

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

*Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniera
Mecatrónica e Ingeniero Mecatrónico*

PROYECTO TÉCNICO:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA
EL CONTROL Y MONITOREO DE TEMPERATURA, HUMEDAD Y
AMONIACO EN LA SALA DE RECRÍA PORCINA DE LA EMPRESA
ITALIMENTOS CIA. LTDA. UBICADO EN SANTA ROSA”**

AUTORES:

MARCIA CRISTINA HIDALGO HEREDIA

KEVIN ISRAEL LEÓN TAPIA

TUTOR:

ING. PAÚL ANDRÉS CHASI PESANTEZ

CUENCA - ECUADOR

2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Marcia Cristina Hidalgo Heredia con documento de identificación N° 0106427925 y Kevin Israel León Tapia con documento de identificación N° 1719329995, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE TEMPERATURA, HUMEDAD Y AMONIACO EN LA SALA DE RECRÍA PORCINA DE LA EMPRESA ITALIMENTOS CIA. LTDA. UBICADO EN SANTA ROSA”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniera Mecatrónica e Ingeniero Mecatrónico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

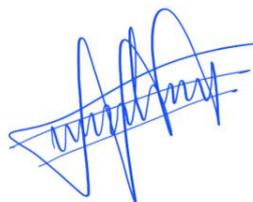
En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre del 2021.



Marcia Cristina Hidalgo Heredia

C.I. 0106427925



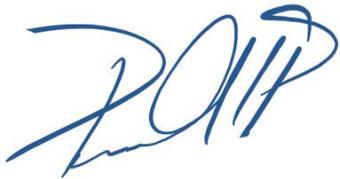
Kevin Israel León Tapia

C.I. 1719329995

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE TEMPERATURA, HUMEDAD Y AMONIACO EN LA SALA DE RECRÍA PORCINA DE LA EMPRESA ITALIMENTOS CIA. LTDA. UBICADO EN SANTA ROSA”**, realizado por Marcia Cristina Hidalgo Heredia y Kevin Israel León Tapia, obteniendo el *Proyecto Técnico* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre del 2021.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'PAC' or similar, with a stylized flourish.

Ing. Paúl Andrés Chasi Pesantez

C.I. 0103652095

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

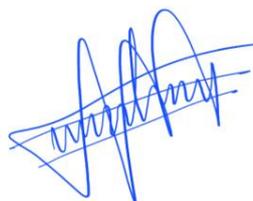
Nosotros, Marcia Cristina Hidalgo Heredia con documento de identificación N° 0106427925 y Kevin Israel León Tapia con documento de identificación N° 1719329995, autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA EL CONTROL Y MONITOREO DE TEMPERATURA, HUMEDAD Y AMONIACO EN LA SALA DE RECRÍA PORCINA DE LA EMPRESA ITALIMENTOS CIA. LTDA. UBICADO EN SANTA ROSA”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría

Cuenca, noviembre del 2021.



Marcia Cristina Hidalgo Heredia

C.I. 0106427925



Kevin Israel León Tapia

C.I. 1719329995

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por darme fuerza e inteligencia para luchar día a día en los retos que me pone la vida, agradezco a mis padres por el esfuerzo que han realizado durante toda mi vida, teniendo que sacrificar parte de la suya, en especial a mi papá Gustavo León que fruto de su trabajo y sacrificio mis estudios se ven concretados, a mi mamá Cecilia Cisneros por su disciplina, responsabilidad y amor, inculcando no solo el estudio, sino también los valores y el amor hacia el prójimo como pilar fundamental en la vida, al Ing. Paúl Chasi que siempre busca generar nuevas ideas en los jóvenes y que estuvo presto para ayudarnos en todo momento, tanto a nivel académico, personal o laboral con sus consejos e ideas, a los ingenieros Edy Ayala, Iván Escandón, John Calle, Vladimir Robles y finalmente quiero agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana, por ser un semillero de ideas, que siempre apoya a las mentes inquietas que buscan nuevos conocimientos.

Kevin Israel León Tapia

Agradezco a mis padres por todo el apoyo que me han brindado durante toda mi vida y no solo en lo académico sino también en mi vida cotidiana facilitando todo e impulsándome para seguir adelante también quiero agradecerme el carácter y personalidad que he formado, esto ha sido fundamental para adquirir persistencia para dar un gran desempeño dentro de las diferentes disciplinas y materias que he tomado a lo largo de mi carrera universitaria; quiero agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana y a cada uno de sus docentes porque he vivido los años más divertidos y emocionantes de mi vida y me ha brindado la oportunidad de aprender y emplear mis conocimientos en proyectos muy interesantes llevándome lo más valioso conmigo; el haber entendido que los conocimientos no son nada si no se los utiliza para hacer de este mundo un lugar mejor. Finalmente quisiera agradecer a mis profesores: Ing Iván Escandón. Msc que me ha guiado y ayudado no solo en sus asignaturas, también en todos los proyectos académicos extracurriculares y curriculares, Ing. Paúl Chasi. Msc tutor de mi tesis y excoordinador del Club de robótica donde ha sido un gran apoyo y ha compartido sus conocimientos con sus estudiantes, Ing Mariela Cerrada. PhD muy aparte de enseñarme sus asignaturas y brindarme sus conocimientos, me ha ayudado a comprender la importancia de ser disciplinada y organizada para concluir con rectitud y éxito mis proyectos e Ing. Vladimir Robles. PhD que aunque tratamos muy poco en cuanto a lo académico ha mostrado todo el interés del mundo en sus estudiantes y en hacer del mundo un lugar más bonito para todo ser vivo e Ing Edy Ayala. Msc porque siempre estuvo presto a solucionar problemas y prestar su apoyo para ayudarnos con todo inconveniente.

Marcia Cristina Hidalgo Heredia

DEDICATORIAS

Dedicado para mis padres Gustavo León y Cecilia Tapia porque durante todo este tiempo supieron apoyar, educar y dar su corazón para que mis sueños se cumplan, a mi hijo José Matías León (Pepito) por emocionarse y querer aprender con mis creaciones, a mi abuelito José Ernesto Cisneros que con su espíritu trabajador y amor por la educación género en mí una mentalidad de estudio y trabajo que permanecerá a lo largo de mi vida como inspiración y guía para lograr todo lo que me proponga, a Marcia Cristina Hidalgo, por ser un pilar para este trabajo que supo encontrar soluciones a los problemas dando ideas nuevas, cuestionando todo lo que se hace y tener una personalidad deslumbrante fundamental para el correcto desarrollo del trabajo de titulación.

