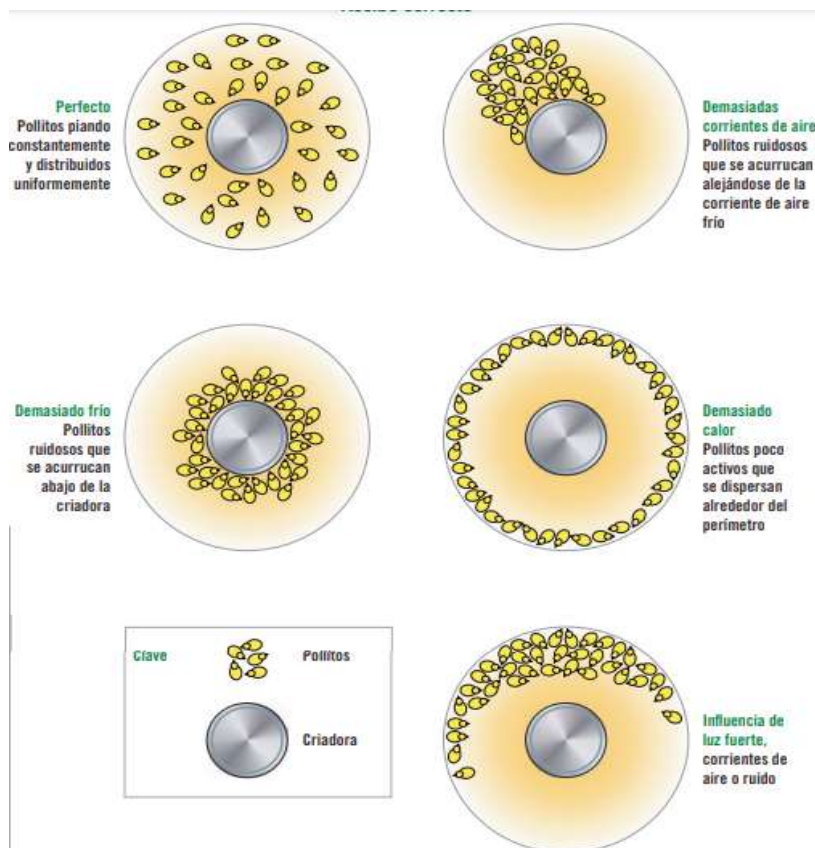
galpón, inclusive en galpones grandes se instalan bombas en la mitad del panel para mejorar la distribución del mojado de los paneles” (Cobb-Vantress, 2018, pág. 12).

En cuanto al sistema de neblinas para mantener la humedad relativa en las instalaciones que ayudan a manejar el estrés térmico del pollo, especialmente en zonas donde existe condiciones ambientales secas; se utiliza un sistema de boquillas instaladas en todo el galpón en hileras formando un circuito; donde los aspersores comienzan a funcionar cuando la temperatura marca los 28°C (Cobb-Vantress, 2018, pág. 14). Los manuales de avicultura de Ross y Hubbard establecen que los nebulizadores no deben usarse en zonas con humedad alta (>70%) ya que para disipar el calor transferido del ave al ambiente únicamente se requiere ventilación; La nebulización es más efectiva en humedad reducida, pero se debe monitorear el comportamiento del ave para asegurar que no afecte la temperatura, ya que puede aumentar el estrés calórico (Ross An Aviagen Brand, 2018, pág. 100), (Hy Line, 2016, pág. 45)

En la Figura 2., se observa el comportamiento de los pollos en base a la temperatura del ambiente donde se va a desarrollar durante los primeros 14 días hasta que puedan termo regularse.

Figura 2

Métodos de observación de bienestar térmico del pollo



Nota. Tomado de (Cobb-Vantress, 2018)

(Cobb-Vantress, 2018, pág. 24) determina que los sistemas de calefacción son “especialmente importante en las primeras etapas de vida del pollo para mantener un ambiente y temperatura del piso constante y depende de la temperatura ambiente, el aislamiento del techo y el grado de sellado del galpón”.

Con una capacidad de calefacción deficiente afecta la uniformidad y el desempeño, con aumento del consumo de combustible, los perfiles recomendados de temperatura dependerán de la humedad relativa y siempre se debe basar en la evaluación visual de la comunidad de las aves. (Ross An Aviagen Brand, 2018, pág. 80).

Los Requisitos de sistemas de calefacción con aire forzado en kW/m³ (densidad de potencia Kilovatio por metro cúbico) se identifica en la Tabla 4. “Las criadoras con energía radiante, usadas en explotaciones pequeñas como fuente de calor son utilizadas hasta madurar el lote; donde los pollos desarrollan la capacidad de regular su temperatura corporal interna, que se realiza aproximadamente a los 14 días” (Cobb-Vantress, 2018, pág. 24). A medida que las aves crecen y generan más calor la calefacción debe regularse y se prenderá solo si hay una disminución de la temperatura referencial en 1 o 2°C (Ross An Aviagen Brand, 2018, pág. 80)

Tabla 4

Requisitos de sistema de Calefacción con aire forzado

Tipo de Clima	Recomendación calórica
Tropical	0,05 kW/m ²
Templado	0,0075 kW/m ²
Frío	0,10 kW/m ²

Nota. Tomado de (Cobb-Vantress, 2018).

(Ross An Aviagen Brand, 2018, pág. 107) coincide con el Manual Cobb en indicar que otro factor importante que influye en la temperatura del galpón es la densidad poblacional; que es variada dependiendo del clima, sistemas de ventilación (manuales o automatizados) y la legislación local sobre el bienestar de las aves; si se aumenta la densidad se debe ajustar la ventilación y el espacio entre comederos y bebederos. (Cobb-Vantress, 2018, pág. 25) en el manual de crianza de pollos indica que sobre los 28 kg/m² de densidad poblacional se produce un exceso de calor con aumento de jadeo con menor

consumo de alimento, ya que la energía de crecimiento del ave se está usando para disipar el calor.

En la Tabla 5., se presenta una guía de temperatura en base a densidad poblacional. En lugares abiertos sin control ambiental no se recomienda criar pollos con pesos superiores a 3 kg. (Ross An Aviagen Brand, 2018, pág. 108)

Tabla 5

Temperatura en Base a la Densidad Poblacional

Densidad kg/m ²	Temperatura objetivo
	Rango (°C)
28	22-24
30	21-23
32	20-22
34	19-21
36	18-20
38	17-19
40	16-18
42	15-17
42+	14-16

Nota. Tomado de (Cobb-Vantress, 2018, pág. 54)

En relación a la densidad de alojamiento para los pollos broiler que están listos para el mercado; (Hubbard, 2017, pág. 10) establece parámetros definidos de densidad según el

peso final del pollo y el clima donde se desarrollan los mismos; en la Tabla 6., se observa estas variables, considerando que la temperatura del piso debe ser al menos de 29°C.

(Cobb-Vantress, 2018, pág. 51) Un punto fundamental es el manejo de la cama donde habitan los pollos durante todo el período de engorde para su sanidad y desempeño; ya que sus funciones son: absorber humedad, aislar al pollo del piso frío y de las heces y el normal comportamiento del pollo al escarbar y picotear: lo principal es que la cama de cualquier material sea absorbente, liviana, no tóxica, libre de contaminantes y poco costosa

Tabla 6

Densidad de alojamiento según el clima de la zona

Peso final (kg)	Indicativo kg/m2 al momento del mercado	
	Clima frío y templado	Clima cálido
1.2	35	32
1.4	36	33
1.8	39	34
2.2	41	35
2.7	42	36
3.2	42	37

Nota. Tomado de (Hubbard, 2017, pág. 10)

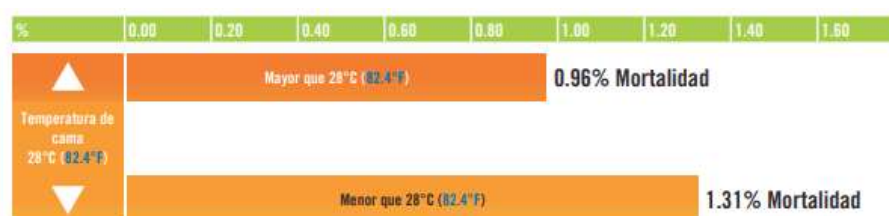
Para entender la importancia de la temperatura óptima de la cama se observa en la Figura 3, la variación en el porcentaje de mortalidad a los 7 días con temperaturas superiores a 28°C; la mortalidad es del 0,96%; mientras que en inferiores a 28°C la mortalidad asciende a 1,31%. Los diferentes tipos de cama ya sea aserrín, viruta, trozos

madera, cáscaras de diferente tipo, pancas, arena, paja, etc., cada una tiene sus ventajas y desventajas, pero requieren un manejo adecuado de la ventilación y humedad ya que influyen grandemente en la temperatura del piso donde habita el ave. (Ross An Aviagen Brand, 2018, pág. 106)

El comportamiento de pesos y ganancias de peso semanales y totales tienen la misma tendencia cuando los valores de temperatura del piso están sobre y bajo los 28°C. Es recomendable observar el comportamiento de las aves y la temperatura interna del ave antes de ajustar la temperatura del galpón.

Figura 3

Porcentaje de Mortalidad en Función de la Temperatura del Piso (hormigón)



Nota. Tomado de: (Cobb-Vantress, 2018, pág. 52)

Referente a la temperatura el Manual para crianza de pollos de la casa Ross broiler difiere relativamente a los datos reportados por Cobb Vantress, ya que determinan que los pollos de un día de nacidos requieren 30°C de temperatura y va bajando ese valor hasta 20°C a los 27 días de edad; en la Tabla 7., se observa las variaciones de temperatura recomendada por la empresa que produce y provee a nivel mundial la línea Ross de pollos broiler (Ross An Aviagen Brand, 2018, pág. 22)

Tabla 7*Temperaturas para crianza de pollos por edades*

Edad (días)	Temperatura para crianza en todo el galpón °C	Temperatura para crianza por zonas °C	
		Borde criadora (A)	2m del borde criadora (B)
Un día	30	32	29
3	28	30	27
6	27	28	25
9	26	27	25
12	25	26	25
15	24		25
18	23		24
21	22		23
24	21		21
27	20		20

Nota. Tomado de (Ross An Aviagen Brand, 2018, pág. 22).

El manual de crianza de broiler de Hubbard, esquematiza parámetros de ambiente controlado de la nave en óptimas condiciones considerando la edad de los animales, la temperatura en cada etapa, la humedad relativa, la velocidad del aire y la ventilación. La información recopilada y analizada, muestra una idea más clara de la importancia de tener instalaciones adecuadas con un ambiente controlado para la producción avícola

Tabla 8*Ambiente controlado de la nave por edades*

Edad (días)	Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)	Velocidad aire m/s	Ventilación
	Usando criadoras		Calefacción nave entera			
	Bajo la criadora	Junto criadora				
0-3	38	30	33 a 31	40-60		
3-7	35	29	32 a 30	40-65	0.1 a 0.3	Tasa
7-14	32	29-28	31 a 29	50-65		ventilación
14-21	29	28-27	29 a 27	50-65		mínima 1.5
21-28		27-24	27 a 24	50-65	0.3 a 2.0	a 0.8 m3/kg
		24-22	24 a 22	50-70		peso
		22-18	22 a 18	50-70	0.5 a 3.0	vivo/hora

Nota. Tomado de (Hubbard, 2017, pág. 10)

Sistemas automatizados para temperatura en avicultura

Sistemas de control de temperatura

Para (Ogata, 2010). La temperatura analógica se convierte en una temperatura digital mediante un convertidor A/D. La temperatura digital se introduce en un controlador mediante una interfaz. Esta temperatura digital se compara con la temperatura de entrada programada, y si hay una discrepancia (error) el controlador envía una señal al calefactor, a través de una interfaz, amplificador y relé, para hacer que la temperatura adquiriera el valor deseado.

Sistema de calefacción para avicultura

Los sistemas de calefacción más utilizados en granjas avícolas a pequeña escala han sido los radiadores infrarrojos a gas, en las granjas de tecnificación media se tiene los generadores de aire caliente; si hablamos de criaderos de pollos modernos y a gran escala de ambiente controlado, se tiene los modernos “suelos radiantes” e, incluso, a los recuperadores de calor.

Radiadores infrarrojos a gas. Por muchos años el sistema de calefacción más popular por su facilidad de adquisición y colocación, así como de su manejo; los elementos radiantes son de gran potencia calorífica (10Kw/h) que son quemadores de gas (GPL) montados sobre una campana de 1,5 m de diámetro suspendido a una altura determinada para cubrir una amplia superficie calculada en base a la potencia calorífica para cada pollo. El principio de su funcionamiento es la radiación de infrarrojos que calienta a los pollos y el suelo. Los nuevos sistemas a gas se integran a un sistema centralizado de control ambiental que se regulan la temperatura (Big Dutchman, s/a).

Generadores de aire caliente. (Big Dutchman, s/a) El aire caliente se generaba mediante gas-oil en un solo equipo central en las primeras naves industriales, ahora ha evolucionado a gas propano regulado por un termostato, sin embargo, no puede aplicarse a naves de más de 50 m de largo. Hoy se han sustituido por generadores modernos llamados aerotermos que pueden ser colocados en el techo a media altura o en la fachada del galpón. La potencia del equipo depende del área del galpón y su colocación depende de la estructura del mismo para que se aproveche el rebote del aire en la fachada opuesta.

Otro sistema para generación de aire caliente por tubería de agua caliente ubicadas a 2 m del piso de la nave y que procede de una caldera; el principio es que toma el aire de la parte más caliente y lo dirige hacia abajo; la ventaja es que se evita la producción de gases nocivos para el ave. (Big Dutchman, s/a).

Suelo radiante. El suelo radiante o térmico es una red de tuberías por debajo del suelo de las naves, por donde circulan humo y aire caliente que se originan en una caldera u horno con pellets de material combustible, astillas, orujo o gas; como es un sistema que solo se puede aplicar a nuevas construcciones el costo de inversión es alto, pero el costo de mantenimiento es menor y la cama se mantiene seca por más tiempo. (Big Dutchman, s/a)

Recuperadores o intercambiadores de calor. Se extrae el aire caliente y viciado por medio de extractores, hacia unos tubos de polipropileno y calienta el aire frío externo en un sistema donde no se mezclan, también extrae la humedad interior para condensarla en el exterior, lo que genera la eliminación del CO₂ y humedad consecuentemente una cama más seca. El caudal de renovación de aire depende del equipo y hay desde 2.000 m³/h hasta 22.000 m³/h; aunque su eficacia está comprobada, el consumo de energía eléctrica puede ser un problema. (Big Dutchman, s/a)

Definiciones técnicas para la automatización

Con el uso de herramientas de la industria 4.0., para ser implementadas en planteles avícolas medianos y pequeños con la finalidad de que tengan acceso a tecnologías para un manejo más eficiente de sus galpones e iniciar procesos de automatización.

Hardware libre u “open hardware”

Free Software Foundation y BBVA coinciden en que hardware' libre son proyectos donde se comparten componentes e información sobre dispositivos (especificaciones y diagramas) son de acceso libre y otorga amplitud realizar estudios, modificaciones, distribución, y redistribución de las mejoras., lo que se denomina dispositivos de código abierto que combinados con la inteligencia artificial, se puede producir grandes mejoras. (BBVA, 2018). (GNU, 2018)

Algunas de las iniciativas desde la creación de ordenadores, robótica educativa, fabricación de automóviles, etc.; en la Tabla 9, se enumeran los productos que crean los proyectos de hardware libre donde se establece la importancia porcentual de cada uno de los productos creados.

