



Diseño, construcción e implementación de un entorno con ambiente controlado y limpieza automatizada para la crianza adecuada de cuyes en el cantón Salcedo provincia de Cotopaxi

Chiliquina Lema, Javier Alexander

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

Ing. Paúl Hernán Mejía Campoverde

20 de enero del 2023

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO

Revisión tesis

NOMBRE DEL ALUMNO

JAVIER ALEXANDER CHILQUINGA LEMA

NOMBRE DEL ARCHIVO

JAVIER ALEXANDER CHILQUINGA LEMA - Trabajo de titulación estudiante

SE HA CREADO EL INFORME

20 ene 2023

Resumen

Fragmentos marcados	8	0,8 %
Fragmentos citados o entrecomillados	3	0,3 %

Coincidencias de la Web

docplayer.es	3	0,4 %
passeidireto.com	2	0,1 %
plantae.garden	1	0,1 %
rodistribuciones.com.ar	1	0,1 %
rambal.com	1	0,1 %
ehu.eus	1	0,1 %
issuu.com	1	0,1 %
upc.edu	1	0,1 %



PAUL HERNAN MEJIA
CAMPOVERDE



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, **Diseño, construcción e implementación de un entorno con ambiente controlado y limpieza automatizada para la crianza adecuada de cuyes en el cantón Salcedo provincia de Cotopaxi** fue realizado por el señor **Chiliquina Lema, Javier Alexander** el cual 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.

Sangolquí, 20 de enero del 2022.

Firma:



.....

Ing. Mejía Campoverde, Paúl Hernán

C. C. 1714090386.



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Yo, Chliquinga Lema, Javier Alexander, con cédula de ciudadanía N.º 0503870750, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Diseño, construcción e implementación de un entorno con ambiente controlado y limpieza automatizada para la crianza adecuada de cuyes en el cantón Salcedo provincia de Cotopaxi** es de mi 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.

Sangolquí, 20 de enero del 2022.

Firma

Chliquinga Lema, Javier Alexander

C.C.:0503870750



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Autorización de publicación

Yo **Chiliquinga Lema, Javier Alexander** con cédula de ciudadanía N°. 0503870750, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Diseño, construcción e implementación de un entorno con ambiente controlado y limpieza automatizada para la crianza adecuada de cuyes en el cantón Salcedo provincia de Cotopaxi** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 20 de enero del 2022.

Firma

Chiliquinga Lema, Javier Alexander

C.C.:0503870750

Dedicatoria

Este trabajo lo dedico a mi madre quien ha sido mi soporte y guía para seguir adelante, quien me ha apoyado en el transcurso de mis estudios. A toda mi familia Lema que me ayudado y me ha sabido aconsejar en mi vida.

Javier Alexander Chilibingua Lema.

Agradecimiento

Agradezco a dios quien me ha dado la salud para cursar mis estudios, a mi Madre que a pesar de las dificultades me ha brindado todo su apoyo en el transcurso de mi vida, a mi familia materna que siempre me apoyo.

Agradezco a todos mis profesores de la carrera que me han sabido enseñar temas importantes para mi formación, a mi tutor de tesis Ing. Paúl Mejía por guiarme en el desarrollo del presente trabajo.

Índice de Contenidos

Resumen	20
Abstract.....	21
Capítulo 1	22
Introducción.....	22
Antecedentes	22
Descripción del Proyecto	24
Justificación e Importancia	25
Alcance del Proyecto.....	26
Componente Mecánico.....	26
Componente Eléctrico/ Electrónico	27
Componente Informático.....	27
Objetivos	27
Objetivo General	27
Objetivos Específicos.....	27
Capítulo 2	29
Marco Teórico	29
Introducción.....	29
Aspectos Generales de la Especie.....	29
Concepto	29
Clasificación.....	29

Crianza de Cuyes	32
Manejo de Cuyes.....	32
Sanidad de Cuyes	32
Enfermedades Infecciosas	32
Enfermedades Parasitarias	33
Enfermedades Carenciales.....	33
Ambiente Controlado	34
Sistema de Control.....	34
Acciones Básicas de Control.....	35
Dos Posiciones Encendido y Apagado.....	36
Proporcional.....	36
Proporcional Integral	37
Proporcional Integral Derivativa	37
Control de Temperatura	38
Control de Humedad Relativa.....	39
Ventilación	40
Transmisiones Mecánicas	40
Transmisión por Banda	40
Transmisión por Cadena	41
Capítulo 3	43

Diseño y construcción	43
Metodología.....	43
Ingeniería de Requisitos.....	44
Requerimientos y Parámetros de Diseño	44
Solución Tradicional Contra Nuevos Enfoques.	47
Requisitos de Confiabilidad y Seguridad.....	49
Requisitos para los Costos de Desarrollo y Fabricación.....	49
Especificación.....	49
Requerimientos.....	51
Diseño del Sistema.....	52
Diseño Mecánico del Prototipo	52
Módulo Estructural	52
Módulo de Control de Temperatura.....	86
Módulo Ventilación.....	93
Módulo de Limpieza.....	96
Módulo de Control de Humedad.	106
Diseño Eléctrico y Electrónico.....	107
Características de Sensores y Actuadores.	107
Diseño Electrónico de Circuito de Inversión de Giro	111
Diagrama Eléctrico	114

Selección de Fuentes para el Prototipo	114
Dimensionamiento de Protecciones y Conductores.....	117
Componente Informático.....	119
Programación PLC LOGO.....	119
Diseño de HMI en el Servidor Web LOGO.....	121
Adquisición de Datos	125
Capítulo 4	131
Pruebas y Resultados	131
Pruebas Individuales	131
Prueba del Calefactor Superior	131
Pruebas Globales	133
Pruebas del Módulo de Ventilación.....	133
Pruebas en Módulo de Control de Temperatura.....	135
Pruebas en Módulo de Control de Humedad	138
Pruebas en Módulo de Limpieza.....	139
Análisis de Resultados.....	140
Capítulo 5	147
Análisis Económico.....	147
Inversión para Implementación del Prototipo.....	147
Análisis Costo Beneficio.	150

Costo de Producción Actual	152
Costos de la Implementación del Prototipo	153
Costo de Producción con el Prototipo	154
Tiempo de Recuperación de Inversión.	156
Capítulo 6	157
Conclusiones y Recomendaciones	157
Conclusiones	157
Recomendaciones	158
Trabajos Futuros	159
Bibliografía	161
Apéndices.....	166

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Ventajas y desventajas de un sistema de lazo abierto</i>	35
Tabla 2 <i>Requerimientos del prototipo</i>	44
Tabla 3 <i>Características técnicas</i>	45
Tabla 4 <i>Simbología de la matriz QFD</i>	45
Tabla 5 <i>Ponderación de las características técnicas</i>	47
Tabla 6 <i>Requisitos del prototipo</i>	51
Tabla 7 <i>Características mecánicas del eucaliptus globulus labill</i>	53
Tabla 8 <i>Características del zinc de novacero</i>	54
Tabla 9 <i>Materiales necesarios para la construcción de la estructura</i>	64
Tabla 10 <i>Esfuerzo cortante admisible</i>	67
Tabla 11 <i>Amperajes recomendados de acuerdo al diámetro del electrodo</i>	69
Tabla 12 <i>Métodos para fijar tornillos autoperforantes</i>	71
Tabla 13 <i>Características de los métodos de sujeción</i>	72
Tabla 14 <i>Esfuerzo cortante admisible en materiales de tornillos</i>	77
Tabla 15 <i>Características mecánicas del PLA común</i>	82
Tabla 16 <i>Temperaturas en el cantón Salcedo provincia de Cotopaxi</i>	87
Tabla 17 <i>Características de rodamientos lineales</i>	96
Tabla 18 <i>Características técnicas del motor 60KTYZ</i>	102
Tabla 19 <i>Especificaciones de sonda PT100</i>	108
Tabla 20 <i>Características técnicas del sensor de humedad</i>	109
Tabla 21 <i>Características técnicas del motorreductor</i>	111
Tabla 22 <i>Consumo de elementos en el circuito de control</i>	115
Tabla 23 <i>Consumo de actuadores</i>	117

Tabla 24 <i>Consumo de corriente de actuadores.</i>	117
Tabla 26 <i>Características técnicas de la placa ESP WROOM32.</i>	125
Tabla 27 <i>Características técnicas del sensor DHT22.</i>	126
Tabla 28 <i>Valores máximos y mínimos registrados</i>	129
Tabla 29 <i>Resultados de pruebas en el módulo de ventilación.</i>	134
Tabla 30 <i>Resultados de pruebas en sistema de calefacción.</i>	136
Tabla 31 <i>Resultados de pruebas del control de humedad.</i>	138
Tabla 32 <i>Resultados de pruebas del sistema de limpieza.</i>	140
Tabla 33 <i>Valores extremos obtenidos antes de aplicar el control.</i>	141
Tabla 34 <i>Valores extremos obtenidos luego de aplicar el control.</i>	142
Tabla 35 <i>Valores promedio obtenidos antes de aplicar el control.</i>	143
Tabla 36 <i>Valores promedios obtenidos luego de aplicar el control.</i>	144
Tabla 37 <i>Costos de materiales para el prototipo.</i>	147
Tabla 38 <i>Datos obtenidos con 40 crías.</i>	151
Tabla 39 <i>Tareas realizadas en el criadero y su costo mensual.</i>	152
Tabla 40 <i>Valores de consumo eléctrico del prototipo.</i>	153
Tabla 41 <i>Mejora esperada con el prototipo.</i>	154
Tabla 42 <i>Costo de producción con la implementación del prototipo.</i>	155

Índice de Figuras

Figura 1 Pozas para crianza de cuyes.	23
Figura 2 Jaulas usadas para la crianza de cuyes.....	23
Figura 3 Cuy tipo 1.	30
Figura 4 Cuy tipo 2.	30
Figura 5 Cuy tipo 3.	30
Figura 6 Cuy de la línea Perú.....	31
Figura 7 Cuyes de la línea Andina.	31
Figura 8 Diagrama de bloques de un sistema de control industrial de lazo cerrado.....	35
Figura 9 Control ON-OFF de temperatura.....	36
Figura 10 Diagrama de bloques de un controlador proporcional.....	37
Figura 11 Diagrama de bloques de un controlador proporcional integral.	37
Figura 12 Diagrama de bloques del controlador PID.....	38
Figura 13 Rampa unitaria como entrada y respuesta de los diferentes controladores.....	38
Figura 14 Sistema de control de temperatura.	39
Figura 15 Esquema de transmisión combinada.	40
Figura 16 Transmisión por banda.	41
Figura 17 Banda síncrona y polea dentada.	41
Figura 18 Transmisión por cadena de rodillos.	42
Figura 19 Metodología aplicada.	43
Figura 20 Matriz QFD.....	46
Figura 21 Entornos con control de temperatura implementados por Kardex.	48
Figura 22 Entorno con control de humedad.	48
Figura 23 División por módulos.....	50

Figura 24 <i>Diagrama funcional del prototipo</i>	51
Figura 25 <i>Modelo CAD de la estructura</i>	55
Figura 26 <i>Modelo CAD aplicado cargas y restricciones</i>	57
Figura 27 <i>Mallado fino de la estructura</i>	58
Figura 28 <i>Resultado de la deformación en la dirección vertical</i>	59
Figura 29 <i>Resultado del factor de seguridad de la estructura</i>	59
Figura 30 <i>Preferencias del software para diseño</i>	61
Figura 31 <i>Combinación de cargas detalladas en IBC</i>	61
Figura 32 <i>Inserción de la combinación de esfuerzos</i>	62
Figura 33 <i>Resultado de demanda de capacidad</i>	62
Figura 34 <i>Deflexiones sugeridas en la norma</i>	63
Figura 35 <i>Deflexión máxima en la estructura</i>	64
Figura 36 <i>Bisagra soldable tubular</i>	65
Figura 37 <i>Esquema de puerta bisagras y sus reacciones</i>	65
Figura 38 <i>Características técnicas del electrodo 6011 indura</i>	68
Figura 39 <i>Estructura soldada y pintada</i>	70
Figura 40 <i>Tipos de tornillos autoperforantes para estructuras metálicas</i>	70
Figura 41 <i>Ensamblaje de techo en estructura</i>	72
Figura 42 <i>Ensamblaje de la base de limpieza superior</i>	73
Figura 43 <i>Ensamblaje completo de la malla superior al prototipo</i>	74
Figura 44 <i>Prototipo trasladado al lugar de implementación</i>	74
Figura 45 <i>Modelado de cubierta de madera</i>	75
Figura 46 <i>Dimensiones de la unión con la cubierta horizontal</i>	76
Figura 47 <i>Ensamblaje de tablas horizontales posteriores</i>	79

Figura 48 <i>Tablas laterales ensambladas vista externa e interna</i>	79
Figura 49 <i>Ensamblaje de tablas frontales en el prototipo</i>	80
Figura 50 <i>Prototipo con cubierta ensamblada</i>	80
Figura 51 <i>Diseño de Acople sensor PT100</i>	81
Figura 52 <i>Convergencia del método adaptativo tipo h</i>	82
Figura 53 <i>Tensión de Von Mises y deformación resultante</i>	83
Figura 54 <i>Factor de seguridad</i>	83
Figura 55 <i>Soporte para sensor de humedad</i>	84
Figura 56 <i>Acoples y protección de sensores</i>	85
Figura 57 <i>Acoples, protección y sensores montados a la estructura</i>	85
Figura 58 <i>Protector extra de sensores</i>	86
Figura 59 <i>Resistencia calefactora tipo resorte 120V 600W</i>	89
Figura 60 <i>Partes del calefactor, vista interna de la carcasa de calefacción</i>	90
Figura 61 <i>Ensamblaje de ventilador y niquelina en carcasa</i>	91
Figura 62 <i>Convergencia del desplazamiento resultante</i>	91
Figura 63 <i>Factor de seguridad obtenido de acople</i>	92
Figura 64 <i>Ensamblaje de carcasa calefactora de compartimentos inferiores</i>	92
Figura 65 <i>Partes internas del sistema de ventilación</i>	94
Figura 66 <i>Resultados de convergencia del método adaptativo para el desplazamiento</i>	94
Figura 67 <i>Resultados de desplazamiento y factor de seguridad del modelo</i>	95
Figura 68 <i>Sistema de ventilación sin protecciones implementado en el prototipo</i>	95
Figura 69 <i>Carro rodante para sistemas colgantes</i>	98
Figura 70 <i>Partes de la pala limpiadora</i>	98
Figura 71 <i>Diagrama de fuerzas externas en la pala limpiadora</i>	99

Figura 72 <i>Diagrama de cuerpo libre de desechos.</i>	100
Figura 73 <i>Motor AC 60KTYZ e inversión de giro.</i>	101
Figura 74 <i>Sección de maquinaria en IBC.</i>	103
Figura 75 <i>Mallado adaptativo en el soporte y resultado de convergencia del desplazamiento.</i>	103
Figura 76 <i>Factor de seguridad del soporte del motor.</i>	104
Figura 77 <i>Modelado de cubiertas y ensamblaje en el software.</i>	104
Figura 78 <i>Ensamblaje de cubiertas para rieles colgantes.</i>	105
Figura 79 <i>Partes del tensor de cadena derecho.</i>	105
Figura 80 <i>Partes del tensor de cadena izquierdo.</i>	106
Figura 81 <i>Deshumidificador Eva-Dry.</i>	107
Figura 82 <i>Sensor de humedad y temperatura 0-10V y sus dimensiones.</i>	108
Figura 83 <i>Relé de estado sólido MaxWell.</i>	110
Figura 84 <i>Características técnicas del relé de estado sólido.</i>	110
Figura 85 <i>Diagrama funcional general.</i>	112
Figura 86 <i>Diagrama funcional de PCB.</i>	112
Figura 87 <i>Características técnicas del regulador LM 7805.</i>	112
Figura 88 <i>Circuito para cambio de giro.</i>	113
Figura 89 <i>Diseño de PCB.</i>	113
Figura 90 <i>Vista 3d superior e inferior de la placa PCB.</i>	114
Figura 91 <i>Diagrama eléctrico.</i>	115
Figura 92 <i>Características técnicas de la fuente.</i>	116
Figura 93 <i>Tablero de control y potencia montados en el prototipo.</i>	118
Figura 94 <i>Cubierta para el tablero de control.</i>	119
Figura 95 <i>Fragmento de programación en lenguajes escalera.</i>	120

Figura 96 Pestaña de seguridad del servidor web de logo.	122
Figura 97 Pestaña principal de supervisión.....	123
Figura 98 Pestaña de control.	123
Figura 99 Menú desplegable de navegación.	124
Figura 100 Pestaña de tendencias.	124
Figura 101 Circuito implementado para la adquisición de datos.	127
Figura 102 Datos del 2 de agosto en ThingSpeak.	128
Figura 103 Datos de temperatura recolectados del 02/08/2022.	128
Figura 104 Datos de temperatura obtenidos del 23/07 al 06/08 del 2022.	129
Figura 105 Resultados 25 de septiembre 8 pm.	131
Figura 106 Resultado 25 de septiembre 10 pm.	132
Figura 107 Resultados 3 de octubre 00:00.....	132
Figura 108 Control de temperatura y humedad 22/11/2022, 10pm.	137
Figura 109 Prueba del modo automático 10:00 pm.	137
Figura 110 Valor promedio de temperatura en los compartimentos.	146
Figura 111 Valor promedio de humedad en los compartimentos.	146

Resumen

En la región Sierra del Ecuador una actividad económica desarrollada por la población campesina es la crianza de cuyes. Actualmente esta actividad se la desarrolla de manera inadecuada sin ningún conocimiento sobre las características necesarias del hábitat: temperatura, humedad y limpieza.

Este proyecto consiste en el diseño, construcción e implementación de un prototipo con ambiente controlado y limpieza automatizada para la crianza adecuada de cuyes en el cantón Salcedo provincia de Cotopaxi. Se evitan las bajas y altas temperaturas, así como la humedad excesiva, además se mantiene el prototipo libre de desechos generados por los cuyes.

El prototipo cuenta con sistemas de ventilación y calefacción que mantienen la temperatura dentro del rango de 18 °C a 24 °C y la humedad ambiental por debajo del 60%. Un sistema de desplazamiento horizontal realiza la limpieza de desechos en dos horarios 7am y 7pm, los desechos caen por un costado del prototipo para su posterior tratamiento por parte de la persona encargada, permitiendo así que los desechos no estén en contacto directo con los cuyes. El sistema de ventilación mantiene el aire fresco al interior del prototipo ya que cuenta con mecanismos de apertura de ventanas. Mediante la HMI programada en el servidor web del PLC se podrá realizar un monitoreo constante de las variables de temperatura y humedad además del estado de los ventiladores, motores y calefactores en el ambiente. Todo el prototipo cuenta con soportes y cubiertas protectoras en tol galvanizado, los diseños se realizaron precautelando la integridad de los cuyes al interior del prototipo. Cada uno de los componentes del prototipo son estándar y fáciles de adquirir en el mercado nacional, además cada sistema es modular, facilitando así los mantenimientos a futuro en el prototipo.

Palabras clave: crianza de cuyes, ambiente controlado, limpieza automatizada, control de temperatura.

Abstract

In the Sierra region of Ecuador, an economic activity developed by the peasant population is the breeding of guinea pigs. Currently this activity is carried out inadequately without any knowledge about the necessary characteristics of the habitat: temperature, humidity and cleanliness.

This project consists of the design, construction, and implementation of a prototype with a controlled environment and automated cleaning for the proper breeding of guinea pigs in the Salcedo canton, Cotopaxi province. Low and high temperatures are avoided, as well as excessive humidity, in addition the prototype is kept free of waste generated by the guinea pigs.

The prototype has ventilation and heating systems that maintain the temperature within the range of 18 °C to 24 °C and the environmental humidity below 60%. A horizontal displacement system cleans the waste at two times, 7am and 7pm, the waste falls on one side of the prototype for its subsequent treatment by the person in charge, thus allowing the waste to not be in direct contact with the guinea pigs. The ventilation system keeps fresh air inside the prototype as it has window opening mechanisms. Through the HMI programmed in the PLC web server, constant monitoring of the temperature and humidity variables can be carried out, as well as the status of the fans, motors and heaters in the environment. The entire prototype has supports and protective covers in galvanized tol, the designs were made taking care of the integrity of the guinea pigs inside the prototype. Each of the components of the prototype are standard and easy to acquire in the national market, in addition each system is modular, thus facilitating future maintenance on the prototype.

Keywords: guinea pig breeding, controlled environment, automated cleaning, temperature control.

Capítulo 1

Introducción

El capítulo inicia con los antecedentes de la problemática, la descripción del proyecto, el alcance, la importancia del proyecto y finalmente se plantean los objetivos a ser alcanzados.

Antecedentes

El cuy es una especie típica en la región andina de América del sur. La carne de esta especie contiene altos niveles de proteínas, además de vitaminas y minerales. Actualmente la crianza de cuyes se lleva a cabo de manera tradicional sin ningún tipo de conocimiento técnico acerca de las características necesarias de un ambiente propicio para la crianza de esta especie.

Principalmente esta actividad se lleva a cabo en dos tipos de hábitat

1. Pozas:

Construcciones similares a una vivienda con varios compartimentos de forma cuadrada y asentados directamente en el suelo. Este método de crianza presenta dificultades en la limpieza ya que los animales están en contacto directo con sus propios desechos. En la figura 1 se observan dos tipos de pozas para la crianza de cuyes.

2. Jaulas:

Construcciones de forma cuadrada suspendidas en el aire, comúnmente son construidas enteramente de madera con mallas metálicas para mantener a los cuyes en la parte superior. Este método de crianza permite que los cuyes no tengan contacto directo con sus desperdicios, pero el aislamiento de las paredes es mínimo, exponiendo así a temperaturas bajas a los cuyes, además la capacidad de las jaulas es inferior a la capacidad del sistema de pozas. En la figura 2 se muestran jaulas para la crianza de cuyes.

Figura 1

Pozas para crianza de cuyes.



Poza de cuyes construida con adobes

Poza de cuyes construida con ladrillos

Nota: Imagen obtenida de (León M. C., 2009).

Figura 2

Jaulas usadas para la crianza de cuyes.



Jaula construida con madera y malla metálica.

Jaula de dos pisos construida con madera.

Nota: Imagen obtenida de (León M. C., 2009).

Existen varios factores que permiten obtener una crianza adecuada de esta especie entre los más importantes: temperatura, humedad y limpieza. Los valores y características de estos factores se detallan a continuación.

- Valor de temperatura entre: 18 y 24 °C.
- Humedad relativa menor o igual a 60%.
- Buena ventilación.

Las principales causas de que los cuyes se enfermen o no se desarrollen de manera adecuada son.

- Exposición a corrientes de aire fuertes de manera directa.
- Temperaturas elevadas o muy bajas, cambios bruscos de temperatura.
- Limpieza inadecuada de los desechos, Presencia de gérmenes o animales intrusos.
- Ambiente demasiado húmedo.

Descripción del Proyecto

Este proyecto consiste en el diseño, construcción e implementación de un entorno con ambiente controlado y limpieza automatizada para la crianza adecuada de cuyes en el cantón Salcedo provincia de Cotopaxi. Se controlan dos variables: temperatura y humedad. Estas dos variables deberán mantenerse en un rango, con base en (Zaldívar, 1997), la temperatura debe mantenerse entre 18 y 24 °C ya que a temperaturas elevadas los cuyes pueden sufrir de postración por calor además que influye en la infertilidad de los cuyes machos. La humedad ambiental relativa máxima debe ser de 60%. A humedades bajas es menor la sobrevivencia de los microorganismos patógenos. A humedades altas se generan problemas respiratorios en los cuyes.

El entorno es de tipo jaula y consta de un mecanismo de transporte de desechos, el cual permite mantener un ambiente libre de gérmenes evitando así enfermedades y posibles muertes. La temperatura y la humedad se controlan mediante ventiladores, niquelinas y mecanismos de apertura de ventanas para una correcta ventilación del espacio.

Mediante un PLC LOGO se controla: las niquelinas y los ventiladores tanto para calentar o enfriar el ambiente, los motorreductores para realizar la limpieza de la jaula, los motorreductores para abrir o cerrar las ventanas y automatizar el proceso. El PLC también se encarga de la lectura de sensores análogos tanto de temperatura como de humedad. Se realizó una interface HMI en el servidor web del

PLC LOGO que permite monitorear las características del ambiente (temperatura y humedad) además del estado de los ventiladores, motorreductores y niquelinas.

Conforme a los requerimientos de parte de la persona auspiciante el entorno seleccionado es en forma de jaula ya que implica una menor área necesaria para su implementación, su estructura será metálica y paredes de madera, se tienen cuatro compartimentos los cuales son monitoreados y controlados.

El proyecto se desarrolló en un ámbito multidisciplinario ya que existe un diseño tanto mecánico, electrónico y computacional que conjuntamente interaccionan entre sí para el correcto funcionamiento del entorno.

Justificación e Importancia

La crianza de cuyes actualmente se la desarrolla de manera inadecuada, sin brindar las mejores condiciones con las cuales obtener mayor provecho tanto en producción como en calidad del criadero, surgiendo la necesidad de tecnificar y automatizar el proceso.

Con el diseño y construcción de este prototipo se busca obtener una mejora tanto en la producción como en la calidad de los cuyes.

El proyecto ayudará en la reducción de enfermedades y muertes en los cuyes, a través de la eliminación de desechos propios, el control de temperatura y el exceso de humedad, los datos a mejorarse serán obtenidos del criadero con la ayuda de sensores de temperatura y humedad además de datos propios del criadero como número de muertes por semana, número de cuyes enfermos, etc.

Luego de implementar el entorno, mediante la toma de datos y comparación se podrá verificar la existencia de una mejora.

La participación en el desarrollo de este proyecto permite realizar investigación en favor de alcanzar una mejora en el proceso de construcción y diseño de máquinas agroindustriales que aporten al desarrollo del país.

Alcance del Proyecto

El alcance del proyecto contempla la estructura tipo jaula, el control de la temperatura y humedad internas y la limpieza automatizada. A continuación, se detalla cada uno de los componentes de este prototipo.

Componente Mecánico

- Simulaciones CAE para verificar el correcto diseño de la estructura. Verificación de que la estructura sea capaz de soportar las cargas muertas y vivas presentes.
- Sujeciones mediante pernos y tornillos autoperforantes. Dimensionamiento de los mismos con base a las cargas que soportan.
- Estudio de características del material necesario para bases de limpieza manteniendo así un ambiente adecuado para los cuyes.
- Sistema de limpieza mediante cadenas piñones y motorreductores debe trasladar todos los desechos sobre la base de limpieza dejándolos caer a un lado del prototipo.
- Mecanismo de apertura de ventanas.
- Dimensionamiento de las bisagras necesarias en las puertas del prototipo de manera que soporten las cargas presentes.
- Acondicionamiento mecánico de los sensores de humedad y temperatura.
- Planos mecánicos de construcción y ensamblaje con base a la norma CPE INEN 003.
- Diseño mecánico con base a requerimientos de modularidad y estandarización de partes del prototipo.

Componente Eléctrico/ Electrónico

- Dimensionamiento de: categoría de cable, breaker y caja térmica con base a la potencia consumida por el prototipo.
- Diseño de circuito para cambio de giro de los motores AC destinados a limpieza.
- Diseño de placa electrónica (PCB) para los mecanismos de apertura de ventanas.
- Diseño de circuito para adquisición de datos de temperatura y humedad.
- Acondicionamiento electrónico para los sensores de temperatura y humedad.
- Diseño del tablero eléctrico control, potencia y protecciones.

Componente Informático

- Modelado 3d del prototipo y cada una de sus partes.
- Elaboración de planos de construcción, ensamblaje y vistas explotadas.
- Programación del PLC LOGO con base a graficet estructurado.
- Programación de HMI de alto rendimiento según recomendaciones de la guía GEDIS.

Objetivos

Objetivo General

- Diseñar, construir e implementar un entorno con ambiente controlado y limpieza automatizada para la crianza adecuada de cuyes en el cantón Salcedo provincia de Cotopaxi.

Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar un sistema que permita la limpieza automatizada de los desechos producidos por los cuyes.

- Diseñar e implementar un sistema que controle la temperatura y humedad del entorno en donde se encuentran los cuyes.
- Diseñar e implementar un sistema mecánico para la apertura automática de ventanas.
- Diseñar un HMI (interfaz humano máquina) que permita observar el valor de temperatura y humedad del entorno, además del estado de los actuadores en tiempo real.
- Analizar los resultados obtenidos de temperatura y humedad.

Capítulo 2

Marco Teórico

Introducción

En este capítulo se detallan varios conceptos importantes en el desarrollo de este proyecto, inicialmente se dan a conocer aspectos generales de esta especie: tipos de cuyes, enfermedades comunes y condiciones de vida actual.

A continuación, se plantean conceptos acerca de ambientes controlados y los tipos de controladores existentes para mantener la temperatura y humedad en los rangos recomendados. Finalmente se detallan métodos de transmisión mecánica para implementar el sistema de limpieza.