Kevin Israel León Tapia

Dedicado a mis padres Marcia Edith Heredia y Diego Fabián Hidalgo por muy aparte del apoyo económico que me han brindado fundamental para mis estudios, desde muy pequeña incentivaron en mí la curiosidad por saber cómo funciona el mundo, el hecho de interesarse en ello y buscar respuestas que satisfacen dicha curiosidad se los debo a ellos, en suma, a esto, muchas de las malas noches empleadas para que yo concluya deberes y trabajos, ellos también las han sobrellevado. También agradezco a mi tío Ramiro Gonzalo Hidalgo quien desde niña metió mano en cada uno de mis proyectos escolares y un especial agradecimiento a Kevin Israel León quien ha puesto mucho empeño en este proyecto de titulación y a lo largo de la carrera pues me ha ayudado a comprender y aprender muchas habilidades y aptitudes que han sido necesarias para mi vida académica y el inicio de mi vida profesional. Siempre tendré en mente a las personas que han hecho de mí la persona que soy hoy y la persona que seré en el futuro.

Marcia Cristina Hidalgo Heredia

RESUMEN

En el presente proyecto técnico se presenta el diseño de un sistema mecatrónico para el control y monitoreo de temperatura, humedad y amoniaco, que será implementado en la sala de recría porcina de la empresa Italimentos CIA.LTDA, para esto se desarrolló 2 tipos de tarjetas electrónicas para el envío y adquisición de datos de manera inalámbrica, donde los datos recopilados se muestran en una página web. Para el control se utilizó lámparas infrarrojas, cortinas industriales, para lo cual se desarrolló un mecanismo que nos permita manipular la apertura y cierre de las cortinas, todo esto con el fin de reducir la mortalidad de los cerdos.

ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	II
CERTIFICACIÓN	III
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD	IV
AGRADECIMIENTOS	V
DEDICATORIAS	VI
RESUMEN	VII
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PROBLEMA DE ESTUDIO	1
2.1 Antecedentes	1
2.2 Importancia y alcances	2
2.3 Delimitación	2
3. OBJETIVOS	3
3.1 Objetivo general	3
3.2 Objetivos específicos	3
4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
4.1 PORCICULTURA	4
4.1.1 Variables climatológicas que afectan el desarrollo de los cerdos	5
4.1.2 Climatización automatizada de las granjas	6
4.1.3 Sistema de climatización granja Italimentos	9
5. MARCO METODOLÓGICO	11
5.1 Propuesta de Solución:	12

5.1.1	Diseño de un sistema de adquisición de datos inalámbrico:	13
5.1.2	Sensor de Temperatura, Humedad y Amoniaco:	13
5.1.3	Duración de las baterías	16
5.1.4	Frecuencia de Muestreo.	23
5.1.5	Puerta de enlace de red.	26
5.1.6	Diseño de un sistema de control para las variables mediante actuadores:	30
5.2	Diseño Mecánico	39
5.2.1	Cortina de rafia laminada	39
5.2.2	Cable de Acero	40
5.2.3	Tubo de Acero	41
5.2.4	Peso total para mover	41
5.3	Diseño de un sistema de monitoreo mediante una aplicación web para observar las variables controladas:	43
6.	IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	46
6.1	Diagrama de implementación	46
6.2	Dispositivos de Adquisición	47
6.2.1	Tiempo de Muestreo	50
6.2.2	Máxima distancia entre Dispositivos	50
6.2.3	Autonomía de los Sensores	51
6.3	Dispositivo de Recepción y Control	51
6.3.1	Inicialización de la puerta de enlace	52
6.3.2	Adquisición de los datos	53
6.3.3	Prueba de los actuadores	54
6.4	Resultados	55
6.5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59

7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
8.	ANEXOS	63
	ANEXO 1: DATASHEET DEL MICROCONTROLADOR ATMEGA 328P	63
	ANEXO 2: DATASHEET DEL SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD SHT10	63
	ANEXO 3: DATASHEET DEL SENSOR DE AMONIACO MQ-137	64
	ANEXO 3: DATASHEET DEL TRANSCPTOR NRF24L01	67
	ANEXO 4: ESQUEMA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA.	67
	ANEXO 5: ESQUEMA GENERAL DE LA ESTRUCTURA.	67
	ANEXO 6: SOPORTE DEL TECLÉ ELÉCTRICO.	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Flujo de aire en ventilación natural de un galpón de cría de cerdos (Agriculture and Horticulture Development Board,2019)	7
Figura 2.	Esquema del equipo de enfriamiento evaporativo (MSCBS,2019)	8
Figura 3.	Aerotermino utilizado para climatización .	8
Figura 4.	Tubos de radiación. (BioAire,2019)	9
Figura 5.	Calentamientos por lámparas de infrarrojos. (Company S.A, 2019)	9
Figura 6.	Marco Metodológico utilizado en el desarrollo de este proyecto.	11
Figura 7.	Disposición de los sensores de climatización en una sala de recría.	12
Figura 8.	Diagrama de funcionamiento del sensor de temperatura y humedad.	14
Figura 9.	Diagrama de flujo del dispositivo para medir temperatura y humedad.	17
Figura 10.	Diseño esquemático del sensor de temperatura y humedad	18
Figura 11.	Diseño de la placa electrónica del sensor de temperatura y humedad.	18
Figura 12.	Diseño de la caja del sensor de temperatura.	19