Tabla 9

Productos que crea el hardware libre

N°	Producto	Porcentaje
1	Herramientas para fabricación digital	25%
2	Vehículos	14%
3	Robots	8%
4	Agricultura	7%
5	Equipo médico	7%
6	Equipo musical	5%
7	Fuentes de alimentación electrónica	5%
8	Equipamiento para laboratorios	4%
9	Juegos y videojuegos	4%
10	Otros	21%

Nota. Tomado de (Jonveaux , 2017)

Entre los hardware libres más utilizados por su facilidad de uso y programación son:

RepRap Project. Adrian Bowyer y sus compañeros de Universidad (2004) en Reino Unido, crearon una impresora 3D capaz de replicarse mediante la impresión de la mayoría de sus componentes; ahora es accesible bajo licencia GNU GPL, para que los técnicos aficionados o profesionales puedan copiar y mejorar sus códigos. (BBVA, 2018)

Arduino. (Söderby, 2022) indica que es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open source), disponible con una licencia Creative Commons, basados en software y hardware flexibles y de fácil uso; aplicados para crear entornos interactivos desde robótica hasta técnicas automáticas de riego. El microcontrolador de la placa se programa usando el Arduino Programming Language (basado en Wiring) y el Arduino Development Environment (basado en Processing). Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o se pueden comunicar con software en ejecución en un ordenador (por ejemplo, con Flash, Processing, MaxMSP, etc.). (Enríquez, 2009).

(García González, 2013) detalla al Arduino MEGA como una placa base con un sencillo microcontrolador AT mega 2560 que pertenece a la extensa familia de placas Arduino con 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida; 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, un botón de reset y una entrada para la alimentación de la placa”.

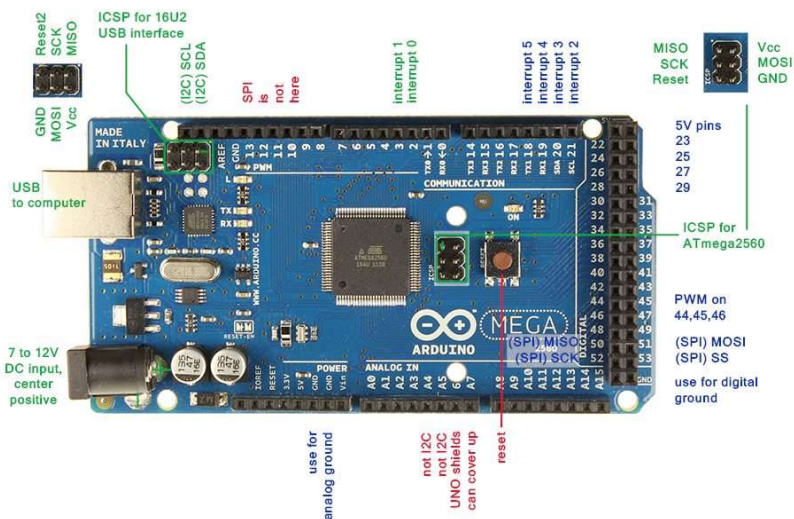
El lenguaje puede ser expandido mediante librerías C++, y puede dar el salto a la programación en lenguaje AVR C en el cual está basad. El entorno de desarrollo del Arduino es para crear aplicaciones para dicha placa, le otorga libertad de desarrollo, sus funciones son: (Söderby, 2022)

- Monitoreo de datos: a través de un tablero monitorea los valores del sensor.
- Sincronización de variables: le permite sincronizar variables entre dispositivos, y comunica dispositivos con una codificación mínima.
- Programador: para que se activen o desactiven durante un período de tiempo específico (segundos, minutos, horas).
- Cargas por aire (OTA): en dispositivos que no estén conectados a una computadora.
- Webhooks: como IFTTT integra un proyecto con otro servicio.
- Soporte de Amazon Alexa: El proyecto es controlado por voz (de Amazon Alexa)
- Uso compartido del panel: Se puede compartir los datos con otras personas.

Arduino Mega puede ser alimentado mediante el puerto USB o con una fuente externa de poder que utiliza convertidos AC/DC, que es seleccionada de manera automática, también se puede alimentar el micro mediante el uso de baterías con voltaje de 7V a 12V. (Torrente, 2013) y tiene algunos pines para la alimentación del circuito aparte del adaptador para la alimentación.

Figura 4

Arduino MEGA 2560



Nota. Tomado de (García González, 2013).

(Enríquez, 2009) (Torrente, 2013), las características más importantes del Arduino son: 256 kB de memoria FLASH, 8 kB de memoria SRAM, 4 kB de memoria EEPROM, Frecuencia de CPU Máxima: 16MHz, es barato en relación a otros microcontroladores y son multiplataformas ya que se ejecuta en sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux. Los componentes de la placa de Arduino son:

Tabla 10*Componentes del Arduino*

Componente	Descripción
Placas E/S UNO	La placa Arduino más popular y se conecta al ordenador con un cable estándar USB y contiene todo lo que necesitas para programar y usar la placa. Puede ser ampliada con variedad de dispositivos: placas hijas con características específicas.
Nano	placa compacta diseñada para uso como tabla de pruebas, el Nano se conecta al ordenador usando un cable USB Mini-B.
Bluetooth	El Arduino BT contiene un módulo bluetooth que permite comunicación y programación sin cables. Es compatible con los dispositivos Arduino.
LilyPad	Diseñada para aplicaciones listas para llevar, esta placa puede ser conectada en fábrica, y un estilo sublime.
Mini	Esta es la placa más pequeña de Arduino. Trabaja bien en tabla de pruebas o para aplicaciones en las que prima el espacio. Se conecta al ordenador usando el cable Mini USB.
Serial	Es una placa básica que usa RS232 como un interfaz con el ordenador para programación y comunicación. Esta placa es fácil de ensamblar incluso como ejercicio de aprendizaje.
Serial Single Sided	Esta placa está diseñada para ser grabada y ensamblada a mano. Es ligeramente más grande que la UNO, pero aún compatible con los dispositivos.

Nota. Tomado de (Torrente, 2013)

Raspberry Pi. Según el Blog Historia de la Informática de la Universidad Politécnica de Valencia, “es una placa computadora u ordenador (SBC) sin accesorios, de bajo coste, y tamaño reducido (mini computadora), desarrollado en el Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi (Universidad de Cambridge) en 2011” (Universidad Politécnica de Valencia, 2013). En la Tabla 11 y la Figura 5 se observa la estructura del Raspberry Pi.

Tabla 11*Diseño del Raspberry Pi***Partes del Raspberry**

Un Chipset Broadcom BCM2835, que contiene un procesador central (CPU)

ARM1176JZF-S a 700 MHz (el firmware incluye modos Turbo, el usuario pueda hacerle overclock de hasta 1 GHz sin perder la garantía).

Un procesador gráfico (GPU) VideoCore IV.

Un módulo de 512 MB de memoria RAM (originalmente eran 256 MB).

Un conector de RJ45 conectado a un integrado lan9512 -jzx de SMSC que proporciona conectividad a 10/100 Mbps

2 buses USB 2.0

Una Salida analógica de audio estéreo por Jack de 3.5 mm.

Salida digital de video + audio HDMI

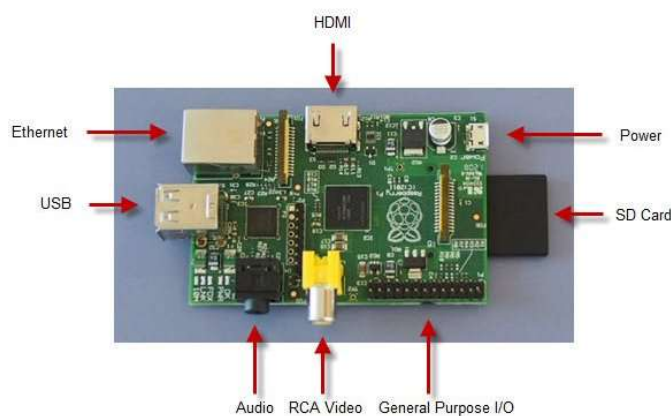
Salida analógica de video RCA

Pines de entrada y salida de propósito general

Conector de alimentación microUSB

Lector de tarjetas SD

Nota. Tomado de(Universidad Politécnica de Valencia, 2013)

Figura 5*Diseño del Raspberry Pi*

Nota. Tomado de (Universidad Politécnica de Valencia, 2013).

e-puck. Para enseñar programación en las escuelas se creó el robot móvil de código abierto y sus creadores ponen a disposición en forma gratuita: bibliografía, ficheros de fabricación, ejemplos y una amplia documentación sobre su funcionamiento. (BBVA, 2018)

Tabby EVO. Creado por Open Motors, y es una plataforma para diseñar un automóvil eléctrico con herramientas de código abierto, donde el creador ofrece a los especialistas en el área, distintos componentes del vehículo e información en la web de Open Motors. (BBVA, 2018)

Otros: como: Uzebox (Videoconsola), Open Source Ecology (maquinaria industrial con acceso universal), Elphel (cámaras para imágenes panorámicas), Project Ara (proyecto fallido) entre otros. (BBVA, 2018).

Implementos electrónicos

Resistencia: Es una medida de oposición que ofrece un material al paso de la corriente eléctrica, todos los materiales poseen diferentes grados de resistencia al flujo eléctrico. Se mide en Ohmios (Ω) y se representa con la letra R. Los materiales donde la electricidad puede moverse fácilmente se llaman conductores (metales); y los que tienen mayor resistencia se conocen como aislantes (plástico, madera, papel, etc. (Mazur, 2009). La resistencia se representa de la siguiente manera.

Figura 6

Símbolo de la resistencia



Nota. Tomado de (Hernández, 1999)

Sensores: M. Zennaro en su libro *Introducción a las Redes de sensores Inalámbricas*, citado por la Revista Digital Tía, indica que las WSN son un “importante puente de comunicación entre la virtualidad y el mundo físico, por lo que su campo de aplicación es muy grande en la industria, la ciencia, el transporte, la seguridad y la infraestructura” (Archila & Santamaría, 2013).

Las aplicaciones de las redes inalámbricas (WSN) son variadas, entre las que se mencionan (Tarrío, 2008): Aplicaciones militares, medioambientales y cultivos, aplicaciones médicas: Diagnóstico y monitoreo de pacientes, administración de medicamentos y entorno inteligente hospitalario y otros usos entre los cuales está la domótica en edificios y hogares, industriales, turísticas (DTI) e interactividad en parques y museos. En la investigación para la implementación del sistema de control de temperatura se utilizó el sensor DHT22, sus características son:

- **Sensor DHT22:** Es un sensor digital encargado de la medición de temperatura y humedad “Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica).” (Naylamp Mechatronics SAC, 2021). EL hardware del equipo dispone de conectar el pin VCC de alimentación a 3-5V, el pin GND a Tierra (0V) y el pin de datos a un pin digital en nuestro Arduino.

Figura 7

Módulo DTH22

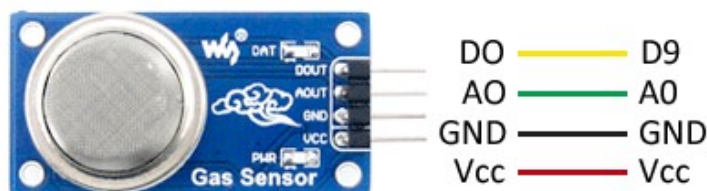


Nota. Tomado de (Hernández, 1999)

- Sensor de CO₂ MQ135:** Es un sensor para la detección de distintos componentes químicos (Amoniaco) en el aire. Estos sensores poseen una “placa de medición estándar con el comparador LMC662 o similar, que permite obtener la lectura tanto como un valor analógico, como un valor digital cuando se supera un cierto umbral regulado a través de un potenciómetro ubicado en la placa.” (Llamas, 2016). En el esquema eléctrico alimentamos el módulo conectando GND y 5V a los pines correspondientes de Arduino.

Figura 8

Sensor de CO2 MQ135



Nota. Tomado de (Hernández, 1999)

- Sensor de amoniaco MQ5:** Es un sensor de gas analógico correspondiente a la familia MQ utilizado para la detección de fugas de gas. “También este sensor es adecuado para la detección de gas LP, i-butano, propano, metano, alcohol,

hidrógeno. Incluso tiene una alta sensibilidad y un tiempo de respuesta rápido.”
(Torres, 2014). Cuentan con una envoltura MQ-2 que tiene 6 pines, 4 de ellos se utilizan para recoger las señales, y otros se utilizan 2 para proporcionar corriente de calentamiento.

Figura 9

Sensor de amoníaco MQ5



Nota. Tomado de (Hernández, 1999)

Transistor 2N3904: Es un transistor NPN usado para amplificación “Puede amplificar pequeñas corrientes a tensiones pequeñas o medias; se puede implementar en amplificadores de sonido, construir puentes H, variar la velocidad de motores pequeños e intensidad de led.” (onsemiTM, 2021). Cuenta con Encapsulado TO-92 de 3 pines.

Figura 10

Transistor NPN 2N3904



Nota. Tomado de (TOSHIBA, 1998)

FR4 (Flame Retardant): es un laminado epoxi de fibra de vidrio, el FR4 es el más utilizado para circuitos de alta frecuencia ya que presenta menor riesgo de combustión, por su facilidad para realizar agujeros pasantes y por su flexibilidad ya que no se deforma con el tiempo y la humedad, presenta menor riesgo de combustión. Es la mejor opción para el diseño de placas de circuito impreso y los dispositivos USB y accesorios Bluetooth son de este material. (TECmikro, 2022)

Figura 11

Baquelina fibra de vidrio



Nota. Tomado de (TECmikro, 2022)

Diodo 1N4007: Como su nombre lo indica es un diodo rectificador, su propósito general es que el voltaje viaje en una sola dirección, una de sus utilidades es para evitar el rebote del voltaje aplicado a una bobina. “1N4007 este fabricado de un material semiconductor con una unión n-p. Estas familias de diodos de propósito general generalmente tienen una capacidad de corriente de 1A. Se utilizan para adecuar un voltaje de corriente alterna y poder regularizar estos voltajes.” (Vishay Intertecnología, 2020)

Figura 12

Diodo rectificador 1N4007



Nota. Tomado de (TOSHIBA, 1998)

Multímetro: También de nominado tester, es un dispositivo eléctrico y portátil, que le permite a una persona medir distintas magnitudes eléctricas que forman parte de un circuito, como ser corrientes, potencias, resistencias, capacidades, entre otras.

Figura 13

Multímetro

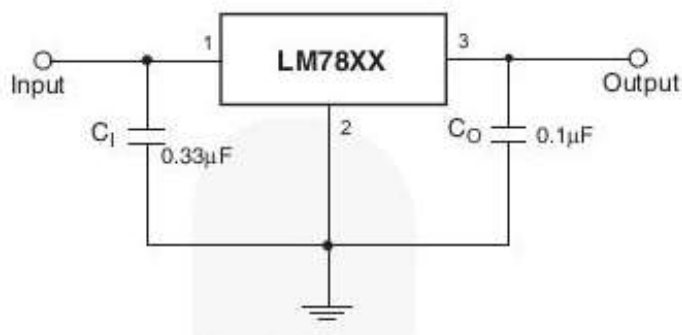


Nota. Tomado de (Hernández, 1999)

Regulador LM7805: Es un dispositivo electrónico que se alimenta de una cantidad de tensión constante y es capaz de entregar una cantidad menor y acondicionada, regula el voltaje positivo de 5V a 1A de corriente, lo que disminuye la posibilidad de dañar nuestro circuito (...) (Veloso, 2016). Cuenta con 3 pines: tensión de entrada, masa y tensión de salida.