Aspectos Generales de la Especie

Concepto

El cuy o *cavia porcellus* es un mamífero roedor que habita comúnmente en zonas andinas como Ecuador, Perú, Bolivia y Colombia. De esta especie se consume su carne ya que es rica en nutrientes y su costo de producción es bajo. Personas del campo se dedican a la actividad de crianza de cuyes como método para generar ingresos económicos.

Clasificación

Existe gran variedad de tipos y líneas de esta especie a continuación se muestra la clasificación por tipos:

- Tipo 1: se caracteriza por su pelo corto y lacio como se observa en la figura 3.
- Tipo 2: se caracteriza por tener pelo irregular y lacio como se aprecia en la figura 4.
- Tipo 3: tiene pelo largo, irregular y lacio como se observa en la figura 5.

Figura 3

Cuy tipo 1.



Nota: Imagen obtenida de (León M. C., 2009).

Figura 4

Cuy tipo 2.



Nota: Imagen obtenida de (León M. C., 2009).

Figura 5

Cuy tipo 3.



Nota: Imagen obtenida de: (León M. C., 2009).

También se pueden clasificar a los cuyes en dos líneas comunes.

- **Línea Perú:** son cuyes de tipo 1, excelentes productores de carne, comúnmente 3 crías por parto y son de color alazán puro o combinado con blanco. En la figura 6 se observa un cuy de esta línea.

Figura 6

Cuy de la línea Perú.



Nota: Imagen obtenida de: (León M. C., 2009).

- **Línea Andina:** son del tipo 1, comúnmente tienen 5 crías por parto y se distinguen por su color blanco como se observa en la figura 7.

Figura 7

Cuyes de la línea Andina.



Nota: Imagen Obtenida de: (León M. C., 2009).

El tipo de cuyes que se ubican en el prototipo son tanto de la línea Perú y Andina teniendo un número mayoritario de cuyes de la línea Perú.

Crianza de Cuyes

Para una crianza adecuada de cuyes según: (León M. C., 2009) existen cuatro pilares básicos que son: el manejo, la sanidad, la alimentación y la genética.

Manejo de Cuyes

Serie de pasos que deben realizarse con el objetivo de obtener cuyes con mejor desarrollo, sin enfermedades y mayor número de crías en cada parto. Principalmente son: empadre, gestación, parto, destete, recría y venta. Es necesario 90 días para tener cuyes desarrollados y adecuados para su venta (León M. C., 2019, pág. 4).

Sanidad de Cuyes

Las enfermedades que se pueden presentar en los cuyes se dividen en tres tipos: Infecciosas, parasitarias y carenciales (León M. C., 2009, pág. 15).

Enfermedades Infecciosas

Salmonelosis. producida por un germen presente en los desechos de diversos animales, es capaz de matar a cuyes de todas las edades. Se identifica esta enfermedad cuando en el criadero existen los siguientes signos: Las hembras abortan sus crías de manera continua, los cuyes empiezan a arrastrar las patas posteriores, pelos de los cuyes erizados, vientre agrandado. Se puede prevenir esta enfermedad con las siguientes acciones: mantener alejado a otro tipo de animales, mantener limpio el criadero, no colocar demasiados cuyes en un compartimento (se recomienda de 6 a 9 cuyes) (León M. C., 2009, pág. 16).

Neumonía. producida por gérmenes afectando directamente los pulmones, las crías son las más propensas a esta enfermedad. Los signos comúnmente son: crías alejadas del grupo, presencia de

secreción nasal, dificultad para respirar y ausencia de apetito. Esta enfermedad se previene al evitar que las corrientes de aire ingresen al hábitat de los animales (León M. C., 2009, pág. 17).

Linfadenitis. producida por gérmenes presentes en los desechos de los propios cuyes. Los signos que se presentan son los siguientes: presencia de bultos cercanos a la cabeza de los cuyes, presencia de materia o pus en los bultos. Se puede prevenir esta enfermedad limpiando el criadero de manera continua (León M. C., 2009, pág. 18).

Enfermedades Parasitarias

Caracha o Sarna. Producida por parásitos diminutos, ataca a todos los cuyes y es muy contagiosa, los signos de esta enfermedad son: los cuyes empiezan a perder pelo, se rascan continuamente, formación de heridas en las zonas sin pelo. Para prevenir esta enfermedad se debe mantener limpio el criadero y no se debe colocar demasiados cuyes en un grupo (León M. C., 2009, pág. 20).

Coccidiosis. producida por parásitos en el estómago de los cuyes se transmite debido al consumo de pasto contaminado. Los signos de la presencia de esta enfermedad son: pérdida de peso y muerte repentina. Se puede prevenir esta enfermedad limpiando continuamente el criadero, evitando humedad excesiva y no colocar demasiados cuyes en el grupo (León M. C., 2009, pág. 22).

Enfermedades Carenciales

Se producen por una defectuosa alimentación. Los signos son: poca ganancia de peso en los animales a pesar de que consumen la cantidad normal de alimento, pelaje opaco y sin brillo, menos crías por parto y las crías son más pequeñas de lo habitual. El tratamiento de esta enfermedad es con una adecuada dieta y mejorando la calidad del alimento suministrado (León M. C., 2009, pág. 23).

Ambiente Controlado

En Ecuador especialmente en la región sierra los cambios bruscos de clima generan dificultades en la crianza de varios animales (entre ellos los cuyes). Al estar expuestos a temperaturas altas y bajas estos no se desarrollan de manera satisfactoria y su producción se reduce considerablemente. La climatización del ambiente permite mantener tanto la temperatura como la humedad con valores adecuados para el desarrollo correcto de esta especie.

La ventilación del ambiente es otro parámetro importante ya que un ambiente mal ventilado puede generar problemas respiratorios en los animales al interior.

Actualmente los lugares en donde se crían cuyes no tienen las características técnicas apropiadas, sometiendo a los animales a condiciones adversas para su correcto desarrollo. Los cuyes son más tolerantes al frío que al calor la temperatura óptima del ambiente según varios estudios presentados por (Zaldívar, 1997) oscila entre 18 y 24 °C. La humedad relativa ideal está por debajo del 60% ya que a esta humedad es menor la cantidad de microorganismos presentes en el ambiente.

Sistema de Control

Un sistema es una combinación de componentes que realizan un determinado objetivo. Se distinguen dos tipos de sistemas de control: lazo cerrado y lazo abierto.

El sistema de control de lazo cerrado se caracteriza por alimentar al controlador con una señal de error que resulta de la resta entre la señal de entrada o valor requerido y la salida o valor obtenido, la acción de control es variable permitiendo así reducir el error del sistema y obtener el valor requerido en la señal de salida (Ogata, 1995).

En un sistema de control de lazo abierto la salida no tiene efecto sobre la acción de control es decir no existe la comparación entre una variable de entrada y la salida obtenida. En este sistema es común el uso de tiempos para realizar las acciones sin tener una medida de qué tan adecuado fue el

resultado. Las ventajas y desventajas de usar un sistema de lazo abierto se presentan en la tabla 1 (Ogata, 1995). En la figura 8 se muestra un diagrama de bloques de un sistema de control industrial de lazo cerrado.

Tabla 1

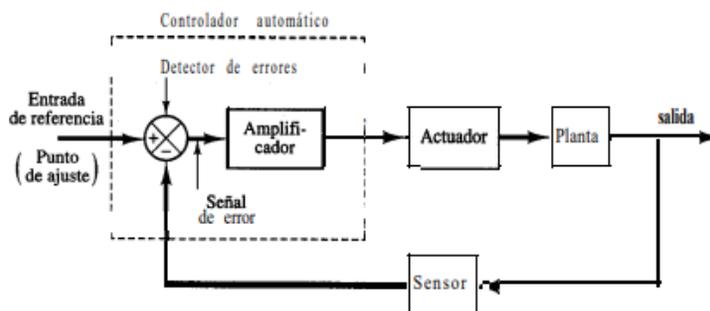
Ventajas y desventajas de un sistema de lazo abierto.

Ventajas	Desventajas
Facilidad de mantenimiento.	Las perturbaciones originan errores.
Menos costos de implementación.	La salida puede ser diferente a lo deseado.
Conveniente para salidas difíciles de medir.	Es necesario recalibrar el sistema.

Nota: información obtenida de: (Ogata, 1995).

Figura 8

Diagrama de bloques de un sistema de control industrial de lazo cerrado.



Nota: Figura obtenida de: (Ogata, 1995).

Acciones Básicas de Control

Las acciones básicas de control en controladores industriales se clasifican en.

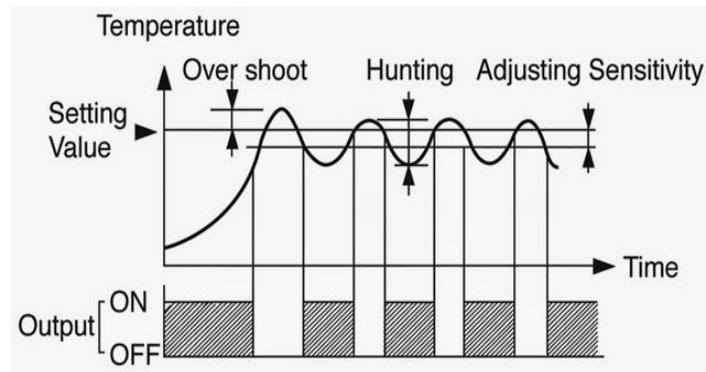
Dos Posiciones Encendido y Apagado

Conocida como ON – OFF, el elemento actuador tiene dos posiciones: encendido y apagado. Esta acción de control es simple y económica razón por la cual es muy usada en el ambiente industrial y doméstico.

El actuador se enciende o se apaga dependiendo del signo del error. Este método de control es usado en aplicaciones que no necesitan gran precisión ya que el valor de la respuesta tenderá a oscilar como se observa en la figura 9 (Ogata, 1995).

Figura 9

Control ON-OFF de temperatura.



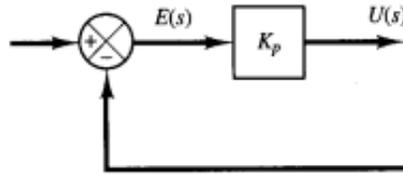
Nota: Figura obtenida de (Ceiisa, 2016).

Proporcional

La relación entre la variable de salida y el error es $u(t) = K_p e(t)$ donde K_p representa la ganancia proporcional. El controlador proporcional es un amplificador con ganancia ajustable K_p en la figura 10 se muestra el diagrama de bloques del control proporcional (Ogata, 1995).

Figura 10

Diagrama de bloques de un controlador proporcional.



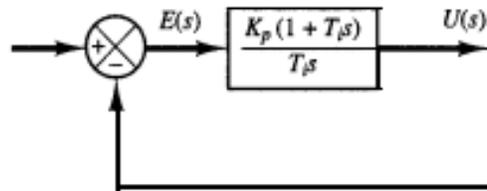
Nota: Figura obtenida de: (Ogata, 1995).

Proporcional Integral

Se define mediante la siguiente ecuación de transferencia: $\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right)$, donde K_p es la ganancia proporcional y T_i es el tiempo integral. T_i ajusta la acción de control integral. En la figura 11 se observa el diagrama de bloques del controlador integral (Ogata, 1995).

Figura 11

Diagrama de bloques de un controlador proporcional integral.



Nota: Figura obtenida de (Ogata, 1995).

Proporcional Integral Derivativa

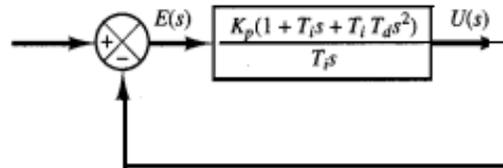
Combinación de las acciones de control proporcional, integral y derivativa, conocida como PID.

La función de transferencia de esta acción de control es: $\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right)$ donde K_p es la ganancia proporcional, T_i es el tiempo integral y T_d es el tiempo derivativo.

En la figura 12 se muestra el diagrama de bloques del controlador PID y en la figura 13 se muestra la comparación de los distintos controladores ante una entrada rampa unitaria (Ogata, 1995).

Figura 12

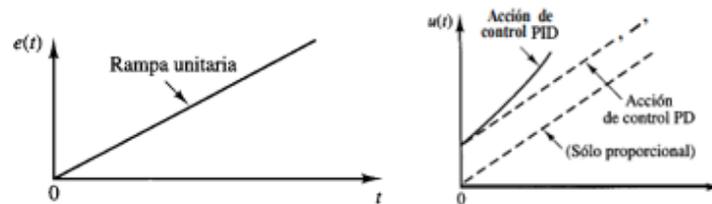
Diagrama de bloques del controlador PID.



Nota: Figura obtenida de (Ogata, 1995).

Figura 13

Rampa unitaria como entrada y respuesta de los diferentes controladores.



Nota: Figura obtenida de (Ogata, 1995)

Control de Temperatura

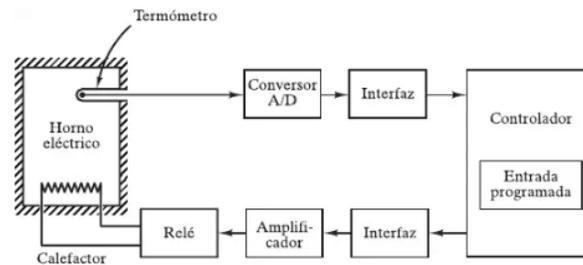
Según (RAE, 2022), la temperatura es una magnitud física que expresa el grado de frío o calor de un cuerpo o el ambiente, sus tres escalas más comunes son $^{\circ}\text{C}$, K y $^{\circ}\text{F}$.

Para realizar el control de temperatura en un ambiente es necesario obtener el valor de temperatura mediante un sensor, luego acondicionar la salida del sensor para que pueda ser transmitida a un controlador y este sea el encargado de controlar a los actuadores (niquelinas y ventiladores).

La figura 14 muestra un diagrama esquemático del control de temperatura en un horno eléctrico. El termómetro mide la temperatura interna del horno, mediante un convertidor análogo a digital (A/D) se convierte la señal análoga del termómetro a una señal digital, mediante una interfaz el valor de la temperatura digital ingresa al controlador y este compara el valor obtenido con el valor deseado de temperatura y de acuerdo al error envía la señal necesaria al calefactor mediante una interfaz un amplificador y un relé (Ogata, 1995).

Figura 14

Sistema de control de temperatura.



Nota: Figura obtenida de (Ogata, 1995).

Control de Humedad Relativa.

La humedad relativa según (RAE, 2022) es un valor porcentual que indica la cantidad de vapor de agua presente en el aire con respecto a la máxima posible para las condiciones de presión y temperatura. Para controlar la humedad es necesario obtener el valor porcentual de la misma con la ayuda de sensores o transmisores y mediante el controlador calentar el ambiente logrando así que las partículas de agua en el aire se evaporen y por consiguiente el valor de la humedad relativa se reduzca.

Ventilación

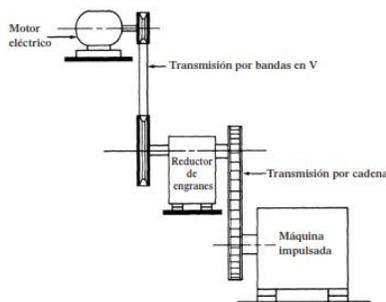
Mediante ventiladores y ventanas automáticas se permite la circulación de aire limpio al interior del prototipo. Con este control se logra que los animales tengan un aire fresco evitando así enfermedades respiratorias.

Transmisiones Mecánicas

Las bandas y cadenas son elementos flexibles comunes para la transmisión de potencia, las bandas trabajan con poleas y las cadenas con ruedas dentadas conocidas como catarinas, en la figura 15 se observa una transmisión combinada (Mott, 2006).

Figura 15

Esquema de transmisión combinada.



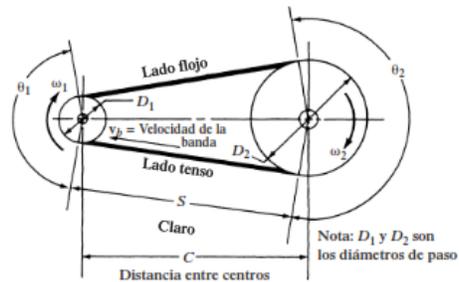
Nota: Figura obtenida de (Mott, 2006).

Transmisión por Banda

Una banda es un elemento flexible que se coloca en poleas acanaladas, existen bandas planas, dentadas, en V, etc. La polea pequeña por lo general se coloca en el elemento motriz y una polea de diámetro mayor es colocada en la máquina impulsada. La banda se caracteriza por tener un lado tenso y un lado flojo como se observa en la figura 16. En un mecanismo con bandas es común encontrar un sistema que permita tensar la banda y así obtener una mejor transmisión de la potencia (Mott, 2006).

Figura 16

Transmisión por banda.



Nota: Figura obtenida de (Mott, 2006).

Bandas síncronas

Presenta dientes transversales en la cara interna de la banda, los dientes engranan en ranuras presentes en poleas dentadas obteniendo así un desplazamiento positivo y sin deslizamiento. En la figura 17 se observa una banda síncrona con una polea dentada (Mott, 2006).

Figura 17

Banda síncrona y polea dentada.



Nota: imagen obtenida de (Mott, 2006).

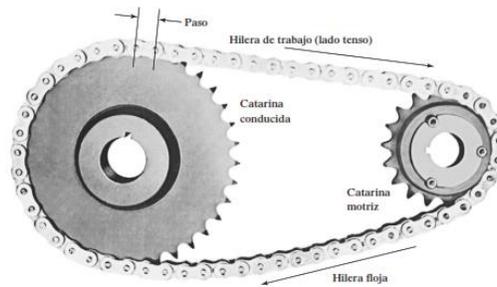
Transmisión por Cadena

Una cadena es un elemento flexible formado por una serie de eslabones unidos entre si permitiendo transmitir grandes fuerzas de tensión. El tipo común de cadena es la de rodillos. Para

transmitir potencia los eslabones de la cadena se insertan en los dientes de una rueda dentada conocida como Catarina (figura 18). Cabe mencionar que al igual que en la transmisión con bandas en la transmisión por cadena también se presenta un lado tenso y un lado flojo (Mott, 2006).

Figura 18

Transmisión por cadena de rodillos.



Nota: Imagen obtenida de (Mott, 2006).

Capítulo 3

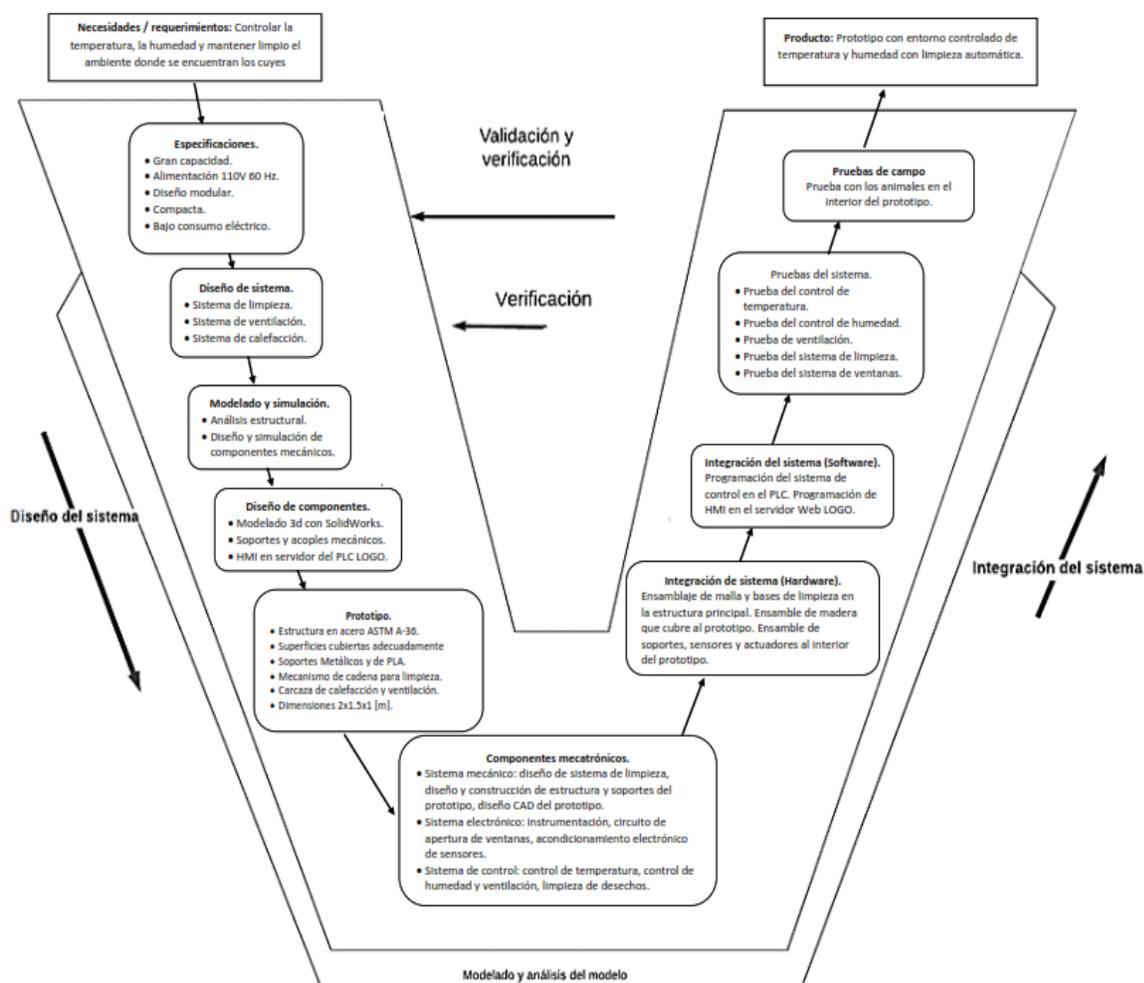
Diseño y construcción

Metodología

La metodología usada en el desarrollo del presente proyecto consiste en la aplicación del modelo en V de la norma VDI 2206 (Graessler, 2020), en la figura 19 se muestra la metodología aplicada.

Figura 19

Metodología aplicada.



Nota: norma VDI 2206 (Graessler, 2020).

Ingeniería de Requisitos

Requerimientos y Parámetros de Diseño

Con el objetivo de desarrollar la Casa de Calidad (QFD), se detallan las necesidades y/o requerimientos en la tabla 2. Las características técnicas de acuerdo a los requerimientos se detallan en la tabla 3. La simbología usada en la matriz QFD se detalla en la tabla 4.

Tabla 2

Requerimientos del prototipo.

N°.	Requerimiento
1	Alta capacidad
2	Larga vida útil
3	Fácil manejo
4	Fácil mantenimiento
5	Dispositivo modular
6	Prototipo seguro
7	Evitar acumulación de desechos
8	Mantener humedad y temperatura adecuadas
9	Bajo consumo eléctrico
10	Adecuada ventilación interna

Nota: Requerimientos impuestos por la persona auspiciante.

Tabla 3

Características técnicas.

Nº.	Característica Técnica
1	Cantidad de cuyes en cada compartimento.
2	Diseño industrial de prototipo.
3	Panel de control y HMI con base a normas.
4	Tiempo de ensamble y desensamble.
5	Tiempo para cambio de piezas (repuestos).
6	Soportes y cubiertas protectoras.
7	Limpieza mediante movimiento lineal de la pala limpiadora.
8	Diseño de controlador y actuadores adecuados.
9	Potencias reducidas en actuadores.
10	Uso adecuado de ventiladores.

Nota: Características correspondientes a cada uno de los requerimientos .

Tabla 4

Simbología de la matriz QFD.

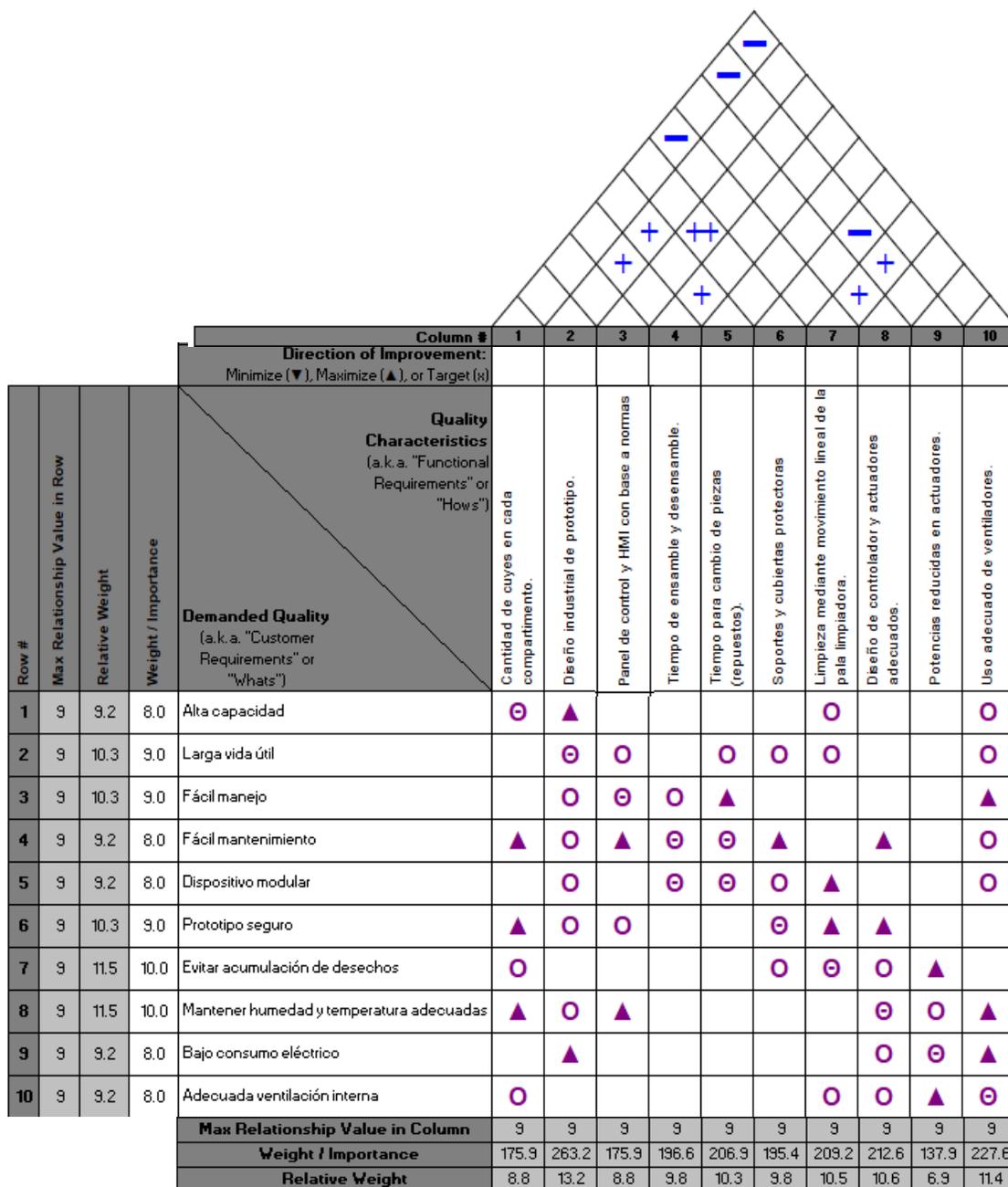
Símbolo	Detalle	Símbolo	Detalle
	Fuerte relación.		Fuerte correlación positiva.
	Relación moderada.		Correlación positiva.
	Débil relación.		Correlación negativa.

Nota: Información obtenida de (José, 2015).

Luego de identificar los requerimientos y sus características técnicas se forma la matriz QFD mostrada en la figura 20. Cada característica se ordena con base a su importancia (tabla 5).

Figura 20

Matriz QFD.



Nota: Información dentro de la matriz de fuente propia.

Tabla 5

Ponderación de las características técnicas.

Nº.	Característica técnica	Ponderación
1	Cantidad de cuyes en cada compartimento.	8.8
2	Diseño industrial de prototipo.	13.2
3	Panel de control y HMI con base a normas.	8.8
4	Tiempo de ensamble y desensamble.	9.8
5	Tiempo para cambio de piezas (repuestos).	10.3
6	Soportes y cubiertas protectoras.	9.8
7	Limpieza mediante movimiento lineal de la pala limpiadora.	10.5
8	Diseño de controlador y actuadores adecuados.	10.6
9	Potencias reducidas en actuadores.	6.9
10	Uso adecuado de ventiladores.	11.4

Nota: Diseño industrial es la característica con mayor ponderación.

Solución Tradicional Contra Nuevos Enfoques.

Actualmente no existe un sistema para uso especial en cuyes. Una empresa española dedicada a la construcción de entornos controlados de temperatura y humedad es Kardex las soluciones brindadas son el control de temperatura y atmósfera seca.

El control de temperatura se realiza para el almacenamiento de piezas sensibles. En la figura 21 se muestran varias cabinas de control implementados por la empresa Kardex.

Figura 21

Entornos con control de temperatura implementados por Kardex.