Figura 13.	Diagrama de funcionamiento del sensor de temperatura humedad y amoniaco	19
Figura 14.	Diagrama de flujo del dispositivo para medir temperatura, humedad y amoniaco.	21
Figura 15.	Diseño esquemático del sensor de temperatura, humedad y amoniaco	22
Figura 16.	Diseño de la placa electrónica del sensor de temperatura, humedad y amoniaco.	22
Figura 17.	Diseño de la caja para el sensor de temperatura, humedad y amoniaco.	23
Figura 18.	Gráfico del comportamiento de temperatura durante un año en Santa Rosa. (Weather Spark, 2020)	24
Figura 19.	Comportamiento de temperatura durante un año en Santa Rosa graficado en Matlab.	24
Figura 20.	Transformada de Fourier Comportamiento de temperatura durante un año en Santa Rosa graficado en Matlab.	25
Figura 21.	Raspberry 3 B + utilizado como puerta de enlace de red.	28
Figura 22.	Diagrama de funcionamiento de la puerta de enlace red en comunicación con los demás componentes del sistema.	29
Figura 23.	Diagrama de funcionamiento del sistema de recolección, transmisión y gestión de datos de las variables de temperatura, humedad y amoniaco.	30
Figura 24.	Diagrama de cómo funciona la placa de control para los actuadores.	30
Figura 25.	Diagrama de cómo se realiza la toma de decisiones para el movimiento de los motores según corresponda; partiendo desde la puerta de enlace de red.	32
Figura 26.	Diagrama de flujo del algoritmo para la toma de decisiones para motor.	33
Figura 27.	Diagrama de flujo del algoritmo para la toma de decisiones para motor.	34
Figura 28.	Diagrama de cómo se realiza la toma de decisiones para la activación de las lámparas infrarrojas según corresponda; partiendo desde la puerta de enlace de red.	35
Figura 29.	Diagrama de flujo del algoritmo del PLC para prender o apagar las lámparas infrarrojas.	35
Figura 30.	Diseño esquemático de la puerta de enlace de red.	36
Figura 31.	Diseño de la placa electrónica de la puerta de enlace de red.	37

Figura 32. Diseño de la caja para proteger la placa de la puerta de enlace de red.	38
Figura 33. Caja de control de potencia.	38
Figura 34. Sistema de poleas para el movimiento de las cortinas	39
Figura 35. Motor que genera el movimiento de las cortinas.	42
Figura 36. Placa para el anclaje del teclé	42
Figura 37. Modelo 3D de la placa para anclaje del teclé	43
Figura 38. Base de datos gestionada a través de APACHE.	43
Figura 39. Visualización de los valores de temperatura, humedad y amoniaco en la página web.	44
Figura 40. Buscador de datos a través de la fecha.	44
Figura 41. Visualización de la tabla de base de datos en la página web.	45
Figura 42. Gráficos del comportamiento dinámico de las variables.	45
Figura 43. Diagrama de implementación	47
Figura 44. Sensor de temperatura y humedad.	48
Figura 45. Sensor de temperatura humedad y amoniaco	48
Figura 46. Ubicación de los sensores en la sala de recría.	49
Figura 47. Placa para la empotrar los sensores a la pared de la sala.	49
Figura 48. Carcasa de la puerta de enlace de red.	52
Figura 49. Carcasa y placa de la puerta de enlace de red.	52
Figura 50. Recepción de datos sensores.	53
Figura 51. Tabla de los datos recolectado por los sensores mostrada en la página web.	54
Figura 52. Programa para el PLC con el que se gestiona la activación de los actuadores.	55
Figura 53. Gráficos del comportamiento de las variables.	56
Figura 54. Gráfica del comportamiento de la temperatura.	57
Figura 55. Gráfica del comportamiento de la humedad.	58

Figura 56. Gráfica del comportamiento del amoniaco.	58
Figura 57. Atmega 328p pinout. (NYLAMMECHATRONICS, 2021)	63
Figura 58. Sensor SHT10 pinout. (dfrobot, 2021)	63
Figura 59. Características eléctricas del sensor SHT10. (dfrobot, 2021)	64
Figura 60. Pinout del sensor MQ-137. (Components101, 2018)	64
Figura 61. Dimensiones y estructura del sensor MQ-137. (Didacticas Selectronicas, 2021)	65
Figura 62. Parámetros técnicos del sensor MQ-137. (Didacticas Selectronicas, 2021)	66
Figura 63. Pin out del transceptor NRF24L01. (DIY Usthad, 2021)	67
Figura 64. Condiciones de Funcionamiento NRF24L01. (DIY Usthad, 2021)	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Especificaciones técnicas del sensor SHT-10 utilizado para medir la temperatura y la humedad. (dfrobot, 2021)	14
Tabla 2 Especificaciones técnicas del Transceptor NRF20L01 utilizado para la transmisión de datos de radiofrecuencia. (dfrobot, 2021; NYLAMMECHATRONICS, 2021; Sparkfun, 2008)	15
Tabla 3 Especificaciones técnicas del microcontrolador ATMEGA 328P utilizado para procesar los datos registrados por los sensores. (Microchip Technology, 2021; NYLAMMECHATRONICS, 2021)	16
Tabla 4 de consumo eléctrico (dfrobot, 2021; NYLAMMECHATRONICS, 2021; Sparkfun, 2008; Microchip Technology, 2021)	17
Tabla 5 Especificaciones técnicas del Sensor MQ-137 utilizado para sensor el gas del amoníaco. (Didacticas Selectronicas, 2021; Robo Craze, 2021)	20
Tabla 6 Especificaciones técnicas del Transceptor NRF24L01 + utilizado para la transmisión de datos de radiofrecuencia en el sensor de temperatura, humedad y amoniaco. (NYLAMMECHATRONICS, 2021; Sparkfun, 2008; Microchip Technology, 2021)	21
Tabla 7 Especificaciones técnicas del Raspberry pi 3 B+ utilizado como puerta de enlace. (Raspberry Pi, 2020; Elekstore, 2020)	27
Tabla 8 Datos de las cortinas.	39

Tabla 9 Datos cable de acero.	40
Tabla 10 Datos de Tubo que sostiene las cortinas.	41
Tabla 11 Prueba para medir la distancia de alcance de los transceptores utilizados.	51

1. INTRODUCCIÓN

La recría porcina hace referencia a la fase de la crianza de cerdos en donde estos deben pasar por cambios críticos en su alimentación y hábitat, lo que ocasiona una mortalidad elevada en esta etapa. Al establecer la etapa de recría como crítica en el desarrollo de los cerdos, se tiene fluctuaciones drásticas en las variables de temperatura, humedad o amoniaco, que puede desencadenar en problemas de salud como: afecciones respiratorias, complicaciones al sistema digestivo y estrés; y esto a su vez conducir a una elevada tasa de mortalidad, lo que supone en pérdidas económicas para la empresa Italimentos.

En la actualidad la empresa lleva un control manual de la climatización del área de recría, pero está sujeto a errores de percepción humana por lo que la implementación de un sistema mecatrónico para la climatización del área de recría beneficiaría y facilitará el desarrollo exitoso de los cerdos desembocando en mayores ganancias económicas para la empresa.

Se ha encontrado interés en efectuar este proyecto, desde un punto de vista académico y profesional, debido a que supone una oportunidad para poner en práctica lo aprendido a lo largo de la carrera y un acercamiento a cómo funciona la industria en el entorno para adquirir experiencia en futuros proyectos.

