

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

**Diseño de una incubadora semi-industrial
con sistema de control PID para la
optimización de la eficiencia energética en la
empresa Granja Avícola Matteito, C.P. Santa
Rosa de Ocopa, 2025**

Ever Huaripata Aguirre
Kelvin Eliut Reymundo Aranda

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2025

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Luis Enrique Arteaga Untiveros
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 13 de Diciembre de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Diseño de una incubadora semi-industrial con sistema de control PID para la optimización de la eficiencia energética en la empresa Granja Avícola Matteito, C.P. Santa Rosa de Ocopa, 2025

Autores:

1. Ever Huaripata Aguirre – Carrera profesional Ingeniería Eléctrica
2. Kelvin Eliut Reymundo Aranda – Carrera profesional Ingeniería Eléctrica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado **13 %** de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE CUADROS	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvi
RESUMEN	xviii
SUMMARY	xix
INTRODUCCIÓN	xx
CAPÍTULO I	22
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	22
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	22
1.1.1. Formulación del problema.....	26
1.2. Objetivos.....	26
1.2.1. Objetivo general.....	26
1.2.2. Objetivos específicos.....	26
1.3. Justificación e importancia.....	27
1.4. Limitaciones de la investigación.....	29
1.5. Descripción de variables.....	29
1.5.1. Variables.....	29
1.5.2. Operacionalización de variables.....	31
CAPÍTULO II	33
2. MARCO TEÓRICO	33
2.1. Antecedentes del problema.....	33
2.1.1. Incubadora semi-industrial con sistema de control PID.....	33
2.1.2. Eficiencia energética.....	39
2.2. Bases teóricas.....	43
2.2.1. Incubadora semi-industrial con sistema de control PID.....	43
2.2.1.1. Teoría de la variable: Incubadora semi-industrial con control PID.....	43
2.2.1.2. Definición teórica: Incubadora semi-industrial con sistema de control PID.....	43
2.2.1.3. Dimensión: Diseño estructural.....	44
2.2.1.4. Dimensión: Desarrollo del sistema de control PID.....	68
2.2.1.5. Dimensión: Implementación.....	85
2.2.1.6. Dimensión: Evaluación del sistema.....	99
2.2.2. Eficiencia energética.....	103
2.2.2.1. Teoría de la variable: Eficiencia energética.....	103
2.2.2.2. Definición teórica: Eficiencia energética.....	103
2.2.2.3. Dimensión: Consumo energético.....	104

2.2.2.4. Dimensión: Desempeño térmico.....	114
2.2.2.5. Dimensión: Productividad.....	120
2.3. Definición de términos.....	124
CAPÍTULO III.....	125
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	125
3.1. Método de investigación.....	125
3.2. Enfoque.....	125
3.3. Tipo de investigación.....	126
3.4. Diseño de investigación.....	126
3.5. Nivel de investigación.....	127
3.6. Población y muestra.....	127
3.6.1. Población.....	127
3.6.2. Muestra.....	129
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	130
3.7.1. Análisis empírica.....	130
3.7.2. Análisis cuantitativo.....	134
3.8. Procedimiento de recolección de datos.....	135
CAPÍTULO IV.....	137
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	137
4.1. Presentación de resultados.....	137
4.1.1. Análisis de la variable independiente y sus dimensiones.....	137
4.1.1.1. Diseño estructural.....	137
4.1.1.2. Desarrollo del sistema de control PID.....	176
4.1.1.3. Implementación.....	191
4.1.1.4. Evaluación del sistema.....	198
4.1.2. Análisis de la variable dependiente y sus dimensiones.....	205
4.1.2.1. Consumo energético.....	205
4.1.2.2. Desempeño térmico.....	216
4.1.2.3. Productividad.....	228
4.2. Discusión de resultados.....	235
4.2.1. Objetivo general.....	235
4.2.2. Objetivo específico 1.....	236
4.2.3. Objetivo específico 2.....	238
4.2.4. Objetivo específico 3.....	239
4.2.5. Objetivo específico 4.....	240
CAPÍTULO V.....	242
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	242
5.1. Conclusiones.....	242
5.2. Recomendaciones.....	244
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	246
ANEXO A.....	252
ANEXO B.....	254
ANEXO C.....	270
ANEXO D.....	271