Nota: imagen obtenida de (Kardex, 2022).

La empresa también brinda soluciones en el control de la humedad relativa dentro de un entorno, entre los trabajos realizados por la empresa están: 10% de humedad relativa mediante la purga de nitrógeno, secado por adsorción con un 5% de HR para almacenamiento de componentes SMD. En la figura 22 se muestra un entorno con control de humedad implementado por la empresa Kardex.

Figura 22

Entorno con control de humedad.



Nota: imagen obtenida de (Kardex, 2022).

Requisitos de Confiabilidad y Seguridad

El prototipo debe regular la temperatura y humedad interna de tal manera que el ambiente sea el adecuado para los cuyes, el control debe ser confiable. Todo el prototipo debe ser seguro tanto para los cuyes como para la persona encargada de su cuidado, la construcción del prototipo se realiza evitando fuentes de accidentes como cortes o golpes. Se evita la cercanía de puntas afiladas o partes que podrían provocar cortes.

Requisitos para los Costos de Desarrollo y Fabricación

La inversión por parte de la dueña del criadero fue de 1300\$ considerando el costo de los materiales y construcción del prototipo.

La mayoría de los elementos fueron adquiridos en el país a excepción de los sensores tanto de temperatura como de humedad que debido al costo y existencia se los adquirió fuera del país.

Especificación

El prototipo es de tipo jaula con 4 compartimentos de $0.6 m^3$ de volumen uno de los compartimentos superiores tiene menor volumen debido a que el tablero eléctrico se encuentra en la parte lateral del prototipo. Se realizó este compartimento extra de tal manera que los cuyes no tengan acceso a él y así evitar posibles accidentes.

La estructura del prototipo es de acero estructural ASTM A-36, para las bases principales se utilizó tubo cuadrado de 1 in x 1/8 in de espesor y para las uniones se usó perfil de 1 in y 1/8 in de espesor. Se soldó la estructura con proceso SMAW y fue pintada con esmalte color negro.

Los compartimentos tanto superiores como inferiores tienen como piso malla galvanizada, misma que se fija a la estructura principal mediante pernos galvanizados de $\frac{1}{4} \times \frac{3}{4}$ in. La función principal de la malla es permitir que los desechos de los cuyes caigan a las bases de limpieza para su posterior

tratamiento, las bases de limpieza son planchas de tol galvanizado de 0.45 mm de espesor sujeta a la estructura mediante remaches tipo POP de 1/8 in x 5/16 in y dobleces.

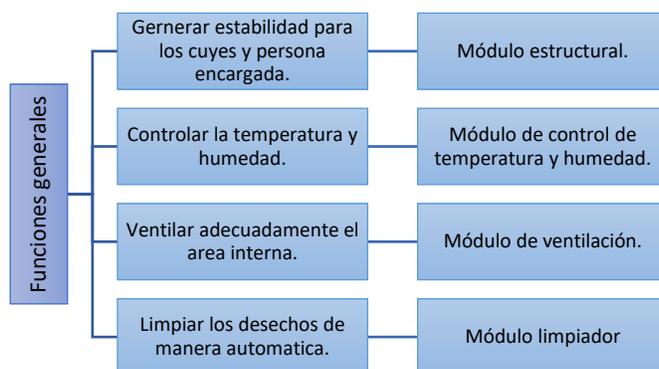
Sobre las bases de limpieza se desliza una pala limpiadora que se encarga de arrojar todos los desechos fuera del prototipo evitando así el contacto de los cuyes con sus propios desechos.

El control de temperatura se lleva a cabo mediante resistencias calefactoras y ventiladores. La humedad se controla mediante calefactores y deshumidificadores. Para la correcta ventilación de los compartimentos se implementó un sistema de ventanas automáticas.

En la figura 23 se muestra la división del prototipo en partes manejables para su posterior resolución e integración. En la figura 24 se observa el diagrama funcional del prototipo.

Figura 23

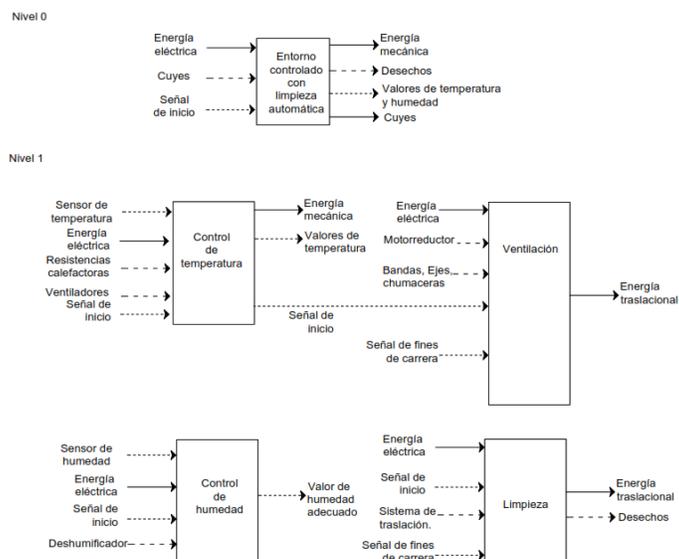
División por módulos.



Nota: división modular del prototipo.

Figura 24

Diagrama funcional del prototipo.



Nota: Diagrama de fuente propia.

Requerimientos

Los requisitos del prototipo (tabla 6) fueron sugeridos por la propietaria del criadero.

Tabla 6

Requisitos del prototipo.

Nº.	Característica técnica	Observaciones
1	Dimensión máxima de 2.5 m x 1.5 m.	El tamaño del prototipo no puede superar: 2.5m de largo y 1.5 m de profundidad
2	Capacidad mayor a 30 cuyes.	La capacidad de la jaula debe ser mayor a 30 cuyes.
3	Bajo consumo de energía eléctrica.	El consumo de energía eléctrica debe ser bajo para reducir el costo de producción.

N°.	Característica técnica	Observaciones
4	Tiempo de vida útil mayor a 5 años.	Los materiales y equipos empleados deberán tener un tiempo elevado de vida útil.
5	Limpieza de desechos de todos los compartimentos.	Los desechos generados por los propios cuyes deben ser limpiados a diario para evitar la proliferación de gérmenes.
6	Ventilación interna adecuada	La ventilación al interior de la jaula debe ser adecuada garantizando un aire de calidad para los cuyes.
7	Prototipo de fácil manejo.	La interfaz del prototipo y el tablero eléctrico debe ser intuitivo y de fácil uso.

Nota: requisitos expuestos por la persona auspiciante.

Diseño del Sistema

Luego de analizar cada uno de los requerimientos por parte de la propietaria del criadero se procede a realizar el diseño de cada uno de los módulos anteriormente separados.

Diseño Mecánico del Prototipo

Módulo Estructural

En este módulo se diseñó la estructura principal del prototipo, puertas de cada compartimento, cubiertas protectoras para los distintos sistemas y soportes de sensores y actuadores.

Estructura. Para el diseño resulta importante considerar el peso máximo. Para esto se desglosará a continuación tanto las cargas vivas y muertas sobre la estructura.

Cargas muertas

Paredes de madera. Las paredes de la jaula son cubiertas por tablas de eucalipto comunes de la zona y frecuentemente utilizadas en jaulas. El material específico es *eucalyptus globulus labill*, madera común en la región Sierra de Ecuador. Las características mecánicas de la madera se enlistan en la tabla 7 (EcuadorForestal, 2013).

Tabla 7

Características mecánicas del eucaliptus globulus labill.

Característica	Valor
Densidad.	0.55 g/cm ³
Flexión	
Esfuerzo medio.	873.06 kg/cm ²
Módulo de elasticidad medio.	133444.89 kg/cm ²
Esfuerzo mínimo.	633.77 kg/cm ²
Módulo de elasticidad mínimo.	93510.04 kg/cm ³

Nota: datos obtenidos de: (EcuadorForestal, 2013).

El espesor de las tablas de eucalipto es de 16 mm entonces la densidad por área es.

$$D_a = 0.55 \frac{g}{cm^3} * 1.6 \text{ cm} = 0.88 \frac{g}{cm^2} = 8.8 \frac{kg}{m^2}$$

Techo. el techo de la jaula es de material zinc metálico. El zinc de Novacero tiene las características que se observan en la tabla 8 (Novacero, 2022).

Tabla 8

Características del zinc de novacero.

Espesor	Ancho	Longitud	Peso / m²
mm	mm	m	kg/m ²
0.2	800	2.40	1.94

Nota: Características obtenidas de (Novacero, 2022).

El techo de la jaula es de 2.4 m de largo por 0.8 m de ancho teniendo un área de $1.92m^2$. El peso del techo de zinc es.

$$Peso_{techo} = 1.92 * 1.94 = 3.725kg.$$

Bases de Limpieza. Los desechos de los cuyes caen sobre una base de tol galvanizado Z60 (G20) de espesor 0.45 mm. El peso del tol galvanizado Z60 es de $3.26 kg/m^2$ (Trado, s.f.).

La dimensión de cada base es 2 m de largo y 1 metro de ancho, obteniendo así un peso de cada base de: $P_{base} = 2 m * 1 m * 3.26 \frac{kg}{m^2} = 6.52 kg$.

Cargas vivas.

Cuyes. En (Procampo, 2021) se detalla que en 13 semanas se puede obtener un cuy de 1 000 a 1 200 gramos. Se seleccionará el valor superior es decir 1.2 kg, en cada compartimento de la jaula se ubicó 10 cuyes adultos obteniendo un total de 40 cuyes en toda la jaula. El peso que soporta la estructura de todos los cuyes es.

$$P_{cuyestotal} = 1.2 * 40 = 48 kg$$

Modelado CAD. Mediante el software se realizó el modelado de la estructura. Para este fin se utilizó un perfil cuadrado de 1 in x 1/8 in de espesor y ángulo metálico laminado de 1 in x 1/8 in de

espesor. En la figura 25 se observa el modelo CAD realizado. Únicamente las seis patas se construirán con perfil cuadrado. La ficha técnica de cada perfil se encuentra en la sección apéndices (3 y 4).

Figura 25

Modelo CAD de la estructura.



Nota: modelo final de la estructura.

Una primera aproximación del comportamiento de la estructura ante las cargas se obtuvo mediante el análisis estático del software. A continuación, se detallan cada uno de los valores ingresados de cargas muertas y vivas.

- **Paredes de madera**

Pared frontal (2x1.50 metros).

$$P_{frontal} = 2 \text{ m} * 1.5 \text{ m} * 8.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 26.4 \text{ kg}$$

La carga vertical se aplica en las tres patas de la estructura, entonces en cada pata la carga es:

$$P_{front} = \frac{26.4}{3} = 8.8 \text{ kg}.$$

Pared posterior (2x1.4 metros).

$$P_{posterior} = 2 \text{ m} * 1.4 \text{ m} * 8.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 24.64 \text{ kg}$$

La carga vertical se aplica sobre las 3 patas, la carga sobre cada pata es:

$$P_{post} = \frac{24.64}{3} = 8.21 \text{ kg.}$$

Paredes laterales (1x1.5 metros).

$$P_{lateral} = 1 \text{ m} * 1.5 \text{ m} * 8.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 13.2 \text{ kg}$$

La carga vertical se aplica sobre las 2 patas laterales, la carga sobre cada una es:

$$P_{lat} = \frac{13.2}{2} = 6.6 \text{ kg.}$$

Cada madera se sujeta a la estructura mediante tornillos autoperforantes, se considera el peso de cada madera como uniforme, obteniendo así que la carga sobre cada tornillo será la misma.

- **Techo**

El peso del techo se consideró uniforme y será soportado por 7 perfiles en la parte superior. El peso en cada perfil es.

$$P_{czin} = \frac{3.725}{7} = 0.5321 \text{ kg.}$$

- **Bases de limpieza**

El peso de cada base se consideró uniforme y cada una es sujeta mediante remaches y dobleces. La base está soportada por 7 ángulos metálicos, el peso en cada perfil es.

$$P_{cbase} = \frac{6.52}{7} = 0.9314 \text{ kg.}$$

- **Cuyes:**

El peso de los cuyes en cada compartimento es.

$$P_{cuycomp} = \frac{48}{4} = 12 \text{ kg}$$

Esta carga se consideró de distribución uniforme para facilitar la simulación del modelo. La carga de los cuyes en cada compartimento será soportada por una malla metálica sujeta en el contorno del perfil angular, se sujetó el contorno de la malla con pernos en ambos compartimentos.

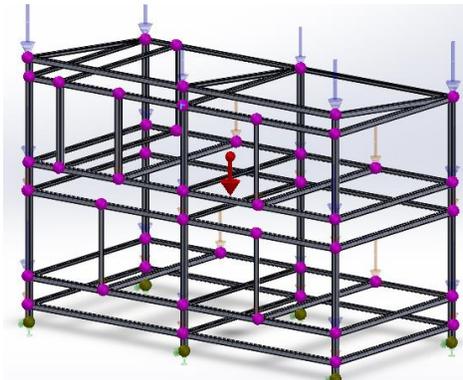
Esta carga será soportada en la parte superior por 10 perfiles es decir la carga en cada perfil es: $p_{comp1} = \frac{24}{10} = 2.4kg$. y en los compartimentos inferiores la carga está soportada por 9 perfiles:

$$p_{comp2} = \frac{24}{9} = 2.67kg.$$

Todas las cargas fueron ingresadas al software, además de las restricciones correspondientes, en la figura 26 se observa el modelo con las cargas y restricciones asignadas.

Figura 26

Modelo CAD aplicado cargas y restricciones.

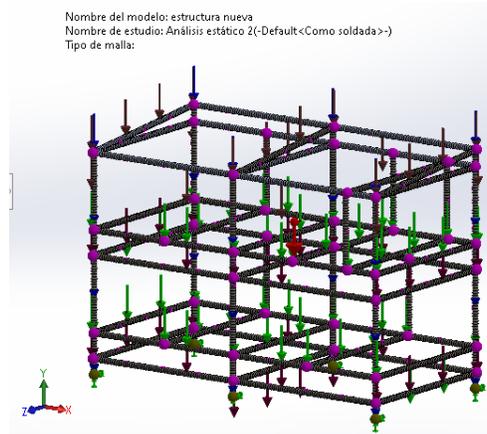


Nota: cargas aplicadas a la estructura.

El mallado aplicado a la estructura es un mallado fino como se observa en la figura 27 obteniendo así resultados más aproximados a la realidad.

Figura 27

Mallado fino de la estructura.



Nota: en la figura se observan todas las cargas y el mallado.

Resultados. los resultados obtenidos en la simulación estática se detallan a continuación.

Desplazamiento en el eje Y.

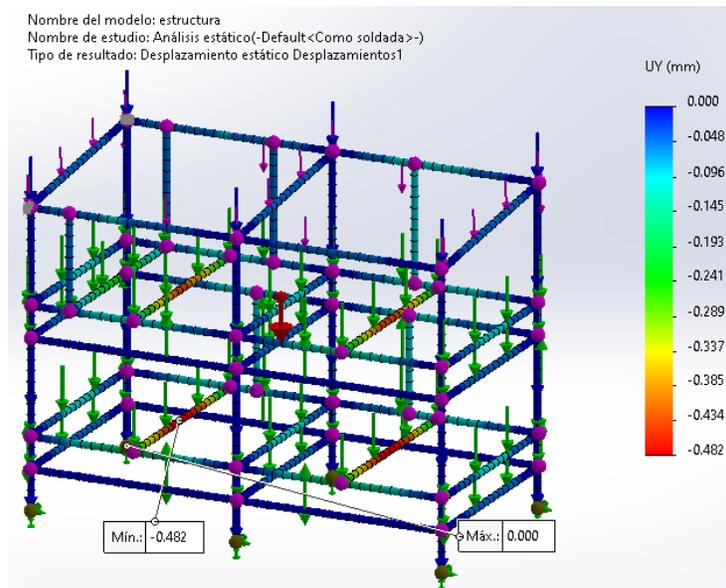
El desplazamiento máximo es de 0.48 mm (ver figura 28) obtenido en los perfiles medios que soportan los cuyes. Este resultado es apegado a la realidad ya que en esta zona no existen soportes verticales y podrá deformarse en la parte media. El valor es despreciable y no afectará el correcto funcionamiento de la estructura.

Factor de seguridad.

El factor de seguridad mínimo hallado en la estructura es de 8.7 es decir la estructura soportará de manera adecuada las cargas tanto muertas como vivas además con este factor de seguridad la estructura será robusta (ver figura 29).

Figura 28

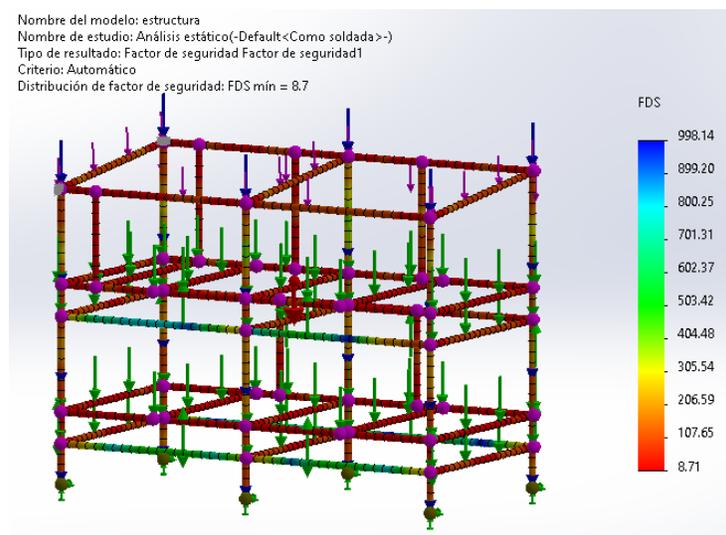
Resultado de la deformación en la dirección vertical.



Nota: deformación máxima encontrada.

Figura 29

Resultado del factor de seguridad de la estructura.



Nota: factor de seguridad mínimo de 8.7.

Diseño de la estructura con SAP 2000.

Para corroborar los resultados hallados con la simulación estática en SolidWorks se implementó la estructura en el software SAP 2000, mismo que ofrece mejores resultados al ser predestinado para simulación de estructuras.

El software SAP2000 es empleado para analizar estructuras metálicas mediante el criterio de serviciabilidad, analizando las deflexiones resultantes debido a las cargas y comparándolas con los valores estipulados en la norma y precargados en el software, se podrá verificar que el diseño de la estructura cumpla con las normas internacionales de construcción de estructuras no sísmicas como: ANSI/AISC 360-16, ASCE/SEI 7-16 Y NEC-SE-CG.

Inicialmente se realizó el modelo 3d con todas las dimensiones de la estructura, se definen los perfiles: ángulos de 1 in x 1/8 in de espesor y perfil cuadrado de 1 in x 1/8 in de espesor.

Una vez finalizada la estructura con sus respectivos perfiles, se identifican los lugares donde se sujetarán las cargas muertas (paredes de madera, bases de limpieza, techo).

Se insertan los valores anteriormente calculados. Inicialmente se insertaron las cargas muertas tanto puntuales (pernos que sujetan la madera) como distribuidas uniformes (techo y bases de limpieza).

Las cargas vivas (cuyes) se insertan como cargas distribuidas uniformes sobre todos los perfiles de soporte de la malla. Para el diseño de la estructura resulta importante especificar la norma en la que se desea que el software realice el análisis.

En la figura 30 se observa que la norma seleccionada es AISC 360-16, misma que es adecuada para estructuras metálicas no sísmicas.

Figura 30

Preferencias del software para diseño.

S Steel Frame Design Preferences for AISC 360-16

	Item	Value
1	Design Code	AISC 360-16
2	Multi-Response Case Design	Envelopes
3	Framing Type	OMF
4	Seismic Design Category	D
5	Importance Factor	1.

Nota: preferencias ingresadas en SAP2000.

Combinación de Cargas. Para el diseño por última resistencia la norma IBC (Code, 2009) detalla que las combinaciones comunes de carga son las que se observan en la figura 31. De estas combinaciones se seleccionará la segunda ecuación $1.2D + 1.6L$ ya que el software tiene esta ecuación de manera recomendada, en la figura 32 se observa el ingreso de la combinación de cargas en el software SAP2000.

Figura 31

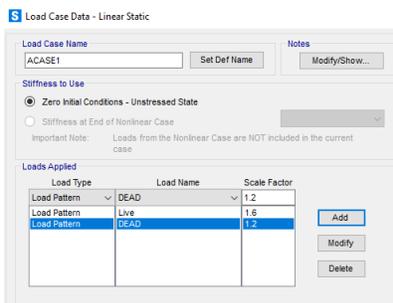
Combinación de cargas detalladas en IBC.

$1.4(D + F)$	(Equation 16-1)
$1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$	(Equation 16-2)
$1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (f_1L \text{ or } 0.8W)$	(Equation 16-3)
$1.2D + 1.6W + f_1L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$	(Equation 16-4)
$1.2D + 1.0E + f_1L + f_2S$	(Equation 16-5)

Nota: Información obtenida de (Code, 2009)

Figura 32

Inserción de la combinación de esfuerzos.



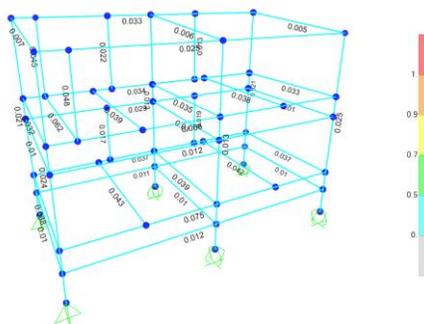
Nota: combinación de esfuerzos ingresada.

Para verificar que la estructura no está sobrecargada se realizó el análisis de demanda de capacidad mismo que puede tomar valores de 0 a 1, el valor de 1 representa que la viga o perfil está sobrecargado y presentaría problemas como deflexión excesiva.

En la figura 33 se observa la demanda de capacidad en la estructura, claramente se logra identificar que toda la estructura está soportando de manera adecuada ya que ningún valor de demanda de capacidad es elevado.

Figura 33

Resultado de demanda de capacidad.



Nota: resultados hallados, SAP2000.

Chequeo de Deflexiones. Las deflexiones de miembros estructurales se estipulan en la norma IBC (International building code) (CODE, 2009). Para construcciones de granja el factor sugerido es de $L/180$ como se observa en la figura 34.

Figura 34

Deflexiones sugeridas en la norma.

DEFLECTION LIMITS ^{a, b, c, h, i}			
CONSTRUCTION	L	S or W ^f	D + L ^g
Roof members: ^e			
Supporting plaster ceiling	$L/360$	$L/360$	$L/240$
Supporting nonplaster ceiling	$L/240$	$L/240$	$L/180$
Not supporting ceiling	$L/180$	$L/180$	$L/120$
Floor members	$L/360$	—	$L/240$
Exterior walls and interior partitions:			
With brittle finishes	—	$L/240$	—
With flexible finishes	—	$L/120$	—
Farm buildings	—	—	$L/180$
Greenhouses	—	—	$L/120$

Nota: Información tomada de (Code, 2009).

Con base a la norma se selecciona el valor de $L/180$ para la deflexión máxima. La distancia L es de 1 metro entonces la máxima deflexión es:

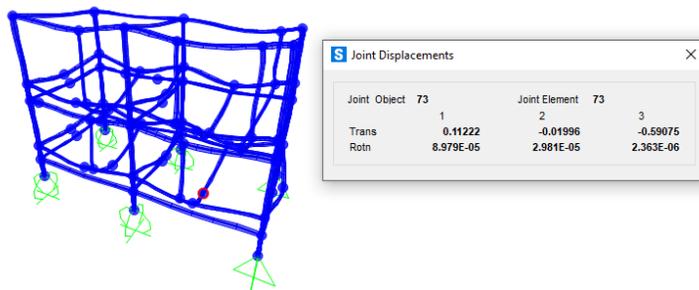
$$\frac{L}{180} = \frac{1000}{180} = 5.55 \text{ mm.}$$

Los resultados de deflexión obtenidos se pueden observar en la figura 35, la máxima deflexión hallada es de 0.59 mm pudiendo concluir que la estructura cumple con el criterio de deflexión de la norma ya que el valor hallado es inferior a 5.55 mm.

Luego de analizar los resultados obtenidos mediante software se concluye que la estructura soportará de manera adecuada las cargas presentes. En la tabla 9 se detallan los materiales que se emplearon para la construcción de la estructura.

Figura 35

Deflexión máxima en la estructura.



Nota: deflexión máxima encontrada 0.59mm, SAP2000.

Tabla 9

Materiales necesarios para la construcción de la estructura.

Detalle	Cantidad
Ángulo metálico 1 in x 1/8 in	44 m (8 ángulos de 6 m)
Perfil metálico cuadrado 1 in x 1/16 in	9 m (2 perfiles de 6 m)
Techo zinc	2.4x0.8 m (2 planchas)

Nota: todos los materiales son de acero estructural ASTM A-36.

Diseño de Puertas para Compartimentos. la puerta que se colocara en cada compartimento permite a la persona encargada suministrar el alimento a los cuyes y además realizar cambios en el grupo de cuyes como son separaciones por edades, sexo, etc.

Se ubicaron 2 bisagras soldables en cada puerta, el tipo de bisagra seleccionado es una bisagra tubular soldable (ver figura 36).

Figura 36

Bisagra soldable tubular.

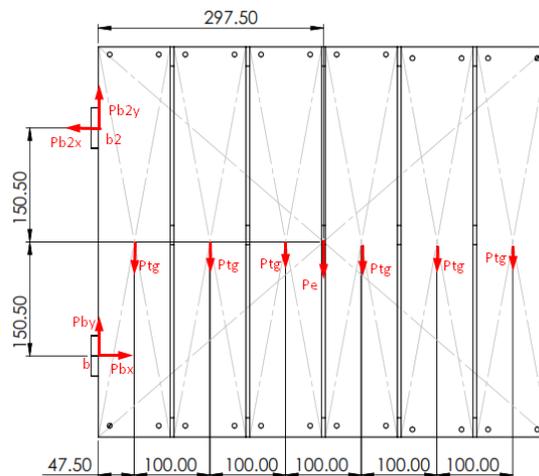


Nota: Imagen extraída de (Amazon, 2022).

Se realizó un análisis para la selección del diámetro necesario para la bisagra. La puerta con la que se realizó el análisis es la superior grande ya que se trata de la más pesada, la misma está cubierta por 6 tablas como se observa en la figura 37:

Figura 37

Esquema de puerta bisagras y sus reacciones.



Nota: se observan 6 tablas y sus respectivos pesos.

Se procede a calcular el diámetro de las bisagras considerando que la puerta esta con 6 tablas.

$$P_{estructura} = 3.45 \text{ kg}$$

El peso de cada tabla se calcula a continuación.

$$P_{\text{tablag}} = (A * D_a) = \left(\frac{9.5}{100} m * \frac{51.5}{100} m * 8.8 \frac{kg}{m^2} \right) = 0.43 kg.$$

Cada una de las reacciones en las bisagras se observan en la figura 37. Las reacciones de las bisagras en el eje y tienen la misma magnitud, es decir.

$$P_{by} = P_{b2y}$$

Debido a que se analizará la puerta en estado de equilibrio la sumatoria de momentos es igual a cero, obteniendo las siguientes ecuaciones.

$$\begin{aligned} \sum Mb = 0 & \quad - P_{estr}(297.5) + P_{b2x}(301) \\ & \quad - P_{tg}(47.50 + 147.5 + 447.5 + 547.5 + 247.5 + 347.5) = 0 \\ & \quad -297.5P_{estr} + 301P_{b2x} - 1785P_{tg} = 0 \end{aligned}$$

$$P_{b2x} = \frac{297.5P_{estr} + 1785P_{tg}}{301} = \frac{297.5(3.45) + 1785(0.43)}{301} = 5.96 kg.$$

$$\sum Fx = 0 \quad P_{bx} = P_{b2x} = 5.96 kg$$

$$\sum Fy = 0 \quad P_{by} + P_{b2y} - P_e - 6P_{tg} = 0$$

$$2P_{by} = P_e + 6P_{tg} = 6.03 kg$$

$$P_{by} = P_{b2y} = 3 kg.$$

Cálculo del Diámetro de Bisagra. las fuerzas encontradas en las bisagras indican que el diámetro se deberá seleccionar con base al esfuerzo cortante ya que la fuerza en el eje x es mayor. El esfuerzo debido al cortante es.

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{P_{bx}}{A}$$

El esfuerzo cortante admisible tiene un valor de 145 MPa como se observa en la tabla 10 (Beer, 2010).

$$\tau = 145 \frac{N}{mm^2} = \frac{Pbx}{A}$$

$$A = \frac{5.96 * 9.81 N}{145 \frac{N}{mm^2}} = 0.40 mm^2$$

Tabla 10

Esfuerzo cortante admisible.

Material	Densidad	Resistencia última Tensión	Cortante admisible	Módulo de elasticidad	Módulo de rigidez
Acero	kg/m ²	MPa	MPa	GPa	GPa
Estructural (ASTM-A36)	7860	400	145	200	77.2

Nota: Información obtenida de (Beer, 2010).