Para solventar esto se llevará a cabo el desarrollo de un sistema mecatrónico que monitorea y recolectará los datos de las variables temperatura, humedad y amoniaco. Esto se llevará a cabo a partir del diseño e implementación de sensores inalámbricos y el desarrollo de una página web y almacenamiento de los datos recolectados. En consecuencia, de esto se realizará el control de cortinas industriales y lámparas infrarrojas para regular el entorno en el que los cerdos habitan.

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema mecatrónico para controlar y monitorear la temperatura, humedad y amoniaco en la sala de recría porcina de la empresa Italimentos CIA.LTDA.

2. PROBLEMA DE ESTUDIO

2.1 Antecedentes

La empresa Italimentos CIA. LTDA. se dedica a la producción y comercialización de productos alimenticios especialmente cárnicos; el proceso para obtener carne de cerdo parte de la gestación y la lactancia en su granja ubicada en Santa Isabel-Azuay, el destete (separación de la cría con la madre), inicia con el transporte de las crías a las granjas de Santa Rosa- EL ORO en donde se procede con la recría, cebo y engorde de animales, culminado este proceso se los transporta hasta el camal donde son faenados.

Este proyecto se enfoca en el destete y recría que son etapas críticas del desarrollo de los animales porque se ven afectados por el cambio de sus hábitos alimenticios y un nuevo entorno. El crecimiento óptimo del cerdo está íntimamente relacionado con el clima del sector, un deficiente control de las variables de climatización provoca estrés calórico, afecciones respiratorias y metabólicas aumentando la tasa de mortalidad de estos animales.

La granja de momento carece de un sistema automatizado que controle las variables: temperatura, humedad y amoníaco; existe un control manual para el accionamiento oportuno de los actuadores que regulan el ambiente del área de recría, es decir, que depende del criterio del personal que esté a cargo la toma de decisiones para controlar la climatización.

Localizamos el problema en la falta de respuesta oportuna, debido a que requiere la manipulación de dispositivos como cortinas industriales y lámparas infrarroja a falta de control de las variables mencionadas pueden generar problemas de salud en los animales de crianza que pueden llegar hasta la muerte, por lo que llegamos a encontrar una tasa de mortalidad del 15% aproximadamente en temporadas frías, y un 8% en verano

2.2 Importancia y alcances

El interés de este proyecto surge debido a la necesidad de automatizar el área de recría de la granja de la empresa Italimentos CIA. LTDA. para brindar mejores condiciones en la crianza de cerdos, siguiendo la línea de producción cárnica. Es necesario ofrecer una mejor calidad en los productos alimenticios para el consumidor, por medio del diseño e implementación de un sistema automatizado para la climatización de la granja.

Por otro lado, la Universidad Politécnica Salesiana brinda su apoyo a los proyectos de investigación ofreciendo laboratorios con las herramientas adecuadas, diseño y construcción de diferentes sistemas mecatrónicos; docentes capacitados, y bibliotecas físicas y virtuales; para la investigación del estudio de estado del arte. En complemento con esto la Empresa Italimentos CIA. LTDA. nos ha ofrecido recursos económicos como el “know how” con personal capacitado en la crianza de ganado porcino.

Adicional a esto se presenta la oportunidad de implementar los conocimientos en las áreas de automatización, monitoreo y control de procesos industriales en plantas de alimentos procesados y no procesados, así también una aproximación directa a la industria siendo la ocasión perfecta para adquirir experiencia para futuros trabajos o proyectos.

2.3 Delimitación

El galpón consta de 5 salas destinadas a los cerdos de recría, estos son ingresados y trasladados sistemáticamente de acuerdo a su edad y peso, el objetivo de este proyecto tendrá la finalidad de entregar un prototipo de climatización para una de estas salas de recría.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema mecatrónico para el control y monitoreo de temperatura, humedad y amoniaco en la sala de recría porcina de la empresa Italimentos CIA. LTDA. ubicado en Santa Rosa para mejorar las condiciones ambientales.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar un estudio del proceso de recría de cerdos en la empresa Italimentos. CIA. LTDA. para la implementación de los sistemas de control de la granja porcina.
- Diseñar un sistema de adquisición de datos inalámbrico para medir la temperatura, humedad y amoniaco en la granja.
- Diseñar un sistema de control para las variables: temperatura, humedad y amoniaco, mediante cortinas industriales y lámparas infrarrojas.
- Diseñar un sistema de monitoreo mediante una aplicación web para observar las variables controladas online.
- Implementación del sistema mecatrónico para el control y monitoreo de temperatura, humedad y amoniaco.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En esta sección del documento se detallan dos partes: en la primera parte se establece lo que constituye la porcicultura así como también la importancia de controlar las variables de temperatura, humedad y amoniaco, la descripción del entorno en el que se va a desarrollar el cerdo; las afecciones y enfermedades que puede desencadenar un mal manejo de las variables de climatización; adjunto a esto se establece la etapa de desarrollo del cerdo, en la que este proyecto se centrará; alusión al manejo que se da actualmente en la granja; en la segunda parte se presenta diferentes métodos de climatización para granjas porcinas existentes en la industria de crianza de animales.

4.1 PORCICULTURA

Conforme ha crecido la población humana y con ello la demanda de productos cárnicos para su consumo; se ha establecido estándares para la crianza de los animales en donde consta la salubridad y un ambiente adecuado para el crecimiento de los cerdos y de esta manera mejorar la calidad de la carne para el consumidor. En el caso del ganado porcino la necesidad de instalar un sistema de calefacción viene definida por las características fisiológicas de los animales, que determinan a su vez sus exigencias térmicas. (Pedersen,2005; Departamento de Producción Animal,2019).

Para esto se establecen ciertos criterios en cuanto al control de variables tales como la temperatura, humedad y amoniaco que afectan directamente en el desarrollo del animal.

Los cerdos pasan por una serie de procesos para llegar al consumidor: (lactante, destete, recría, engorde y faena); en este proyecto de titulación nos enfocaremos en la etapa de recría ya que esta es crítica en el desarrollo de los cerdos y se debe llevar un control exhaustivo de su entorno y alimentación.