Figura 14

Regulador de voltaje LM 7805



Nota. Tomado de (Veloso, 2016)

Bornera: También denominado T-Block, es un bloque de terminales de conexión atornillados que puede variar según la necesidad y sus funciones son conectar y aislar. “El cuerpo del bloque principal está hecho de un material resistente (plástico o cerámica), que aísla eléctricamente los bloques adyacentes; las partes conductoras están hechas de metales resistentes a la corrosión” (Shining E&E Industrial CO. LTD, 2014)

Figura 15

Bornera de dos pines



Nota. Tomado de (Shining E&E Industrial CO. LTD, 2014)

Relé eléctrico: sirven para activar un circuito que tiene un consumo considerable de electricidad mediante un circuito de pequeña potencia -de 12 o 24 voltios- que imanta la

bobina, como un interruptor eléctrico capaz permite el paso de la corriente eléctrica cuando está cerrado e impedir su paso cuando está abierto. “ (Seas Estudios superiores abiertos, 2019)

Figura 16

Relé con base para riel DIN

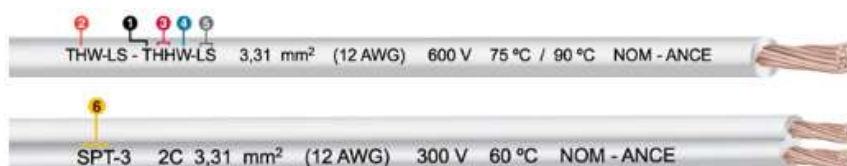


Nota. Tomado de (Seas Estudios superiores abiertos, 2019)

Cable eléctrico: Elemento fabricado capaz de conducir electricidad. Están fabricado con cobre debido a su alto grado de conductividad, aunque también se utiliza el aluminio el cual tiene un menor grado de conductividad. Están compuestos por el conductor, el aislamiento, una capa de relleno y una cubierta. Existen dos tipos de cable: el rígido y el de hilos, y depende del voltaje que soportan sin calentarse son enumerados. (Top cable, 2020)

Figura 17

Conductores eléctricos



Nota. Tomado de (onsemiTM, 2021)

Canaletas ranuradas: Son elementos que cumplen la función de alambrear y organizar los conductores en el tablero de control de una forma ordenada se pueden encontrar de diferentes formas y colores dependiendo de la necesidad del comprador y del tablero de distribución.

Interfaz humano-máquina

Las interfaces humano máquina (HMI), ejecutadas en una computadora personal (PC), en la actualidad se utilizan para representar de forma “idéntica” la realidad de los procesos, permitiendo a los operadores una interrelación de los equipos físicos de la planta con los equipos virtuales de las interfaces gráficas de usuario (GUI). Además, las HMI permiten incluir eventos (principalmente a través del ratón de la PC, mediante los comandos de configuración “mouse-down” y “mouse-up”) para realizar acciones de control y protección de los equipos del sistema, así como “leer” información de las variables de los PLC (mediante el acceso a las memorias donde se encuentra el estado de las variables del proceso) y poder utilizar el estado de esas variables para indicar, mediante cambios de color en los equipos virtuales, la condición que guardan en el proceso real y facilitar al operador del sistema la toma de decisiones. (Quezada, Bautista, Flores, & Quezada, 2014)

Lab VIEW: (acrónimo de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico pensado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido. (Lajara & Pelegrí, 2011)

Este programa de código abierto, fue creado por National Instruments (1976) para funcionar en máquinas MAC, salió al mercado por primera vez en 1986, teniendo versiones

disponibles para las plataformas Windows, UNIX, MAC y GNU/Linux; la penúltima versión es la 2013, puede usarse simultáneamente para el diseño del firmware de un instrumento RF de última generación, a la programación de alto nivel del mismo instrumento. La versión 2014 disponible en demo para estudiantes y profesional, que se puede descargar directamente de la página National Instruments. (Lajara & Pelegrí, 2011)

Los programas desarrollados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales, o VIs, para el control de instrumentación electrónica, programación embebida, comunicaciones, matemáticas, etc. Con la aparición de los sistemas multinúcleo se ha hecho aún más potente y redujo el tiempo de desarrollo de aplicaciones combinarse con todo tipo de software y hardware (Lajara & Pelegrí, 2011).

Cualquier programador puede beneficiarse de sus programas o instrumentos virtuales (VIs) o pueden crearse programas de miles de VIs (equivale a millones de código texto) y combinar nuevos VIs con VIs ya creados, etc. (Lajara & Pelegrí, 2011)

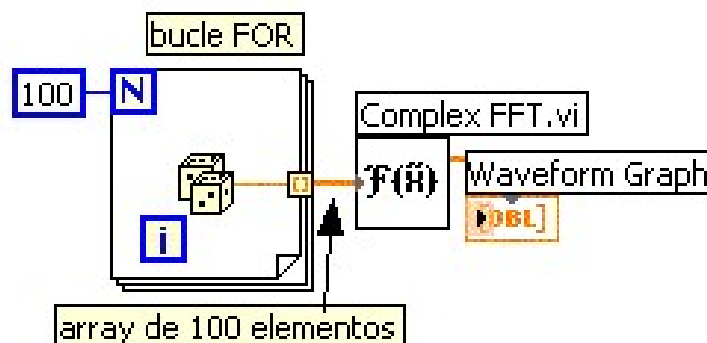
Presenta facilidades para el manejo de: Interfaces de comunicaciones (Puerto serie y Puerto paralelo; GPIB, PXI, VXI, TCP/IP, UDP, DataSocket, Irda, Bluetooth, USB y OPC. (Silo Inc., 2017)

Capacidad de interactuar con otros lenguajes y aplicaciones (DLL: librerías de funciones, .NET, ActiveX, Multisim, Matlab/Simulink, AutoCAD, SolidWorks, etc. Además de herramientas gráficas y textuales para el procesado digital de señales, visualización y manejo de gráficas con datos dinámicos, adquisición y tratamiento de imágenes, control de movimiento (combinado incluso con todo lo anterior), tiempo Real, Programación de FPGAs

para control o validación, sincronización entre dispositivos. (Silo Inc., 2017). La figura 18 muestra un diagrama de bloques en LabVIEW.

Figura 18

Diagrama de bloque en LabVIEW



Nota. Tomado de (Lajara & Pelegrí, 2011)

Unidad Académica de Investigación Avícola (UAIA) de la FCP-ESPOCH

Ubicación y condiciones ambientales.

La Unidad Académica de Investigación Avícola de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH, está ubicado en el km 1,5 de la Panamericana sur del cantón Riobamba.

Las coordenadas de ubicación de la ESPOCH son: Longitud 78° 40' 59'' W; Latitud 01°38'51''S y Altitud 2850 msnm.

Tabla 12*Condiciones meteorológicas de la Unidad Académica de Investigación Avícola 2021*

Parámetro	Media	Máxima	Mínima
Temperatura del aire (°C)	13,4	23,7	4,6
Humedad relativa (%)	73%	97,3	27,3
Velocidad del viento (m/s)	1,6	2,8	0,7
Precipitación atmosférica anual (mm agua)	727,4 (a)	170,3 ^(b)	6,6 ^(c)
Evaporación (mm)	4,1	6,7	1,2
Heliofanía (horas de sol)	136,5 (d)	4,5 ^(e)	

(a) Total/año
(b) Mes con mayor precipitación
(c) Mes con menor precipitación
(d) Sumatoria de horas sol mensuales
(e) Día con menor horas sol
(f) Día con mayor horas sol

Nota. Tomado de (Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH, 2022)

Según reportes de la estación meteorológica de la ESPOCH para el año 2021, se describe en la Tabla 12. (Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH, 2022), donde la temperatura promedio de todo el año es de 13,4°C, una humedad relativa de 73% promedio y la velocidad del viento de 1,6 m/s, mencionando a los parámetros ambientales que son de mayor influencia en la producción avícola.

Las Instalaciones

La estructura del plantel avícola consta de dos galpones de construcción mixta, con paredes de bloque cubierto, techo estructura metálica cubierto de planchas de aluminio, puerta de ingreso frontal y cuenta con cinco ventanas para ventilación natural con cortinas

avícolas, la estructura fue construida y acondicionada paulatinamente desde hace unos 10 años.

Figura 19

Vista externa de la Unidad Académica de Investigación Avícola



El galpón donde se realizó la implementación de los sistemas de control, tiene un área de 153 m² (15 m x 9 m), adecuado para la crianza de 200 pollos boiler y cuenta con dos espacios internos:

- El área de incubación de 45 m² (9 m x 5 m) donde las aves pasan sus primeros 15 días de vida, y
- El área de cría de 108 m² (12 m x 9 m) que es el lugar de cría y engorde.

El área de incubación al momento de la investigación estaba destinada para almacenar pienso, material de limpieza, medicamentos y desinfectantes en forma separada como indica la Guía de Buenas Prácticas Avícolas (BPA) (Agrocalidad, 2017)

Durante el proceso de observación antes de la ejecución del proyecto, se establece que no existe un sistema de alimentación y suministro de agua automatizado; utilizan comederos móviles plásticos con capacidad de 3kg de alimento; los bebederos también son manuales y generalmente de 4 litros de volumen: Estos implementos avícolas que son utilizados en las explotaciones pequeñas de crianza de pollos, son muy prácticas para realizar investigaciones de tesis en aves ya que dependiendo del experimento se construyen cubículos para separar los animales que participarán en los diferentes tratamientos; además que los comederos y bebederos móviles tienen una vida útil corta dependiendo del tiempo de uso. (Trujillo, 2021)

Mientras que el sistema de calefacción son de tipo radiadores infrarrojos a gas (GPL), de fácil uso en investigaciones ya que su potencia calorífica (10Kw/h) a base de quemadores montados sobre una campana de 1,5 m de diámetro, se colocan suspendidos a

una altura determinada para cubrir una amplia superficie calculada en base a la potencia calorífica para cada pollo y calienta la cama y al animal.

El sistema de ventilación de los galpones es natural lo que se denomina sistema de galpones abiertos, mediante cortinas en las ventanas acorde a las especificaciones técnicas del tipo de galpones, las cortinas de lona plástica en las ventanas se abren o cierran según la temperatura ambiente y la fuerza del viento, e internamente se ubica un cerco de cortinas de lona. El mayor inconveniente es que se depende del totalmente de la observación del comportamiento de las aves para establecer si están en su confort calórico; lo que determina la presencia del personal todo el tiempo en el galpón. (Trujillo, 2021)

Figura 20

Vista interna de la Unidad Académica de Investigación Avícola



En cuanto a otros sistemas como: instrumentos para el control de calidad de aire, sistemas de control de temperatura o sistemas de control de humedad, la Unidad Académica

de la Facultad de Ciencias pecuarias de la ESPOCH no tiene, las autoridades indican que esta implementación es el punto de partida para la tecnificación del plantel; en la Figura 20., se tiene una vista interna del galpón donde se realizó la instalación del sistema automático de control y monitoreo de temperatura y las respectivas pruebas experimentales.

Factibilidad operativa y tecnológica de la investigación

Dentro de la factibilidad operativa de la investigación, se establece que un control automatizado para avícolas a pequeña escala que están iniciando procesos de tecnificación, debe tener soluciones de tecnología de bajo costo y consumo energético, equipos pequeños que puedan tener medición multivariantes que al mismo tiempo sean amigables con el conocimiento del obrero/galponero en la lectura de datos para la toma de decisiones. Tanto el investigador como el tutor de la investigación, tienen el conocimiento y la experiencia en sistemas de automatización para la industria. Es importante mencionar que el auspicio de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH, es determinante para la consecución de los objetivos ya que proporcionaron la infraestructura donde se realizó la implementación del sistema de control y monitoreo de temperatura

En cuanto a la factibilidad tecnológica, la implementación del sistema de control de temperatura monitoreado y supervisado por un HMI, requiere dispositivos y componentes electrónicos que se puede adquirir en el mercado ecuatoriano, con lo cual se garantiza el diseño, construcción y desarrollo del sistema de control que cumpla con los requisitos de la UAIA de la Facultad de Ciencias Pecuarias y permita iniciar un proceso de mejora en sus técnicas de crianza y manejo eficiente (reducir la mortalidad, mejorar el confort, disminuir el estrés térmico de los pollos de engorde o broilers) pues garantiza la sustentabilidad del proyecto.

Presupuesto del proyecto**Tabla 13***Presupuesto en equipos e instrumentos*

Insumo/producto	Cantidad	Precio (\$)
Interfaz para lectura de entradas digitales.	12	8.40
Interfaz para lectura de entradas analógicas.	12	9.00
Interfaz para salidas digitales con relés.	10	15.00
Interfaz para salidas digitales con relés de estado sólido.	10	30.00
Interfaz para salida analógica con SCR.	3	18.00
Construcción del módulo para adquisición de datos.	1	40.00
Construcción de módulo para control de calefactores.	2	40.00
Módulo arduino Mega	1	45.00
Módulo Raspberry Pi Model B+	1	75.00
Sensores de nivel líquido	20	100.00
Sensores de temperatura	4	40.00
Sensores de amoniaco	4	32.00
Sensores de CO ₂	4	32.00
Finales de carrera	8	40.00
Contactores bobina de 110V	8	160.00
Relé térmico 15A	4	80.00
Electroválvulas 12V 1A	6	120.00
Motores 220V ¼ HP	4	400.00
Conductores diferentes calibres	2	160.00
Otros gastos	1	250.00
Total		USD 1694.40

Capítulo III

Metodología de la investigación

El diseño de investigación aplicado a este proyecto es cuantitativo-experimental, ya que su objetivo es explicar la relación causa-efecto entre dos o más variables o fenómenos; donde el investigador modifica intencionalmente el estado de algunos de los objetos de estudio, manipulando un tratamiento o una intervención (variable independiente o factor casual) que desea estudiar o evaluar. (Lerma, 2009, pág. 68).

Mediante la técnica de revisión documental en publicaciones científicas como: libros, revistas en el campo específico de la ciencia y otras fuentes formales; se indaga sobre los sistemas de control de temperatura para planteles avícolas, con la finalidad de alcanzar los objetivos propuestos en la presente investigación.

Para la construcción del módulo de adquisición de datos en base al diseño en un software, que permita centralizar la información de las variables temperatura de la planta avícola, que es el segundo objetivo específico planteado; se estructuró fichas de información como instrumento y mediante la observación como técnica; se caracterizan los sistemas que más se adecúen a la estructurales y equipamiento del galpón. Se cuenta con el criterio técnico y conocimiento del personal que forma parte de la Unidad Académica de Investigación Avícola para diseñar el módulo de adquisición de datos con la asistencia del programa Proteus 8.11.

En la implementación del algoritmo de control PID, para medición de la variable temperatura, planteado en el tercer objetivo específico; se realizó un flujograma del proceso donde se considera la sintonización descrita en la bibliografía para cumplir los parámetros

de un ambiente controlado donde se puedan desarrollar las aves en óptimas condiciones, implementando un algoritmo de control en lazo cerrado para la variable de temperatura

Para alcanzar el cuarto objetivo específico que es el desarrollo del HMI, se logró programar para la visualización de la variable temperatura, mediante ventanas interactivas. Se realizaron pruebas de campo para verificar el correcto funcionamiento del Interfaz Hombre Máquina, donde se obtiene información en tiempo real, mediante datos gráficos comprensibles para el personal que maneje a futuro el sistema automático para el control y monitoreo de la temperatura en la Planta Avícola de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH. Se genera una base de datos de las tendencias y las alarmas para calibrar posibles alteraciones no consentidas en el sistema.

Por último, para las pruebas experimentales del sistema, se realizaron mediciones continuas de las temperaturas dentro del galpón y la regulación automática de las misma con los instrumentos adecuados para el sistema.

Diseño y construcción del módulo de adquisición de datos

En el diseño y construcción del módulo de adquisición de datos, acorde a la programación, se aplicaron los protocolos conforme a las características técnicas de los componentes del módulo de adquisición de datos descritos en el Anexo 1.

Diseño del módulo en Proteus 8.11

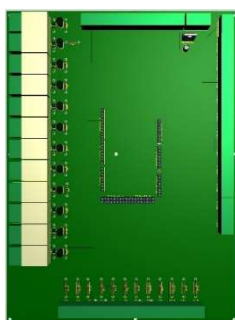
Proteus es un “conjunto de herramientas de software de diseño electrónico, caracterizado por su potencia y facilidad de uso, utilizado para crear esquemas de simulación mixto (analógico y digital) que permitan la fabricación de componentes en placas

de circuito impreso y auto-ruteado". (Barrón, s/a). Existen varias versiones de Proteus descargables gratuitamente y que son de gran ayuda para los profesionales ingenieros y técnicos de diseño electrónico.