Se sabe que el área de un círculo es.

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} \quad d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4(0.40)}{\pi}} = 0.714 mm$$

El diámetro que soporta la carga de la puerta es menor a 1 mm entonces se seleccionan las bisagras por facilidad tanto de montaje como de adquisición. Las bisagras seleccionadas para cada

puerta son de diámetro 3/8 in ya que son fáciles de soldar y fáciles de adquirir en cualquier centro ferretero.

Soldabilidad de la Estructura. toda la estructura es de material ASTM A-36, resulta adecuado utilizar un proceso SMAW con electrodo revestido debido al costo bajo que implica. Debido a que la estructura no estará bajo la influencia de cargas excesivas u otros tipos de ambientes adversos el proceso resulta adecuado.

De los electrodos existentes se seleccionó el E-6011 de indura por sus características y además es recomendado para construir estructuras livianas como la jaula (Indura, 2007). Las características técnicas de este electrodo se observan en la *figura 38*.

Figura 38

Características técnicas del electrodo 6011 indura.

INDURA 6011		<i>Clasificación AWS: E-6011 / E-4311</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Electrodo para acero al carbono • Revestimiento celulósico potásico. Color canela • Corriente continua, electrodo positivo o corriente alterna 		<ul style="list-style-type: none"> • Toda posición • Certificado por Canadian Welding Bureau y anualmente por American Bureau of Shipping y Lloyd's Register of Shipping 	
Composición química (típica) del metal depositado:			
C 0,11%; Mn 0,41%; Si 0,23%; P 0,010%; S 0,017%			
Características típicas del metal depositado (según norma AWS: A5.1/A5.1M-04):			
Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte	Requerimientos	Energía Absorbida Ch-v	Requerimientos
Resistencia a la tracción : 495 MPa	430 MPa	34J a -30°C	27J a -30°C
Limite de fluencia : 424 MPa	330 MPa		
Alargamiento en 50 mm : 27%	22%		

Nota: información obtenida de (Indura, 2007).

El diámetro del electrodo seleccionado es de 3/32 in debido al espesor del material. De acuerdo a la tabla 11 se recomienda un rango de amperaje de 50 a 90 A. Se soldó la estructura con un amperaje de 65 A.

Tabla 11

Amperajes recomendados de acuerdo al diámetro del electrodo.

Amperajes recomendados		
Diámetro del electrodo	Amperaje	
	Min. A	Max. A
2.4	50	90
3.2	80	120
4.0	120	160

Nota: información obtenida de (Indura, 2007).

Construcción de la Estructura. Inicialmente para proceder con la construcción de la estructura se realizaron los correspondientes planos de construcción y ensamblaje mismos que se encuentran en el apéndice #13 (plano: MCT-EAT-CEST-01). El proceso de construcción se detalla en las respectivas hojas de proceso mostradas en el apéndice # 14 (plano Nro. 4). Al ser la estructura de material ASTM A-36 tiende a oxidarse, debido a que se va a encontrar cubierta por madera basta con pintarla con esmalte alquídico para evitar este problema. El resultado se muestra en la figura 39.

Ensamblaje de Techo. debido a las condiciones del lugar en donde se ubicó el prototipo, el agua lluvia no puede caer detrás del mismo debido a que causara daños a una construcción que se encuentra en la parte posterior. Entonces se ensamblaron las hojas de zinc en sentido horizontal, permitiendo así que el agua se desplace y caiga a un lado del prototipo.

El techo de la jaula se sujetó mediante tornillos autoperforantes, mismos cuentan con un empaque adecuado para sujetar el techo de zinc y no permitir el paso de agua lluvia.

Figura 39

Estructura soldada y pintada.



Nota: construcción de la estructura finalizada.

Tornillo Auto perforante Características Técnicas. se fabrican con cabeza hexagonal con pequeña arandela estampada (Hex tipo 1) y cabeza hexagonal con arandela bombé estampada (Hex tipo 2), la arandela PVC evita toda posibilidad de filtración en el sitio de la fijación. La rosca conformada es de tipo Parker, La tornillería se fabrica bajo proceso de cementado, templado y revenido, el tratamiento anticorrosivo es por medio de zincado electrolítico (Autoperforantes, 2022). En la figura 40 se observa los dos tipos de tornillos auto perforantes más utilizados.

Figura 40

Tipos de tornillos auto perforantes para estructuras metálicas.



Nota: Imagen obtenida de (Autoperforantes, 2022).

Criterio de Selección de Tornillos Autoperforantes. la unión presente es chapa ondulada galvanizada (techo zinc) con perfil metálico (ángulo 1 x 1/8 in). En la tabla 12 se muestran los métodos para fijar tornillos autoperforantes según (Autoperforantes, 2022).

Tabla 12

Métodos para fijar tornillos autoperforantes.

En el valle	En la cresta
Se utilizan tornillos Hex. tipo 1:14x1” con arandela vulcanizada o Hex. tipo 2:14x1” con arandela selladora (PVC) a prueba de agua.	Se utilizan tornillos Hex. tipo 1:14x2” con arandela vulcanizada o Hex. tipo 2:14x2” con arandela selladora (PVC) a prueba de agua.

Nota: Información obtenida de (Autoperforantes, 2022).

Para la sujeción del techo se seleccionó el tornillo Hex. tipo 1, arandela vulcanizada con instalación en la cresta de la hoja de zinc.

Los tornillos se pueden colocar tanto en las crestas como en los valles del zinc. Las características de cada uno de los métodos se resumen en la tabla 13.

Debido a la aplicación se decidió realizar la sujeción en la cresta ya que garantiza que no se filtre agua por la unión evitando así posibles daños en los componentes eléctricos y electrónicos del prototipo además de daños a los cuyes. El proceso de instalación es más económico ya que no requiere de un experto calificado.

Para la sujeción del techo con la estructura se usaron tornillos autoperforantes de diámetro # 10 y longitud 1 1/2 in (4.8 mm x 38.1 mm).

Tabla 13

Características de los métodos de sujeción.

Valle	Cresta
<ul style="list-style-type: none"> • El tornillo colabora con la estructura. • Rigidiza la cubierta. • Evita el pandeo de la correa. • Aumenta la resistencia del conjunto. • Riesgo de filtraciones en uniones. 	<ul style="list-style-type: none"> • El riesgo de filtraciones es menor. • El instalador no necesita experiencia en instalación de techos.

Nota: Información obtenida de (AUTOPERFORANTES, 2022).

Sobre la hoja de Zinc se sujetó cada tornillo a distancias entre 25 a 35 cm como se estipula en (Autoperforantes, 2022).

En la figura 41 se observa el ensamblaje del techo en la estructura metálica.

Figura 41

Ensamblaje de techo en estructura.



Nota: vista final de la estructura y techo.

Construcción y Ensamblaje de Bases de Limpieza. se usaron 2 planchas de Tol galvanizado con medidas de 2.40 x 1.20 m. Es necesario recortar las planchas de acuerdo al plano de la base de limpieza que se muestra en el apéndice #13 (código: MCT-EAT-CEST-03).

Para recortar las bases se utilizó una tijera para tol, luego de cortadas se ensamblan en la estructura como se observa en la figura 42. La base de limpieza fue sujeta a la estructura mediante remaches tipo POP de 1/8 x 5/16 in.

Figura 42

Ensamblaje de la base de limpieza superior.



Nota: se ensambla la base de limpieza precautelando la planitud de la misma.

Ensamblaje de Malla. para colocar la malla a la estructura se diseñó y construyó sujetadores de tol galvanizado, mismos que permiten que la malla se mantenga en su lugar y no cause daños a los cuyes. Cada uno de los cortes del sujetador encaja en la malla y la sujeta a la estructura.

Con los soportes ya colocados se perforó con las medidas estipuladas en los planos constructivos. Se ubicaron pernos galvanizados de $\frac{1}{4}$ x $\frac{3}{4}$ in, arandelas $\frac{1}{4}$ y tuercas de $\frac{1}{4}$ in. Al sujetar toda la malla superior el resultado final se muestra en la figura 43.

Figura 43

Ensamblaje completo de la malla superior al prototipo.



Nota: se observan los sujetadores de malla en el perímetro.

Al ensamblar tanto las mallas como las bases de limpieza se trasladó el prototipo al lugar destinado, esto debido a su peso que posteriormente aumentará con el ensamblaje de las paredes de madera, los soportes y los mecanismos varios. En la figura 44 se observa el prototipo ya trasladado. El prototipo se mantendrá en este lugar y suplirá a una antigua jaula del criadero.

Figura 44

Prototipo trasladado al lugar de implementación.



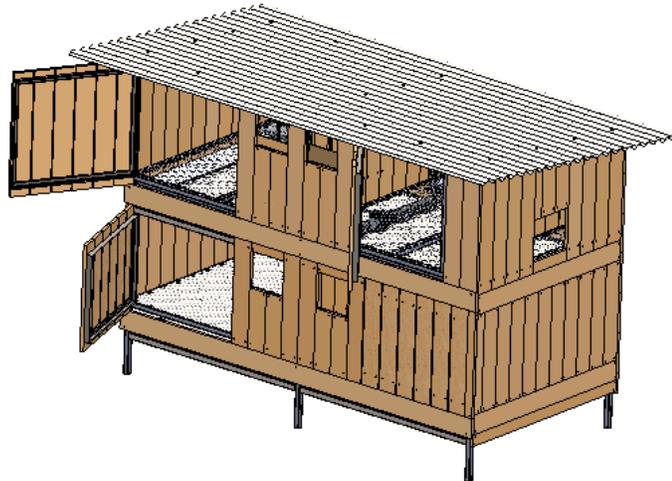
Nota: prototipo trasladado al lugar definitivo.

Diseño de Cubierta de Madera. las dimensiones de las tablas adquiridas son: 250 x 9.5 x 1.6 cm, para recortar las mismas se usó una caladora eléctrica, las dimensiones de cada tabla se obtuvieron del modelo del prototipo en el software. En la figura 45 se observa el prototipo totalmente cubierto.

Luego de concluido el modelado se procedió a realizar los respectivos planos para cada tabla, mismos que se encuentran en el apéndice #13. Con los planos ya concluidos se puede continuar con la construcción y ensamblaje de cada una de las cubiertas.

Figura 45

Modelado de cubierta de madera.



Nota: diseño propio.

Ensamblaje de Cubierta de Madera. la madera que cubre la jaula mide 9.5 cm de ancho, 1.6 cm de espesor y diferentes medidas de largo. El sentido en el que se ubicaron las tablas es de acuerdo a los perfiles cercanos y con posibilidad para sujetar la madera. Las cubiertas horizontales en el área de limpieza fueron ubicadas en este sentido para facilitar el proceso de mantenimiento del prototipo.

Para seleccionar los tornillos adecuados se realizó el cálculo respectivo. Se analizó una tabla en sentido horizontal y una vertical. Las cubiertas en sentido horizontal se sujetan mediante tornillos

autoperforantes al perfil cuadrado y las de sentido vertical se sujetan al ángulo metálico. A continuación, se detalla el proceso para la selección del diámetro de tornillo adecuado.

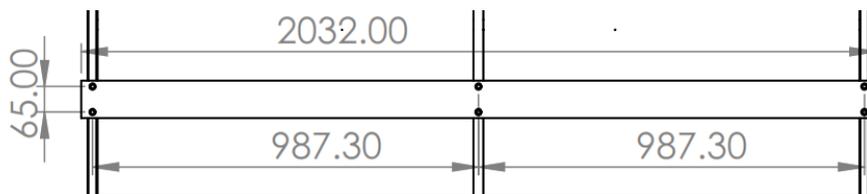
Cubierta en Sentido Horizontal. se usó la metodología presentada en el libro: Diseño de elementos de máquinas Mott (Robert, 2006).

- Paso 1: Proponer número y ubicación de tornillos.

Se propone ubicar 4 tornillos en cada esquina de la tabla a 15 mm de la parte superior y 28.7 mm de los laterales, además 2 tornillos en la mitad y a 15 mm de la parte superior e inferior. En total se ubicaron 6 tornillos como se muestra en la figura 46.

Figura 46

Dimensiones de la unión con la cubierta horizontal.



Nota: total 6 tornillos para sujetar la cubierta.

- Paso 2: Calcular la fuerza cortante sobre el conjunto de tornillos y sobre cada uno de ellos suponiendo que todos comparten la carga por igual.

La densidad de las tablas de eucalipto es $0.55 \frac{g}{cm^3}$. El espesor es de 16 mm dando así una densidad.

$$D_a = 0.55 \frac{g}{cm^3} * 1.6 cm = 0.88 \frac{g}{cm^2} = 8.8 kg/m^2$$

El peso de cada tabla es.

$$P = Area * D_a = 2.032 m * \frac{9.5}{100} m * 8.8 \frac{kg}{m^2} = 1.7 kg$$

Esta carga es soportada por los 6 tornillos es decir la carga en cada tornillo es.

$$F_s = \frac{P}{6} = \frac{1.7}{6} = 0.283 kg$$

Al no existir cargas externas no existe ningún momento sobre los tornillos. La carga sobre cada tornillo es 0.2383 kg y debido a que se trata de la única fuerza este valor es el máximo.

El tipo de tornillo es de acero de bajo carbono A307 el esfuerzo cortante admisible se detalla en la tabla 14. Se seleccionó este tornillo debido a su facilidad de adquisición y debido a que sus características son adecuadas para soportar cargas bajas.

Tabla 14

Esfuerzo cortante admisible en materiales de tornillos.

Grado ASTM	Esfuerzo cortante admisible	Esfuerzo de tensión admisible
A307	69 MPa	138 MPa
A325 y A449	121 MPa	303 MPa
A490	152 MPa	372 MPa

Nota: Información obtenida de (Robert, 2006).

- Calcular el diámetro del tornillo requerido.

$$1MPa = 10.2 kg/cm^2$$

$$69 MPa = 703.8 kg/cm^2$$

El área que se requiere es.

$$A_s = \frac{F_s}{\tau} = \frac{0.283 \text{ kg}}{703.8 \text{ kg/cm}^2} = 0.0004 \text{ cm}^2$$

El diámetro necesario es.

$$D = \sqrt{\frac{4A_s}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(0.0004)}{\pi}} = 0.0127 \text{ cm} = 0.127 \text{ mm}$$

Llegando finalmente a la conclusión que cualquier diámetro de tornillo será adecuado para la unión. Se eligió tornillos # 10 y longitud 1 1/2 in (4.8 mm x 38.1 mm) que soportan de manera adecuada y son comunes en cualquier centro ferretero.

Cubierta en sentido vertical. se realiza el mismo procedimiento anteriormente detallado.

Debido a que el valor de carga es menor que en el caso de la cubierta horizontal podemos elegir el mismo tornillo sin ningún inconveniente. Al ensamblar las tablas horizontales posteriores el prototipo se observa como en la figura 47.

Ensamblaje de Tablas Laterales y Frontales. inicialmente se procedió a recortar las tablas laterales de acuerdo a las medidas presentadas en los correspondientes planos. Para sujetar las tablas a la estructura se usaron tornillos autoperforantes con un área adecuada para soportar el peso. En la figura 48 se observa la sujeción de las cubiertas inferiores a la estructura del prototipo.

Se ubicaron los tornillos de tal manera que no estén en contacto con los cuyes, evitando así posibles accidentes o heridas producidas por las puntas afiladas de cada tornillo. En la figura 48 se observa la ubicación de cada tornillo desde el interior del compartimento.

Figura 47

Ensamblaje de tablas horizontales posteriores.



Nota: todas las cubiertas posteriores se ubican en sentido horizontal.

Figura 48

Tablas laterales ensambladas vista externa e interna.



Nota: los autoperforantes son colocados en lugares seguros para los cuyes.

Se ensamblaron las tablas frontales del prototipo y además en cada una de las ventanas se ubicó malla metálica, misma que permite que animales intrusos como pájaros no ingresen a la jaula y causen problemas al interior. En la figura 49 se observa los resultados del ensamblaje. Finalmente se ensamblan las puertas de cada compartimento como se observa en la figura 50.

Figura 49

Ensamblaje de tablas frontales en el prototipo.



Nota: cubierta frontal ensamblada de acuerdo a planos.

Figura 50

Prototipo con cubierta ensamblada.



Nota: cada compartimento cuenta con su puerta y picaporte.

Ensamblaje de Soportes y Protecciones

Protección de Sensores. la protección de los sensores es mediante un cubo de malla galvanizada sin cubierta, en el plano mostrado en el apéndice #13 (código: MCT-EAT-SYP-04), se encuentran todas

las medidas y consideraciones para construir los 2 protectores. El cubo se ensambla en el prototipo mediante pernos de $\frac{1}{4}$ in y se sujeta a la malla mediante salientes en la base.

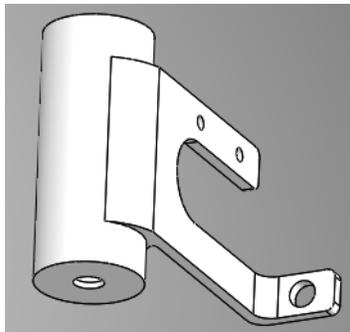
Acondicionamiento Mecánico de Sensores. tanto el sensor de temperatura como el de humedad deberán sujetarse al prototipo de manera adecuada evitando posibles daños por caídas o vibraciones. Además, deberán mantenerse fuera del alcance de los cuyes al interior para así aumentar su tiempo de vida útil.

Acople para Sensor de Temperatura PT100

El diseño del acople para la sonda PT100 se puede observar en la figura 51. Este acople se sujeta a la estructura principal mediante pernos de $\frac{1}{4}$ in y $\frac{1}{8}$ in.

Figura 51

Diseño de Acople *sensor PT100*.



Nota: el soporte es diseñado para ser impreso en 3d.

Para verificar el correcto funcionamiento del diseño se realizó una simulación estática con las sujeciones y el peso de la sonda sobre el soporte. Es necesario definir el material de los soportes en este caso es PLA, en la tabla 15 se resumen las características mecánicas del material ingresado al software (Ultimaker, 2022).

Tabla 15

Características mecánicas del PLA común.

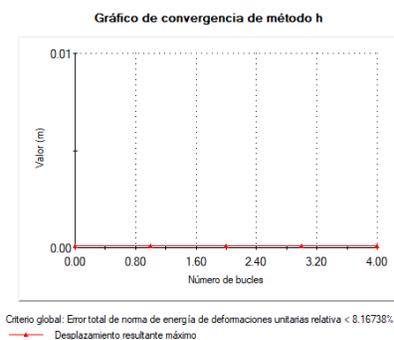
Características mecánicas del PLA	
Módulo de elasticidad a la tracción	2346.5 MPa
Límite elástico	60 MPa
Esfuerzo de tracción a la rotura	45.6 MPa
Alargamiento a la deformación	3.3%
Alargamiento a la rotura	5.2%
Resistencia a la flexión	103 MPa
Módulo de flexión	3150 MPa

Nota: Datos obtenidos de (Ultimaker, 2022).

Se usó un método de mallado adaptativo tipo h con 5 bucles, el resultado de convergencia del desplazamiento resultante fue adecuado y tiende a un valor muy cercano a cero, en la figura 52 se observa el resultado de convergencia.

Figura 52

Convergencia del método adaptativo tipo h.

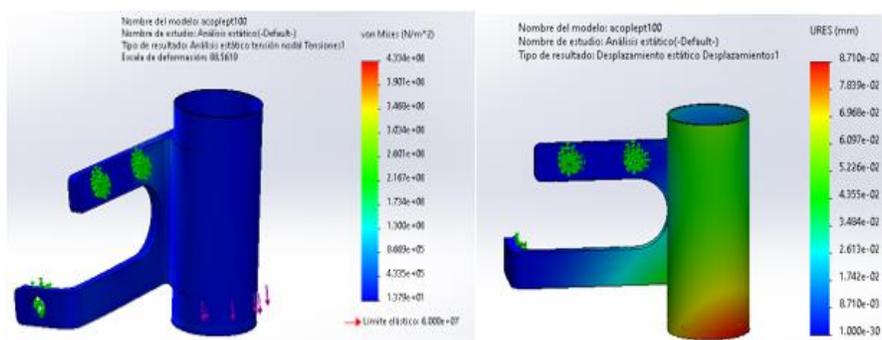


Nota: resultado con 5 bucles.

Los resultados obtenidos son adecuados, La tensión de Von Mises resultante es menor al límite de flexión del PLA (60 MPA), el desplazamiento resultante máximo es de 0.0871 mm el cual es un valor insignificante y que no causara ningún problema en el soporte. El factor de seguridad mínimo hallado es de 14 mismo que es elevado, pero por el método de construcción seleccionado que es la impresión 3d, características como el espesor de la pieza no pueden ser menores. En las figuras 53 y 54 se observan los resultados obtenidos.

Figura 53

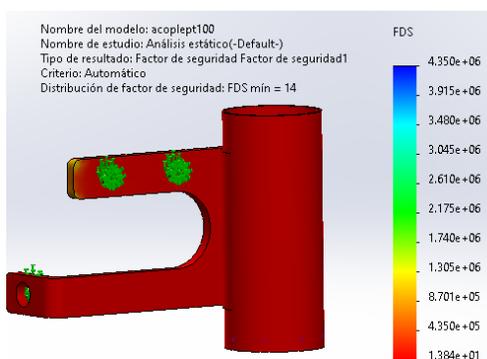
Tensión de Von Mises y deformación resultante.



Nota: valores encontrados por debajo de los máximos permitidos.

Figura 54

Factor de seguridad.



Nota: factor de seguridad mínimo 14.

Construcción

Los acoples del sensor PT100 son de material PLA con un aporte de impresión de 0.12mm (mínimo posible en la impresora 3d), el soporte al no estar sometido a altas temperaturas no tendrá problemas debido a este factor.

Acople para Sensor de Humedad

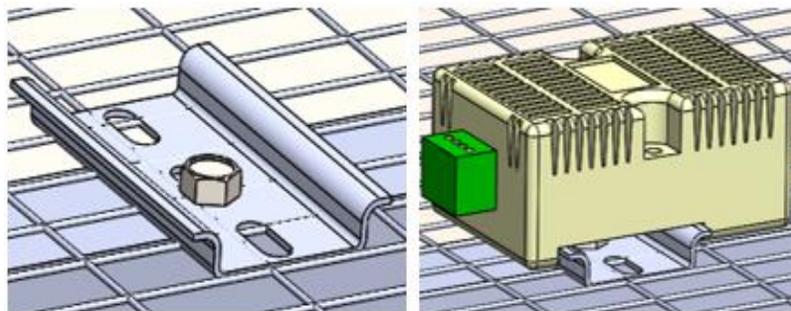
El sensor de humedad ambiental relativa se colocó en la base de la estructura. Se ensambló un pequeño riel DIN sujeto a la estructura. En la figura 55 se observa la sujeción del riel DIN con la estructura y el montaje del sensor de humedad.

Finalmente los acoples y la protección de los sensores se observan en la figura 56.

Los acoples montados físicamente en la estructura se observan en la figura 57 y además se observan los sensores ubicados en los acoples y la respectiva protección.

Figura 55

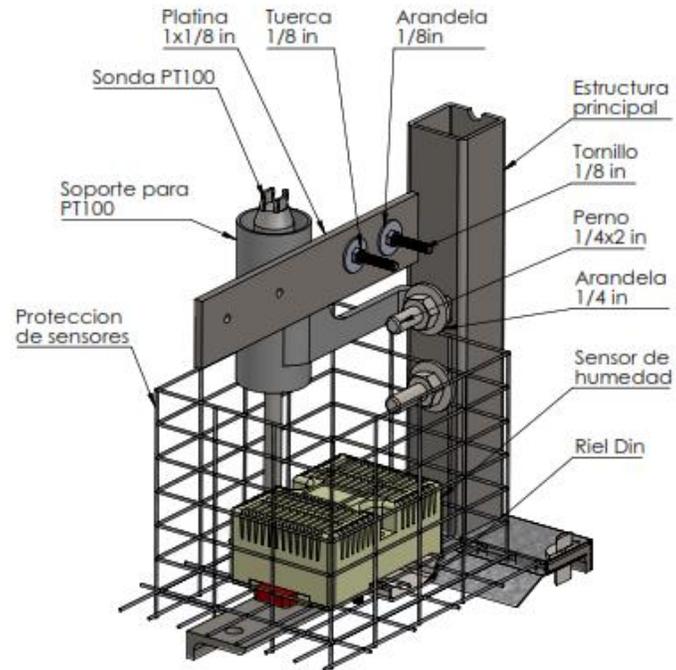
Soporte para sensor de humedad.



Nota: el riel din se ensambla con tornillo autoperforante #10x1 in.

Figura 56

Acoples y protección de sensores.



Nota: los sensores son ubicados en la parte posterior de los compartimentos.

Figura 57

Acoples, protección y sensores montados a la estructura.



Nota: montaje de protectores y sensores.

Además de la protección interna se diseñó y construyó una protección extra la cual permite que los cuyes al interior no tengan acceso al área, evitando así posibles accidentes de carácter eléctrico. En la figura 58 se observa el diseño y construcción del protector extra, en total son 4 protectores ensamblados en cada uno de los compartimentos.

Figura 58

Protector extra de sensores.



Nota: el protector evita posibles accidentes de carácter eléctrico.

Módulo de Control de Temperatura

Para mantener una temperatura adecuada dentro del prototipo es necesario calentar y enfriar el ambiente de acuerdo a la ocasión. El actuador que cumpla con esta tarea debe ser silencioso y no interferir con los animales al interior del prototipo.

Luego de realizar una búsqueda de los métodos de calefacción de ambientes, se llegó a la conclusión que el mejor método es mediante el uso de resistencias calefactoras comúnmente usadas en incubadoras ya que las mismas permiten calentar el ambiente y además no representan ningún peligro para los cuyes.

Cálculo de Potencia Necesaria. la resistencia debe calentar el ambiente interno de los compartimentos superior e inferior.

Para ello es necesario calcular el valor de potencia requerida. Se utilizó la metodología presentada por Cengel Yunus en su libro de transferencia de calor y masa (Yunus Cengel, 2011).

1. Cálculo del diferencial térmico

Es necesario conocer la temperatura ideal y la temperatura mínima que se experimenta. La temperatura ideal en el interior del prototipo es de 18 °C y la temperatura mínima experimentada en la provincia de Cotopaxi se la obtuvo de (Clima-data, 2022). En la tabla 16 se muestran los valores de temperatura experimentados en los distintos meses en el cantón salcedo provincia de Cotopaxi, la menor temperatura tiene un valor de 6.5 °C.

Tabla 16

Temperaturas en el cantón Salcedo provincia de Cotopaxi.

	Enero	Feb.	Mar.	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Temp. Med. (°C)	11.8	11.9	11.9	11.8	11.6	10.7	10.4	10.7	11.3	11.9	12.2	11.9
Temp. Min. (°C)	8.6	8.7	8.7	8.6	8.4	7.4	6.8	6.5	6.8	8.1	8.7	8.7
Temp. Max. (°C)	15.3	16.4	16.4	16.2	16	15.2	15.2	15.9	16.7	16.8	16.7	16.4
Humedad (%)	84	84	86	86	85	83	81	78	77	81	83	85

Nota: Información obtenida de (Clima-data, 2022).

El salto térmico es

$$\Delta T = 18 - 6.5 = 11.5 \text{ } ^\circ$$

2. Plantear la ecuación a usar

$$E = m * Cp * \Delta T$$

Datos conocidos.

$$Cp_{aire} = 0.24 \frac{BTU}{lb_m \text{ } ^\circ C}$$

$$P_{salcedo} = 1029 \text{ hPa} = 14.924 \text{ psia}$$

$$V = 1 \text{ m} * 2 \text{ m} * 0.6 \text{ m} = 1.2 \text{ m}^3 = 42.378 \text{ ft}^3$$

$$R = 0.3704 \frac{\text{psia ft}^3}{lb_m R}$$

$$T = 6.5 \text{ } ^\circ C = 503.37 \text{ R}$$

$$V = 2 * 1 * 0.6 = 1.2 \text{ m}^3$$

$$m = \frac{P * V}{R * T} = \frac{14.924 \text{ psia} * 42.378 \text{ ft}^3}{0.3704 \frac{\text{psia ft}^3}{lb_m R} * (503.37 \text{ R})}$$

$$m = 3.392 \text{ lb}_m$$

$$E = 3.392 \text{ lb}_m * 0.24 \frac{BTU}{lb_m \text{ } ^\circ C} * (18 - 6.5) \text{ } ^\circ C$$

$$E = 9.36 \text{ BTU} = 9875.32 \text{ J}$$

Se requiere que la temperatura de 18 °C se alcance en 10 minutos (600 seg).

$$P = \frac{E}{t} = \frac{9875.32 \text{ J}}{600 \text{ s}} = 16.45 \text{ W}$$

3. Cálculo de pérdidas en paredes.

Paredes espesor 16 mm madera:

$$K_{madera} = 0.17 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

$$A_{pfronypost} = 0.6 \text{ m} * 2 \text{ m} = 1.2 \text{ m}^2$$

$$A_{platerales} = 1 \text{ m} * 0.6 \text{ m} = 0.6 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q} = K * A * \frac{T1 - T2}{L}$$

$$\dot{Q} = K \left(\frac{T1 - T2}{L} \right) (A_{pfron} + A_{ppost} + A_{plateral} + A_{plateral})$$

$$\dot{Q} = 0.17 \frac{W}{m \cdot C} \left(\frac{18 - 6.5}{0.016 \text{ m}} \right) (1.2 + 1.2 + 0.6 + 0.6) \text{ m}^2 = 439.87 \text{ W}$$

Finalmente se llega a la conclusión que la resistencia calefactora deberá tener una potencia de $P_t = 439.87 \text{ W} + 16.45 \text{ W} = 456.32 \text{ W}$, para todo el prototipo son necesarias 2 resistencias calefactoras.