Periodo de destete es el periodo más crítico en la producción porcina, consiste en separar a los lechones de su madre (Soft,2020; Aacporcinos,2019). En esta etapa los lechones sufren de estrés debido al repentino cambio de ambiente y nutricional. (Aacporcinos,2019)

Periodo de recría: Esta etapa es crítica para los cerdos debido al estrés post-destete, a una situación sanitaria delicada por tener un sistema inmunitario inmaduro y un sistema digestivo en adaptación de un cambio de dieta de líquida a sólida. (Departamento de Producción Animal,2019) Esto se traduce en una serie de dificultades para los lechones como pueden ser: (Granja de cerdos,2019)

- Vulnerabilidad inmunológica, ya que en el periodo de la lactancia esta era proveniente de la leche materna.

- Necesidad de temperatura ambiental más alta que los cerdos adultos.
- Cambios importantes de alimentación (Pasan de una alimenta líquida y caliente a una alimentación en sólidos). (Aacporcinos,2019,Granja de cerdos,2019)
- Separación de la madre y formación de nuevos grupos sociales.

Los lechones pasan por el destete para antes de ser trasladados al área de recría. La separación del ambiente materno, la competencia por un espacio, el cambio de alimentación y alojamiento son factores que producen estrés y esto a su vez influye en el desarrollo del animal. (Granja de cerdos,2019)

4.1.1 Variables climatológicas que afectan el desarrollo de los cerdos

En la granja ubicada en la ciudad de Santa Rosa funcionará nuestro sistema de climatización, presenta un clima de temperaturas altas y húmedas siendo de Febrero a Mayo las épocas más calurosas alcanzando temperaturas de 34°C; esto desencadena un aumento en la humedad y el gas amoniaco en las salas donde están los cerdos, en la temporada fría desde Junio hasta septiembre la temperatura baja hasta los 20°C. (Weather Spark, 2020)

Afecciones por temperatura: Se debe mantener la temperatura ambiente dentro del rango termoneutral de los animales; dicho rango que va desde la temperatura crítica más bajas (TCI) en donde el animal ocupa la mayor parte de la energía en mantener un nivel de temperatura óptimo; hasta las temperatura critica superior (TCS) el punto en el que tasa metabólica se reduce seriamente por estrés calórico debido a que el animal reduce su actividad, aumenta la frecuencia respiratoria y disminuye la ingesta de alimentos; los cerdos no sudan y tienen unos pulmones relativamente pequeños. Debido a estas limitaciones fisiológicas y a la capa de grasa subcutánea relativamente gruesa, son muy susceptibles a sufrir estrés calórico (Pedersen,2005; G. Bencomo,2010; Razas porcinas,2019); la zona termoneutral (ZT) está directamente relacionada con la tasa metabólica basal (TMB) que es la energía mínima para mantener vivo al animal bajo condiciones de reposo absoluto y a una temperatura constante. (Flament,2019)

La temperatura requerida depende de la edad de los cerdos siendo las más críticas el destete y la recría ya que esto representa una alteración en la alimentación y en el entorno en el que se desarrollan, por lo que cambios bruscos de temperatura pueden desencadenar en problemas de salud afectado su desarrollo inclusive el aumento de la tasa de mortandad. (Castro, 2015)

Afecciones por la humedad relativa: La humedad relativa es el contenido de vapor de agua en el aire. (Italimentos,2019) La humedad proviene de los animales y su estiércol. (Italimentos,2019) La humedad relativa alta perjudica especialmente a los animales cuando va en compañía de temperaturas muy bajas o elevadas. Las humedades relativas alta unida a baja temperatura crean un ambiente frío y penetrante. Una alta humedad unida a una alta temperatura, hacen que la pérdida de calor por parte del animal sea menor, llegando a producir postración y en casos extremos la muerte por asfixia. (Manrique,2019)

La disminución de la humedad relativa del ambiente a causa de un clima seco y caliente produce un aumento en las manifestaciones de irritabilidad en los animales, desembocando en el canibalismo. En un ambiente adecuado por cada grado centígrado en que aumenta la temperatura disminuye en un 5% el nivel de humedad. (Manrique,2019) A una temperatura de 30 °C, incrementar un 18% la humedad relativa equivale a un aumento de un grado en la temperatura ambiental (Granja de cerdos,2019).

Afecciones por la presencia del amoníaco: El amoníaco es un gas tóxico que se origina a partir de los desechos de los animales principalmente de la orina cuando se mezcla con las heces y se descompone la urea. (Electrónica estudio,2019; Manrique,2019); La concentración máxima para alojamiento de animales se establece en los 20 ppm; por lo general la concentración de amoniaco es baja cuando el área está limpia y la zona de desechos es pequeña. Si la concentración del amoniaco excede los 50 ppm reducirán la ganancia de peso diario de los cerdos jóvenes de un 12% a un 30% y se reducirá la respuesta del sistema inmunológico a la hora de eliminar bacterias en los pulmones comprometiendo el sistema respiratorio del animal. (Manrique,2019) Los lechones que se mantienen en temperaturas por debajo de lo normal, los cerdos crecen hasta un 33% menos y consumen hasta un 53% más de alimento que los lechones que se mantienen a una temperatura óptima. (Manrique,2019)

En el caso de la humedad lo óptimo es que se mantenga entre el 50% y 70% ya que los cerdos tienen muy alto el umbral de humedad sin embargo un porcentaje inferior al 40% provoca sequedad de las mucosas, tos irritante, por lo cual como es lógico el consumo de alimento se ve muy afectado. (Porcina, 2019)

4.1.2 Climatización automatizada de las granjas

La climatización prepara el aire mediante para erradicar la presencia de gases tóxicos como el amoniaco y con el propósito de lograr bienestar en los animales que cohabitan dentro de la edificación todo esto según el periodo del año y la ubicación geográfica (Ponce,2016).

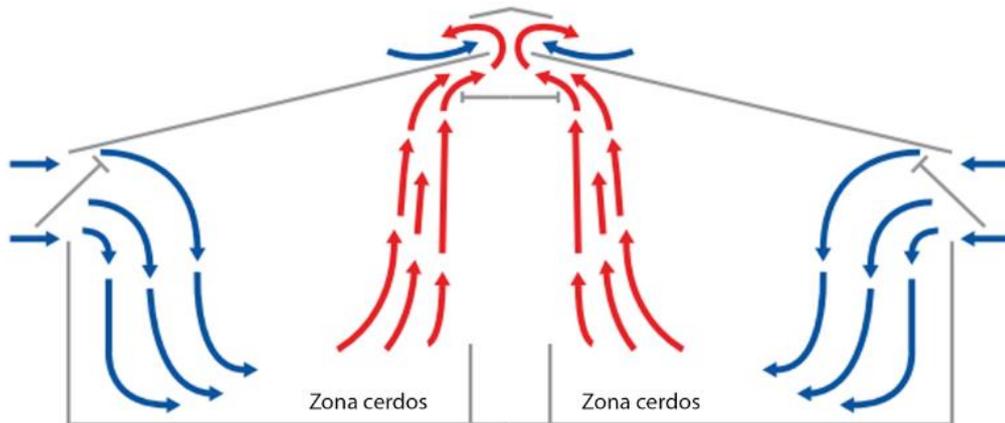
La automatización de un sistema de climatización nos facilita el control de lo que ocurre dentro del área donde se encuentran los individuos, pudiendo tener acceso a los datos de las variables que estamos controlando y su relación con el bienestar y salud de los animales (Tecna, 2019).