ANEXO E.....	277
ANEXO F.....	280
ANEXO G.....	281
ANEXO H.....	287

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Transferencia de calor a través de una pared plana.....	42
Figura 2: Red de resistencias equivalente para una pared multicapa.....	43
Figura 3: Resistencias térmicas en paredes planas.....	44
Figura 4: Rango de la conductividad térmica para diversos estados de la materia a temperatura y presión ambiente.....	45
Figura 5: Sistema de humidificación.....	49
Figura 6: Recomendaciones para la pérdida de peso de los huevos en la gestión multietapa.....	50
Figura 7: : Embrión a los 4 días, de una sola etapa vs embrión a los 4 días multietapa.....	51
Figura 8: Diagrama de materiales en la estructura de una incubadora avícola.....	53
Figura 9: Temperatura óptima interna por lados superior, inferior y lateral.....	53
Figura 10: Temperatura óptima interna por lado posterior.....	54
Figura 11: Frecuencia de Volteo.....	56
Figura 12: Ángulo de volteo incorrecto de 31.6° vs ángulo de volteo correcto a 42 grados.....	56
Figura 13: Foco incandescente de 100W para calefacción.....	57
Figura 14: Paredes en serie.....	57
Figura 15: Pollito pálido por sobrecalentamiento.....	58
Figura 16: Área caliente de una nacedora de etapa única.....	58
Figura 17: Sistema de humidificación en aves de corral.....	59
Figura 18: Higrómetro digital de temperatura y humedad.....	60
Figura 19: Corriente de aire convectivo.....	60
Figura 20: Ventilación de lado a lado con conducto de extracción.....	61
Figura 21: Pollito muerto por exceso de temperatura.....	61
Figura 22: Placa NodeMCU V2 Amica.....	62
Figura 23: Sistema de comunicación.....	62
Figura 24: Interfaz de la aplicación Arduino IDE.....	62
Figura 25: Pinout de la placa de desarrollo V2/V3.....	63
Figura 26: Interfaz de usuario.....	64
Figura 27: Inicio de creación de cuenta.....	64

Figura 28: Protocolo de comunicación.....	65
Figura 29: Pines y esquema del Arduino MEGA 2560.....	67
Figura 30: Núcleo de procesamiento del Arduino MEGA 2560.....	67
Figura 31: Diagrama de bloques de un controlador PID.....	68
Figura 32: Sensor DTH22.....	69
Figura 33: Dimensionamiento del Sensor DTH22.....	70
Figura 34: Sensor de Ultrasonido HC-SR04.....	70
Figura 35: Tiempo de viaje de la honda.....	71
Figura 36: Conexión con Arduino y sensor ultrasonico HCSR04.....	71
Figura 37: Módulo sensor LDR.....	72
Figura 38: Relación entre Resistencia del LDR e Intensidad Lumínica.....	73
Figura 39: Ventilador extractor.....	74
Figura 40: Foco incandescente vs resistencia calefactor.....	74
Figura 41: Sistema de volteo.....	75
Figura 42: Diseño de simulación general.....	75
Figura 43: Circuito real implementado.....	76
Figura 44: Diagrama de bloques de diseño software.....	77
Figura 45: Diagrama de bloques del sistema de segundo orden con relé de Aström.....	78
Figura 46: Oscilaciones sostenidas.....	79
Figura 47: Curva de respuesta escalón unitario en la que se muestran t_d , t_r , t_p , M_p y t_s	79
Figura 48: Proceso de aplicación del Relé oscilatorio.....	81
Figura 49: Proceso de oscilaciones controladas vs amplitud medida.....	82
Figura 50: Intensidad de iluminación.....	84
Figura 51: Fluctuaciones de temperatura.....	85
Figura 52: Respuesta del sistema de segundo orden sintonizado.....	86
Figura 53: Diagrama de bloques PID de lazo cerrado.....	86
Figura 54: Sistema de incubación.....	87
Figura 55: Interfaz de monitoreo.....	89
Figura 56: Panel de control.....	90
Figura 57: Opciones de ajuste.....	90
Figura 58: Panel de navegación.....	91
Figura 59: Dimensionamiento de la incubadora de huevos.....	93