Selección de Resistencias Calefactoras. luego de investigar varias opciones de resistencias calefactoras se llegó a la conclusión de que una resistencia de 120 V 600 W tipo resorte es adecuada para la aplicación (ver figura 59).

Figura 59

Resistencia calefactora tipo resorte 120V 600W.



Nota: Imagen obtenida de (Sicicomer, 2022).

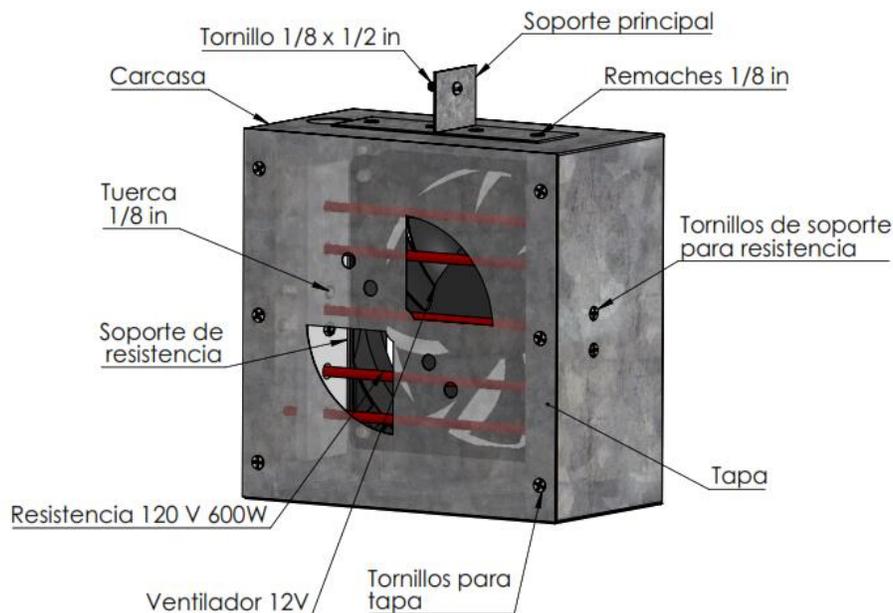
Diseño y Construcción de Carcasas Calefactoras. la carcasa de calefacción que aloja al ventilador y a la resistencia calefactora se construyó de tol galvanizado de 0.45 mm de espesor, las uniones se realizaron mediante remaches tipo POP 1/8 x 5/16 in.

Internamente el ventilador y la resistencia calefactora se ensamblan mediante tornillos y soportes como se observa en la figura 60.

Construcción de Carcasas. inicialmente se recortó el tol al tamaño necesario, se realizaron las perforaciones, se dobló cada una de las caras y se colocaron tornillos y remaches. El ventilador se ensambla en la cara posterior mediante pernos de 1/8 x 1 ½ in. La niquelina se ensambla al interior. En la figura 61 se observa el calefactor ensamblado.

Figura 60

Partes del calefactor, vista interna de la carcasa de calefacción.



Nota: el diseño es realizado de manera modular.

Figura 61

Ensamblaje de ventilador y niquelina en carcasa.



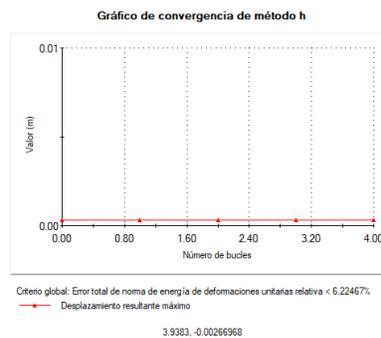
Nota: carcasa en tol galvanizado 0.45mm de espesor.

Ensamblaje de Cajas Calefactoras en el Prototipo. para acoplar cada una de las cajas se ubicó en la parte superior un soporte doblado en tol galvanizado y sujeto mediante tornillos de 1/8 x 1 1/2 in, esta pieza se sujeta al perfil medio superior de la estructura del prototipo.

La masa de la carcasa calefactora es de 150 gramos a este peso se le agregó 20 g más para el análisis del soporte, es decir el peso que estará en el soporte es de 170 g. El resultado de la convergencia de desplazamiento del método adaptativo h es adecuado y converge a un valor cercano a cero como se observa en la figura 62.

Figura 62

Convergencia del desplazamiento resultante.

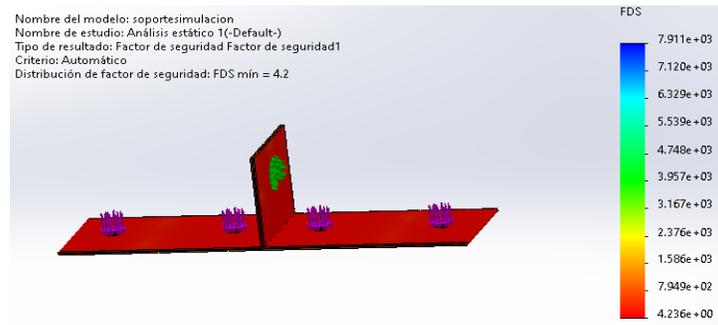


Nota: resultado de 5 bucles.

El resultado del factor de seguridad obtenido se muestra en la figura 63.

Figura 63

Factor de seguridad obtenido de acople.



Nota: acople construido con tol galvanizado 0.45mm espesor.

Los resultados hallados son favorables tanto en tensiones, desplazamientos y el factor de seguridad (4.2), por lo tanto, el soporte es adecuado y cumplirá de manera satisfactoria su función. En la figura 64 se observa el ensamble de la caja en el prototipo.

Figura 64

Ensamblaje de carcasa calefactora de compartimentos inferiores.



Nota: carcasas ubicadas en los compartimentos superior e inferior.

Módulo Ventilación

La ventilación dentro del prototipo permitirá que el aire al interior sea puro y no se produzcan problemas respiratorios en los cuyes. Para ventilar el prototipo existe 1 ventana en cada compartimento.

Diseño del Sistema de Ventilación. el sistema de ventilación en el prototipo se encarga de reducir la temperatura y brindar al ambiente interno aire puro.

Internamente las ventanas se desplazan en sentido vertical. Cuando la temperatura se encuentra por encima de la adecuada la ventana se abre y cuando está por debajo del valor estipulado la ventana se cierra.

Para abrir y cerrar cada una de las ventanas se utiliza un mecanismo con bandas GT2, ruedas dentadas, ruedas lisas y dos ejes de 8mm. El Motorreductor usado es de 12 V DC, el torque del motor no es elevado ya que únicamente se levanta la ventana de MDF (3 mm de espesor). En la figura 65 se observa el mecanismo de ventilación y cada una de sus partes.

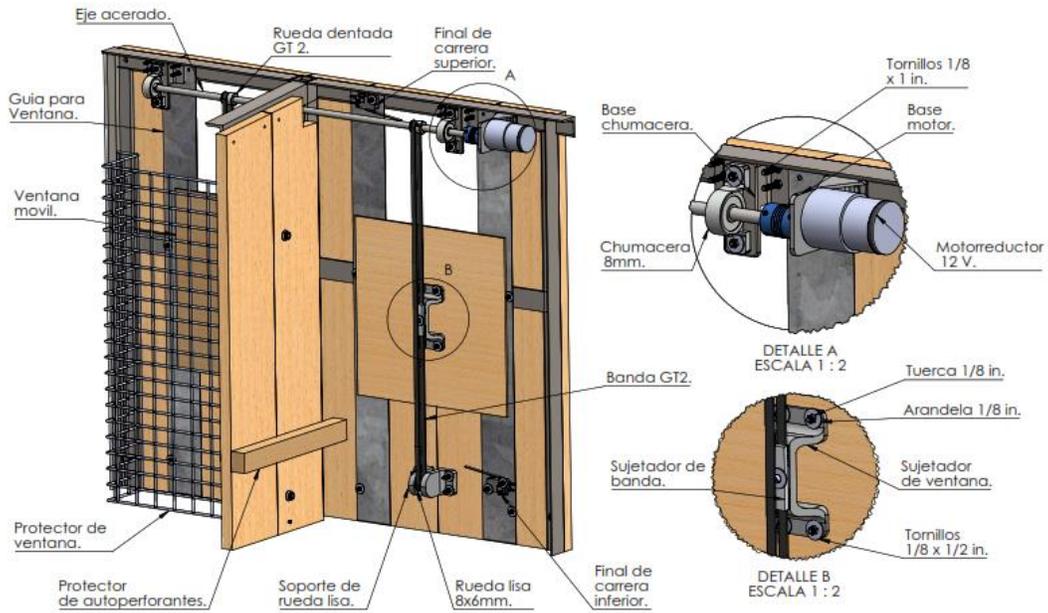
El sujetador de la banda soportará la tensión debido al peso de la ventana. Se realizó su simulación estática para verificar el correcto funcionamiento.

Inicialmente se agregó el material PLA al software. Al obtener los resultados del estudio se encuentra un error menor al 6.57 % y el valor de deformación converge de forma adecuada después de 5 bucles como se observa en la figura 66. El resultado con respecto a las tensiones de Von Mises fueron adecuados indicando así que el material y la geometría son correctos.

Con respecto a los desplazamientos se obtuvo un máximo de 0.003 mm, mismo que no afecta el correcto funcionamiento del modelo, el factor de seguridad se observa en la figura 67. Este factor de seguridad es elevado, pero por la geometría se decidió mantener el diseño.

Figura 65

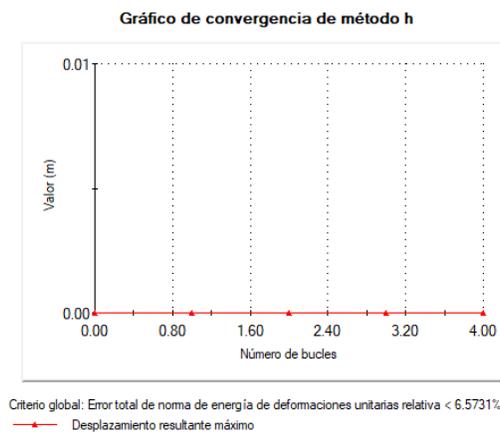
Partes internas del sistema de ventilación.



Nota: diseño realizado de manera modular.

Figura 66

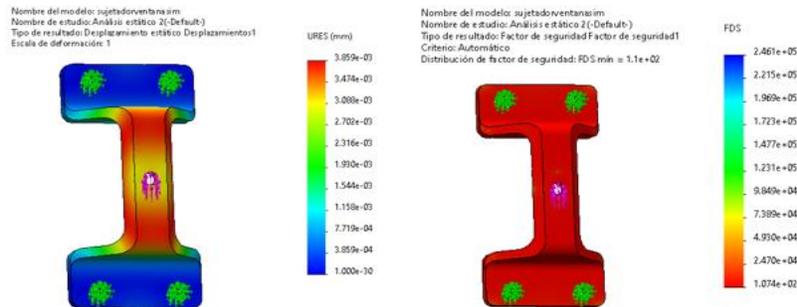
Resultados de convergencia del método adaptativo para el desplazamiento.



Nota: convergencia luego de 5 bucles.

Figura 67

Resultados de desplazamiento y factor de seguridad del modelo.



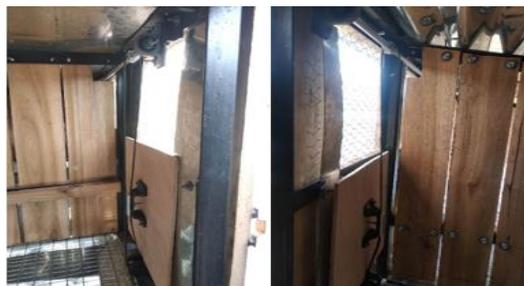
Nota: resultados por debajo de valores límites.

El resto de soportes del sistema de ventilación fueron impresos en 3D con las mismas características. Estos al no estar bajo la acción de fuerzas o momentos elevados no resulta necesario realizar un estudio estático. El aporte de impresión es de 0.12mm (mínimo posible en la impresora 3d), los soportes al no estar sometidos a altas temperaturas no tendrán problemas debido a este factor.

Construcción del Sistema de Ventilación. para el ensamblaje del sistema de ventilación se usaron tornillos de 1/8 x 1 in y 1 ½ in, en la figura 68 se observa el sistema de ventilación ya ensamblado en el prototipo.

Figura 68

Sistema de ventilación sin protecciones implementado en el prototipo.



Nota: las guías en tol galvanizado son primordiales.

Módulo de Limpieza.

Los cuyes generan desechos propios, al acumularse causan la proliferación de bacterias mismas que generan enfermedades. Para solucionar este problema se implementó un mecanismo que arrastra los desechos y los arroja fuera de la jaula. El mecanismo consta de una pala de limpieza que se desplaza en sentido horizontal a lo largo de toda la base. Los componentes necesarios para el mecanismo son: motor de alto torque, cadenas, piñones, estructura de la pala, rieles y rodamientos.

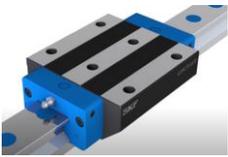
Diseño del Sistema. luego de un estudio de maquinaria CNC el método para realizar el movimiento lineal más adecuado es mediante guías, cadenas y rodamientos.

El motor mueve al piñón motriz y este a su vez sigue el trayecto de la cadena moviéndose de manera lineal. La pala de limpieza está sobre un mecanismo con rodamientos que permiten su fácil desplazamiento.

Selección de Rodamientos. existe gran variedad de rodamientos lineales. Para la selección del más adecuado se realizó la tabla 17 con sus ventajas y desventajas (Clr, 2022).

Tabla 17

Características de rodamientos lineales.

Tipo	Imagen	Ventaja	Desventaja
Rodamiento lineal con guía lineal		<p>Alta precisión.</p> <p>Soporta cargas elevadas.</p> <p>Larga vida útil.</p> <p>Velocidades altas.</p> <p>Extremadamente silencioso.</p>	<p>Alto costo del carrito y la guía.</p> <p>Problemas con los desechos.</p>

Tipo	Imagen	Ventaja	Desventaja
Rodamiento lineal con guía cilíndrica.		<p>Cargas elevadas.</p> <p>Larga vida útil</p> <p>Altas velocidades.</p> <p>Bajo ruido.</p>	<p>El eje no puede ser soportado en distancias grandes.</p> <p>Guía costosa.</p> <p>Ejes endurecidos únicamente.</p>
Rodamiento lineal con guía cilíndrica incompleta.		<p>Cargas elevadas.</p> <p>Velocidades medias.</p> <p>Bajo ruido.</p>	<p>Guía costosa.</p> <p>Problemas con los desechos.</p>
Carro rodante para mecanismo colgante		<p>Fácil adquisición. Ensamblaje sencillo. Bajo ruido del mecanismo. No presenta problemas con la suciedad.</p> <p>No está en contacto con los desechos.</p>	<p>Su montaje requiere de precisión.</p>

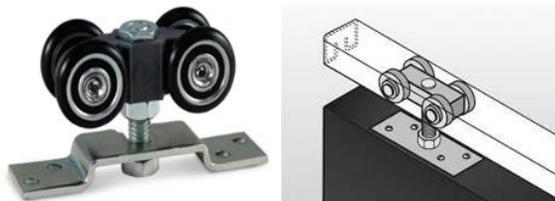
Nota: información obtenida de (Clr, 2022).

Luego de analizar cada una de las opciones, debido a la aplicación en la cual la velocidad es baja y cada día únicamente el mecanismo se va a activar 2 veces resulta sobredimensionar el mecanismo al utilizar los rodamientos de alto costo. Por sus ventajas resulta adecuado usar un sistema colgante con 4 ruedas y riel, mismo que se ubica de manera elevada evitando así la caída de los desechos.

En la figura 69 se muestra el carro que se moviliza linealmente sobre el riel. Este consta de 4 ruedas con sus respectivos rodamientos y un acople para la pala limpiadora inferior.

Figura 69

Carro rodante para sistemas colgantes.



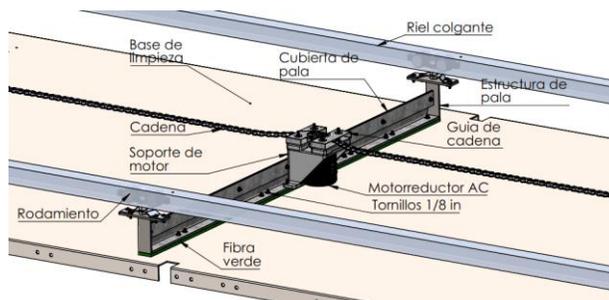
Nota: Imagen obtenida de (Seteco, 2022).

Diseño de barredera lineal.

La estructura de la barredera lineal se realizó con platina de acero ASTM A-36 de 1 in x 1/8 in. Se utilizó un proceso SMAW con electrodo 3/32 in E-6011 a 65 A. La estructura de la barredera se sujeta con los acoples de los carritos que se desplazan de manera lineal. La estructura además está cubierta con tol galvanizado de 0.45 mm de espesor, en la base de la pala se colocó fibra verde misma que evita el roce metal con metal, En la figura 70 se muestran las partes de la pala limpiadora ya ensamblada.

Figura 70

Partes de la pala limpiadora.



Nota: diseño realizado de manera modular.

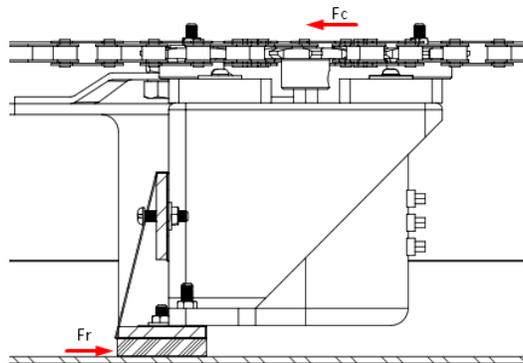
Dimensionamiento y Selección de Motor. para seleccionar un motor adecuado se calculó el torque necesario para mover los desechos. Debido a que el mecanismo se acciona dos veces cada día en la base metálica los desechos no se acumularan y el peso a trasladarse será relativamente bajo. La carga sobre cada una de las bases es de 5 kg valor obtenido mediante una balanza y los desechos de un día de los cuyes.

Se usó un factor de seguridad de 2 es decir una carga de 10 kg, al considerar este factor se aseguró el correcto funcionamiento del motor.

Inicialmente se realiza un diagrama con las fuerzas externas en la pala limpiadora, la carga se colocó como carga puntual. Al añadir las fuerzas presentes el resultado se observa en la figura 71. Se desprecian los torques debido a que los brazos de palanca son pequeños y el mecanismo de rodamiento en los rieles no permite que la pala gire por las fuerzas presentes.

Figura 71

Diagrama de fuerzas externas en la pala limpiadora.

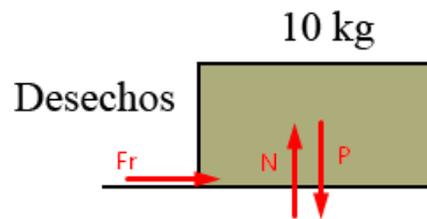


Nota: vista en corte lateral de la pala de limpieza.

Para calcular el valor de la fuerza de rozamiento es necesario analizar las reacciones que se presentan en los desechos. En la figura 72 se observa el diagrama de cuerpo libre.

Figura 72

Diagrama de cuerpo libre de desechos.



Nota: los desechos son analizados como carga puntual.

Aplicando las leyes de Newton se plantean las siguientes ecuaciones.

$$\Sigma F_y = 0 \quad N - P = 0 \quad P = N = 10kgf \quad \text{EC. 1.}$$

$$\Sigma F_x = m * a = 0 \quad F_c - F_r = 0 \quad F_c = F_r \quad \text{EC. 2.}$$

$$\text{EC. 1 en EC. 2} \quad F_c = \mu * N = \mu * P$$

Considerando que el material de desecho es orgánico y la superficie metálica galvanizada se considerará el valor máximo de rozamiento es decir $\mu = 1$, obteniendo así:

$$F_c = 1 * 10 kgf$$

$$F_c = 10 kgf$$

Finalmente, el cálculo del torque se lo realizará con un piñón de diámetro 30 mm es decir el brazo de palanca será igual al radio de 15 mm con el cálculo se halla el torque necesario para mover los desechos.

$$T_m = F_c * r = 10kg * 1.5 cm = 15 kgf * cm$$

El torque del motorreductor deberá ser superior a 15 *kgf.cm*. Se utilizará un factor de seguridad de 2 es decir el valor del torque del motorreductor deberá ser al menos 30 *kgf.cm*.

Con base a este cálculo y a los motorreductores existentes en el mercado se optó por utilizar un motor reversible AC común en máquinas que requieren gran torque como asadores rotativos. Se realizó un análisis de los motorreductores DC llegando a la conclusión que el torque de trabajo de estos no es suficiente para el movimiento del mecanismo de limpieza.

El motor elegido es uno de imán permanente 60KTYZ 14W 120V 2.5 rpm. En la figura 73 se observa la configuración para revertir el sentido de giro. Algunas de las ventajas de utilizar este tipo de motor son las siguientes:

- Alto torque.
- Velocidad baja.
- Reversible (cambio del sentido de giro), (ver Figura 73).

Figura 73

Motor AC 60KTYZ e inversión de giro.



Nota: Imagen obtenida de (Store, 2022).

A continuación, se observan las características técnicas del motor (ver tabla 18) (Chinesetool, 2022), (Store, 2022).

Tabla 18

Características técnicas del motor 60KTYZ.

Características			
Voltaje (V)	Potencia (W)	Velocidad (RPM)	Torque (Kg/cm)
120 AC	14	2.5	38

Nota: Características obtenidas de (Store, 2022).

Diseño de Soporte de Motor. el motor 60 KTYZ pesa 1.25 lb, con base al código internacional de construcción IBC (Code, 2009) en cargas no recíprocas como motores eléctricos su peso debe ser incrementado en un 20% es decir para el análisis estático se tomará un peso de.

$$P = 1.25 * 1.2 = 1.5 \text{ lb} = 0.69 \text{ kg}.$$

En la figura 74 se muestra la sección de maquinaria que se estipula en el código internacional de construcción IBC.

Mediante software se realizó la simulación estática del soporte que unirá el motor y la pala limpiadora. Inicialmente se asigna el material de la pieza en este caso es PLA, luego se colocan las sujeciones, mismas que son mediante tornillos de 1/8 in.

Luego se asigna el valor del peso del motor. Para obtener mejores resultados se usa un método de mallado adaptativo tipo h con 5 bucles.

En la figura 75 se observa el mallado de la pieza y después de realizar la simulación se obtiene el gráfico de convergencia del desplazamiento máximo.

Figura 74

Sección de maquinaria en IBC.

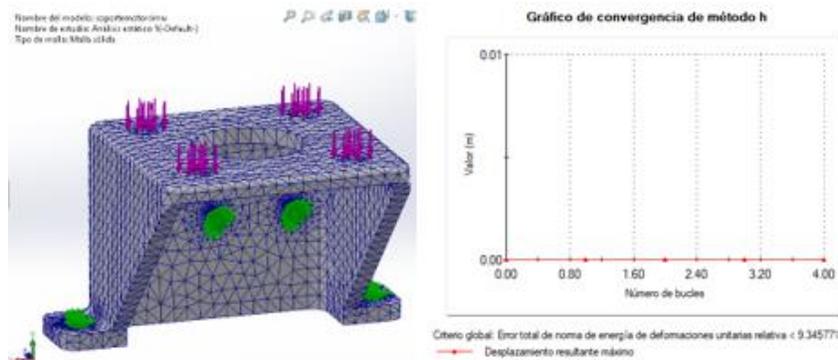
1607.8.2 Machinery. For the purpose of design, the weight of machinery and moving loads shall be increased as follows to allow for impact: (1) elevator machinery, 100 percent; (2) light machinery, shaft- or motor-driven, 20 percent; (3) reciprocating machinery or power-driven units, 50 percent; (4) hangers for floors or balconies, 33 percent. Percentages shall be increased where specified by the manufacturer.

Nota: información tomada de (Code, 2009).

En el esfuerzo se llega a la conclusión que la pieza no tendrá problemas ya que el valor no supera el límite elástico del material.

Figura 75

Mallado adaptativo en el soporte y resultado de convergencia del desplazamiento.

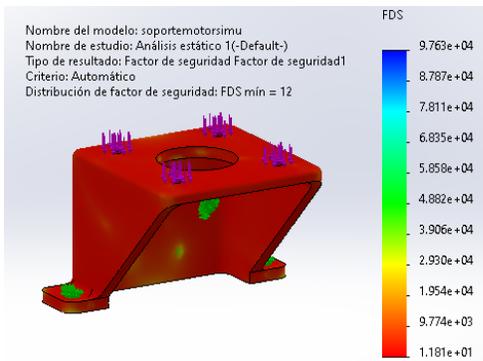


Nota: mallado tipo h 98%.

El desplazamiento resultado de la carga es reducido y no generará problemas. El factor de seguridad obtenido es de 12 lo cual permite concluir que la pieza soportará de manera adecuada las cargas (ver figura 76).

Figura 76

Factor de seguridad del soporte del motor.

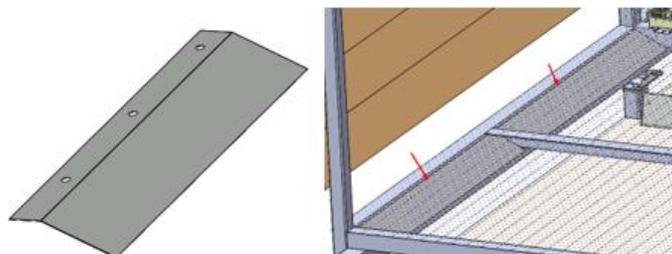


Nota: factor de seguridad mínimo de 12.

Construcción del Sistema de Limpieza. la estructura de la pala fue construida con platina metálica de 1 x1/8 in de acuerdo al plano correspondiente en el apéndice #13 (código: MCT-EAT-EPL-01). La cubierta de la estructura de la pala limpiadora fue realizada con tol galvanizado de 0.45 mm de espesor. Para el sistema colgante se realizaron cubiertas en tol galvanizado, mismas que permiten que los desechos provenientes de los cuyes caigan a la base de limpieza y no se acumulen encima del riel colgante. En la figura 77 se observa el modelado de las cubiertas y cómo se ensamblan en un lado del compartimento, en la figura 78 se observa su construcción.

Figura 77

Modelado de cubiertas y ensamblaje en el software.



Nota: las cubiertas evitan acumulación de desechos sobre los rieles.

Figura 78

Ensamblaje de cubiertas para rieles colgantes.

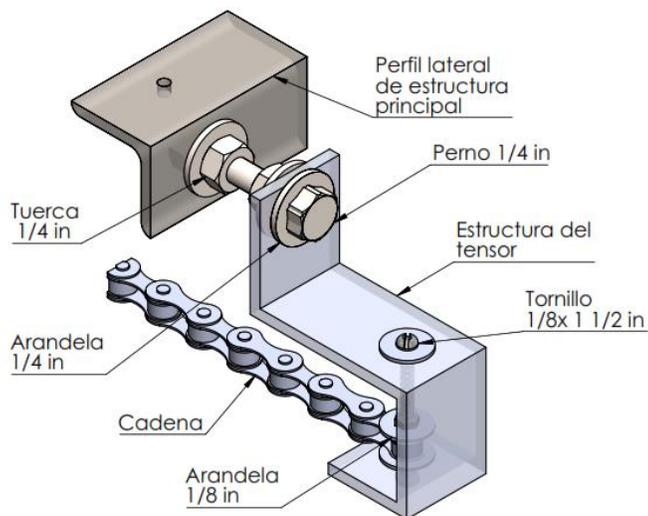


Nota: las cubiertas son ensambladas entre la malla y sus sujetadores.

Para guiar el motor de la pala limpiadora es necesario que las cadenas sujetas a los laterales de la estructura se encuentren tensadas de manera adecuada para lo cual se diseñó un tensor con platina de 1 x1/8 in. El tensor lateral derecho se muestra en la figura 79 y el tensor lateral izquierdo en la figura 80.