4.1.2.1 Tipos de climatización para galpones industriales

- **Ventilación Natural:** La ventilación natural es el proceso en que, sin asistencia mecánica, el aire fluye, para realizar este tipo de ventilación se requiere entradas de aire que muchas veces son reguladas con rendijas o solapas, también se utilizan cortinas para impedir que el calor escape del lugar. Estos actuadores antes mencionados, se pueden controlar de manera automática dando lugar a un ACNV (Automatically Controlled Natural Ventilation). (Agriculture and Horticulture Development Board,2019)

Figura 1.

Flujo de aire en ventilación natural de un galpón de cría de cerdos (Agriculture and Horticulture Development Board,2019)

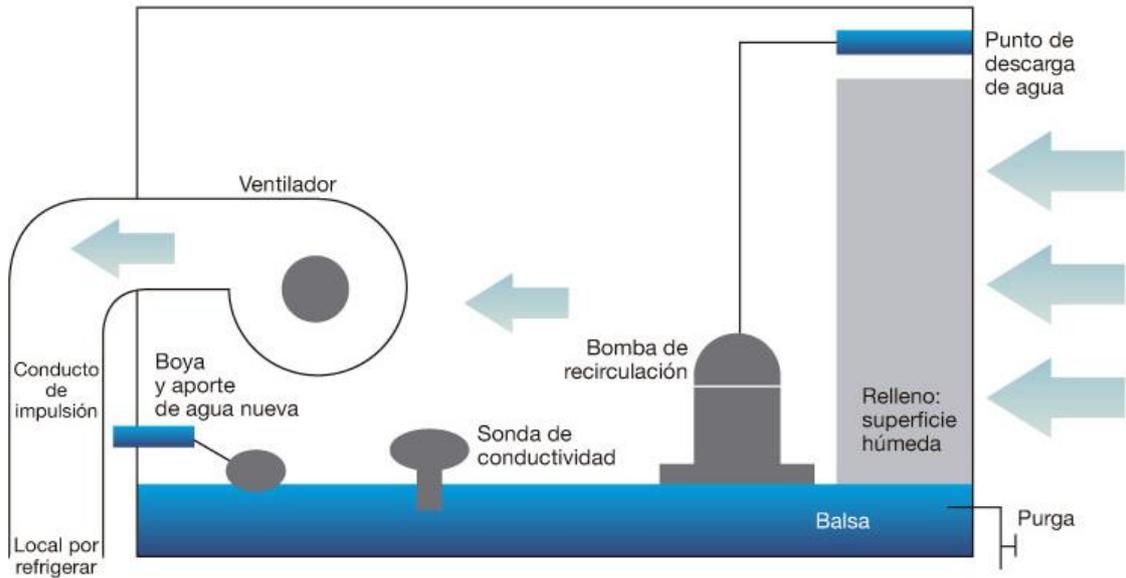


- **Equipos de enfriamiento por evaporación:** Estos equipos ponen en contacto una corriente de aire con otra de agua fría gracias a la absorción de energía del agua en el proceso de evaporación de la misma; con esto se consiguen dos efectos enfriar el aire y humedecerlo.

Equipos con recirculación de agua y contacto con superficie húmeda: Actúa como una balsa de almacenamiento de una pequeña cantidad de agua que recircula constantemente mediante una bomba que vierte el agua sobre el material poroso de las paredes y lo recoge de nuevo de la balsa, en el interior de la carcasa se dispone un ventilador de succión impulsa el aire exterior cálido a través de los paneles porosos empapados con agua fría, evaporando una cierta cantidad de agua y consiguiendo refrigerar el aire que es expulsado a la galpón, el agua evaporada reduce la cantidad de agua circulante en el equipo y ésta se repone mediante un sistema de boya y grifo de agua de renovación (MSCBS,2019).

Figura 2.

Esquema del equipo de enfriamiento evaporativo (MSCBS,2019)



- **Climatización por aerotermos:** Un aerotermo es una unidad generadora de aire. Se consigue mediante la impulsión de aire a través de un elemento intercambiador de calor. Este aire puede ser calentado por medio de agua caliente, agua sobrecalentada o vapor de agua. (Climatizacion10,2019)

Figura 3.

Aerotermo utilizado para climatización .



- **Climatización con tubos radiantes:** Este sistema utiliza agua caliente que pasa a través de los tubos radiantes, estos emiten radiación infrarroja. (REHAU,2019)

Figura 4.

Tubos de radiación. (BioAire,2019)



- **Climatización por Lámparas infrarrojas:** Es un sistema basado en calor mediante radiación de rayos infrarrojos estos rayos son emitidos haciendo que choquen con paredes o techo, rebotando. De esta forma, tanto los elementos de la estancia como los individuos suben su temperatura. (Caloryfrio, 2019)

Figura 5.

Calentamientos por lámparas de infrarrojos. (Company S.A, 2019)



4.1.3 Sistema de climatización granja Italimentos

En la actualidad en la granja porcina perteneciente a Italimentos, el control de las variables de temperatura, humedad y amoniaco se hace mediante intervención humana; el técnico decide cuando es oportuno actuar y los procesos son manuales, cuentan con cortinas industriales que el operario dispone para cerrarlas o abrirlas dependiendo del estado de las variables de climatización en el ambiente y con lámparas infrarrojas que ayudan a aumentar la temperatura de la sala en caso de ser necesario.