A continuación, se describe en forma ilustrativa, el proceso de diseño. Distribución de los elementos de la Placa de control 3D según los requerimientos y necesidades de la planta avícola.

Figura 21

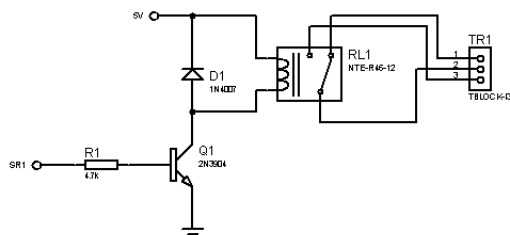
Placas de control 3D



Para el desarrollo de los módulos para salidas digitales por medio de relés mecánicos, la Figura 22., representa uno de los 12 módulos relé junto con sus respectivas y borneras, diodos, resistencias, y transistores.

Figura 22

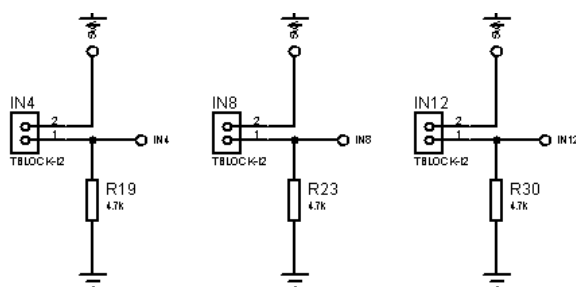
Diseño de uno de los módulos para salidas digitales



A continuación, se muestra tres de las doce borneras que conforman el bloque utilizado para recibir alimentación y señal en la tarjeta Arduino para ser procesada.

Figura 23

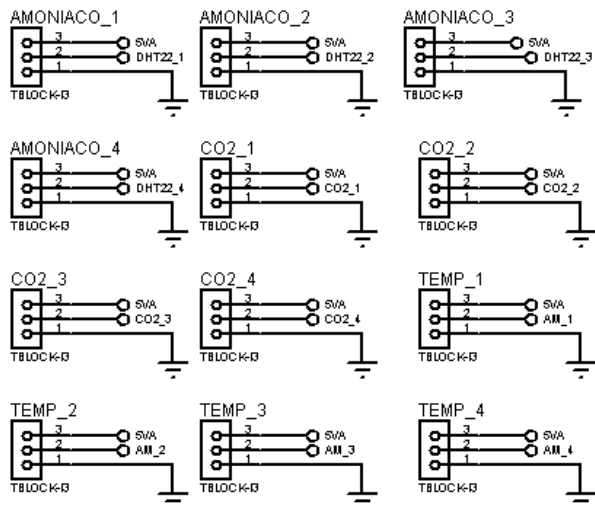
Interfaz para entradas digitales



El proceso de diseño de las conexiones donde ingresa la alimentación 5V junto con los datos enviados por los sensores DHT22 (temperatura y humedad), CO2 (dióxido de carbono MQ 135), se presenta en la Figura 24.

Figura 24

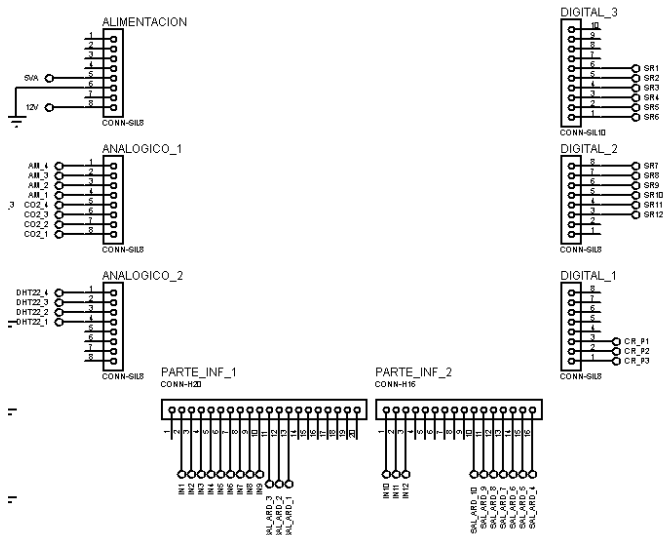
Configuración y conexiones de sensores de temperatura y CO2



En la Figura 25., se observa el diseño de la congruencia de señales y alimentación dentro de la tarjeta Arduino mediante programación.

Figura 25

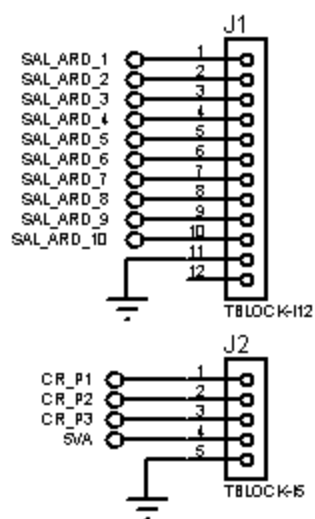
Esquemático de la tarjeta de Arduino Mega 2560



El diseño para modificar el estado de las salidas que proporciona la interfaz de control en uso mediante programación en la tarjeta Arduino, se presenta en la Figura 27., y permite las salidas digitales para los diferentes actuadores.

Figura 26

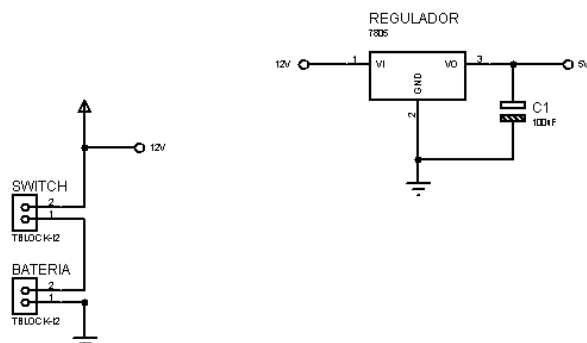
Salidas digitales para los diferentes actuadores



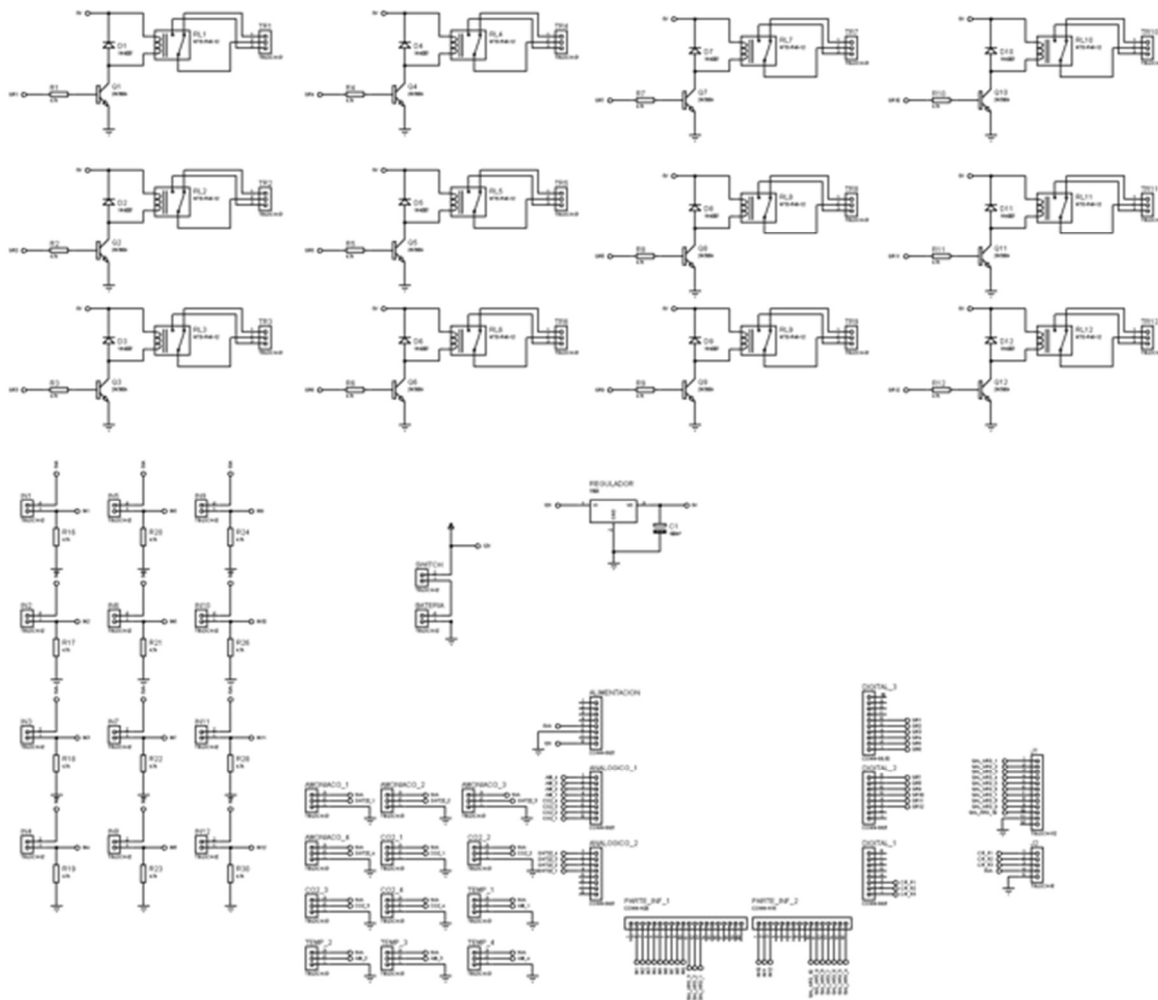
En la Figura 27., se presenta el diseño de ingreso y estabilización de alimentación de la placa producidas por relés.

Figura 27

Interfaz para la alimentación de las inductancias producidas por los relés



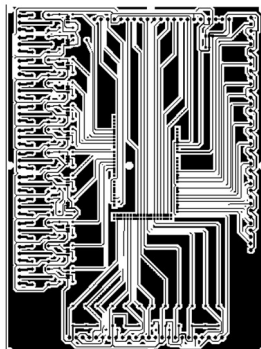
La distribución de elementos de la placa de control, en el simulador Proteus 8.11., está representado en la Figura 28.

Figura 28*Interfaz completo de la placa de control*

El diseño de las rutas de cada elemento de las placas de control hacia el controlador Arduino, se representa en la Figura 29.

Figura 29

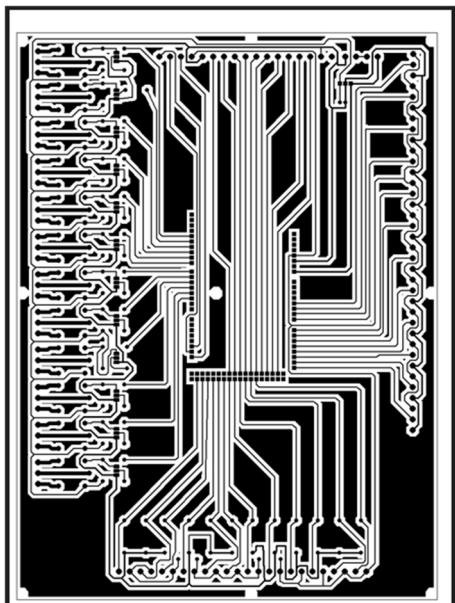
Enrutamiento de la placa de control



En la Figura 30 se observa las rutas de cada elemento hacia el controlador Arduino en el diseño 3D.

Figura 30

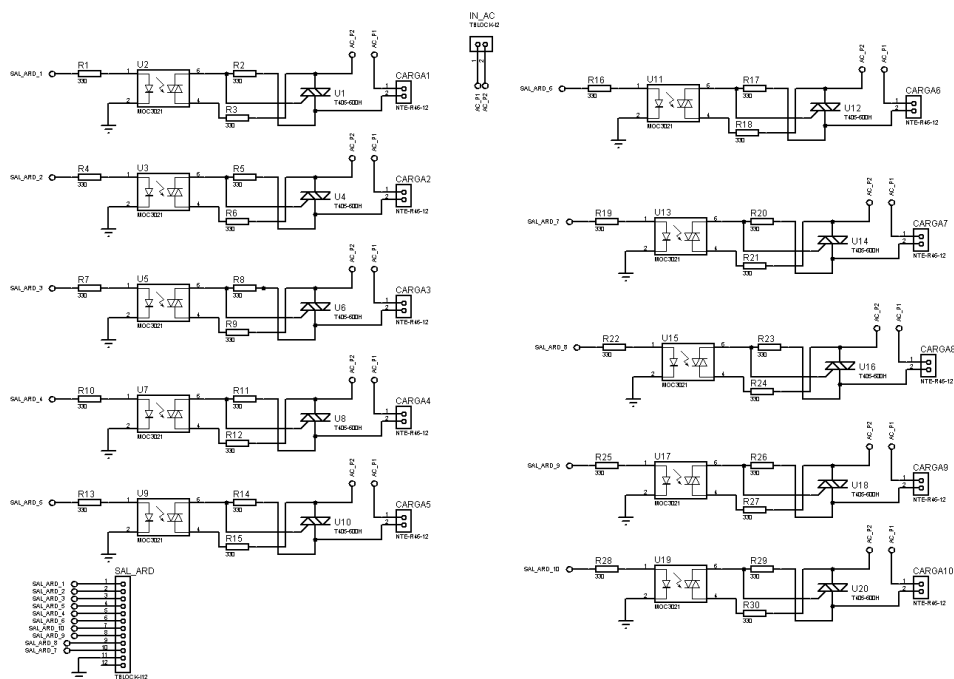
Diseño 3D de los interfaces de los relés de estado sólido



En esta etapa visualizamos en la Figura 31., dos de diez módulos optoacopladores y transistores para emisión de señal hacia el control de la bobina de los contactores.

Figura 31

Configuración de dos de las salidas por relés de estado sólido



Construcción del módulo de adquisición de datos

Para la elaboración de las placas de circuito, se realizó el diseño e impresión de las placas en modo espejo para respetar la orientación de los componentes, revisamos la escala para asegurarnos de que el tamaño sea correcto y no tener problemas a la hora de soldar los elementos, la impresión debe ser láser y en papel fotográfico fino.

Realizar el corte de la baquelita, dejando un margen de 2mm a cada lado de la impresión para centrar el diseño, con una lija se deja lisos los bordes y se limpia las placas

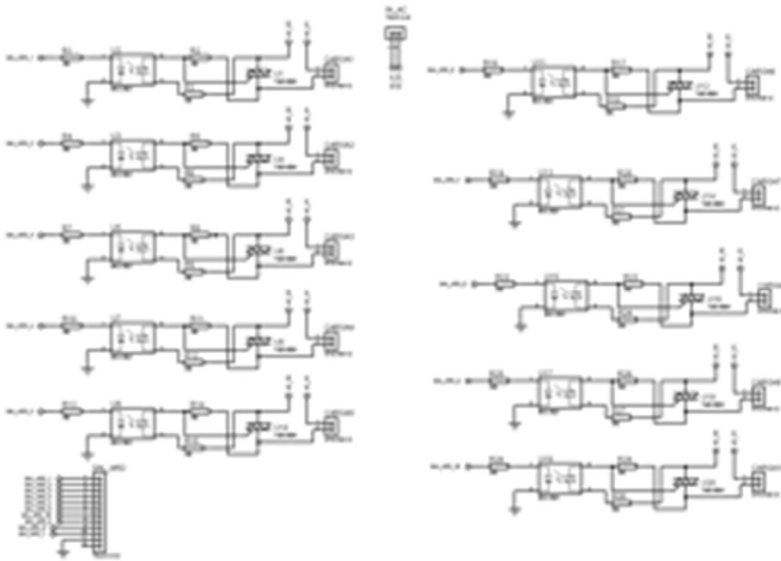
con un lustre fino; para luego colocar las impresiones de papel en las placas sujetas con la ayuda de cinta térmica y dejando al lado contrario la parte de cobre. Tener cuidado de no tocar el cobre y la impresión con los dedos dado que, si se deja grasa en las superficies, podría generar fallas en el traspaso del diseño al cobre. Posterior se aplica calor a temperatura media, presionando de forma leve procurando no dejar burbujas de aire ni arrugas en el papel este proceso dura 5 minutos aproximadamente, si se aplicar calor durante un tiempo excesivo, existe el riesgo de despegar el cobre de la placa.