Figura 79

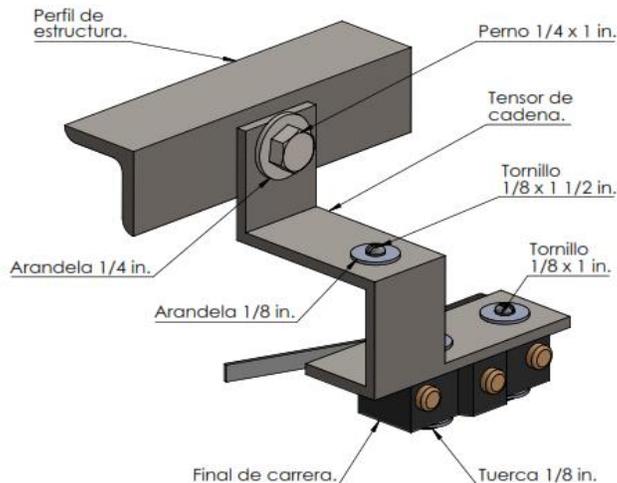
Partes del tensor de cadena derecho.



Nota: el perno de ¼ permite tensar o no la cadena.

Figura 80

Partes del tensor de cadena izquierdo.



Nota: el final de carrera es activado cuando la limpieza finalizó.

Módulo de Control de Humedad.

Para reducir la humedad ambiental además de calentar el ambiente con las niquelinas se colocaron deshumidificadores, mismos que se encargan de eliminar las partículas de agua en el aire logrando así reducir el valor de la humedad relativa.

Luego de buscar deshumidificadores en el mercado nacional el más adecuado teniendo en cuenta el costo, tiempo de vida útil y capacidad es el siguiente: deshumidificador recargable de silicagel EVA-DRY.

Tiene vida útil de 10 años debiendo recargarse cada cierto tiempo. En la figura 81 se muestra el dispositivo y algunas de sus características.

Figura 81

Deshumidificador Eva-Dry.



Nota: imagen obtenida de: (Eva-Dry, 2022).

Especificaciones obtenidas de (Eva-Dry, 2022).

- Trabaja en un área de 9,43 metros cúbicos.
- Absorbe 4-6 oz. de humedad.
- 100% renovable y duración de hasta 10 años.
- No se derrama, No tóxico.
- Es ecológico (no contamina).
- Dimensiones: 17.3 cm x 5.91cm.

Diseño Eléctrico y Electrónico.

Una vez concluido el diseño mecánico se empieza con el diseño eléctrico y electrónico mismos que se encargan de controlar la temperatura, humedad y limpieza en el entorno.

Características de Sensores y Actuadores.

A continuación, se detallan las características técnicas de los sensores y actuadores en el prototipo.

PT100. akozon RTD PT100 - Sensor de temperatura impermeable, en la tabla 19 se muestran las especificaciones para este sensor.

Tabla 19

Especificaciones de sonda PT100.

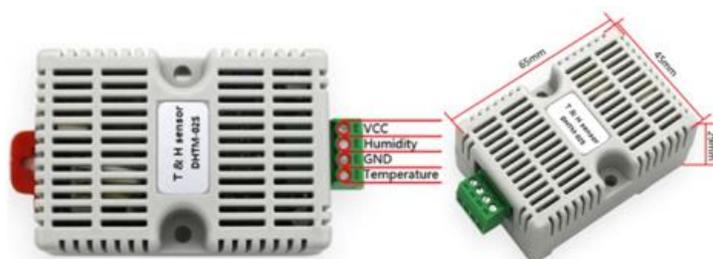
Característica	Valor
Material	Acero inoxidable
Resistente	Desgaste, corrosión y óxido.
RTD PT100 clase A	Tolerancia ± 0.15 °C a 0 °C.
Temperatura de trabajo	-50 a 572 °F
Longitud de la sonda	1.969 in

Nota: Datos obtenidos de (Akozon, 2022).

Sensor de Humedad Relativa. Baoblaze, módulo transmisor de humedad y temperatura salida lineal de 0 – 10 V (Baoblaze, 2022). Este sensor tiene salida lineal de 0 a 10V adecuada para la entrada analógica del PLC LOGO, en la figura 82 se muestra el sensor, sus pines y las dimensiones del mismo. Las características técnicas de este sensor se muestran en la tabla 20.

Figura 82

Sensor de humedad y temperatura 0-10V y sus dimensiones.



Nota: Imagen obtenida de (Baoblaze, 2022).

Tabla 20

Características técnicas del sensor de humedad.

Característica	Valor
Voltaje de funcionamiento	12 – 24 V DC
Corriente de funcionamiento	6 mA
Temperatura de funcionamiento	-30 a 80 °C
Humedad de funcionamiento	0-100 % RH
Tipo de salida	Lineal
Precisión de temperatura	± 1 °C
Precisión de humedad	± 5% RH
Salida de temperatura y humedad	0 - 10 V

Nota: Información obtenida de (Baoblaze, 2022).

Relé de Estado Sólido. se usaron seis relés para el accionamiento de los motores AC y las niquelinas, es necesario el uso de este tipo de relé debido al amperaje elevado que consumen las resistencias calefactoras además se evitan posibles fallos en el circuito de control.

En la figura 83 se muestra el relé a utilizarse y en la figura 84 se muestran las características técnicas de este relé. Obteniendo un consumo máximo de 50 mA, es decir que con los seis relés se consumirá 300 mA.

Luz Piloto AD16-22D. se usaron 2 luces piloto. El consumo de cada una es 15mA teniendo en total 30mA.

Figura 83

Relé de estado sólido MaxWell.



Nota: Imagen obtenida de (Dielecom, 2022).

Figura 84

Características técnicas del relé de estado sólido.

Electrical Technical Features	
Load voltage	60Vdc/110Vdc/220Vdc
Control voltage	5-32Vdc
Control current	5-50mA DC
On voltage drop	<1.5V
Off leakage current	<2mA
On-off time	<10ms
Dielectric strength	2000VAC
Insulation resistance	500M Ω /500VDC
Ambient Temperature	-30°C~+75°C
Indicator	LED
Weight	0.1kg
Mounting method	Chassis mount

Nota: información obtenida de (Dielecom, 2022).

Motorreductor 12 V. el motorreductor se encuentra en el sistema de ventilación y es el encargado de subir y bajar las ventanas del prototipo. En la tabla 21 se detallan las características técnicas del motorreductor.

Tabla 21

Características técnicas del motorreductor.

Característica	Valor
Voltaje	12 V
Consumo	0.9 A
Velocidad	7 rpm
Torque	20 kg.cm

Nota: Información obtenida de (Innovatech, 2022).

Diseño Electrónico de Circuito de Inversión de Giro

Para que las ventanas se abran y se cierren es necesario la inversión del sentido de giro en los motorreductores para lo cual se usó un puente H L293D y un regulador para acondicionar el voltaje de salida del PLC.

Puente H L293D. integrado usado para controlar componentes de potencia media, como motores y cargas inductivas. El datasheet de este puente h se muestra en el apéndice #6.

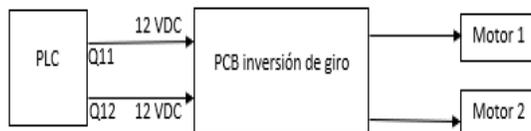
De manera funcional, es necesario transformar los 12V de la salida del PLC hacia el PCB a continuación en las figuras 85 y 86 se muestran los diagramas funcionales general y específico de la PCB.

El acondicionamiento es necesario ya que las entradas para cambiar el sentido de giro en el puente h aceptan máximo un valor de 7 voltios. Para reducir el voltaje de 12 a 5 voltios se usó un regulador de voltaje LM7805.

El regulador se caracteriza por mantener una salida estable y fija de 5 V. Las características técnicas de este regulador se muestran en la figura 87.

Figura 85

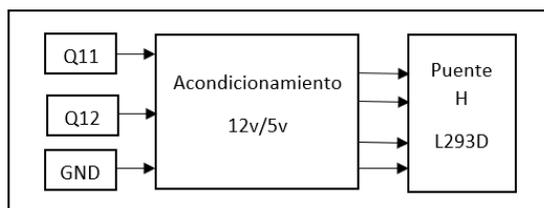
Diagrama funcional general.



Nota: Q11 y Q12 representan las salidas del módulo digital del PLC.

Figura 86

Diagrama funcional de PCB.



Nota: diagrama base para diseñar la placa electrónica.

Figura 87

Características técnicas del regulador LM 7805.

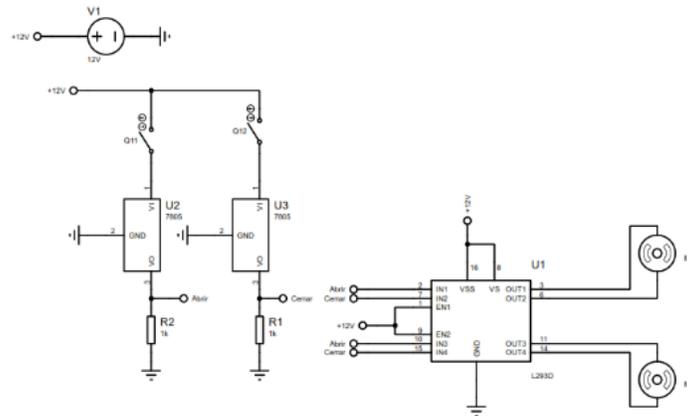
PARAMETER	TEST CONDITIONS	T _J †	µA7805C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	I _O = 5 mA to 1 A, V _I = 7 V to 20 V, P _D ≤ 15 W	25°C	4.8	5	5.2	V
		0°C to 125°C	4.75		5.25	
Input voltage regulation	V _I = 7 V to 25 V	25°C		3	100	mV
	V _I = 8 V to 12 V			1	50	
Ripple rejection	V _I = 8 V to 18 V, f = 120 Hz	0°C to 125°C	62	78		dB
Output voltage regulation	I _O = 5 mA to 1.5 A	25°C		15	100	mV
	I _O = 250 mA to 750 mA			5	50	
Output resistance	f = 1 kHz	0°C to 125°C		0.017		Ω
Temperature coefficient of output voltage	I _O = 5 mA	0°C to 125°C		-1.1		mV/°C
Output noise voltage	f = 10 Hz to 100 kHz	25°C		40		µV
Dropout voltage	I _O = 1 A	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.2	8	mA
Bias current change	V _I = 7 V to 25 V	0°C to 125°C		1.3		mA
	I _O = 5 mA to 1 A			0.5		
Short-circuit output current		25°C		750		mA
Peak output current		25°C		2.2		A

Nota: Información obtenida de (Series, 2003).

El circuito implementado se observa en la figura 88, Q11 y Q12 representan las salidas tipo relé del PLC LOGO. En las figuras 89 y 90 se muestra el diseño de la PCB implementada.

Figura 88

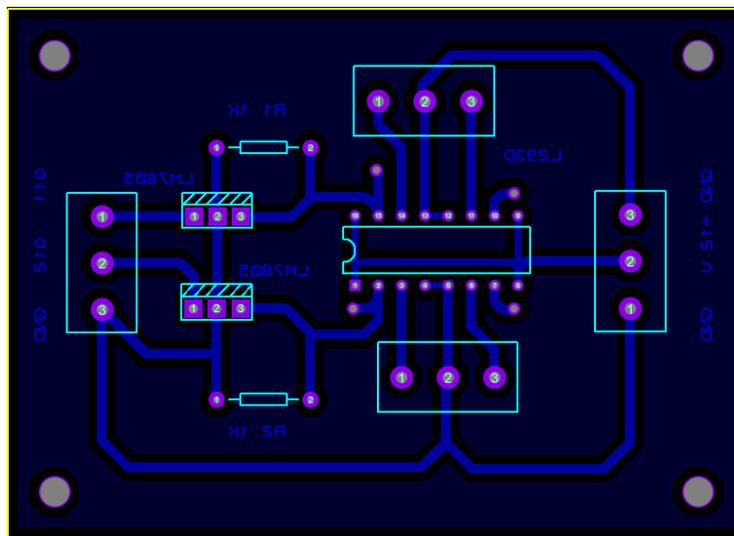
Circuito para cambio de giro.



Nota: circuito diseñado y simulado en Proteus.

Figura 89

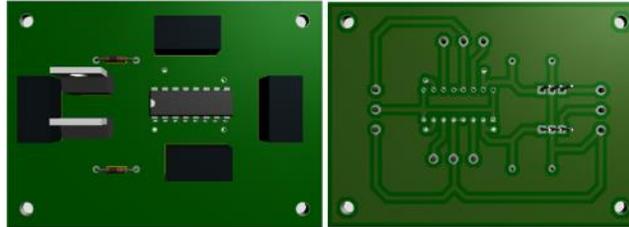
Diseño de PCB.



Nota: se colocaron conectores de tres pines para fuentes.

Figura 90

Vista 3d superior e inferior de la placa PCB.



Nota: diseño realizado de manera modular.

Diagrama Eléctrico

Para automatizar el ambiente al interior de la jaula se usó un PLC LOGO, mismo que está encargado de mantener la temperatura y la humedad en los valores adecuados, además de activar el sistema de limpieza y ventilación de acuerdo a las condiciones.

En la figura 91 y en el plano eléctrico expuesto en el apéndice #9 se muestran las conexiones de pulsadores de inicio, paro, emergencia, además los actuadores como luces piloto, resistencias calefactoras, ventiladores, relés, motores y PCB.

El plano es muy importante ya que con él se podrá realizar posteriores mantenimientos y corrección de fallos.

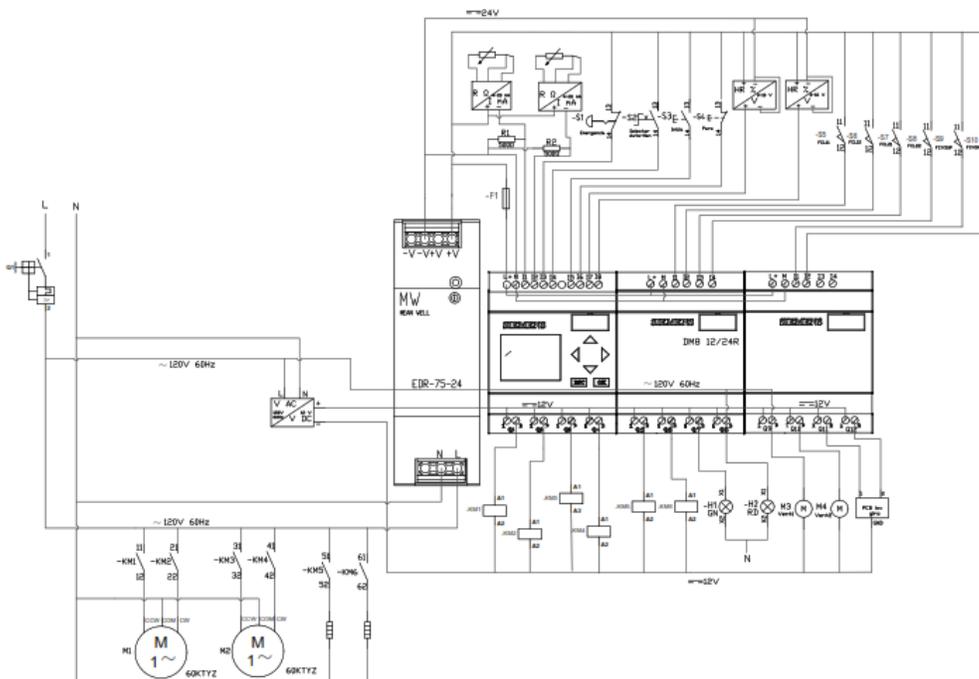
Selección de Fuentes para el Prototipo

Para seleccionar de manera adecuada las características de las fuentes necesarias se debe calcular los consumos totales que se tendrán tanto en el circuito de control como en el de potencia.

El circuito de control consta de una fuente en la que se conecta el PLC sus dos módulos digitales y las entradas como: pulsadores, interruptores y sensores. En la tabla 22 se muestran los consumos de corriente del circuito de control.

Figura 91

Diagrama eléctrico.



Nota: símbolos seleccionados de acuerdo a norma.

Tabla 22

Consumo de elementos en el circuito de control.

Cantidad	Detalle	Consumo máximo	Consumo total
1	PLC LOGO! 12/24 RC	75 mA	75 mA
2	Módulo digital LOGO DM8 12/24 R	75 mA	150 mA
2	PT100 3 hilos y transmisor	5 mA	10 mA
2	Sensor de humedad	6 mA	12 mA
Consumo final			247 mA

Nota: consumos seleccionados de acuerdo a la hoja técnica de cada componente.

Se considera un factor de seguridad de 3, existiendo así la posibilidad de que en un futuro se conecten más sensores o módulos a esta fuente.

$$I_{requerida} = 0.7 A$$

La fuente existente en el mercado nacional con menor amperaje es: EDR -75-24, en la figura 92 se muestran sus características técnicas. El amperaje máximo que entrega es de 3.2 A es decir que es adecuada para la aplicación.

Los actuadores son conectados a una fuente de 12 V DC de igual manera se procede calculando el consumo de corriente. Este circuito consta de 6 relés de estado sólido DC/AC, 2 motorreductores 12V, PCB para inversión de giro y 2 ventiladores 12V 0.25 A.

En la tabla 23 se muestra el consumo de cada actuador. De acuerdo a la existencia en el mercado nacional se adquirió una fuente 12V 5 A que soporta de manera adecuada las cargas.

Figura 92

Características técnicas de la fuente.

MODEL	EDR-75-12	EDR-75-24	EDR-75-48	
OUTPUT	DC VOLTAGE	12V	24V	48V
	RATED CURRENT	6.3A	3.2A	1.6A
	CURRENT RANGE	0 ~ 6.3A	0 ~ 3.2A	0 ~ 1.6A
	RATED POWER	75.6W	76.8W	76.8W
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	80mVp-p	120mVp-p	150mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	12 ~ 14V	24 ~ 28V	48 ~ 55V
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±2.0%	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	LOAD REGULATION	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	SETUP, RISE TIME	1200ms, 60ms/230VAC	2000ms, 60ms/115VAC at full load	
HOLD UP TIME (Typ.)	60ms/230VAC	12ms/115VAC at full load		
INPUT	VOLTAGE RANGE Note.6	90 ~ 264VAC	127 ~ 370VDC	[DC input operation possible by connecting AC/L(+), AC/N(-)]
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz		
	EFFICIENCY (Typ.)	85.5%	87.5%	88.5%
	AC CURRENT (Typ.)	1.45A/115VAC	0.9A/230VAC	
	INRUSH CURRENT (Typ.)	20A/115VAC	35A/230VAC	

Nota: Información obtenida de (Dielecom, 2022).

Tabla 23*Consumo de actuadores.*

Cantidad	Detalle	Consumo máximo	Consumo total
6	Relé de estado sólido Maxwell	50 mA	300 mA
2	Motorreductor 12 V	0.9 A	1.8 A
2	Ventilador 12 V	0.25 A	0.5 A
1	PCB INV. GIRO	20 mA	20 mA
Consumo final			2.62 A

Nota: fuente hoja técnica de cada actuador.

Dimensionamiento de Protecciones y Conductores

En la tabla 24 se detallan todos los actuadores en el prototipo y su consumo en amperios. El dimensionamiento se realizó con base a NEC instalaciones eléctricas (Iza, 2018), misma que estipula que el calibre del conductor por lo menos debe soportar el 125% del valor de la corriente de consumo.

Tabla 24*Consumo de corriente de actuadores.*

Cantidad	Actuador	Consumo individual (A)	Consumo total (A)	Cable necesario (AWG)
2	Niquelina AC 600W	5	10	18
2	Motor AC KTY60 14W	0.12	0.24	20
2	Ventilador 12V	0.25	0.5	24
2	Motorreductor 12 V	0.9	1.8	20
Consumo final			12.54	16

Nota: fuente datos técnicos de cada actuador.

El 125% de 12.54 es 15.67 por correspondiente el cable más adecuado es el 16 AWG que soporta 20 A.

Para dimensionar la protección se toma en cuenta los consumos tanto de los circuitos de control como de potencia teniendo así un consumo total de I_t : $12.54 + 1.75 = 14.29 A$, realizando un estudio de los breakers existentes en el mercado se encontró que el más adecuado es un breaker monofásico de 20 A.

Luego de concluido el proceso de dimensionamiento y selección se procede con la implementación como se observa en la figura 93.

Figura 93

Tablero de control y potencia montados en el prototipo.



Nota: todos los cables se encuentran ordenados de manera adecuada.

El tablero está protegido por el techo de zinc que tiene un voladizo lateral de 200mm además se implementó una puerta con vidrio que permite que el polvo no ingrese al tablero como se observa en la figura 94.

Figura 94

Cubierta para el tablero de control.



Nota: los tableros se encuentran protegidos de ambientes perjudiciales.

Componente Informático

Programación PLC LOGO

Inicialmente se analizan todos los sensores y actuadores, luego mediante graficet se plantea una secuencia lógica que cumpla los objetivos. Finalmente se transforma de graficet a lenguaje escalera (LADDER).

Graficet Estructurado. la metodología implementada para solucionar el problema es mediante graficet estructurado mismo que permite obtener una documentación ordenada y de fácil entendimiento de tal manera que cuando se requiera un cambio o repotenciación del prototipo sea factible.

Inicialmente se definen cada una de las entradas y salidas del PLC como variables.

Con todas las variables identificadas se realiza el graficet de seguridad G0, mismo que permite colocar en estado de emergencia al prototipo esto se logra mediante el pulsador normalmente cerrado (NC) tipo hongo de emergencia. G1 es el graficet de modos de marcha mismo que permite al usuario seleccionar el modo de operación entre manual y automático, en manual el operario tendrá acceso a

activar todos los actuadores desde la pantalla HMI en el servidor de logo, en cambio en automático el PLC controla las variables internas y limpia el prototipo de manera automática.

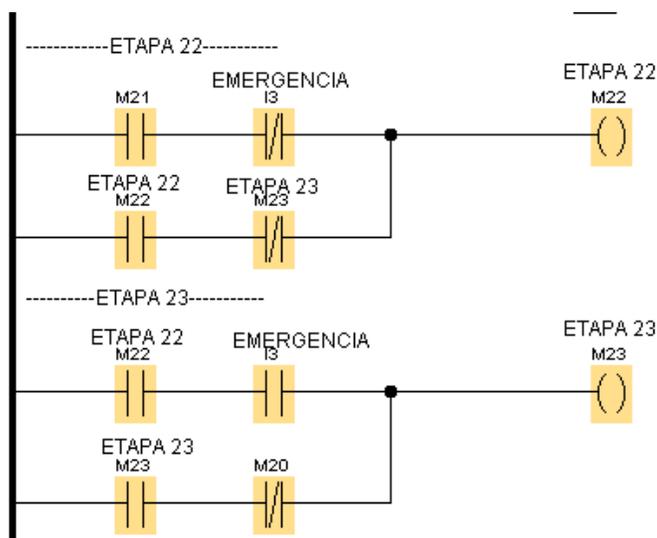
G2 es el grafcet de paro en estado determinado, el operario en cualquier momento podrá presionar el pulsador NC de paro y el sistema se detiene, luego de presionar el botón de inicio el sistema continúa funcionando normalmente.

G3 y G4 controlan la temperatura de ambos compartimentos y G5 controla la limpieza automática. El grafcet en su totalidad se muestra en el apéndice #10.

Programación del PLC Logo. una vez solucionado el problema en grafcet se debe transformar a lenguaje escalera o LADDER. En el software Logo Soft se ingresa cada una de las etapas y la lógica para el correcto funcionamiento del prototipo. En la figura 95 se observa un pequeño fragmento de la programación. En el apéndice #11 se encuentra el programa en su totalidad.

Figura 95

Fragmento de programación en lenguajes escalera.



Nota: fuente propia, Logosoft.

Diseño de HMI en el Servidor Web LOGO

La HMI se realizó cumpliendo varios aspectos descritos en la metodología GEDIS (Guía Ergonómica de Diseño de Interfaces de Supervisión) obtenida de: (Ponsa), entre los más importantes se tiene:

- Título de pantalla, hora, fecha y logotipo de la institución.
- Presencia de alarmas del proceso.
- Considerar el diagrama de Gutenberg (el movimiento del ojo va de arriba abajo y de izquierda a derecha). Los indicadores más importantes deben ir arriba.
- Información o indicadores críticos deben tener un lugar fijo en las pantallas.
- La posición más adecuada de los gráficos es a la izquierda de la pantalla.
- La densidad de los gráficos no debe superar el 50%.
- Inicialmente se debe realizar una plantilla para las pantallas HMI.
- La navegación entre pantallas debe ser fácil e intuitiva
- Limitar los colores a un número de 4 completamente diferenciables.
- Colores neutros para el fondo de pantalla (gris, beige, arena).
- No se deben utilizar más de 3 fuentes en la pantalla.
- No utilizar más de 3 tamaños de letra.
- Preferentemente usar fuentes sans serif.
- Utilizar fuentes mayores a 8 para facilitar la visualización.
- El color del texto debe contrastar con el color del fondo.
- Evitar el exceso de alarmas innecesarias.
- La zona de alarmas debe ser claramente distinguible para el operario.
- El texto que describe la alarma debe ser claro y conciso.
- El operario debe poder reconocer la alarma fácilmente y actuar ante ella.

Pantallas de HMI. siguiendo todas las recomendaciones de la guía GEDIS se plantean las siguientes pantallas.

Pestaña de Seguridad. esta pestaña brinda seguridad a la HMI permitiendo que únicamente personas con las credenciales adecuadas tengan acceso. En la figura 96 se observa la pestaña de seguridad.

Figura 96

Pestaña de seguridad del servidor web de logo.



Nota: la pestaña de seguridad es propia del servidor de LOGO!.

Pestaña Principal. en la pestaña se observan medidores de temperatura e indicadores de estado además de un diagrama esquemático del prototipo en la parte derecha los únicos colores que llaman la atención en la pantalla son los indicadores de paro, emergencia y el pulsador de emergencia.

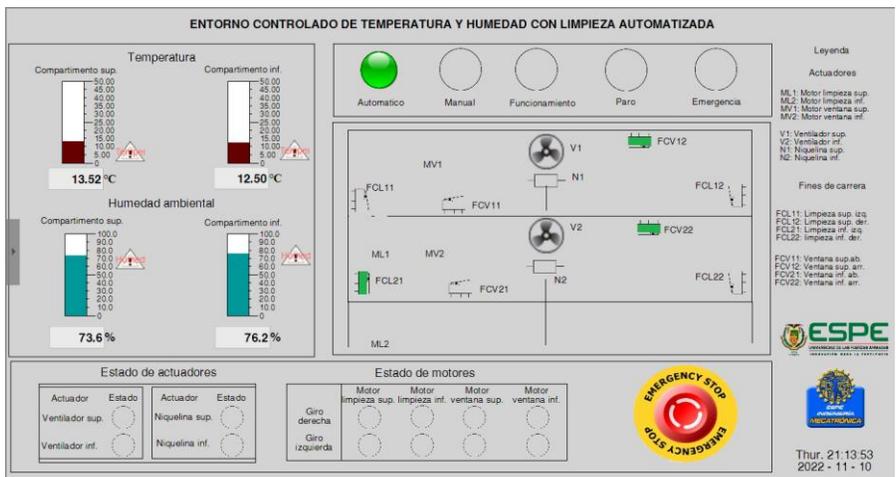
En el lado derecho se detallan cada uno de los actuadores y sensores de acuerdo a su inicial además en la parte inferior se encuentra el logo de la universidad, la fecha y hora. En la figura 97 se observa la pestaña principal.

Pestaña de Control. en esta pestaña se muestran indicadores visuales de actuadores y los valores de temperatura y humedad además se tienen botones virtuales que únicamente podrán ser

accionados cuando de manera física el selector se encuentre en modo manual. El diseño de la pestaña se observa en la figura 98.

Figura 97

Pestaña principal de supervisión.



Nota: la pestaña muestra el estado general del prototipo.

Figura 98

Pestaña de control.



Nota: los botones virtuales controlan los actuadores cuando este activo el modo manual.

Pestaña de Tendencias. en esta pestaña se puede observar la variación de las entradas analógicas de temperatura y humedad respecto al tiempo. En la figura 100 se muestra el diseño de la pestaña.

Navegación. para navegar en las distintas pestañas en la parte lateral izquierda existe un menú desplegable como se observa en la figura 99.

Figura 99

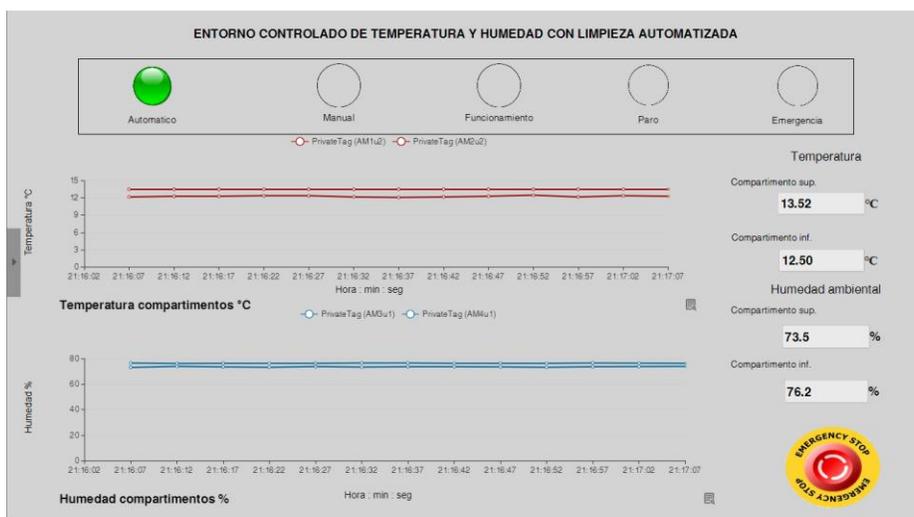
Menú desplegable de navegación.