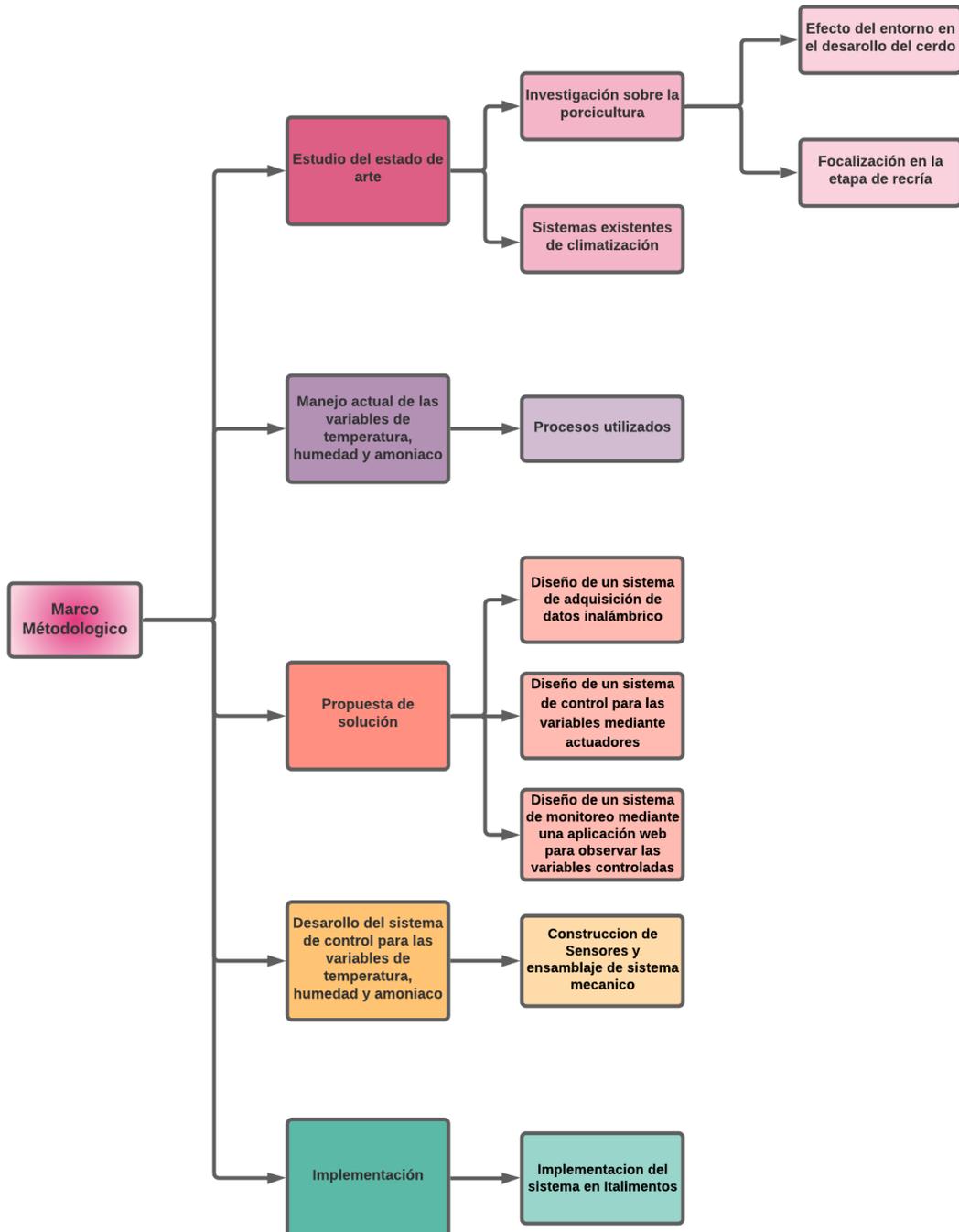
La granja de la empresa Italimentos utiliza el mecanismo de pulverizar agua para los cerdos en etapa de engorde ya que estos despiden mayor energía calórica, al pulverizar el agua se logra enfriar y humedecer el ambiente (MSCBS,2019).

5. MARCO METODOLÓGICO

En esta sección del documento se va a desarrollar la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto de titulación.

Figura 6.

Marco Metodológico utilizado en el desarrollo de este proyecto.



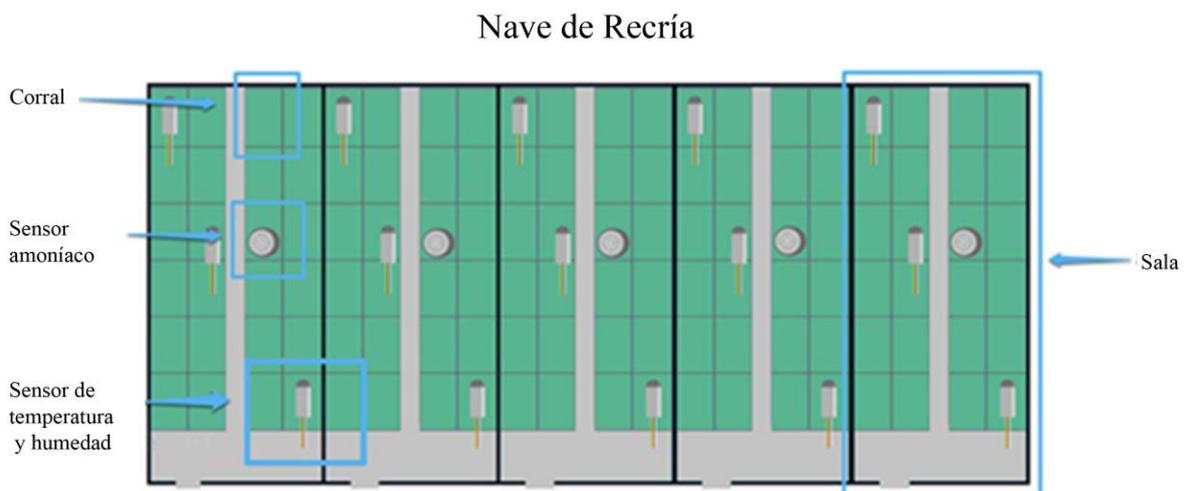
La metodología de este proyecto de titulación consta de cinco puntos: El primero de ellos se sitúa en el análisis de los procesos, que utiliza actualmente la empresa Italimentos para controlar las variables de temperatura, humedad y amoníaco; a continuación se realiza un estudio del estado del arte sobre la porcicultura enfocada en la etapa de recría, ya que el proyecto se centra en dicho periodo de desarrollo del cerdo y sobre sistemas de climatización que existe en el mercado estos dos puntos se encuentran detallados en la sección 4 de este documento. En el tercer punto presentamos la propuesta para cubrir la necesidad presentada por la empresa en donde se detalla el diseño mecánico, electrónico y la elaboración de la interfaz que este caso será una página web; a continuación, la construcción de los sensores y ensamblaje del sistema mecánico seguido.