Figura 60: Sistema físico.....	94
Figura 61: Vista 3-D de la Incubadora GSM/IoT.....	95
Figura 62: Forma esquemática del funcionamiento de la incubadora.....	96
Figura 63: Respuesta de sistema real con valores teóricos del control PID.....	97
Figura 64: Respuesta del sistema (Incubadora) con valor modificado (Kp) PID.....	98
Figura 65: Control de temperaturas externas.....	102
Figura 66: Características técnicas de incubadoras.....	103
Figura 67: Efecto del precalentamiento en la temperatura en máquinas incubadora.....	104
Figura 68: Temperatura de incubación.....	105
Figura 69: Las conexiones del panel fotovoltaico con la incubadora avícola.....	110
Figura 70: Distribución externa de temperatura y humedad del sistema.....	112
Figura 71: Desempeño térmico.....	114
Figura 72: Fuente de calor utilizada para el proceso de incubación.....	115
Figura 73: Condiciones ambientales en incubadoras comerciales.....	118
Figura 74: Entrevista con los dueños de la empresa Avícola Matteito.....	125
Figura 75: Ubicación geográfica del CC PP Santa Rosa De Ocopa bajo el ámbito de la Empresa Avícola Matteito.....	125
Figura 76: Etapa de incubación en condiciones reales.....	126
Figura 77: Instalación del Sensor de temperatura y humedad DHT22 en la fase de pruebas.....	128
Figura 78: Instalación del Sensor BMP180.....	128
Figura 79: Instalación del Sensor módulo LDR.....	129
Figura 80: Breakers inteligentes (Wi-Fi Automatic Reclosing Protector) en ambos sistemas...	130
Figura 81: Monitoreo de temp. interna y externa (°C) por el Termohigrometro digital.....	131
Figura 82: Sistema en fase de pruebas operando con estructura de madera.....	134
Figura 83: Configuración y monitoreo del setpoint inicial sin calefacción .	
Fuente: Elaboración propia.....	137
Figura 84: Pérdida térmica en incubadora (Madera Vs Multicapa).....	139
Fuente: Elaboración propia.....	139
Figura 85: Diseño de la incubadora con sistema multicapa.....	141
Fuente: Elaboración propia.....	141
Figura 86: Sistema de calefacción de 100W.....	142
Fuente: Elaboración propia.....	142

Figura 87: Estructura del sistema con criterios de eficiencia térmica, ergonomía y funcionalidad.

144

Fuente: Elaboración propia..... 144

Figura 88: Sistema multicapa con estabilidad térmica interior estable..... 145

Fuente: Elaboración propia..... 145

Figura 89: Sistema de ventilación..... 146

Fuente: Elaboración propia..... 146

Figura 90: Sistema de humidificación para el control de humedad estable..... 148

Figura 91: Recipiente de vapor de 500 W..... 149

Figura 92: Sistema de volteo de 50 huevos..... 150

Figura 93: Soporte de rotación para el volteo de huevos..... 152

Figura 94: Diagrama de las conexiones entre los sensores DHT22 y el módulo LDR con el NodeMCU ESP32..... 156

Figura 95: Instalación de la placa ESP32 al sistema de incubación..... 156

Figura 96: Diagrama de funcionamiento del sistema IoT basado en ESP32 para monitoreo de datos internos del sistema de incubación..... 157

Figura 97: Monitoreo en tiempo real de los datos de sensores con UbiDots..... 158

Figura 98: Creación del dispositivo y variables en UbiDots para monitoreo..... 160

Figura 99: Visualización de datos de sensores en UbiDots del ESP32..... 160

Figura 100: Diagrama de las conexiones del sensor bmp180 con el NodeMCU ESP8266..... 166

Figura 101: Instalación de la placa ESP8266 al sistema de incubación..... 166

Figura 102: Diagrama de funcionamiento del sistema IoT basado en ESP8266 para monitoreo de datos externos del sistema de incubación..... 167

Figura 103: Creación del dispositivo y variables en UbiDots para monitoreo..... 169

Figura 104: Visualización de datos de sensores en UbiDots del ESP8266..... 170

Figura 105: Esquema de conexión de sensores con Arduino Nano (ATmega328P)..... 174

Figura 106: Interacción del sistema de entrada (SE)..... 175

Figura 107: Esquema de conexión de sensores y actuadores con Arduino Nano (ATmega328P)..... 176

Figura 108: Interacción del sistema de salida (SS)..... 177

Figura 109: Diagrama de lazo cerrado con controlador PID aplicado a un modelo de primer orden en Scilab/Xcos..... 182