Ya enfriadas las placas se introduce en un recipiente con agua para que el papel se desintegre mediante frotación suave con las yemas de los dedos, hacer una limpieza minuciosa sin arrancar las pistas y rellenos el cobre debe quedar expuesto. En el caso de que ciertas pistas se hayan retirado en el proceso de limpieza podemos volver a colocarlas con un marcador de tinta indeleble siguiendo el diseño original.

Por último, se procede a eliminar el cobre de las partes que no se requiere para las placas, con ácido férrico por lo que requiere protección para el personal que realiza el proceso (uso de protección como gafas, guantes y ropa adecuada), el tiempo requerido va en función del tamaño de la placa, así que terminado el proceso se retira del ácido y se limpia la tinta con disolvente. Todo el proceso se visualiza en la Figura 32.

Figura 32

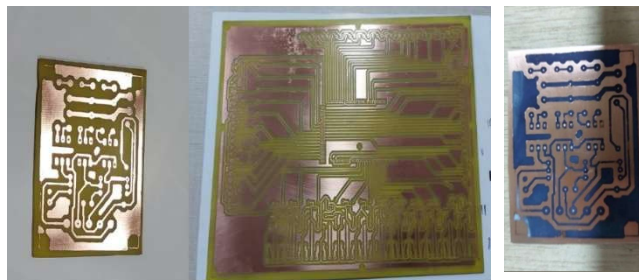
Elaboración de las placas de circuito



En la Figura 33. se puede distinguir las placas de control luego del proceso de oxidación con cobre y limpieza posterior.

Figura 33

Placa de circuito limpia y resultado final

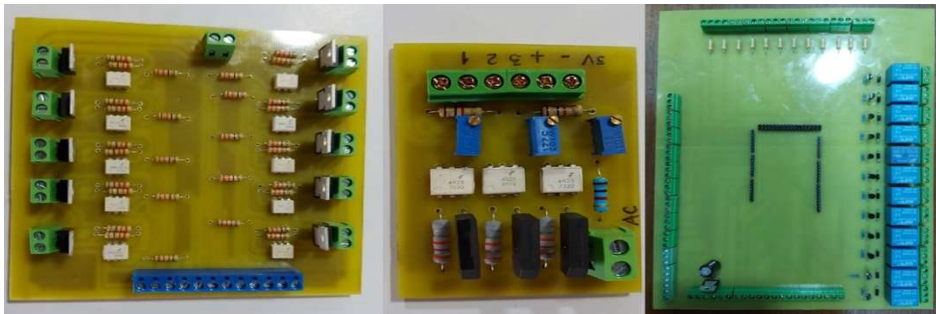


Seguendo el diseño, para el montaje de los componentes, se realizan las perforaciones usando un taladro de mano y broca de 0,7 mm y de 1,0 mm. La suelta de los

componentes se realiza con un caudín y como material para soldadura, primero los elementos pequeños y luego los más grandes; una vez soldados se cortan las patas sobrantes con un alicate. Figura 34.

Figura 34

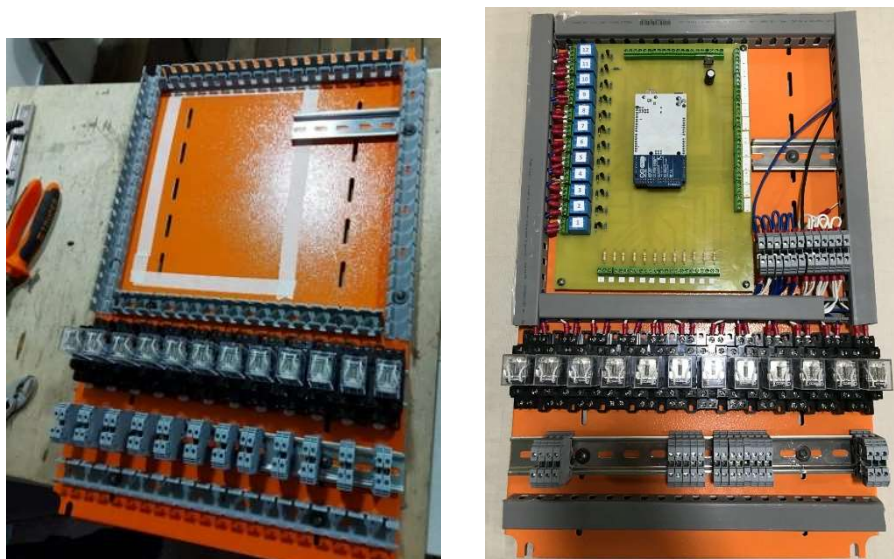
Montaje de los componentes



Para el armado de los tableros de control en el sitio más adecuado para facilitar el uso del personal a cargo de la medición y control de la variable temperatura, además de la ubicación de las respectivas canaletas para los cables y Riel Din para sujetar los elementos de control.

Figura 35

Montaje de tableros de control



Implementación del algoritmo de control para la variable temperatura

La implementación de un algoritmo mediante un controlador PID, es un modelo matemático de un proceso en lazo cerrado que controlará la variable de temperatura considerando técnicas de sintonización. Establecer una base de datos permitiendo manejar con mayor efectividad la ventilación natural del sistema de galpones abiertos (uso de cortinas), ayudará a generar un ambiente de confort térmico para las aves, y la seguridad en las labores del personal que labora en el galpón para mantener un ambiente interno controlado.

Establecer el mapa de sensores de temperatura

En base a las especificaciones de los técnicos de la planta y mediante la base bibliográfica acerca de la sincrometría del ambiente ideal donde se manejan las aves de

engorde, se determinó los lugares idóneos para la colocación de los sensores de temperatura, que incluye la ubicación de los equipos; el desarrollo del controlador PID, la ubicación de los 4 sensores y el ruteo del cableado en el plantel avícola.

(Hubbard, 2017) indica que “los sensores de temperatura deben reflejar las condiciones experimentadas por las aves y se colocan cerca al suelo y son elevados progresivamente para no afectar las lecturas por la presencia de aves alrededor del sensor”. Los registradores de datos y las herramientas de diagnóstico son útiles para entender cómo trabaja la temperatura y ventilación en una nave y encontrar soluciones.

Figura 36

Cableado de la planta hacia los tableros y bajantes para los sensores



En la Figura 37, finalmente se tiende los bajantes para los sensores, ubicados en base a las especificaciones técnicas dadas por los expertos en avicultura que están a cargo de la Unidad.

Figura 37

Sensores de temperatura, amoniaco y CO2



Una vez ubicados los elementos procedemos a realizar el cableado hacia el tablero de control, para garantizar una conexión óptima se emplearon terminales en todas las conexiones. Figura 38.

Figura 38

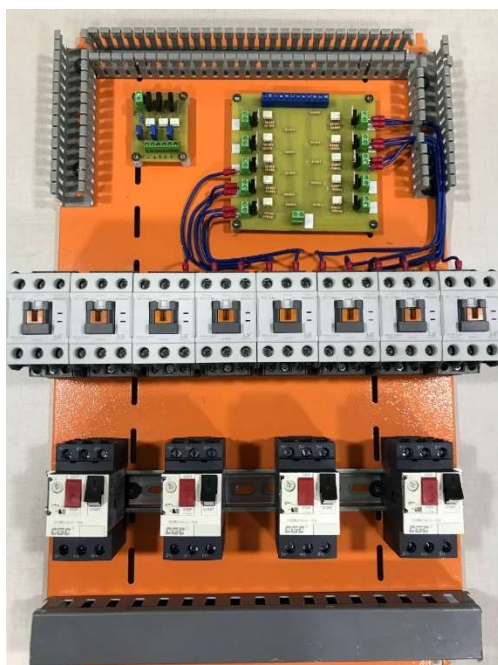
Estructura del tablero de control



Luego de concluir con el trabajo del cableado se prosigue con la instalación en los gabinetes de los componentes eléctricos y electrónicos de control, que se puede distinguir en la Figura 39.

Figura 39

Instalación de componentes eléctricos y electrónicos en los gabinetes



Los actuadores, después de los sensores son los componentes primordiales para el óptimo funcionamiento de la automatización de la planta, es por eso que su activación debe ser precisa y en base a las especificaciones dadas por los diversos fabricantes. Su cuidado en la activación es el factor primordial para su correcto desempeño y prolongada duración.

Figura 40.

Figura 40

Instalación de los diferentes actuadores de la planta (calefactor)

***Desarrollo del controlador PID***

Los controladores PID, son instrumentos que disponen de una entrada multifuncional que permite la configuración de la entrada del sensor de manera flexible sin la participación del operador; y tiene una salida que está conectado a un mecanismo de regulación, según se requiera para mantener la temperatura deseada en el plantel avícola con equipos o como un calefactor o un ventilador. (Omega, s/a). EL PID se utiliza para el registro de temperatura en el galpón; la ecuación para el tipo de control que se requiere es:

$$integral(t) = integral(t) + e(t) * dt \quad (3.3)$$

$$integral(t) = integral(t) + e(t) * dt \quad (3.4)$$

$$derivativo(t) = \frac{e(t) - e_{anterior}(t)}{dt} \quad (3.4)$$

$$k_p = 2.5$$

$$k_i = 0.05$$

$$K_d = 2.7$$

Los métodos para sintonizar el controlador PID, radica en ajustar los parámetros Kp, Ti, Td para establecer un sistema robusto según el criterio de desempeño que se requiere; PID tiene una señal de entrada (error) y facilita una salida (control), eliminando la oscilación y aumentando la eficiencia, actúan como puentes entre las aplicaciones y los dispositivos para la interacción en un proceso.

Para sintonizar el PID de control de temperatura se realizó el método del tanteo; mediante la ubicación de la acción derivativa y la ganancia proporcional en cero, mientras que la acción integral está en ∞ . Posteriormente se aumenta la ganancia proporcional hasta obtener una relación de amortiguamiento de 0,25; con el valor de ganancia proporcional de 2,5; después se incrementa lentamente la acción integral hasta eliminar el error en estado estacionario obteniendo el siguiente valor 0,05. Como última acción se incrementa la acción derivativa de a poco hasta lograr una respuesta rápida, el valor obtenido es 2,7.

Desarrollo del HMI

El desarrollo del HMI (Interfaz Hombre Máquina para visualización de los estados de la avícola, se realizó con códigos del programa Python que es una base de datos accesible y de fácil programación, que envía los datos obtenidos en galpón al HMI para ser visualizados y al Arduino para que responda con el encendido o apagado de los equipos. Generan información de tendencias, alarmas del proceso y una base datos.

Desarrollo del HMI para control de temperatura

Para el desarrollo del HMI se realiza con el Arduino MEGA 2560, La comunicación entre la computadora y Arduino se produce a través del Puerto Serie. Posee un convertidor USB-serie, por lo que sólo se necesita conectar el dispositivo a la computadora utilizando un cable USB como el que utilizan las impresoras. (Torrente, 2013). Arduino Mega posee las especificaciones que se describen en la Tabla 14.

El interfaz HMI se realizó en base a los sistemas utilizados en los procesos industriales con las herramientas PROPIA DE MAT LAB UI (User Interface) en Unity 3D. Se debe establecer en el diseño pantalla principal con diferentes opciones de acceso. Para representar las interfaces de visualización implementadas se describe:

Tabla 14*Especificaciones de Arduino MEGA 2560*

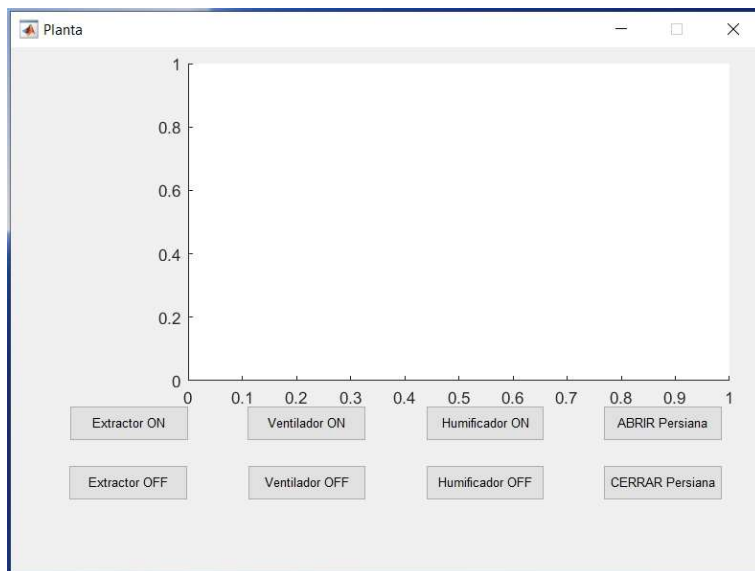
N°	Especificaciones
1	Microcontrolador: ATmega2560
2	Voltaje Operativo: 5V
3	Voltaje de Entrada: 7-12V
4	Voltaje de Entrada(límites): 6-20V
5	Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)
6	Pines análogos de entrada: 16
7	Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA
8	Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA
9	Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader)
10	SRAM: 8KB
11	EEPROM: 4KB
12	Clock Speed: 16 MHz

Nota. Tomado de (Torrente, 2013)

Interfaz de visualización (Proceso), se presentan las variables: set point, process value, control value y el tipo de control a ejecutarse (manual o automático). En la figura 41 se presenta la interfaz desarrollada:

Figura 41

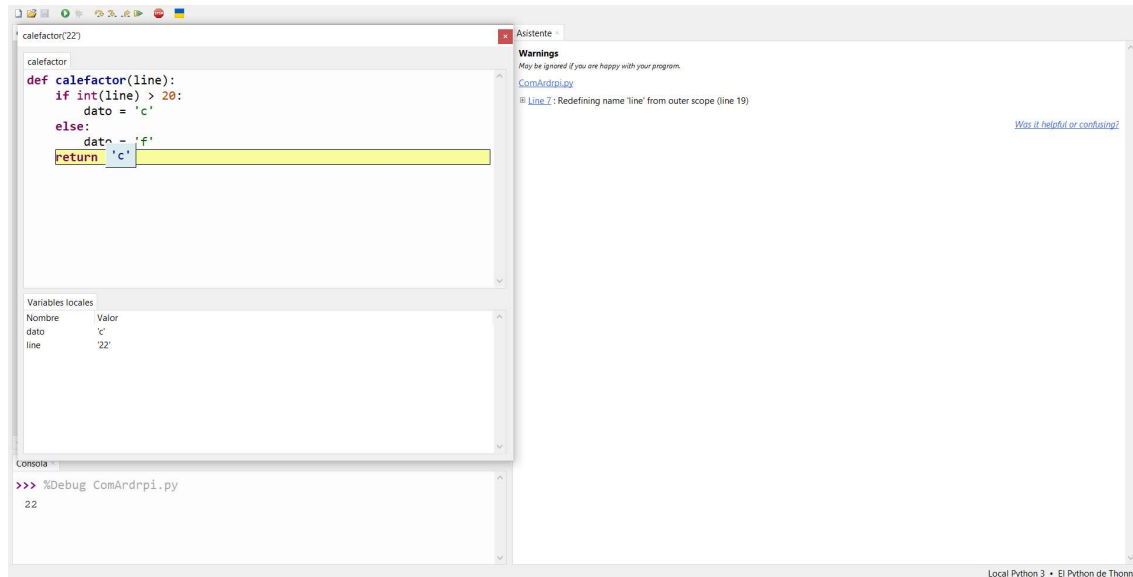
Implementación del HMI (Proceso)



Interfaz de visualización (Operación), se efectúan la distribución de las opciones para el usuario, sintonía del controlador y visualización de alarmas. En la Figura 42 se presenta la interfaz desarrollada.