Nota: el menú se encuentra oculto al lado izquierdo de todas las pestañas.

Figura 100

Pestaña de tendencias.



Nota: en el eje x se muestra la hora que se realiza la medición.

Adquisición de Datos

Para adquirir los datos de temperatura antes de aplicar el control en el prototipo se utilizó una placa ESP-32 que permite exportar los datos a un servidor web y guardarlos para su posterior tratamiento. Se decidió usar esta placa debido a la facilidad de tomar los datos en horarios de la madrugada en los que la temperatura es baja.

Placa ESP WROOM 32. ESP32 es una placa de desarrollo que permite leer datos de sensores y usar una gran variedad de actuadores con conexión Wifi o Bluetooth, es usado comúnmente para aplicaciones de Internet de las cosas “IOT” (Electronics, 2022). En la tabla 25 se detallan las características de esta placa.

DHT22 Sensor de Temperatura y Humedad. este sensor se caracteriza por ser de bajo costo y buen rendimiento, está integrado por un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante (Electronics, 2022).

Los usos comunes para este sensor son: control automático de temperatura, aire acondicionado, estaciones meteorológicas, etc. (Electronics, 2022). En la tabla 26 se detallan las características técnicas del sensor.

Tabla 25

Características técnicas de la placa ESP WROOM32.

Características técnicas	
Tipo	Módulo Wifi + Bluetooth
Modelo	ESP32 38 Pines
Voltaje de alimentación	5V DC
Voltaje de Entradas / Salidas	3.3V DC

Características técnicas	
Consumo de energía	5 μ A en modo de suspensión
Wifi	802.11 b/g/n/e/i (802.11n @ 2.4 GHz hasta 150 Mbit/s)
Bluetooth	4.2 BR/EDR BLE Modo de control dual
Pines digitales	24 (Algunos pines solo como entrada)
Convertor analógico digital	Dos ADC de 12bits tipo SAR, soporta mediciones en hasta 18 canales,

Nota: Información obtenida de (Electronics, 2022).

Tabla 26

Características técnicas del sensor DHT22.

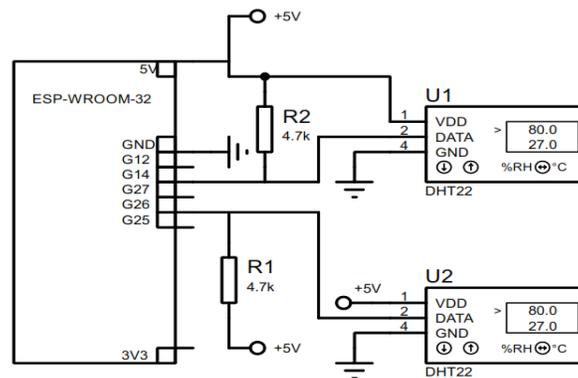
Características técnicas	
Voltaje de funcionamiento	3.3 V a 5.5 V
Consumo de corriente	2.5 mA
Velocidad de muestreo	2 segundos
Rango de medición Temperatura	-40°C a 125°C
Precisión de medición de temperatura	< \pm 0.5 °C
Resolución de Temperatura	0.1°C
Rango de medición Humedad	0% hasta 100% RH 0.5°C de variación
Precisión de medición de humedad	2% RH
Resolución Humedad	0.1% RH

Nota: Información obtenida de (Electronics, 2022).

Se ubicó un sensor en cada piso del prototipo. En los compartimentos superiores y en los compartimentos inferiores, logrando así obtener los valores de temperatura y humedad a los que están expuestos los cuyes. En la figura 101 se observa el circuito implementado.

Figura 101

Circuito implementado para la adquisición de datos.



Nota: todas las entradas son digitales.

Con el software de Arduino IDE se programó la placa, para esto es necesario instalar las librerías adecuadas tanto para la placa como para el sensor DHT22. En el apéndice #12 se muestra el código implementado para la recolección y envío de datos a ThingSpeak.

Mediante ThingSpeak se logra obtener los valores de temperatura en tiempo real, además permite exportar los datos obtenidos en un determinado tiempo.

ThingSpeak es una plataforma que permite visualizar datos en tiempo real en la nube, es usualmente usado en aplicaciones de IOT y análisis de datos.

Temperatura al Interior del Prototipo. con la implementación del circuito de adquisición se obtuvieron datos durante las 24 horas desde el 23 de julio hasta el 6 de agosto, el tiempo de muestreo es de 15 min ya que la temperatura y la humedad relativa ambiental no tienen cambios bruscos. En la

figura 102 se observan los datos recolectados el 2 de agosto en ThingSpeak, todos los valores fueron exportados para su análisis.

Figura 102

Datos del 2 de agosto en ThingSpeak.

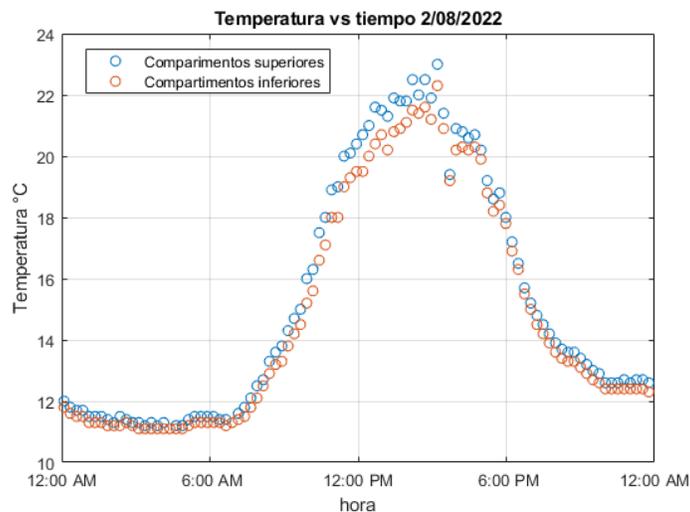


Nota: datos extraídos de ThingSpeak.

En la figura 103 se muestran los datos del dos de agosto procesados en Matlab y en la figura 104 se observan todos los datos de temperatura recolectados.

Figura 103

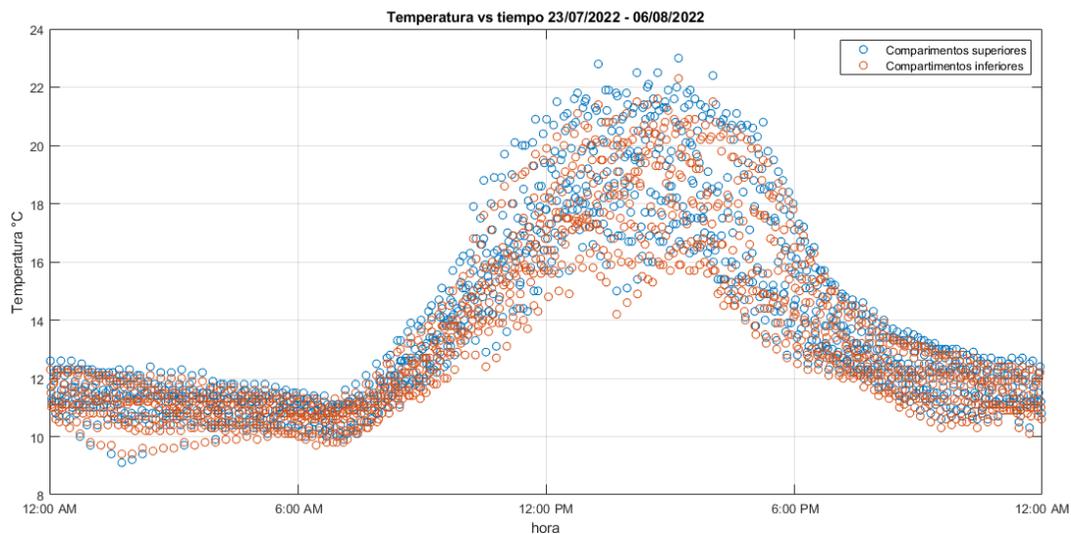
Datos de temperatura recolectados del 02/08/2022.



Nota: datos procesados en Matlab.

Figura 104

Datos de temperatura obtenidos del 23/07 al 06/08 del 2022.



Nota: datos procesados en Matlab.

En la tabla 27 se muestran los valores máximos y mínimos registrados en la adquisición de datos.

Tabla 27

Valores máximos y mínimos registrados.

Valores mínimos			
Temperatura 1	Temperatura 2	Humedad 1	Humedad 2
9.1 °C	9.4 °C	58.1	59.7
Valores máximos			
Temperatura 1	Temperatura 2	Humedad 1	Humedad 2
23 °C	22.3 °C	99.9	99.9

Nota: datos registrados en cada compartimento del prototipo .

Los valores que se encuentran por debajo de 18 °C son el 84% del total, es decir predomina el clima frío en la región y el calefactor es sumamente necesario.

El 95% de los datos están por encima del 60% de humedad relativa lo cual se debe reducir con la aplicación del control de temperatura y los deshumidificadores.

Capítulo 4

Pruebas y Resultados

Al concluir la construcción del prototipo se realizaron varias pruebas de los sistemas tanto de manera individual como global.

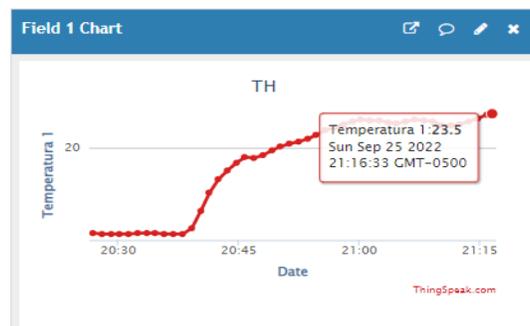
Pruebas Individuales

Prueba del Calefactor Superior

Luego de construido y ensamblado el calefactor del compartimento superior se encendió y se adquirieron datos de temperatura. La prueba fue realizada el 25 de septiembre y el 2 de octubre en horas de la noche, se obtuvieron los resultados mostrados en las figuras 105, 106 y 107.

Figura 105

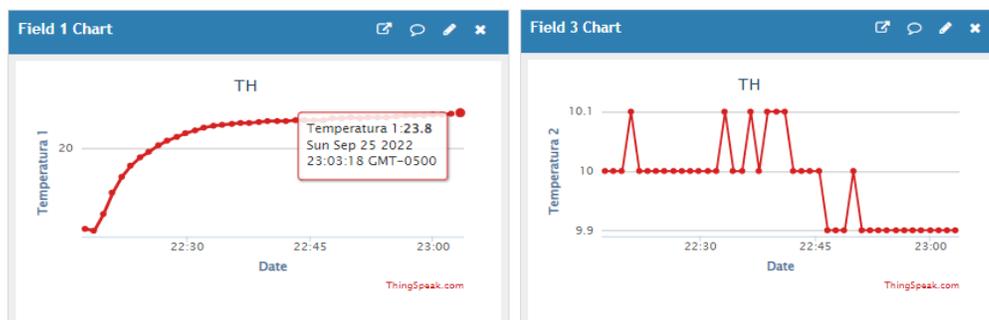
Resultados 25 de septiembre 8 pm.



Nota: datos obtenidos de ThingSpeak.

Figura 106

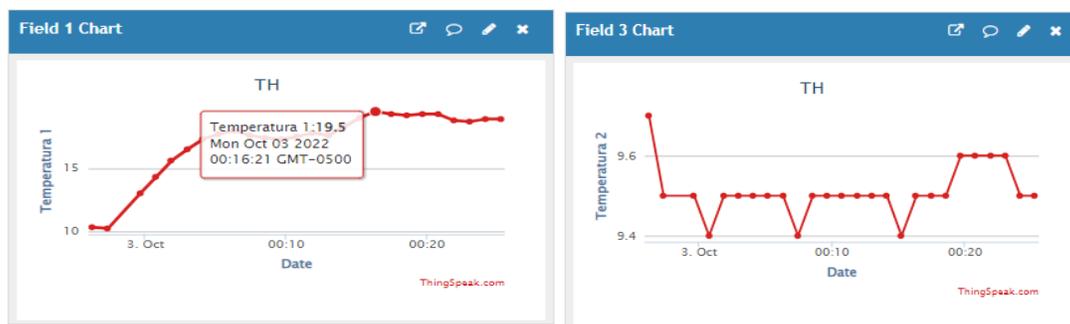
Resultado 25 de septiembre 10 pm.



Nota: datos obtenidos de ThingSpeak.

Figura 107

Resultados 3 de octubre 00:00.



Nota: datos obtenidos de ThingSpeak.

En las tres pruebas la temperatura del compartimento se eleva y logra establecerse en 20 °C. Además, al calentar el ambiente el valor de la humedad relativa se reduce debido a la evaporación de las partículas de agua en el aire. En las gráficas del lado derecho se muestra la condición del compartimento inferior sin el calefactor, logrando así contrastar las características alcanzadas con el calefactor y sin él.

Pruebas Globales

Pruebas del Módulo de Ventilación

Objetivos

- Verificar el funcionamiento adecuado del sistema de ventanas automáticas.
- Verificar el funcionamiento de apertura de ventanas y protecciones en el sistema.

Personal a cargo

- Javier Chilibingua
- Nelly Lema (dueña del criadero)

Actividades por realizar

Modo manual

- a. Seleccionar el modo manual.
- b. Presionar el pulsador de marcha.
- c. Ingresar al servidor web y seleccionar la pestaña de control.
- d. Presionar abrir ventilación, verificar que las ventanas se abran totalmente y sin atascamientos.
- e. Presionar cerrar ventilación, verificar que las ventanas se cierren en su totalidad sin atascos.
- f. Verificar que la HMI refleja el estado actual de las ventanas y pulsadores.

Modo automático

1. Seleccionar el modo automático.
2. Verificar que las ventanas se cierran cuando la temperatura es menor a 18 °C.
3. Verificar que las ventanas se abren cuando la temperatura es mayor a 24 °C.
4. Verificar que las ventanas se desplacen con facilidad sin atascamientos.

5. Verificar el correcto funcionamiento de la HMI en modo automático.

Resultados

Luego de realizar la prueba los resultados son ordenados en la tabla 28.

Tabla 28

Resultados de pruebas en el módulo de ventilación.

Requerimientos	Cumplimiento	
	Vna. superior	Vna. inferior
Ventana se cierra al presionar el botón correspondiente en HMI y cuando la temperatura es menor a 18 °C.	Cumple	Cumple
Ventana se abre al presionar el botón correspondiente en HMI y cuando la temperatura es mayor a 24 °C.	Cumple	Cumple
La banda transmite el movimiento adecuadamente.	Cumple	Cumple
Ventana se traslada sin trabarse.	Cumple	Cumple
Los motorreductores en movimiento están sujetos de manera adecuada.	Cumple	Cumple

Nota: cumplimiento evaluado de acuerdo a 5 pruebas realizadas.

Observaciones

El mecanismo de ventanas automáticas cumple con su función. La comunicación HMI y PLC es adecuada y el tiempo de respuesta es bajo.

Correcciones

Se aumentó la tensión de la banda GT2 en la ventana inferior derecha ya que presentaba cierto movimiento lateral con el viento externo. Luego de tensar la banda el problema se soluciona.

Pruebas en Módulo de Control de Temperatura**Objetivos**

- Verificar que los valores de temperatura se mantengan en el rango adecuado.
- Comprobar el correcto funcionamiento de los calefactores en el prototipo.

Personal a cargo

- Javier Chilibingua.
- Nelly Lema (dueña del criadero).

Actividades por realizar

1. Poner en marcha el prototipo.
2. Encender las niquelinas y ventiladores de forma manual para verificar su funcionamiento.
3. Verificar el funcionamiento del calefactor en modo automático.
4. Comprobar el correcto funcionamiento de indicadores analógicos de temperatura en la pantalla HMI.

Resultados

Los resultados obtenidos se detallan en la tabla 29.

Tabla 29

Resultados de pruebas en sistema de calefacción.

Requerimientos	Cumplimiento	
	Calefactor inferior	Calefactor superior
Calefactores se activan al presionar botones en HMI.	Cumple.	Cumple.
Calefactores se activan a temperaturas menores a 18 °C.	Cumple.	Cumple.
Calefactores se desactivan a temperaturas superiores a 24 °C.	Cumple.	Cumple.
Calefactor en modo automático mantiene la temperatura entre 18 y 24 °C.	Cumple.	Cumple.
Ventilador silencioso.	Cumple.	Cumple.
Calefactor no causa reacciones en los cuyes.	Cumple.	Cumple.

Nota: cumplimiento evaluado de acuerdo a 5 pruebas realizadas.

Observaciones

Luego de las pruebas realizadas el sistema de calefacción cumple con su objetivo además que es silencioso y no afecta al bienestar de los cuyes al interior.

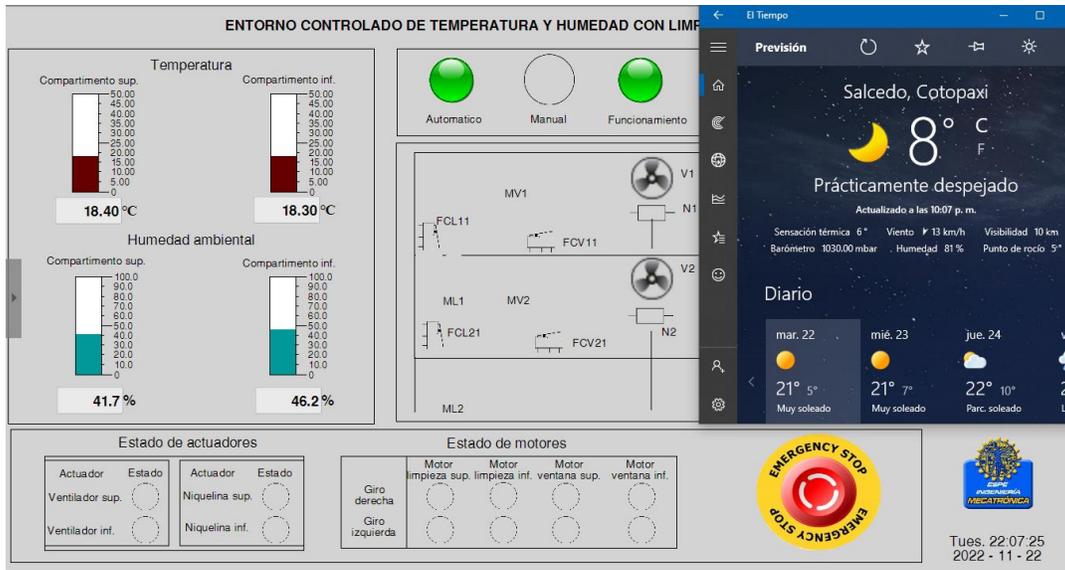
Correcciones

Se inclinó el calefactor para que el aire caliente circule de mejor manera al interior de los compartimentos, logrando así que la temperatura se eleve a gran velocidad y se establezca en el valor adecuado.

En las figuras 108 y 109 se observa en la HMI el control de temperatura y humedad mediante ambos calefactores.

Figura 108

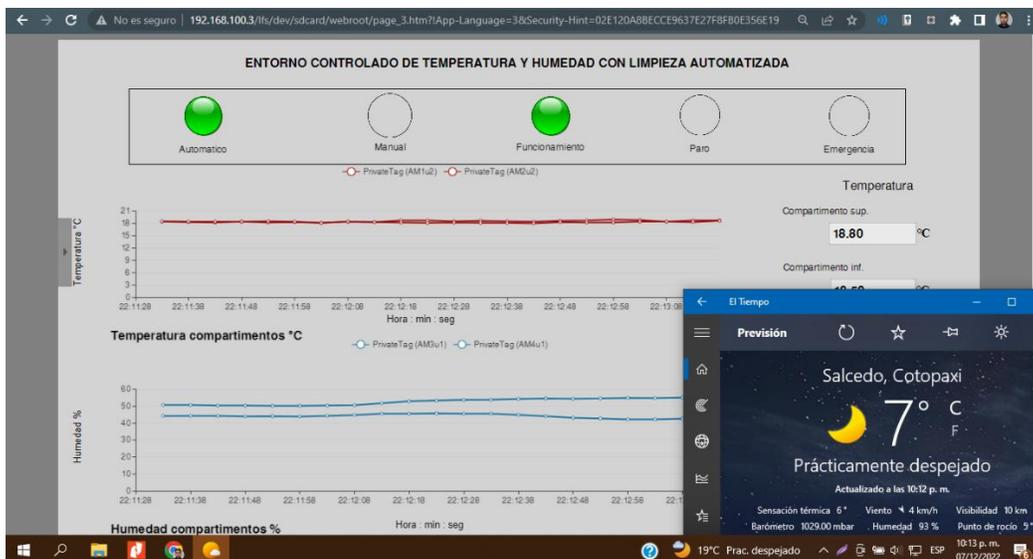
Control de temperatura y humedad 22/11/2022, 10pm.



Nota: dato de contraste obtenido de la aplicación tiempo.

Figura 109

Prueba del modo automático 10:00 pm.



Nota: dato de contraste obtenido de la aplicación tiempo.

Pruebas en Módulo de Control de Humedad

Objetivos.

- Verificar el correcto funcionamiento de los deshumidificadores en el prototipo.
- Constatar que los valores de humedad en los compartimentos se mantienen adecuados.

Personal a cargo.

- Javier Chilibingua.

Actividades por realizar.

1. Encender el prototipo.
2. Tomar los datos de humedad y verificar que los valores sean adecuados (por debajo de 60%).

Resultados.

Los resultados se detallan en la tabla 30.

Tabla 30

Resultados de pruebas del control de humedad.

Requisitos	Cumplimiento	
	Comp. superior	Comp. inferior
Deshumidificadores mantiene humedad ambiental baja	Cumple	Cumple
Deshumidificadores no generan contaminación.	Cumple	Cumple
Deshumidificadores se mantienen cargados.	Cumple	Cumple

Nota: cumplimiento evaluado de acuerdo a 5 pruebas realizadas.

Observaciones.

Los deshumidificadoras se ubicaron en el prototipo desde el 12/11/2022, analizando los datos obtenidos se nota una considerable reducción en el valor de la humedad ambiental, concluyendo que los actuadores cumplen con su función de manera adecuada.

Correcciones.

Ninguna.

Pruebas en Módulo de Limpieza**Objetivos.**

- Verificar el correcto funcionamiento del sistema de limpieza.

Personal a cargo.

- Javier Chiliquinga.
- Nelly Lema (Dueña del criadero).

Actividades por realizar.

1. Encender el prototipo.
2. En modo manual verificar el correcto funcionamiento de los motores de limpieza y los pulsadores en la HMI.
3. En modo automático verificar que en las horas indicadas la pala limpiadora se desplace.
4. Verificar que los desechos en la base de limpieza sean expulsados de manera adecuada.
5. Constatar que no existan atascos en el mecanismo.

Resultados.

Luego de las correspondientes pruebas los resultados se muestran en la tabla 31.

Tabla 31

Resultados de pruebas del sistema de limpieza.

Requisitos	Cumplimiento	
	Compartimento superior.	Compartimento inferior.
Activación de la pala limpiadora desde la HMI.	Cumple.	Cumple.
Desplazamiento adecuado de la pala.	Cumple.	Cumple.
Desechos arrojados fuera del prototipo.	Cumple.	Cumple.
Sistema silencioso.	Cumple.	Cumple.
Arrastre de todos los desechos.	Cumple.	Cumple.

Nota: cumplimiento evaluado de acuerdo a 5 pruebas realizadas.

Observaciones.

El sistema de limpieza cumple con su objetivo y limpia en su totalidad los desechos. Debido a la tensión de la cadena el mecanismo de la parte inferior se detuvo en el centro del prototipo y avanzó luego de un tiempo.

Correcciones.

Para corregir el mecanismo de limpieza inferior se aumentó la tensión de la cadena, permitiendo que el piñón avance de manera adecuada.

Análisis de Resultados

Luego de concluido el prototipo y realizadas las respectivas pruebas se obtuvieron los datos mostrados en el apéndice 1 y 2. A continuación, se detalla un resumen de los principales valores obtenidos. Resultados extremos obtenidos antes de aplicar el control (tabla 32).

Tabla 32

Valores extremos obtenidos antes de aplicar el control.

Fecha	Temperatura °C		Humedad %	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
23/07/2022	11.3	16.2	57.5	78.1
24/07/2022	10.7	22.8	40.0	80.0
25/07/2022	10.1	18.2	63.2	80.0
26/07/2022	10.8	18.4	64	80.0
27/07/2022	10.0	17.4	61	79.0
28/07/2022	9.7	18.8	49.0	78.0
29/07/2022	10.5	22.1	39.0	79.5
30/07/2022	9.8	22.0	38.1	77.9
31/07/2022	9.1	21.6	42.7	80.0
01/08/2022	10.6	22.4	42.1	79.9
02/08/2022	11.1	23.0	43.9	75.0
03/08/2022	10.8	21.5	47.0	80.0
04/08/2022	11.0	18.3	56.5	79.6
05/08/2022	10.3	20.1	54.4	79.9
06/08/2022	10.1	20.2	53.3	79.0

Nota: valores obtenidos al interior del prototipo del 23/07/2022 al 06/08/2022.

Resultados de valores extremos obtenidos luego de aplicar el control (tabla 33).

Tabla 33

Valores extremos obtenidos luego de aplicar el control.

Fecha	Temperatura °C		Humedad	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
06/11/2022	18.0	19.0	48.0	69.0
07/11/2022	17.5	19.0	47.0	58.0
08/11/2022	17.6	25.5	35.5	70.6
09/11/2022	17.9	23.7	39.0	71.0
11/11/2022	17.9	26.2	47.6	70.8
12/11/2022	17.8	26.3	42.2	65.0
13/11/2022	17.4	25.3	31.4	60.0
14/11/2022	17.6	23.7	40.7	61.2
20/11/2022	17.9	19.0	50.9	60.4
21/11/2022	18.1	22.7	40.8	63.5
22/11/2022	17.9	23.5	35.4	64.3
23/11/2022	17.8	19.3	37.3	57.8
24/11/2022	17.6	22.1	37.1	57.6
25/11/2022	18.0	21.3	43.8	62.2
26/11/2022	17.9	20.6	43.4	60.4
27/11/2022	17.9	21.5	33.7	58.1
28/11/2022	18.0	24.9	32.1	59.9
29/11/2022	17.8	25.5	36.2	63.2
30/11/2022	18.0	25.4	34.7	61.6

Fecha	Temperatura °C		Humedad	
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
01/12/2022	17.8	26.3	36.6	53.7

Nota: valores obtenidos al interior del prototipo del 6/11/2022 al 01/12/2022.

Al contrastar ambas tablas se logra distinguir una mejora en la temperatura, logrando alcanzar temperaturas dentro del rango recomendado. La humedad se redujo y se mantiene por debajo del 60%. A continuación, se colocan los valores promedio de todas las medidas con esto se podrá verificar la validez del sistema con varios valores y no únicamente con los extremos. Valores promedio antes de aplicar control (tabla 35).

Tabla 34

Valores promedio obtenidos antes de aplicar el control.

Fecha	Temperatura °C		Humedad %	
	Comp. superior	Comp. inferior	Comp. superior	Comp. inferior
23/07/2022	13.57	13.25	70.12	69.24
24/07/2022	14.24	13.82	71.25	70.27
25/07/2022	13.38	13.05	77.40	75.92
26/07/2022	13.15	12.70	76.83	76.70
27/07/2022	12.73	12.34	75.74	75.47
28/07/2022	13.24	12.77	71.14	71.31
29/07/2022	15.07	14.40	64.61	65.45
30/07/2022	14.09	13.57	66.65	66.48
31/07/2022	14.38	14.05	68.95	68.55

Fecha	Temperatura °C		Humedad %	
	Comp. superior	Comp. inferior	Comp. superior	Comp. inferior
01/08/2022	14.63	14.28	71.26	70.82
02/08/2022	15.26	14.85	68.35	68.72
03/08/2022	14.68	14.36	70.54	70.51
04/08/2022	13.44	13.18	75.92	74.77
05/08/2022	13.39	13.15	76.13	75.05
06/08/2022	13.13	12.87	74.58	73.64

Nota: valores obtenidos al interior del prototipo del 23/07/2022 al 06/08/2022.

Valores promedio luego de aplicar control (tabla 36).

Tabla 35

Valores promedios obtenidos luego de aplicar el control.