Figura 110: Respuesta en temperatura del sistema PID frente al setpoint (modelo de primer orden).....	183
Figura 111: Modelo térmico de la incubadora con controlador PID en lazo cerrado.....	185
Figura 112: Respuesta al escalón de la incubadora (sistema de segundo orden) bajo control PID..	187
Figura 113: Respuesta del sistema PID en el control de temperatura.....	189
Figura 114: Diagrama de bloques de lazo cerrado del controlador PID de la incubadora.....	189
Figura 115: Diagrama de flujo del sistema de control automático con Arduino Nano (ATmega328P).....	191
Figura 116: Implementación del ambiente controlado para el proceso de incubación.....	196
Figura 117: Variación diaria de temp. Interna promedio, máxima y mínima en condiciones controladas.....	197
Figura 118: Cantidad de veces de encendido/día del sistema de calefacción en condiciones controladas.....	198
Figura 119: Proceso de incubación y nacimiento de pollitos en condiciones controladas.....	198
Figura 120: Variación diaria de la humedad relativa durante el periodo de incubación en condiciones controladas.....	199
Figura 121: Consumo energético del sistema PID en condiciones controladas.....	200
Figura 122: Evaluación de la calidad de huevo mediante el peso estandarizado.....	201
Figura 123: Eclosión de huevos en la fase de condiciones controladas.....	201
Figura 124: Evaluación del sistema PID vs Equipo de control (Sistema de la Empresa).....	202
Figura 125: Equipos de medición “Wi-Fi Automatic Reclosing Protector”.....	203
Figura 126: Evaluación de variabilidad del consumo energético - Primer ciclo de incubación.....	204
Figura 127: Evaluación de variabilidad del consumo energético - Segundo ciclo de incubación...	205
Figura 128: Resultados de la simulación de consumo energético (KWh) para ambos sistemas de incubación.....	211
Figura 129: Comparación de consumo energético entre Sistema PID y Empresa de los 9 ciclos totales de incubación.....	211
Figura 130: Comparación de Emisiones de CO2/Ciclo de incubación.....	212
Figura 131: Desempeño energético y ambiental de los sistemas.....	213
Figura 132: Temperatura interna promedio (°C)/día -PID vs Empresa.....	214

Figura 133: Humedad relativa prom./día entre Sistema PID y de la empresa.....	215
Figura 134: Temp. interna prom. (°C)/día - PID vs Empresa- Segundo ciclo de incubación...	216
Figura 135: Hum. Relativa prom./día entre sistema PID y de la Empresa.....	217
Figura 136: Comparación de variabilidad térmica por periodo de incubación.....	220
Figura 137: Oscilación térmica/ciclo de incubación del sistema PID.....	220
Figura 138: Oscilación térmica/ciclo de incubación de la Empresa.....	221
Figura 139: Verificación de estructura y aislamiento térmico del sistema de la Empresa.....	224
Figura 140: Proceso de incubación para el primer ciclo en ambos sistemas.....	225
Figura 141: Eclosión de huevos del sistema PID vs Empresa del primer ciclo de incubación..	226
Figura 142: Eclosión de huevos del sistema PID vs Empresa del Segundo ciclo de incubación.....	227
Figura 143: Estimación real de huevos eclosionados de 7 ciclos de incubación.....	230

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Operacionalización de las variables.....	28
Cuadro 2. Requisitos de las condiciones ambientales en una planta de incubación.....	50
Cuadro 3. Materiales principales en la estructura de una incubadora avícola.....	52
Cuadro 4. Requerimiento general del sistema integrado.....	76
Cuadro 5. Componentes y variables del controlador PID.....	87
Cuadro 6. Tipos de interfaces de usuario.....	88
Cuadro 7. Materiales de aislamiento térmico sistema multicapa.....	135
Cuadro 8. Sistema de monitoreo IoT para la gestión automática de variables en la incubadora.....	153
Cuadro 9. Programación y configuración del ESP32 para UbiDots.....	158
Cuadro 10. Gráficos de monitoreo en UbiDots - ESP32.....	161
Cuadro 11. Visualización de datos en tiempo real mediante widgets en UbiDots - ESP32.....	162
Cuadro 12. Programación y configuración del ESP8266 para UbiDots.....	167
Cuadro 13. Gráficos de monitoreo en UbiDots - ESP8266.....	170
Cuadro 14. Visualización de datos en tiempo real mediante widgets en UbiDots - ESP8266...	171
Cuadro 15. Sintonización del PID por relé oscilatorio en el control de temperatura de la incubadora.....	178
Cuadro 16. Función y configuración de los bloques del modelo térmico de la incubadora (Scilab/Xcos).....	185
Cuadro 17. Descripción de Variables del Sistema de Control PID para Temperatura.....	189
Cuadro 18. Interfaz de usuario local del sistema PID.....	192
Cuadro 19. Integración de componentes del sistema PID.....	194
Cuadro 20. Interfaz Gráfica para el Registro y Comparación de Ciclos de Incubación.....	209
Cuadro 20. Indicadores clave para la simulación del desempeño térmico de 7 ciclos de incubación.....	218
Cuadro 21. Interfaz de Registro y resultado de desempeño térmico de 7 ciclos de incubación.....	218
Cuadro 22. Interfaz de Registro y Programación de 7 Ciclos de Incubación de productividad.....	229