Figura 42

Programación Python para comunicación serial entre Arduino Mega y Raspberry Pi



Nota. Compilación del correcto funcionamiento del envío y recepción de datos entre Arduino Mega y Raspberry Pi

Interfaz de visualización (Tendencia), en cuanto a las tendencias, permitirá la visualización del Set point, el process value, y la segunda tendencia permitirá la visualización del control value; con esto se controla la evolución de las tres señales en el tiempo (SP, PV, CV), que son de gran importancia en el control automático.

Implementación del interfaz en TKinter


El HMI fue programado en el interfaz TKinter, que es una herramienta para crear aplicaciones con Python, proporciona un mecanismo robusto para el programa y permite crear ventanas para facilidad de creación de proyectos en un corto tiempo; permite

programar las alarmas, tendencias, y generar una base de datos de los valores obtenidos por los sensores de temperatura, su facilidad de uso y rapidez.

En la Figura 43, se muestra la declaración de los sensores de temperatura, amoniaco, CO2 y finales de carrera en cada uno de los pines específicos para la correcta toma del dato.

Figura 43

Declaración de cada uno de los sensores de temperatura, amoniaco y CO2

A screenshot of a code editor window titled 'PRB'. The code is in C++ and defines various sensors. It starts with an include for 'DHT.h'. Then it declares four temperature sensors (temp_1 to temp_4) using DHT22 modules, with pins 39, 41, 43, and 45 respectively. Next, it declares four ammonia sensors (amoniaco_1 to amoniaco_4) using pins A4, A5, A6, and A7. Then it declares four CO2 sensors (co2_1 to co2_4) using pins A8, A9, A10, and A11. Finally, it declares two end-of-race sensors (fc_1 and fc_2) using pins 23 and 25.

```
PRB
// ASIGNACION DE LIBRERIAS ADICIONALES
#include <DHT.h>

// DECLARACION SENSORES DE TEMPERATURA
#define temp_1 39
#define temp_2 41
#define temp_3 43
#define temp_4 45
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht_1(temp_1, DHTTYPE);
DHT dht_2(temp_2, DHTTYPE);
DHT dht_3(temp_3, DHTTYPE);
DHT dht_4(temp_4, DHTTYPE);

// DECLARACION SENSORES DE AMONIACO
#define amoniaco_1 A4
#define amoniaco_2 A5
#define amoniaco_3 A6
#define amoniaco_4 A7

// DECLARACION SENSORES DE CO2
#define co2_1 A8
#define co2_2 A9
#define co2_3 A10
#define co2_4 A11

// DECLARACION DE SENSORES FINALES DE CARRERA
#define fc_1 23
#define fc_2 25
```

Una vez declaradas todas las entradas, es momento de hacer lo mismo con los diferentes actuadores que están presentes en la planta, como se muestra en la figura 44:

Figura 44

Declaración de cada una de las salidas: mecánicas y de estados sólido

```

PRB
// DECLARACION DE RELES MECANICOS
#define rele_1 2
#define rele_2 3
#define rele_3 4
#define rele_4 5
#define rele_5 6
#define rele_6 7
#define rele_7 8
#define rele_8 9
#define rele_9 10
#define rele_10 11
#define rele_11 12
#define rele_12 13

// DECLARACION DE RELES DE ESTADO SOLIDO
#define rele_s_1 34
#define rele_s_2 36
#define rele_s_3 38
#define rele_s_4 40
#define rele_s_5 42
#define rele_s_6 44
#define rele_s_7 46
#define rele_s_8 48
#define rele_s_9 50
#define rele_s_10 52

// VARIABLES SENSORES DE AMONIACO Y CO2
int v_amoniaco_1;
int v_amoniaco_2;

```

Uno de los parámetros fundamentales en la transmisión de datos es la comunicación, la que se lo hará de forma serial a una velocidad de 9600 Bd con el HMI del proceso, ver

Figura 45:**Figura 45**

Comunicación de la tarjeta

```

PRB
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  dht_1.begin();
  dht_2.begin();
  dht_3.begin();
  dht_4.begin();

  // pinMode(temp_1, INPUT);
  // pinMode(temp_2, INPUT);
  // pinMode(temp_3, INPUT);
  // pinMode(temp_4, INPUT);

  pinMode(fc_1, INPUT);
  pinMode(fc_2, INPUT);
  pinMode(fc_3, INPUT);
  pinMode(fc_4, INPUT);
  pinMode(fc_5, INPUT);
  pinMode(fc_6, INPUT);
  pinMode(fc_7, INPUT);
  pinMode(fc_8, INPUT);

  pinMode(rele_1, OUTPUT);
  pinMode(rele_2, OUTPUT);
  pinMode(rele_3, OUTPUT);
  pinMode(rele_4, OUTPUT);
  pinMode(rele_5, OUTPUT);
  pinMode(rele_6, OUTPUT);
  pinMode(rele_7, OUTPUT);
}

```

Ahora es momento de las declarar todas funciones necesarias para que puedan ejecutarse en el loop de Arduino, como se muestra en la Figura 46:

Figura 46

Función específica de temperatura

The image shows a screenshot of an Arduino IDE code editor. The code defines a function named 'temperatura()' which reads data from three sensors. It includes comments in Spanish and uses 'Serial.println()' for error reporting. The function reads humidity and temperature for three sensors, with error checks for 'isnan()' values.

```
void temperatura() {  
  // Datos TODO PARA el sensor 1  
  float h_1 = dht_1.readHumidity();  
  // Leemos la temperatura en grados centigrados (por defecto)  
  float t_1 = dht_1.readTemperature();  
  
  // Comprobamos si ha habido algún error en la lectura  
  if (isnan(h_1) || isnan(t_1)) {  
    Serial.println("Error obteniendo los datos del sensor de temperatura 1");  
    return;  
  }  
  
  // Datos TODO PARA el sensor 2  
  float h_2 = dht_2.readHumidity();  
  // Leemos la temperatura en grados centigrados (por defecto)  
  float t_2 = dht_2.readTemperature();  
  
  // Comprobamos si ha habido algún error en la lectura  
  if (isnan(h_2) || isnan(t_2)) {  
    Serial.println("Error obteniendo los datos del sensor de temperatura 2");  
    return;  
  }  
  
  // Datos TODO PARA el sensor 3  
  float h_3 = dht_3.readHumidity();  
  // Leemos la temperatura en grados centigrados (por defecto)  
  float t_3 = dht_3.readTemperature();  
  
  // Comprobamos si ha habido algún error en la lectura
```

La siguiente función en ser declarada como se muestra en la figura 47, es la que registrará los valores leídos por los sensores de amoniac y CO2, parámetros fundamentales en ser monitoreados en la planta avícola.

Figura 47

Función para la lectura de valores de amoniaco y CO2

```

void amoniaco_co2() {
  v_amoniaco_1 = analogRead(amoniaco_1);
  v_amoniaco_2 = analogRead(amoniaco_2);
  v_amoniaco_3 = analogRead(amoniaco_3);
  v_amoniaco_4 = analogRead(amoniaco_4);

  v_co2_1 = analogRead(co2_1);
  v_co2_2 = analogRead(co2_2);
  v_co2_3 = analogRead(co2_3);
  v_co2_4 = analogRead(co2_4);

  int amoniaco_promedio = (v_amoniaco_1 + v_amoniaco_2 + v_amoniaco_3 + v_amoniaco_4)/4;
  int co2_promedio = ((v_co2_1 + v_co2_2 + v_co2_3 + v_co2_4)/4);

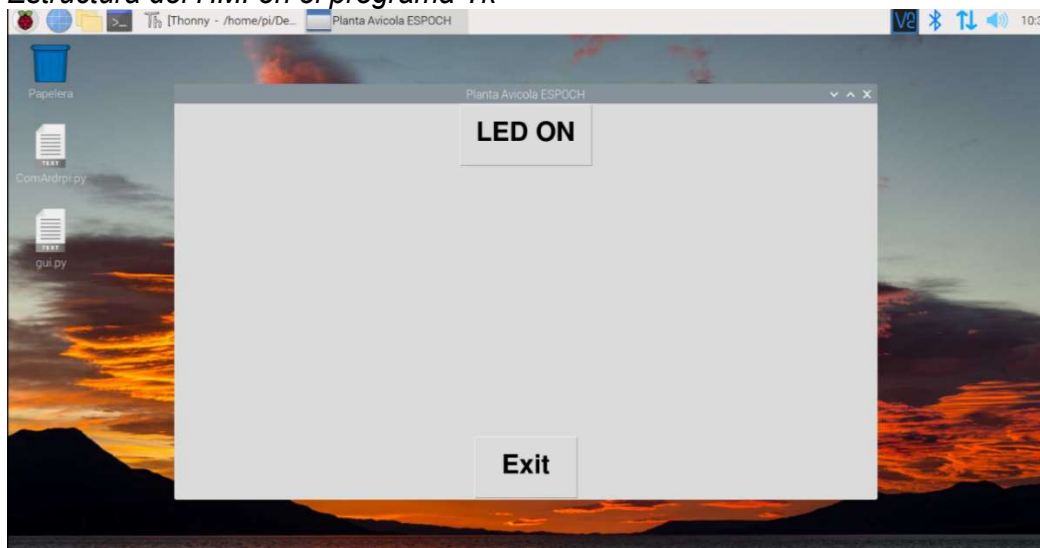
  Serial.println("Amoniaco en el ambiente: ");
  Serial.print(v_amoniaco_1);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(v_amoniaco_2);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(v_amoniaco_3);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(v_amoniaco_4);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(amoniaco_promedio);
  Serial.println("\t");
  Serial.println("CO2 en el ambiente: ");
  Serial.print(v_co2_1);
  Serial.print("\t");

```

Una vez configurado y tomados los datos de la planta, es momento de pasarlos a un HMI (Interfaz Hombre Máquina), para su monitoreo y posible respuesta ante un posible percance.

Figura 48

Estructura del HMI en el programa Tk



Nota. HMI preliminar que valida conexiones entre Arduino Mega, Raspberry Pi y escritorio remoto.

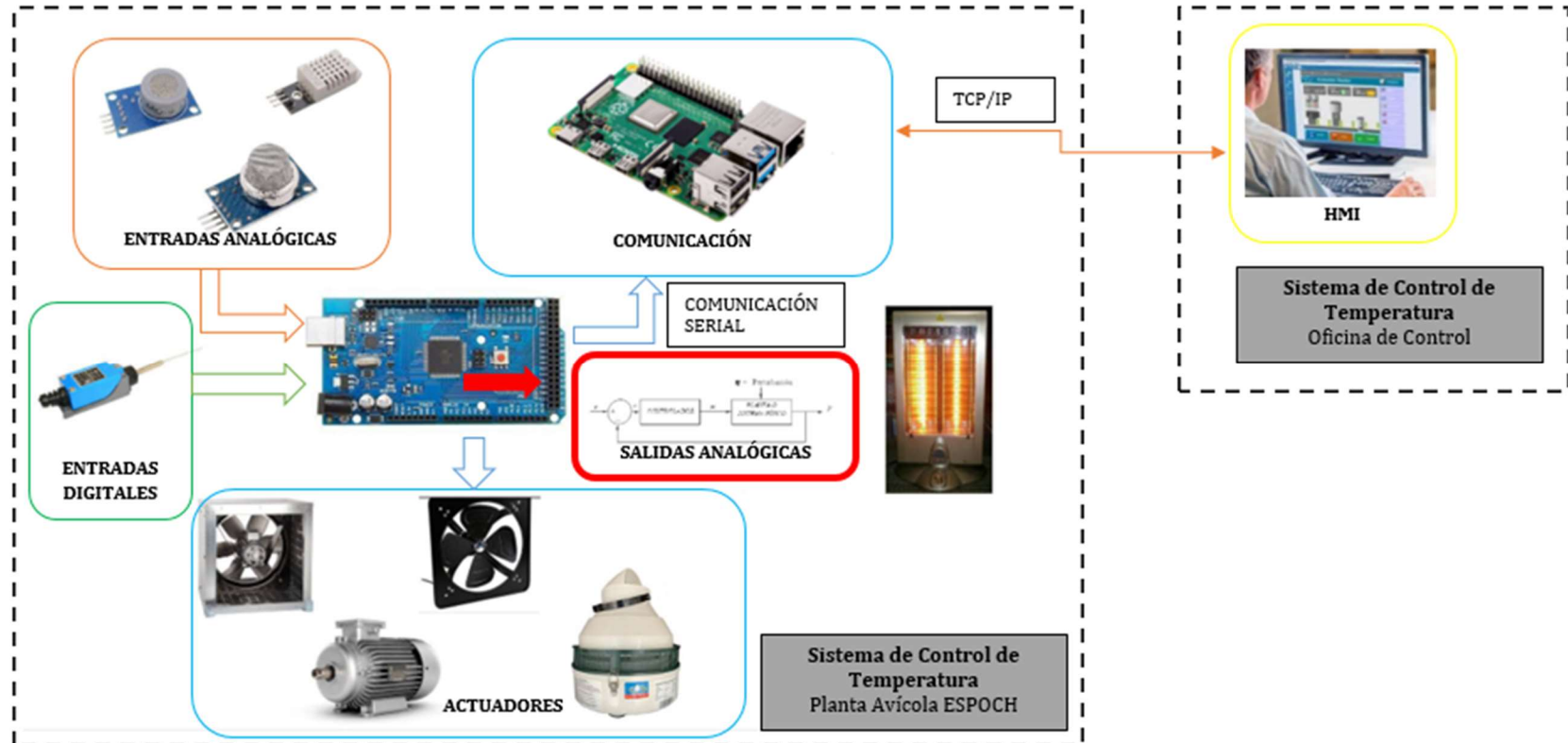
Resultados de las pruebas experimentales

El diagrama completo del sistema de medición de temperatura tanto en el plantel avícola, como su control desde las oficinas se exhiben en la figura 49., donde se puede observar y entender su funcionalidad.