Fecha	Temperatura		Humedad	
	Comp. superior	Comp. inferior	Comp. superior	Comp. inferior
06/11/2022	18.16	18.00	55.03	50.63
07/11/2022	18.52	18.49	54.93	50.24
08/11/2022	20.80	18.93	55.56	51.59
09/11/2022	19.00	18.75	62.23	53.57
11/11/2022	19.80	18.62	56.53	56.76
12/11/2022	19.70	18.81	52.89	55.26
14/11/2022	19.00	18.95	50.54	53.81
20/11/2022	18.55	18.46	53.48	58.35

Fecha	Temperatura		Humedad	
	Comp. superior	Comp. inferior	Comp. superior	Comp. inferior
21/11/2022	18.85	18.68	53.27	58.73
22/11/2022	19.07	18.78	47.30	52.65
23/11/2022	18.55	18.50	45.17	49.13
24/11/2022	18.90	18.89	46.18	50.84
25/11/2022	18.88	19.00	51.87	56.77
26/11/2022	18.60	18.61	48.90	54.30
27/11/2022	18.84	18.86	46.2	51.5
28/11/2022	19.23	18.96	47.8	54.17
29/11/2022	19.42	19.51	41.56	52.12
30/11/2022	19.34	19.41	43.53	51.02
01/12/2022	19.9	19.71	38.87	46.93

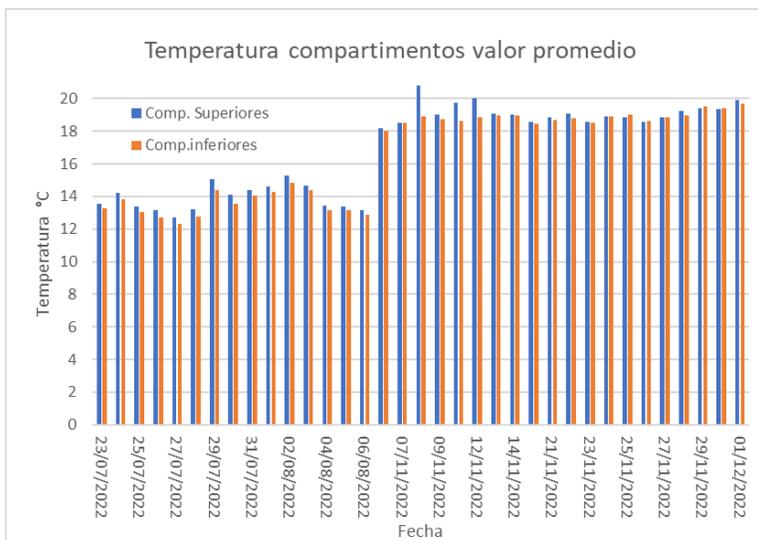
Nota: valores obtenidos al interior del prototipo del 06/11/2022 al 01/12/2022.

Todos los valores obtenidos se muestran en las figuras 110 y 111.

Al contrastar los valores promedio antes y después del control se logra verificar una mejora, obteniendo temperaturas superiores a los 17 °C incluso en horas de la noche y madrugada. La humedad se logra reducir por debajo de 60% logrando mantener un ambiente limpio y libre de gérmenes para los cuyes.

Figura 110

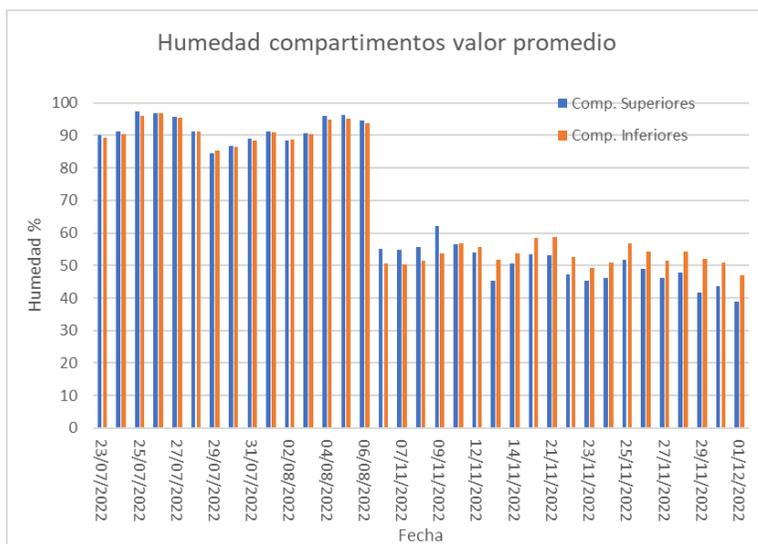
Valor promedio de temperatura en los compartimentos.



Nota: tratamiento de todos los datos.

Figura 111

Valor promedio de humedad en los compartimentos.



Nota: tratamiento de todos los datos.

Capítulo 5

Análisis Económico

En este capítulo se detallan los costos de materiales y construcción del prototipo. Además, se analiza el tiempo necesario para recuperar la inversión y empezar a generar ganancias. Finalmente se detallan los costos extra del prototipo como consumo de energía eléctrica.

Inversión para Implementación del Prototipo

Los costos de adquisición de materiales se detallan en la tabla 37, el costo reflejado es el costo final es decir sumando el 12 % de IVA.

Tabla 36

Costos de materiales para el prototipo.

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	P. Total
Módulo estructural				
Angulo metálico 1 in x 3 mm	10	UN	9.50	95.00
Perfil cuadrado 1 in x 2 mm	2	UN	12.50	25.00
Electrodo 6011 3/32 in	2	LB	2.36	4.72
Placas de zinc 2.4 x0.8 m x0.22mm	2	UN	6.30	12.60
Tornillos Autoperforantes #10 x 1 ½ in	350	UN	0.045	15.75
Dado Magnético 3/4	1	UN	1.34	1.34
Disco de corte Norton 4 1/2"	4	UN	1.50	6.00
Disco de desbaste Norton 4 1/2"	4	UN	1.75	7.00
Tol Galvanizado 0.45 mm	3	UN	21.00	63.00
Malla soldada galvanizada 1x1/2 in	6	M	8.80	52.80
Juego de rodachines	2	UN	13.00	26.00

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	P. Total
Esmalte color negro	1	LT	1.00	1.00
Perno galvanizado 1/4 x 3/4 in	125	UN	0.034	4.25
Arandela 1/4 in	250	UN	0.0175	4.37
Tablilla para jaulas 250x9.5x1.6 cm	40	UN	1.00	40.00
Malla soldada galvanizada 1x3/4 in	2	UN	5.00	10.00
Platina 1x1/8 in	2	UN	5.00	10.00
Remaches POP 1/8 x3/16 in	100	UN	0.0117	1.17
Riel para sistema colgante	8	UN	5.625	45.00
Tornillos galvanizados 1/8 x 1 in	200	UN	0.015	3.00
Total				428.00

Módulo de calefacción

Ventilador 12 V DC	2	UN	6.00	12.00
Resistencia calefactora 600W	2	UN	1.50	3.00
Sonda PT100	2	UN	25.00	50.00
Transmisor de temperatura 4-20 mA	2	UN	20.00	40.00
Sensor de humedad DHTM-025	2	UN	25.00	50.00
Total				155.00

Módulo de ventilación

Regulador lm7805	2	UN	0.32	0.64
Pin hembra	2	UN	0.45	0.9
Motorreductores 12 V 0.9A	2	UN	25.00	50.00
Puente H L293D	1	UN	1.25	1.25

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	P. Total
Polea GT2 20 dientes diámetro 8 mm	4	UN	2.59	10.36
Correa dentada GT2 ancho 6 mm	4	M	2.68	10.72
Bloque de fijación para correa dentada	4	UN	2.68	10.72
Polea sin dientes diámetro 5 mm	4	UN	2.68	10.72
Chumacera KP08 diámetro 8 mm	4	UN	2.68	10.72
Eje acerado diámetro 8 mm largo 1 m	1	UN	12.95	12.95
Acople 8mm a 6 mm	1.5	UN	2	3
Total				121.98

Módulo de limpieza

Fin de carrera industrial	4	UN	3.75	15.00
Motor AC 2.5 rpm 14 W 110V	2	UN	29.00	58.00
Fibra verde SCHMIT	2	UN	1.50	3.00
Metro de Cadena	4	UN	5.00	20
Piñón para motor AC	2	UN	3.00	6.00
Total				102.00

Componentes para control

LOGO 12/24 RC	1	UN	160.00	160.00
LOGO DM8 12/24 R	2	UN	82.32	164.64
Fuente 3.2 A 24V EDR-75-24	1	UN	40.00	40.00
Riel DIN	1	M	1.50	1.50
Selector 2P	1	UN	1.75	1.75
Pulsador hongo retención	1	UN	2.30	2.30

Descripción	Cantidad	Unidad	P. Unitario	P. Total
Luz piloto verde	1	UN	0.90	0.90
Luz piloto roja	1	UN	0.90	0.90
Gabinete 20x20x15	1	UN	17.00	17.00
Gabinete 15 x 15 x 10	1	UN	5.00	5.00
Cable concéntrico #18 x3	10	M	0.65	6.50
Cable gemelo #18 blanco	10	M	0.60	6.00
Canaleta ranurada 25x25 mm	1	M	4.50	4.50
Relé de estado sólido 10A	6	UN	8.50	51.00
Bornera 12 AWG 20A	16	UN	0.30	4.80
Banda de embalaje en espiral	4	M	0.67	2.68
Total				469.47
Total, general				1276.45

Nota: los componentes de control son los que representan mayor gasto.

Análisis Costo Beneficio.

Cada uno de los compartimentos en el prototipo tiene una capacidad para 12 cuyes adultos. Esta capacidad se eligió con base a (Zaldívar, 1997) donde recomienda que en 1 m² se deben colocar de 10 a 12 cuyes adultos.

Para los cuyes en parto se recomienda que en el compartimento se encuentren entre 5 a 6 ya que al tener sus crías el espacio se reducirá y se corre riesgo de aplastamiento y muerte.

Actualmente en el criadero de la persona auspiciante por cada 10 crías mueren 3 es decir que logran desarrollarse hasta la etapa media 7 cuyes y en la etapa media mueren 1 de cada 10 cuyes. De 10 crías únicamente 6 cuyes llegan a etapa adulta.

Con la implementación se espera mejorar esta cifra y lograr una reducción en el número de muertes, esto se logrará brindándole a las crías un ambiente adecuado.

Cada cría tiene un costo de 1.50\$, los cuyes en etapa intermedia un costo de 3\$ y cuyes en etapa adulta un costo de 6\$, todos los precios fueron proporcionados por la persona encargada de vender los cuyes en el criadero. En la tabla 38 se muestran datos obtenidos del criadero con una muestra de 40 crías. Las ganancias se obtienen multiplicando el número de cuyes en etapa adulta por el valor de 6\$. Las pérdidas se obtienen al multiplicar el número de cuyes muertos por el valor de 6\$.

Tabla 37

Datos obtenidos con 40 crías.

Numero de crías	Etapa media	Etapa adulta	Ganancias \$	Perdidas \$
10	7	7	42	18
12	8	6	36	24
8	7	7	42	6
10	7	6	36	18
			156	66

Nota: los datos fueron proporcionados por la persona encargada del criadero.

El porcentaje de pérdidas debido a muertes hallado es del 29.7%, este porcentaje se debe a la muerte de los cuyes en su etapa de cría y su etapa media, las causas principales de muerte son las condiciones ambientales y la deficiente limpieza de la jaula.

Este porcentaje se reducirá con la implementación del prototipo obteniendo así una mayor ganancia. La ganancia neta actual en 40 cuyes es de 90 \$.

El tiempo para que un cuy llegue a su etapa adulta es de 9 a 10 semanas según (Zaldívar, 1997). En el criadero los cuyes se venden a las 14 semanas ya que a las 10 semanas los cuyes aún no están completamente desarrollados esto se debe a que las condiciones ambientales no son las adecuadas.

Costo de Producción Actual

Actualmente el producir cuyes implica realizar varias tareas que requieren de tiempo. En Ecuador la jornada laboral es de 40 horas semanales y el sueldo básico es de 425\$ es decir que el pago por una hora trabajada es de: 2.65 \$. En la tabla 39 se detallan las tareas realizadas actualmente en el criadero y el costo mensual de las mismas.

Tabla 38

Tareas realizadas en el criadero y su costo mensual.

Tarea	Tiempo requerido (Horas)	Costo mensual \$
Alimentación diaria de los cuyes	0.5	39.75
Limpieza del hábitat cada 2 semanas	3	15.90
Separación de cuyes por género cada mes.	1	2.65
Total		58.30

Nota: tiempos entregados por parte de la persona encargada del criadero.

No se considera el costo del alimento debido a que en el criadero los cuyes son alimentados con alfalfa propia, no se compra a externos.

El costo mensual es de 58.3 \$ es decir que en tres meses el costo por producción será de 174.9\$. Este costo de producción es para el número total de cuyes en el criadero que actualmente son 100, para calcular el costo de producción de un cuy se dividirá el costo total para los 100 obteniendo.

$$\text{Costo prod 1 cuy} = \frac{174.9 \$}{100 \text{ cuyes}} = 1.75 \$/\text{cuy}$$

El costo para criar 40 cuyes es.

$$\text{Costo prod 40 cuy} = 1.75 \$ * 40 = 70\$$$

Con el costo obtenido en tres meses se logra identificar que la ganancia neta será de.

$$156\$ - 70\$ = 86\$.$$

Cabe mencionar que actualmente en el criadero no se pagan sueldos ya que todas las tareas son realizadas por la propietaria.

Costos de la Implementación del Prototipo

Consumo de Energía Eléctrica. debido al control de temperatura es necesario utilizar niquelinas de 120 V AC, la potencia de cada niquelina es 600W. Debido a las condiciones ambientales estas niquelinas estarán encendidas en horas de la noche y madrugada, con el control a implementarse y debido a que la temperatura ambiental adecuada está entre los 18 y 24°C estas niquelinas no estarán activas todo el tiempo.

En la provincia de Cotopaxi el costo del kWh es de 10.26 centavos (Electrica, 2017). En la tabla 40 se muestran los valores de potencias y costos de la implementación del prototipo.

Tabla 39

Valores de consumo eléctrico del prototipo.

Costos de energía eléctrica consumida por el prototipo	
Consumo por hora	1200 Wh
Costo del kWh	10.26 ctvs.
Costo hora	12.31 ctvs.
Costo por día (1 h)	12.31 ctvs.

Costos de energía eléctrica consumida por el prototipo

Costo mensual	3.69 \$
---------------	---------

Nota: costo de kWh obtenido de (Electrica, 2017).

Es decir que en 10 semanas que se planea obtener los cuyes adultos se gastara 11.07 \$. En la tabla 41 se muestran los valores que se esperan de la producción de 40 cuyes con el prototipo. Debido a la mejora esperada en la calidad del cuy se obtendrán cuyes más grandes y de mayor peso con este resultado el costo de cada uno se elevará a 7\$.

Tabla 40

Mejora esperada con el prototipo.

Concepto	Ganancia \$	Pérdida \$
36 cuyes adultos de venta	252	0
4 cuyes muertos en etapa de cría	0	28
Pago de energía eléctrica	0	11.07
	252	39.07

Nota: se espera una reducción de pérdidas y un aumento de ganancias.

El porcentaje de pérdidas debido a muertes se reduce al 10%. La ganancia neta en los 40 cuyes es de 213 \$.

Costo de Producción con el Prototipo

Con la implementación del prototipo se reducen los tiempos de limpieza debido a que los desperdicios caen por un lado del mismo permitiendo así que estos se acumulen y sea más fácil su remoción y posterior traslado. En la tabla 42 se detallan los costos de producción luego de implementar el prototipo.

Tabla 41

Costo de producción con la implementación del prototipo.

Tarea	Tiempo requerido (Horas)	Costo mensual \$
Alimentación diaria de los cuyes	0.5	39.75
Limpieza del hábitat cada 2 semanas	1	2.65
Separación de cuyes por género cada mes.	1	2.65
Total		45.05

Nota: la reducción de tiempos se debe a la automatización de los procesos.

El costo de producción en 1 mes es de 45.05\$ es decir que en 3 meses el costo de producción será de: 135.15\$. Este costo de producción es para el número total de cuyes en el criadero, para calcular el costo de producción de un cuy se dividirá el costo total para 100 obteniendo.

$$\text{Costo prod 1 cuy} = \frac{135.15 \$}{100 \text{ cuyes}} = 1.35 \$/\text{cuy}$$

El costo aproximado que se requiere para criar los 40 cuyes es.

$$\text{Costo prod 40 cuy} = 1.35 \$ * 40 = 54\$$$

Con el costo obtenido en tres meses se logra identificar que la ganancia neta será de:

$$213\$ - 54\$ = 159 \$.$$

La ganancia neta actualmente era de 86\$ con la consideración del costo de producción y con la implementación del prototipo se espera que la ganancia sea de 159 \$. Logrando así elevar las ganancias en un 84%.

Tiempo de Recuperación de Inversión.

El monto de inversión para el prototipo es de 1276\$. En los 3 meses que se espera obtener los cuyes adultos la ganancia neta es de 159\$, es decir la ganancia mensual es de 53 \$.

$$\frac{1276 \$}{53 \$/mes} = 24.07 \text{ meses}$$

Con la ganancia mensual el monto de inversión se recuperará en 24.07meses (2 años).

Capítulo 6

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Se diseñó, construyó e implementó un entorno con temperatura y humedad controladas y limpieza de desechos automatizada, permitiendo así mejorar las condiciones de vida de los cuyes.

Se redujo la cantidad de desechos cercanos a los cuyes evitando así la proliferación de bacterias y reduciendo las enfermedades.

La estructura soporta las cargas muertas y vivas sin ninguna deformación visible que cause problemas, las simulaciones realizadas con SolidWorks y SAP 2000 permitieron obtener un resultado robusto y adecuado. Todos los soportes y protecciones están diseñados y ensamblados de tal manera que no causen cortes a los cuyes.

Se diseñó e implementó un sistema con rieles colgantes, rodamientos, pala limpiadora y motor AC de alto torque que permite realizar la limpieza del 95% de desechos generados por los cuyes. Mediante protectores en tol galvanizado los desechos no traban el mecanismo de piñón y cadena para el movimiento lineal, además los mismos permiten que los desechos caigan sobre la zona de limpieza únicamente.

El sistema de calefacción está constituido por niquelinas de 600 W y ventiladores semi industriales, mismos que se ensamblan en una carcasa protectora de tol galvanizado. El sistema de calefacción incrementa la temperatura de los compartimentos de manera que en horas de la madrugada con temperaturas ambientales en el cantón Salcedo menores a 12 °C se logra alcanzar temperaturas internas mayores a 17 °C.

Se selecciono un sistema de control tipo ON OFF debido a que la temperatura interna de los compartimentos no requiere de una alta precisión y además el costo de implementación es bajo en comparación a otros métodos de control.

Se diseñó, construyó e implementó un sistema de ventilación automático, mismo que permite la apertura de ventanas cuando la temperatura interna es superior a los 21 °C y el cierre de las mismas para temperaturas inferiores a 17 °C. El sistema permite enfriar el ambiente interno además mantiene el aire fresco en los compartimentos.

La HMI implementada fue realizada de acuerdo a parámetros recomendados en la guía GEDIS. Todas las pestañas muestran los valores de temperatura y humedad en cada compartimento. Los indicadores de estado son informativos y no llaman la atención. Las alarmas tienen colores llamativos como el rojo y amarillo. El fondo de pantalla es de color gris claro mismo que no cansa la vista de la persona que use la HMI.

El sistema logra mantener un ambiente con temperaturas superiores a 17 °C y humedades inferiores al 60%, también se mantiene el ambiente libre de desechos evitando de esta manera la proliferación de bacterias y gérmenes perjudiciales para los cuyes.

El servidor web del PLC LOGO! permite una conexión fluida de entradas y salidas permitiendo visualizar y controlar en tiempo real al prototipo. Además, brinda las seguridades adecuadas, mediante el software gratuito “Logo web editor” se implementan cada una de las pestañas de la HMI.

Recomendaciones

Luego de 5 años se recomienda realizar una revisión del sistema de ventilación sobre todo a las bandas y chumaceras, si se amerita se debe cambiar el componente por el estipulado en la sección de planos.

Se recomienda realizar el cambio de fibra verde en las palas de limpieza cada 2 años debido al desgaste que las mismas sufren por los desechos de los cuyes.

Se recomienda a la persona encargada de la alimentación de los cuyes dentro del prototipo retirar las basuras en la parte superior que no caen a la base de limpieza con el objetivo de mantener los compartimentos limpios.

Cada 5 años es necesario realizar una revisión del estado de la niquelina calefactora si es el caso se debe reemplazar la misma por una similar.

Se recomienda verificar el estado de las tablas que cubren al prototipo y en caso de que se encuentren fisuras o fallas que amenacen la integridad de los cuyes al interior reemplazar la tabla por su correspondiente mostrada en planos.

Se recomienda engrasar las cadenas y las guías del sistema de limpieza cada 3 meses para evitar atascamientos, además se debe precautelar que en las guías no ingresen desechos que pudieran trabar el mecanismo.

Trabajos Futuros

Se plantean los siguientes trabajos a realizarse en el futuro.

- Implementación de sistema de paneles solares o aerogeneradores para eliminar el costo de la energía eléctrica.
- Implementación de sistema para tratamiento de desechos expulsados a un lado del prototipo.
- Implementación de sistema de visión artificial para detectar enfermedades o actitudes inusuales en los cuyes.
- Implementación de sistema para alimentar a los cuyes de manera adecuada (alimentación automática).

- Implementación de sistema para limpiar los desechos que no cruzan la malla y se acumulan en el interior de los compartimentos.

Bibliografía

- Akazon. (04 de 2022). *Amazon*. Obtenido de https://www.amazon.com/-/es/Akazon-RTD-PT100-temperatura-6-6/dp/B07FMKXT9X/ref=sr_1_4?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&cri d=31YTO366BE47I&keywords=PT100&qid=1650589572&sprefix=pt100%2Caps%2C169&sr=8-4
- Amazon. (2022). *Amazon.com*. Obtenido de <https://www.amazon.com/-/es/Bisagra-tubular-soldable-3-4/dp/B013SF7L2S>
- Atenea, I. (2022). *Mercado libre EC*. Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-510546542-resistencia-de-calentamiento-12voltio-para-incubadora-partes-_JM#position=6&search_layout=stack&type=item&tracking_id=c5aed57c-1425-46df-8019-0a02565cbeef
- Autoperforantes, t. (2022). *rcdistribuciones*. Obtenido de https://rcdistribuciones.com.ar/assets/tel_autoperforantes.pdf
- Baoblaze. (04 de 2022). *Amazon*. Obtenido de https://www.amazon.com/-/es/Baoblaze-detecci%C3%B3n-humedad-temperatura-transmisor/dp/B07G3BRBDT/ref=sr_1_12?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&cri d=30ZKCZJHTSJN8&keywords=temperature+and+humidity+transmitter&qid=1650591241&sprefix=transmisor+de+t
- Beer, J. (2010). *Mecánica de Materiales*. En J. Beer, *Mecánica de Materiales* (pág. 747). Mexico D.F.: McGrawHill.
- Ceiisa. (08 de Febrero de 2016). <http://ceiisa.blogspot.com/>. Obtenido de <http://ceiisa.blogspot.com/2015/01/control-todo-o-nada-on-off.html>

Chinesetool. (13 de Abril de 2022). *ebay*. Obtenido de <https://www.ebay.com/itm/324275785540>

Clima-data. (2022). *Clima-data.org*. Obtenido de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-cotopaxi/san-miguel-de-salcedo-25467/#climate-graph>

Clr. (2022). *clr.es*. Obtenido de <https://clr.es/blog/es/consejos-para-seleccionar-un-rodamiento-lineal/>

Code, I. B. (2009). International building code. En I. B. Code, *Ibc* (pág. 700). USA.

Dielecom. (06 de 2022). *www.dielecom.com*. Obtenido de <https://www.dielecom.com/max22dc-dc.php>

EcuadorForestal. (23 de Julio de 2013). *ecuadorforestal*. Obtenido de <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-15-eucalyptus-globulus-labill/>

Electrica, R. (2017). *Precio medio*. Obtenido de https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/15_PRECIO_MEDIO_ENERGIA_FACTURADA.pdf

Electronics, U. (20 de 06 de 2022). *uelectronics*. Obtenido de <https://uelectronics.com/producto/esp32-38-pines-esp-wroom-32/>

Electronics, U. (06 de 2022). *uelectronics*. Obtenido de Indicador de Luz: <https://uelectronics.com/wp-content/uploads/2022/05/LA39-Series-Pushbutton-AD16-Series-Indicator-Light-Selectio-49-51.pdf>

Electronics, U. (27 de 06 de 2022). *uelectronics.com*. Obtenido de <https://uelectronics.com/producto/sensor-de-temperatura-dht22-am2302/>

Eva-Dry. (2022). *Eva-Dry*. Obtenido de <https://www.eva-dry.com/product/e-333-renewable-dehumidifier/>

Graessler, I. &. (2020). *The new V-Model of VDI 2206 and its validation*. Obtenido de *Automatisierungstechnik*: <https://doi.org/10.1515/auto-2020-0015>

Indura. (Marzo de 2007). *Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura*. Chile: Ograma.

Innovatech. (2022). *Mercadolibre*. Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-517426730-motor-dc-motorreductor-37mm-alto-torque-12v-7rpm-_JM#position=1&search_layout=stack&type=item&tracking_id=e662d975-103b-4331-807e-6ae57f350ff2

Iza, M. P. (Febrero de 2018). *NEC-SB-IE*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-SB-IE-Final.pdf>

José, L. S. (10 de Diciembre de 2015). *redalyc.org*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/944/94451204008/html/>

Kardex. (2022). *kardex*. Obtenido de <https://www.kardex.com/es/tecnologia/por-aplicacion/entorno-controlado>

León, M. C. (2009). *Manual técnico de crianza de cuyes*. Cajamarca: Cedepas Norte.

León, M. C. (Octubre de 2019). *Cedepas*. Obtenido de https://www.cedepas.org.pe/sites/default/files/manual_tecnico_de_crianza_de_cuyes.pdf

Mann, M. (29 de 11 de 2021). *Metmann*. Obtenido de https://www.metmann.com/it/n143_-C%C3%B3mo-calcular-la-potencia-de-un-generator-de-aire-

Morrow, L. (30 de Octubre de 2017). *Youtube*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=3NfXvGuHEWM>

Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: PEARSON.

Novacero. (2022). Obtenido de https://www.novacero.com/wp-content/uploads/2021/05/NOVACERO-BROCHURE_090719_HR.pdf

Ogata, K. (1995). *Ingeniería de control moderna*. Mexico: PEARSON.

Ponsa, G. (s.f.). *Diseño de pantalla*. Catalunya: Universidad Politecnica de Catalunya.

RAE. (2022). *RAE*. Obtenido de <https://www.rae.es/>

Robert, M. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: PRENTICE HALL .INC.

Series, u. (05 de 2003). *sparkfun.com*. Obtenido de

<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>

Seteco. (2022). *setecoecuador*. Obtenido de <https://www.setecoecuador.com/accesorios-2/rieles-de-aluminio.html>

Shigley. (2018). *Diseño en ingeniería mecánica*. Mexico: McGraw-Hill Education Holdings.

sicicomer. (2022). *sicicomer*. Obtenido de https://servicioeinsumos.mercadoshops.com.mx/MLM-750839714-resistencia-tipo-resorte-o-espiral-300-watts-terminal-punta-_JM

Siemens. (06 de 2003). *industry.siemens.com*. Obtenido de

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf

Solufier. (2022). *Tornillo autoperforante*. Obtenido de Solufier:

<https://www.solufierecuador.com/product/tornillo-autoperforante/>

ST. (07 de 2003). *st.com*. Obtenido de <https://ja-bots.com/wp-content/uploads/2021/05/L293D.pdf>

Store, C. M. (13 de Abril de 2022). *AliExpress*. Obtenido de

https://es.aliexpress.com/item/4001256457612.html?spm=a2g0o.detail.1000014.8.3926336arvHN3h&gps-id=pcDetailBottomMoreOtherSeller&scm=1007.40050.274735.0&scm_id=1007.40050.274735.0&scm-url=1007.40050.274735.0&pvid=e3c70a7a-25a2-4cb3-b658-42035f26afaa&_t=gp

Trado. (s.f.). *Trado.com*. Obtenido de

<https://www.trado.com/Spain/file/Download%20Material%20Weight%20Table.pdf>

Ultimaker. (2022). *Ficha de datos técnicos PLA*. Obtenido de [https://docs.rs-](https://docs.rs-online.com/0926/0900766b81698007.pdf)

[online.com/0926/0900766b81698007.pdf](https://docs.rs-online.com/0926/0900766b81698007.pdf)

Yunus Cengel, G. A. (2011). *Transferencia de calor y masa*. McGraw-Hill.

Zaldívar, I. L. (1997). *Producción de cuyes (Cavia porcellus)*. Roma: Estudio FAO producción y sanidad

animal 138.

Apéndices.