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de consumo eléctrico de incubadoras con controles digitales y electromecánicos.....	21
Tabla 2. Conductividad térmica de materiales.....	45
Tabla 3. Requisitos de las condiciones ambientales en una planta de incubación.....	47
Tabla 4. Especificaciones técnicas del Arduino Mega 2560.....	65
Tabla 5. Especificaciones técnicas del sensor DHT 22.....	69
Tabla 6. Especificaciones técnicas del sensor ultrasónico HCSR04.....	72
Tabla 7. Especificaciones técnicas del sensor módulo sensor LDR.....	73
Tabla 8. Rendimiento de sistema de incubación tercera prueba.....	99
Tabla 9. Comparación de Emisiones de CO ₂ entre energías renovables y combustibles fósiles	109
Tabla 10. Monitoreo de la temperatura interna sin calefacción durante 60 minutos.....	137
Tabla 11. Propiedades térmicas de materiales y su resistencia térmica.....	140
Tabla 12. Característica estructural del sistema de incubación.....	144
Tabla 13. Parámetros de control climático en la incubadora.....	147
Tabla 14. Parámetros del sistema de volteo.....	150
Tabla 15. Configuración de pines del ESP32 para los sensores.....	155
Tabla 16. Configuración de pines del ESP8266 para el sensor bmp180.....	165
Tabla 17. Datos experimentales usados para ajustar la función de transferencia.....	184
Tabla 18. Datos de la respuesta PID temporal.....	188
Tabla 19. Pronóstico climático mensual de Puerto Ocopa 2025.....	206
Tabla 20. Criterios de asignación de la variabilidad para la temperatura.....	206
Tabla 21. Criterios de asignación de la variabilidad para la humedad relativa.....	207
Tabla 22. Indicadores clave para la simulación del desempeño térmico de 7 ciclos de incubación.....	218
Tabla 23. Cuadro de registro de productividad.....	225
Tabla 24. Cuadro de registro de productividad total de los 9 ciclos de incubación.....	231

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Transferencia de calor (Ley de fourier).....	41
Ecuación 2. Resistencia térmica.....	42
Ecuación 3. Flujo de calor.....	43
Ecuación 4. Caudal del aire.....	47
Ecuación 5. predimensionado de conductos.....	48
Ecuación 6. carga latente de humedad.....	49
Ecuación 7. Frecuencia de volteo.....	55
Ecuación 8. Potencia requerida para el volteo.....	55
Ecuación 9. Humedad relativa.....	58
Ecuación 10. Ecuación de la ganancia proporcional (Kp).....	80
Ecuación 11. Ecuación del tiempo integral (Ti).....	80
Ecuación 12. Ecuación del tiempo derivativo (Td).....	80
Ecuación 13. Ecuación proporcional.....	83
Ecuación 14. Ecuación integral del error acumulado a lo largo del tiempo.....	84
Ecuación 15. Ecuación derivativa.....	85
Ecuación 16. Porcentaje de eclosión.....	99
Ecuación 17. Consumo energético total.....	106
Ecuación 18. Ciclo de trabajo de un sistema.....	106
Ecuación 19. Pérdidas energéticas.....	106
Ecuación 20. Pérdidas térmicas.....	107
Ecuación 21. Estimador kernel de Nadaraya–Watson.....	107
Ecuación 22. Modelo aditivo con ruido gaussiano y energía acumulada.....	107
Ecuación 23. Cálculo de las emisiones de CO ₂	110
Ecuación 24. Eficiencia energética.....	111
Ecuación 25. Diferencia máxima de temperatura.....	112
Ecuación 26. Gradiente térmico.....	112
Ecuación 27. Tiempo de recuperación térmica.....	113

Ecuación 28. Desviación estándar térmica.....	114
Ecuación 29. Energía térmica consumida.....	115
Ecuación 30. Coeficiente de rendimiento (COP).....	115
Ecuación 31. Índice adimensional de desempeño térmico (η) basado en NMAE.....	117
Ecuación 32. Eficiencia de eclosión.....	117
Ecuación 33. Eficiencia de incubación de huevos en la incubadora.....	118
Ecuación 34. Tasa de mortalidad embrionaria.....	119
Ecuación 35. Consumo energético por embrión.....	119
Ecuación 36. Modelo de hatchabilidad con perturbación estocástica.....	120
Ecuación 37. Modelo de productividad esperada por ciclo (esperanza binomial).....	120