En el sistema de control de temperatura de la Planta Avícola de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH; la actividad se inicia en los sensores digitales y analógicos (Entradas), que envían las mediciones cambiantes de temperatura al Arduino Mega, que al recibir la información activa los diferentes actuadores (ventiladores, calefactores, humidificadores y persianas) para estandarizar el ambiente controlado a los valores ideales para la producción avícola de la variable temperatura. Se procesa una comunicación serial del Arduino Mega con Raspberry Pi y gestiona la interconexión con el HMI por medio del protocolo TCP/IP; la computadora se encuentra en otra área física fuera del galpón en la oficina de control y monitorea cada variable y también activa los actuadores; además verifica el registro de datos medidos en una base de datos. El HMI también tiene la capacidad de mostrar alarmas cuando hay algún inconveniente en el funcionamiento de la planta

Figura 49

Diagrama general del sistema de control de temperatura



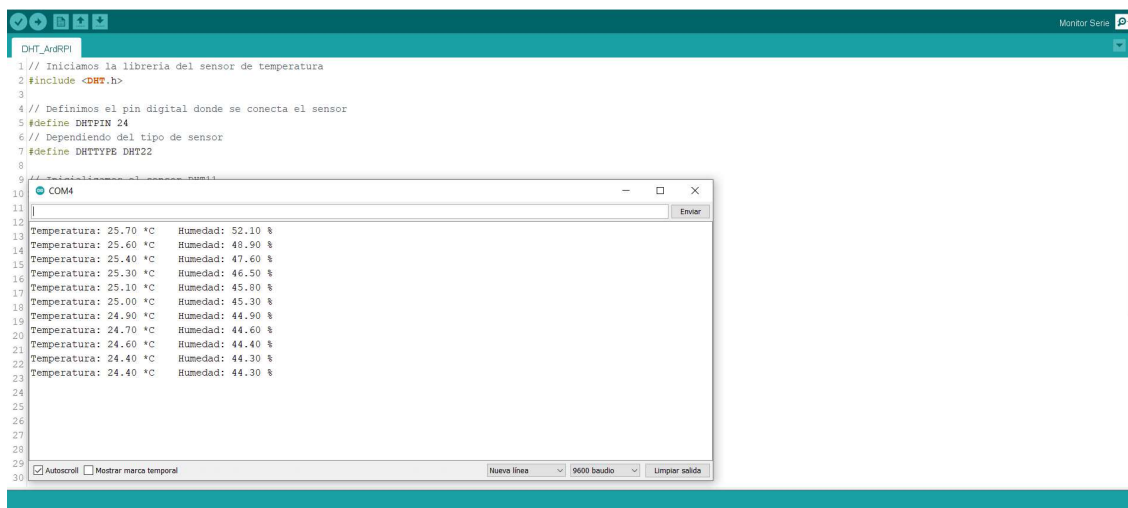
En las pruebas experimentales se ensayó el funcionamiento los instrumentos del sistema de automatización para el control de temperatura, en el plantel avícola, mediante la verificación de la estabilidad y robustez del controlador y el registro de la variable temperatura con los valores del SetPoint (SP) que corresponden a los parámetros establecidos para diferentes edades de los pollos, a fin de verificar el correcto desempeño del controlador ante perturbaciones (cambios climáticos).

Verificación del desempeño del módulo y análisis de estabilidad y robustez

Se desarrolló las pruebas con registros dinámicos, mediante la programación del sistema para la toma de temperatura de los cuatro sensores cada 5 segundos con el fin de verificar el desempeño del módulo de adquisición de datos y el interfaz de comunicación. La visualización preliminar del promedio de valores de temperatura y humedad de la planta se observa en el panel HMI (figura 50)

Figura 50

Prueba del panel HMI y sensores



The image shows a screenshot of an IDE with a C++ program for a DHT sensor and a serial monitor window. The code defines a DHT22 sensor and prints temperature and humidity data. The serial monitor shows the following output:

Line	Temperature (°C)	Humidity (%)
12	25.70	52.10
13	25.60	48.90
14	25.40	47.60
15	25.30	46.50
16	25.10	45.80
17	25.00	45.30
18	24.90	44.90
19	24.70	44.60
20	24.60	44.40
21	24.40	44.30
22	24.40	44.30

Si alguno de los cuatro sensores no registra la temperatura en el módulo, el programa elimina automáticamente ese registro nulo y promedia los cinco valores que le anteceden (por cada segundo ingresa un dato) para alimentar la base de datos con valores reales. En la Figura 50., se observa la gráfica que se forma donde de una temperatura inicial de 13,6 °C en promedio pasa a 19,1°C (temperatura seteada) en 29:21 minutos por efecto del encendido del calefactor.

Para determinar el margen de error y la varianza de las temperaturas se analiza mediante la estadística descriptiva en Excel, los valores generados de la variable temperatura, la Tabla 15., describe los resultados.

Tabla 15*Estadística descriptiva de la variable temperatura*

Parámetro	Temperat_ 1	Temperat_ 2	Temperat_ 3	Temperat_ 4	Temp. Prom
Media	21,17	16,76	17,15	18,59	18,42
Error típico	0,03	0,06	0,05	0,07	0,05
Mediana	21,30	17,70	17,80	19,30	19,08
Moda	21,40	17,70	17,90	18,20	19,30
Desviación estándar	0,79	1,49	1,24	1,94	1,24
Varianza de la muestra	0,62	2,22	1,54	3,76	1,53
Curtosis	62,58	-0,28	0,50	-0,45	1,00
Coefficiente de asimetría	-7,64	-1,20	-1,47	-0,96	-1,41
Rango	7,80	4,50	4,50	6,70	5,75
Mínimo	13,80	13,30	13,50	13,70	13,58
Máximo	21,60	17,80	18,00	20,40	19,33
Suma	15028,80	11897,40	12176,30	13201,10	13075,90
Cuenta	710	710	710	710	710

De los 710 datos que midió cada sensor, hay una diferencia de medias estadísticas, debido a que cada espacio del galpón está sometido a conmutaciones provocadas por diferentes factores y la ubicación de los sensores captan dichas diferencias, como: la distancia del sensor a las ventanas o puertas que son entradas directas de aire sea en forma permanente o circunstancial. También si el calefactor está ubicado más cerca del sensor o en su defecto más lejos del mismo, etc. La desviación estándar mide la dispersión de datos

con respecto a la media, al describir este parámetro se establece que el sensor 1 tiene menor dispersión en comparación a los otros sensores lo que podría indicar que mide más eficientemente la temperatura, análisis que se ratifica al comprobar que la varianza de la muestra es menor en el sensor 1. Los valores máximos y mínimos registrados en cada uno de los puntos de medición identifican que también el sensor uno se encuentra cerca de una fuente de temperatura mayor.

Validación de la variación de temperatura en el galpón y establecer el Set Point de la variable

Para automatizar el sistema de control de temperatura y establecer el SetPoint deseado en el galpón de la planta avícola de la UAIA, según los requerimientos del ave por la edad, con un margen de error de $0,5^{\circ}\text{C}$, se programa el sistema central según las variables deseadas; en la Tabla 16 se establece dichos rangos para la sistematización automática de cada período de la cría y levante del ave y la lógica del administrador automático.

Tabla 16*Programación para el Set Point deseado*

Edad Días	Temperatura °C	Calefacción		Ventilación		Humidificador	
		encendido	apagado	encendido	apagado	encendido	apagado
0 – 2	30 – 32	29,5	32	32,5	32	33	32,5
3 – 6	28 – 30	27,5	30	30,5	30	31	30,5
7 – 9	26 – 28	25,5	28	28,5	28	29	28,5
10 – 12	25 – 27	24,5	27	27,5	27	28	27,5
13 – 15	24 – 26	23,5	26	26,5	26	27	26,5
16 – 18	23 – 25	22,5	25	25,5	25	26	25,5
19 – 21	22 – 24	21,5	24	24,5	24	25	24,5
22 – 25	21 – 23	20,5	23	23,5	23	24	23,5
26 – 30	20 – 22	19,5	22	22,5	22	23	22,5
31 – 35	18 – 20	17,5	20	20,5	20	21	20,5

La descripción de la tabla indica que según la edad de las aves, la temperatura ideal que debe tener el interior del galpón alrededor de las mismas, está descrita en rangos mínimos y máximos, por ejemplo si la edad de las aves está entre 0 y 2 días requiere una temperatura de confort mínima de 30°C y máxima de 32°C, por debajo y por sobre estos valores en ave sufrirá estrés térmico e iniciará con una serie de alteraciones fisiológicas que no le permiten obtener buenos parámetros productivos e incluso le puede llevar a la muerte, entonces se establece que:

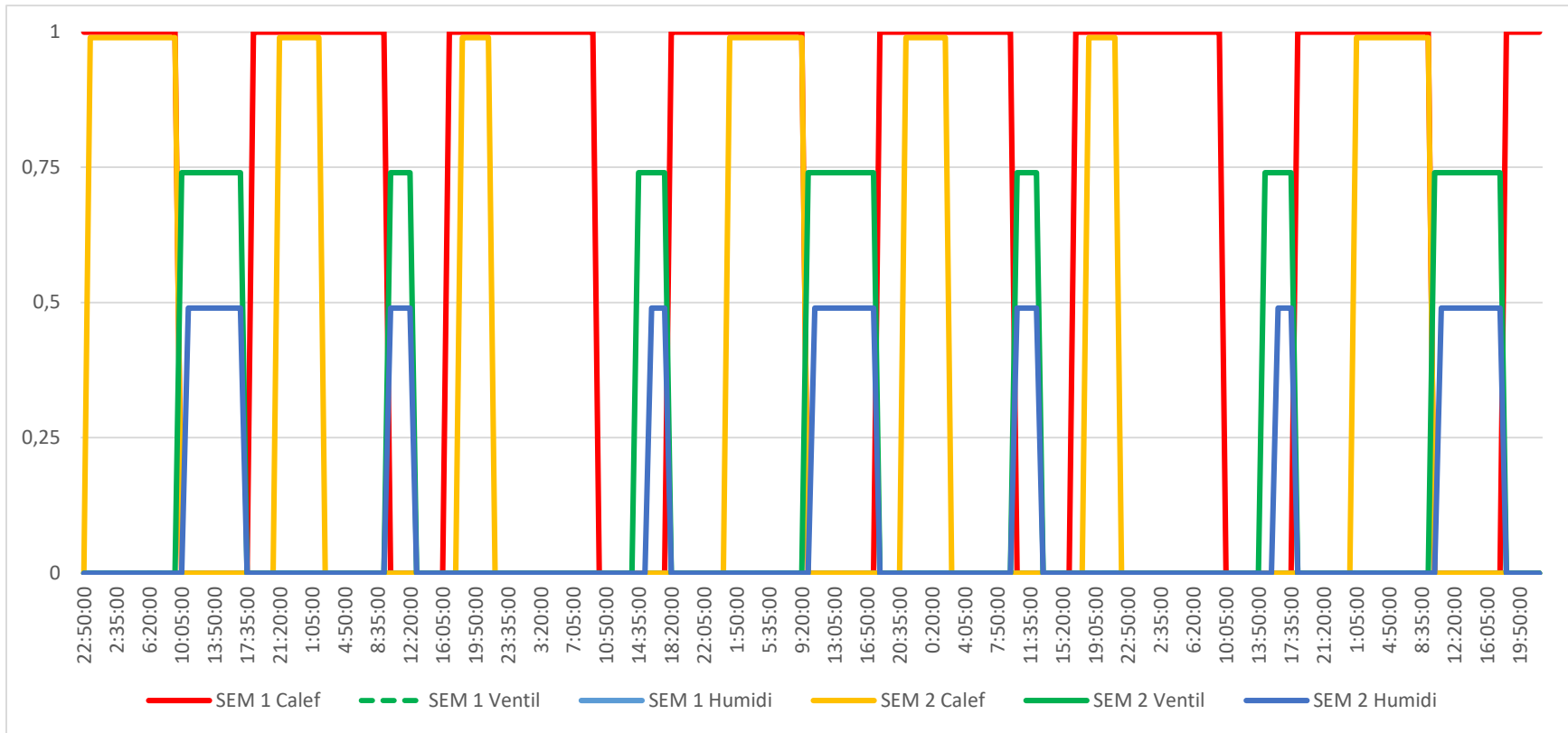
- El calefactor se encenderá automáticamente cuando el valor térmico llegue a 29,5°C y se apagará cuando dicho valor llegue a 32°C.

- Si el ambiente externo al galpón está con valores altos de temperatura y en el interior por factores como la emisión de calor del ave derivada de sus actividades fisiológicas incrementan ese valor, el ventilador se encenderá cuando alcance una temperatura de 32,5°C hasta bajar el nivel térmico a 32°C donde se apaga automáticamente
- Si la ventilación no es suficiente o no abastece el equipo utilizado para disminuir la variante calórica y la temperatura no desciende a niveles deseables, el humidificador se encenderá cuando se llegue a 33°C hasta alcanzar el confort térmico que se programó en 32,5°C.

Para la validación de sistema implementado se realizó las pruebas experimentales durante dos semanas en base al Set Point que se requiere para el desarrollo de las aves en edad de 31 a 35 días. La simulación se realiza con rangos térmicos para esa edad, debido a que en la zona central del país se tiene temperaturas máximas de 23,7°C como se indica en la tabla de condiciones meteorológicas registradas en la Estación Meteorológica de la ESPOCH, y con galpón vacío, por sobre ese valor no se podría evaluar el funcionamiento del calefactor, el ventilador y el humidificador. La Figura 52., presenta los valores térmicos obtenidos en pleno funcionamiento del sistema:

Figura 52

Funcionamiento del sistema para el Set Point deseado



La Figura 52 determina el encendido y apagado del calefactor, el ventilador y el humidificador para mantener una temperatura media de 19°C que se requiere para mantener el confort térmico de las aves en el supuesto que estén en una edad de 31 a 35 días. Para describir las ocurrencias del monitoreo de temperatura se observa que:

- La línea roja es el funcionamiento del calefactor en la semana 1; se observa que en las noches se mantiene encendido la mayoría del tiempo y se mantiene encendido durante el día hasta alcanzar la temperatura programada. La línea tomate es el funcionamiento del calefactor en la semana 2, se superponen las gráficas para comparar las variaciones térmicas de cada semana y de cada día.
- El sistema de ventilación únicamente se enciende en la semana 2 como se observa en la línea continua verde y generalmente se enciende en ciertos momentos del día donde la temperatura marca los 20,5°C y se apaga en 20°C.
- Los humidificadores que se representan en la Figura con color azul, también solo se encienden en la semana 2 porque en esa semana alcanzaron mediciones de 21°C para su encendido y al llegar a 20°C se apaga

Validación de hipótesis

La validación de que el sistema funciona correctamente, confirma la hipótesis planteada: “La implementación de un sistema automático de control de temperatura, mejorará la eficiencia del funcionamiento de la planta avícola de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH”.

Capítulo IV

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- El sistema automatizado implementado para el control y monitoreo de temperatura en los galpones de la Unidad Avícola de la Facultad de Ciencias Pecuarias es un modelo diseñado y construido desde cero, con componentes de fácil adquisición, para que pueda ser utilizado por pequeños y medianos avicultores debido a su coste menor en relación a sistemas que tienen las granjas avícolas especializadas.
- El módulo de adquisición de datos, fue diseñado, construido y programado con la aplicación Proteus 8.11, la placa de circuito impresa específica y ajustable a las necesidades del proyecto de la planta avícola, al final del proceso se corrigiendo los errores detectados, para un correcto desempeño de los actuadores y la adquisición de datos.
- Se desarrolló un modelo matemático para la implementación del algoritmo de control en lazo cerrado, mediante técnicas de automatización del controlador PID para el cálculo de la diferencia entre la variable de temperatura real y la variable de temperatura deseada.
- Se desarrolló el interfaz HMI para gestionar los datos con flexibilidad y usabilidad por parte del operador de la planta, en forma independiente desde otro ambiente y en cualquier momento. Mediante ventanas interactivas se visualizan los estados de temperatura, amoníaco y CO₂ y se supervisa el funcionamiento de los sensores y actuadores en tiempo real. Admite además manejar una base de datos, tendencias y

alarmas para que el operario pueda reaccionar de forma inmediata cuando se activan, cuando los niveles excedan los valores seteados.

- Se validó el proyecto mediante pruebas de funcionamiento de todo el sistema y el registro de datos de la variación de temperatura dentro del galpón, donde se verifica la estabilidad y robustez del controlador y el funcionamiento del interfaz HMI; realizando los ajustes requeridos hasta obtener un mejor desempeño de la planta.

Recomendaciones

- Es recomendable que las instalaciones eléctricas tengan los voltajes de alimentación entre 5V DC a 12V DC, para el buen desempeño de los elementos de control y el correcto funcionamiento electrónico de los tableros. Cuando se trabaja con potencias eléctricas inferiores o superiores puede provocar un funcionamiento anormal, avería y/o destrucción de los elementos del tablero. En tanto que para un correcto desempeño de los actuadores se recomienda un 127V AC de voltaje.
- Se requiere una capacitación intensiva de al menos un operador designado por la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH, para el manejo exclusivo del sistema ya que se requiere un conocimiento básico de los componentes eléctricos y su uso responsable. Adicionalmente también será necesario capacitar al personal en el mantenimiento preventivo y correctivo de los actuadores y otros equipos de la planta de acuerdo a las necesidades que pudiere presentar.
- Contar con las normativas de seguridad que por reglamentación se necesita para el plantel avícola, con la finalidad de prevenir riesgos laborales al personal que manipula los equipos e instalaciones y/o evitar daños graves de los mismos.
- Se recomienda realizar una investigación tipo experimental, con pollos en sus diferentes etapas de desarrollo para la validación de las pruebas y contar con datos experimentales que permitan ajustar el sistema a las variantes en condiciones de producción de aves.