RESUMEN

El estudio se realizó en la empresa Granja Avícola Matteito, donde se identificaron deficiencias en su actual sistema de incubación, como variabilidad térmica, desgaste prematuro de componentes y alto consumo energético. El objetivo principal fue diseñar una incubadora semi-industrial con sistema de control PID que optimice la eficiencia energética en la empresa Granja Avícola Matteito, C.P. Santa Rosa de Ocopa, 2025. La metodología de la investigación fue experimental, con enfoque cuantitativo, carácter tecnológico y diseño de soluciones. Se desarrolló, implementó y validó el sistema en condiciones controladas y reales. Para validar los resultados, se empleó un equipo de control constituido por el sistema de incubación de la empresa, con el fin de comparar la eficiencia energética, el desempeño térmico y la productividad. Se escogió como muestra 9 ciclos de incubación, de los cuales 2 fueron reales y 7 estimados a partir de datos reales. Los resultados revelaron que el sistema PID consumió en promedio 14.6 kWh por ciclo, frente a los 32.32 kWh del sistema de la empresa, logrando una reducción del 54.83%. Como resultado, las emisiones de CO₂ disminuyeron en 54.87%, lo que evidencia la mayor eficiencia energética y el menor impacto ambiental. Respecto al desempeño térmico, el sistema PID mantuvo temperaturas promedio estables entre 37.31 °C y 37.73 °C, sin exceder el margen térmico permisible. En contraste, el sistema de la empresa presentó temperaturas de 36.95 °C a 38.44 °C, con frecuentes desviaciones. Además, el PID alcanzó un COP de 0.85 frente al 0.7, demostrando mayor eficiencia térmica. En productividad, el sistema PID logró una eficiencia promedio de eclosión del 90.49%, superior al 85.46%, con menor mortalidad embrionaria, además consumió menos energía por embrión viable: 0.29 kWh frente a 0.54 kWh. Se concluyó que la implementación de una incubadora semi-industrial con control PID se relaciona significativamente con la mejora en la eficiencia energética y el rendimiento del proceso de incubación, según los resultados obtenidos. Por ello, se recomienda incorporar una estructura multicapa y un sistema de monitoreo IoT para mantener condiciones térmicas estables.

Palabras clave: Equipo de control; Monitoreo IoT; Estructura multicapa; Coeficiente de desempeño COP

SUMMARY

The study was carried out at the company Granja Avícola Matteito, where deficiencies were identified in its current incubation system, such as thermal variability, premature wear of components, and high energy consumption. The main objective was to design a semi-industrial incubator with a PID control system that optimizes energy efficiency at the company Granja Avícola Matteito, C.P. Santa Rosa de Ocopa, 2025. The research methodology was experimental, with a quantitative approach, technological character, and solution-oriented design. The system was developed, implemented, and validated under both controlled and real conditions. To validate the results, a control setup consisting of the company's incubation system was used in order to compare energy efficiency, thermal performance, and productivity. A sample of 9 incubation cycles was selected, of which 2 were real and 7 were estimated based on real data. The results revealed that the PID system consumed an average of 14.6 kWh per cycle, compared to 32.32 kWh from the company's system, achieving a reduction of 54.83%. As a result, CO₂ emissions decreased by 54.87%, demonstrating greater energy efficiency and lower environmental impact. Regarding thermal performance, the PID system maintained stable average temperatures between 37.31 °C and 37.73 °C, without exceeding the permissible thermal range. In contrast, the company's system recorded temperatures from 36.95 °C to 38.44 °C, with frequent deviations. Additionally, the PID system reached a COP of 0.85 compared to 0.7, demonstrating greater thermal efficiency. In terms of productivity, the PID system achieved an average hatchability rate of 90.49%, higher than 85.46%, with lower embryonic mortality, and it also consumed less energy per viable embryo: 0.29 kWh compared to 0.54 kWh. It was concluded that the implementation of a semi-industrial incubator with PID control is significantly related to the improvement in energy efficiency and the performance of the incubation process, according to the results obtained. Therefore, it is recommended to incorporate a multilayer structure and an IoT monitoring system to maintain stable thermal conditions.

Keywords: Control system; IoT monitoring; Multilayer structure; Coefficient of Performance (COP)