Bibliografía

García González, A. (23 de Enero de 2013). *PanamaHitex*. Obtenido de PanamaHitex:
<http://panamahitek.com/arduino-mega-caracteristicas-capacidades-y-donde-conseguirlo-en-panama/>

Agrocalidad. (2017). *Agrocalidad*. Recuperado el 2022, de
<https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/pecu4.pdf>

Álvarez, J., Armero, J., & Urrutia, C. (20 de Junio de 2020). Control de temperatura en intercambiadores de calor tipo coraza-tubo: una revisión realizada a la industria. *Revista Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 41-49. Recuperado el 20 de Mayo de 2021, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672020000100041

Álvarez, S., & Herrera, P. (2009). *Diseño e implementación del sistema automático de control de temperatura y concentración de amoníaco para los galpones de crianza de aves de la fundación avícola Agrobema*. Tesis, Salgolquí. Recuperado el 2022, de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/2261>

Archila, D., & Santamaría, F. (2013). Estado del arte de las Redes de Sensores Inalámbricos. *Revista Digital Tía*, 2(1), 4-14. Recuperado el 2021, de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tia/article/view/4437/6856>

Ávila, D., & Vásconez, M. (2015). *Diseño de un sistema de control gerencial de plantas avícolas utilizando redes de sensores inalámbricos con tecnología open hardware*.

Recuperado el 10 de Mayo de 2021, de Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Sede Ambato: <http://repositorio.pucesa.edu.ec/handle/123456789/1389>

AviNews. (2019). *Avicultura info*. Recuperado el 2022, de <https://avicultura.info/>

AviNews. (2021). *Avicultura Info*. Recuperado el 2022, de <https://avicultura.info/avicultura-demuestra-dinamismo-adoptando-los-principios-de-la-industria-4-0/>

Barrón, M. (s/a). *e-spacio.uned*. Universidad del País Vasco, Departamento de Ingeniería en Sistemas y Automática, Lejona. Recuperado el 2022, de <http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/taee:congreso-2004-1034/S1F05.pdf>

BBVA. (2018). *BBVA*. Recuperado el 2021, de <https://www.bbva.com/es/que-es-el-hardware-libre/>

Big Dutchman. (s/a). *Avicultura.com*. Obtenido de <https://avicultura.com/sistemas-de-calefaccion-disponibles-en-la-actualidad/>

Castillo, G., Cruz, A., Gonzaga, E., & Luna, E. (22 de Octubre de 2019). Diseño e implementación de sistema de monitoreo automatizado en granja avícola. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Información RITI*, 7(14), 122-136. Recuperado el 6 de Mayo de 2021, de doi: <https://doi.org/10.36825/RITI.07.14.011>

Chora, D., Álvarez, G., & Espinosa, M. (Enero de 2018). Raspberry Pi y Arduino: semilleros en innovación tecnológica para la agricultura de precisión. *Revista de Tecnologías de la Informática y las Telecomunicaciones*, 2(1), 74-82. Recuperado el 6 de Mayo de

2021, de

<https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Informaticaysistemas/article/view/1134/993>

Cobb-Vantress. (2018). *Pollo de engorde Guía de manejo*. Alberta, Canadá. Recuperado el

2022, de [https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/ec35b0ab1e/Broiler-](https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/ec35b0ab1e/Broiler-Guide-2019-ESP-WEB_2.22.2019.pdf)

[Guide-2019-ESP-WEB_2.22.2019.pdf](https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/ec35b0ab1e/Broiler-Guide-2019-ESP-WEB_2.22.2019.pdf)

Congreso Nacional. (2004). *Educación Superior*. Recuperado el 2022, de

[https://www.educacionsuperior.gob.ec/wp-](https://www.educacionsuperior.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/09/LOTAIP.pdf)

[content/uploads/downloads/2014/09/LOTAIP.pdf](https://www.educacionsuperior.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/09/LOTAIP.pdf)

Cruz, G. (24 de Septiembre de 2014). Una Revisión de Sistemas de Calentamiento y Control

de Temperatura para Extrusión de Polímeros. *Revista CINTEX*, 19(1), 127-143.

Recuperado el 19 de Mayo de 2021, de

<https://revistas.pascualbravo.edu.co/index.php/cintex/article/view/43>

Emerson Electric Co. (2022). *EMERSON Soluciones de Automatización*. Recuperado el

2022, de [https://www.emerson.com/documents/automation/training-sis-103-safety-](https://www.emerson.com/documents/automation/training-sis-103-safety-standards-es-es-41618.pdf)

[standards-es-es-41618.pdf](https://www.emerson.com/documents/automation/training-sis-103-safety-standards-es-es-41618.pdf)

Enríquez, R. (2009). *Guía de usuario de Arduino*. Córdoba.

Ergomix. (2009). *Avicultura Ergomix*. Recuperado el 2022, de

[https://www.engormix.com/avicultura/articulos/industria-avicola-ecuatoriana-](https://www.engormix.com/avicultura/articulos/industria-avicola-ecuatoriana-t28083.htm)

[t28083.htm](https://www.engormix.com/avicultura/articulos/industria-avicola-ecuatoriana-t28083.htm)

Estrada, M., & Márquez, S. (2005). Interacción de los factores ambientales con la respuesta del comportamiento productivo en pollos de engorde. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(3), 246-257. Recuperado el 6 de Mayo de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/2950/295022964006.pdf>

Estrada, M., Márquez, S., & Restrepo, L. (25 de Julio de 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(1), 288-303. Recuperado el 6 de Mayo de 2021, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v20n3/v20n3a07.pdf>

Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH. (2022). *Anuario Climatológico 2021*. Anuario, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. Recuperado el 2022, de <https://www.espoch.edu.ec/index.php/estaci%C3%B3n-meteorol%C3%B3gica.html>

GNU. (2018). *gnu.org*. Recuperado el 2021, de <https://www.gnu.org/philosophy/>

Hernández, J. (1999). *Curso Facil de Electrónica Básica Prácticas y Proyectos*. Pereira, Colombia: CEKIT S.A. Compañía Editorial.

Hubbard. (2017). *Hubbard breeders*. Recuperado el 2022, de https://www.hubbardbreeders.com/media/20171124__lr_broiler_guia_de_manejo_broiler__crecimiento_rapido__es__005359700_1633_24112017.pdf

Hy Line. (2016). *Avicultura*. Recuperado el 2022, de <https://avicultura.info/download/Entiendo-el-estres-por-calor-en-las-ponedoras.pdf>

INEC. (2021). *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua, 2020*. Boletín Técnico, INEC, Dirección de Estadísticas Agropecuarias y Ambientales, Quito. Recuperado el 2011, de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2020/Boletin%20Tecnico%20ESPAC%202020.pdf

Ingeniería MCI. (s/a). *XBEEcl*. Obtenido de <https://xbee.cl/que-es-xbee/>

Jonveaux , L. (2017). *Journal open hardware*. Recuperado el 2021, de <https://openhardware.metajnl.com/>

Lajara, J., & Pelegrí, J. (2011). *LabVIEW. Entorno gráfico de programación*. Barcelona: Marcombo S.A.

Lerma, H. (2009). *Metodología de la investigación. Propuesta, anteproyecto y proyecto* (4a. ed.). Bogotá: Ecoe Ediciones.

Library. (2017). *Library.co*. Recuperado el 2022, de <https://1library.co/article/norma-isa-interfaz-humano-maquina-hmi.z1d5rpdz>

Llamas, L. (21 de Octubre de 2016). *Luis LLamas.es*. Recuperado el 2021, de <https://www.luisllamas.es/arduino-detector-gas-mq/>

Mantilla, P., Muñoz , M., & Sotomayor, N. (2009). *Monitoreo y control de temperatura ambiental y humedad del suelo en un invernadero de tomate riñón, utilizando comunicación inalámbrica*. Recuperado el 19 de Mayo de 2021, de Escuela Politécnica Nacional: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9966>

- Marín, R. (2001). *Repositorio UAAAN*. Recuperado el 2022, de http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42423/700_RAF_AEL%20MARIN%20PACHECO.pdf
- Mazur, G. (2009). *American Technical Publisher*. Recuperado el 2021, de <https://www.atplearning.com/>
- Mona, L., Saldaña, H., & Epifanio, I. (2015). Sistema de control de temperatura por software para horno eléctrico. *Revista ingeniantes*, 1(1), 96-101. Recuperado el 18 de Mayo de 2021, de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/52062656/Revista_ingeniantes_2_vol_1_dic-with-cover-page.pdf?Expires=1621525489&Signature=bFk5AwCzj7TPJgaLODkDbQX-hTJeMyIH4rPySLJj~Ws4B8Jc-l~4u0aM6isZTEat7dzF7bEKNdySdBs8bN4SohNuBGx5-twoOKaqunA9T1kd6m67cRA8UcR1GUWboea
- Naylamp Mechatronics SAC. (2021). *Naylamp Mechatronics*. (S. D. (AM2302), Productor) Obtenido de Naylamp Mechatronics: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html>
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de Control Moderna* (5a. ed.). Madrid: Pearson Educación.
- Omega. (s/a). *mx.omega.com*. Recuperado el 2021, de <https://mx.omega.com/prodinfo/control-de-temperatura.html>

onsemiTM. (Agosto de 2021). *onsemiTM*. Obtenido de onsemiTM:

<https://www.onsemi.com/products/discrete-power-modules/general-purpose-and-low-vcesat-transistors/2n3904>

Quezada, J., Bautista, J., Flores, E., & Quezada, V. (Marzo de 2014). Diseño e

implementación de un sistema de control y monitoreo basado en HMI-PLC para un pozo de agua potable. *Revista Ingeniería Investigación y Tecnología*, 15(1), 41-50.

Recuperado el 6 de Mayo de 2021, de <https://www.elsevier.es/es-revista-ingenieria-investigacion-tecnologia-104-pdf-S1405774315300056>

Registro oficial Ecuador. (2020). *Registro Oficial*. Recuperado el 2022, de

<https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2020-07/151%20Exp%C3%ADdase%20la%20Ley%20Org%C3%A1nica%20de%20Emprendimiento%20e%20Innovaci%C3%B3nLey%20Org%C3%A1nica%20de%20Emprendimiento%20e%20Innovaci%C3%B3n.pdf>

Ross An Aviagen Brand. (2018). *Manual de manejo Pollos de Engorde*. Edimburgo,

Inglaterra. Recuperado el 2022, de

https://es.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Ross-BroilerHandbook2018-ES.pdf

Ruíz Vaquero, A. (2008). *Sistema de regulación automática de variables ambientales con*

dispositivos de medición inalámbricos, para galpones avícolas. Proyecto de

Graduación, Instituto Tecnológico de Costa Rica, San Juan. Recuperado el 2021, de

https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5755/SISTEMA_REGULACION_GALPONES_AVICOLAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Safetyandisis. (2020). *safetyandisis.com*. Recuperado el 2022, de

<https://safetyandisis.com/es/normas-internacionales/>

Scrib. (2020). *Scrib*. Obtenido de [https://es.scribd.com/document/458681660/norma-ANSI-](https://es.scribd.com/document/458681660/norma-ANSI-ISA-S5-1-2009)

[ISA-S5-1-2009](https://es.scribd.com/document/458681660/norma-ANSI-ISA-S5-1-2009)

Seas Estudios superiores abiertos. (22 de Agosto de 2019). *Blog Seas. es*. Obtenido de

<https://www.seas.es/blog/automatizacion/el-rele-para-que-es-para-que-sirve-y-que-tipos-existen/>

Shining E&E Industrial CO. LTD. (9 de Septiembre de 2014). *Terminals blocks*. Obtenido de

<https://www.terminalsblocks.com/es/news/news-002.html>

Silo Inc. (2017). *Silo.tips*. Recuperado el 2022, de [https://silo.tips/download/modulo-i-](https://silo.tips/download/modulo-i-ambiente-de-programacion-de-labview-temario)

[ambiente-de-programacion-de-labview-temario](https://silo.tips/download/modulo-i-ambiente-de-programacion-de-labview-temario)

Söderby, K. (2022). *arduino.cc*. Recuperado el 2011, de [https://docs.arduino.cc/cloud/iot-](https://docs.arduino.cc/cloud/iot-cloud/tutorials/iot-cloud-getting-started)

[cloud/tutorials/iot-cloud-getting-started](https://docs.arduino.cc/cloud/iot-cloud/tutorials/iot-cloud-getting-started)

Tarrío, A. (2008). *Redes de sensores, Fundamentos y aplicaciones*. Madrid, España.

TECmikro. (2022). *Tecmikro*. Recuperado el 2022, de [https://tecmikro.com/protoboards-](https://tecmikro.com/protoboards-circuitos-impresos-pcb/366-fr4-fibra-de-vidrio-para-circuitos-impresos-pcb.html)

[circuitos-impresos-pcb/366-fr4-fibra-de-vidrio-para-circuitos-impresos-pcb.html](https://tecmikro.com/protoboards-circuitos-impresos-pcb/366-fr4-fibra-de-vidrio-para-circuitos-impresos-pcb.html) Tecmi

Top cable. (2020). *Topb cable.com*. Obtenido de [https://www.topcable.com/blog-electric-](https://www.topcable.com/blog-electric-cable/tipos-de-cables-electricos/)

[cable/tipos-de-cables-electricos/](https://www.topcable.com/blog-electric-cable/tipos-de-cables-electricos/)

Torrente, Ó. (2013). *ARDUINO, Curso práctico de formación*. Madrid: RC Libros.

- Torres, H. (2014). *HETPRO*. Obtenido de HETPRO: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/sensor-de-gas-mq2/>
- TOSHIBA. (2 de Febrero de 1998). *ALLDATASHEET.COM*. Obtenido de ALLDATASHEET.COM: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/30830/TOSHIBA/4N25.html>
- Trujillo, V. (06 de 2021). Ingeniero. (C. Fiallos, Entrevistador) Riobamba.
- UNE España. (2022). *Une Org*, 2009. Recuperado el 2022, de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0043541>
- UNIR. (2021). *Ecuador Unir*. Recuperado el 2022, de <https://ecuador.unir.net/actualidad-unir/industria-4-0/>
- Universidad Politécnica de Valencia. (2013). *Blog upv*. Recuperado el 2021, de <https://histinf.blogs.upv.es/2013/12/18/raspberry-pi/>
- Vasconez, F., & Molina, F. (2016). Diseño de un sistema de control gerencial de plantas avícolas utilizando redes de sensores inalámbricos con tecnología Open Hardware. *Ciencia UNEMI*, 9(21). doi:<https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss21.2016pp143-156p>
- Veloso, C. (9 de Marzo de 2016). *ETOOLS*. Obtenido de ETOOLS: <https://www.electrontools.com/Home/WP/regulador-de-voltaje-7805/>
- Villarba, Á. (2015). *Aplicación de una red inalámbrica de sensores para detección de presencia y conteo*. Trabajo Fin de Grado, Universidad de Sevilla, Escuela Técnica

Superior de Ingeniería, Sevilla. Obtenido de

<https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/90408/fichero/Aplicaci%C3%B3n+de+una+red+inal%C3%A1mbrica+de+sensores+para+detecci%C3%B3n+de+presencia+y+conteo.Final.pdf>

Vishay Intertecnología. (29 de Abril de 2020). *Vishay*. Obtenido de Vishay:

<https://www.vishay.com/search?searchChoice=part&query=1N4007>

Anexos