5.1 Propuesta de Solución:

La propuesta de implementación se divide en 3 secciones donde se presentarán el diseño electrónico de los sensores, mecánico y de la página web

Figura 7.

Disposición de los sensores de climatización en una sala de recría.



Cada nave de recría cuenta con 5 salas, y cada una de estas se divide en 24 corrales, tienen una capacidad para criar 1200 cerdos por nave. Este proyecto de titulación se centrará solo en una sala en donde ingresan los cerdos en etapa de recría; en la figura 7 se representa la ubicación de cada uno de los elementos de instrumentación, se ha establecido esta ubicación de los sensores para poder establecer un promedio en cuanto a la temperatura y humedad ya que la densidad poblacional de los cerdos es mayor en el centro con respecto a la ventilación existentes por las ventanas de los extremos. Con respecto al sensor que mide el amoníaco se ha optado por uno solo ubicado en el centro de la sala ya que aquí se da la mayor concentración de este gas y al ser nocivo no es de relevancia un promedio si no contrarrestar su presencia intentando localizar el lugar crítico de su concentración.

5.1.1 Diseño de un sistema de adquisición de datos inalámbrico:

El sistema planteado trabajará en la granja de cría de alimentos ubicado en la ciudad de Santa Rosa por lo que este será un ambiente corrosivo que desgasta con facilidad los dispositivos; por esta razón se utilizaron dispositivos que funcionan con baterías y transmisión de datos por radiofrecuencia alargando la vida útil y reduciendo costos de instalación; Estos se encargaron de medir la temperatura, humedad y amoníaco esta información se envía en paquetes a la puerta de enlace.

La puerta de enlace de red se alimenta con una fuente de 5V/2A; también debe tener acceso a conexión ethernet con acceso a internet, este dispositivo recibe los datos de los sensores a través de un transceptor de radio frecuencia para dirigirlos y llevar a cabo la toma de decisiones enviando señales hacia un PLC (controlador lógico programable); de acuerdo a las necesidades del sistema, a su vez gestiona la página web que es la interfaz gráfica para que los técnicos de la granja de Alimentos tengan la información pertinente del estado de la climatización.

5.1.2 Sensor de Temperatura, Humedad y Amoníaco:

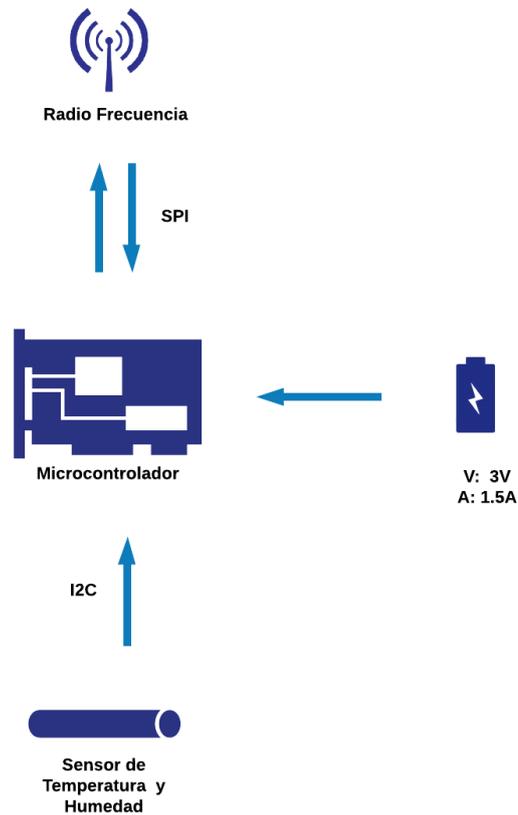
Los dispositivos diseñados estarán expuestos a un entorno agresivo y de corrosión debido a la presencia de actividades biológicas, como el excremento de los animales. La humedad es alta en el sector, por esta razón se utilizarán componentes de tipo industriales capaces de funcionar y resistir estas condiciones, además de esto los sensores deberán ser capaces de enviar las señales hasta 60 metros hacia la puerta de enlace de red, también el sensor deberá tener la capacidad de requerir baja potencia ya que estos dispositivos funcionarán con baterías.

En la figura 8 se visualiza el diagrama de funcionamiento de la tarjeta electrónica del sensor de temperatura y humedad.

Para medir la temperatura y humedad utilizaremos el sensor SHT10, este sensor al ser recubierto con una carcasa de acero inoxidable para funcionar de una manera óptima en entornos de condiciones adversas descritas anteriormente, por lo que este componente resulta perfecto para usos industriales y para usos de granjas de cría de animales; se ve las especificaciones de este sensor en la tabla I.

Figura 8.

Diagrama de funcionamiento del sensor de temperatura y humedad.



Datos técnicos del Sensor SHT-10	
Rango de Humedad	0-100% RHZ
Rango de Temperatura	-10 - 80°C
Precisión (humedad)	±5.0% RH
Precisión (Temperatura)	±0.5°C



Una fotografía del sensor SHT-10, que consiste en un cabezal cilíndrico metálico con una malla protectora, conectado a un cable negro flexible con tres hilos de colores (rojo, verde, azul) al final.

Tabla 1 Especificaciones técnicas del sensor SHT-10 utilizado para medir la temperatura y la humedad. (dfrobot, 2021)

Para la transmisión y recepción de datos se ocupó el Transceptor de de radiofrecuencia NRF24L01, este componente electrónico es capaz de transmitir datos hasta a 100m en línea despejada y con obstáculos un máximo de 60m, trabaja a una frecuencia de 2.4 GHz este dispositivo se puede conseguir a bajo costo, como se observa en la tabla II. Se ha escogido la versión de NRF24L01 que viene con la antena integrada en la PCB porque el consumo energético es menor que el que demanda NRF24L01 + con antena externa.

Datos técnicos del Sensor NRF24L01	
Fuente de alimentación:	1.9 ~ 3.6V
Voltaje de funcionamiento del puerto IO:	0 ~ 3.3v / 5v (Tolerante a 5V)
Tasa de transmisión:	+ 7 dB
Recepción de sensibilidad:	≤ -90dB
El alcance de transmisión:	30-100m en zona abierta
Funcionamiento en la banda ISM:	2.4GHz
Protocolo de comunicación:	SPI

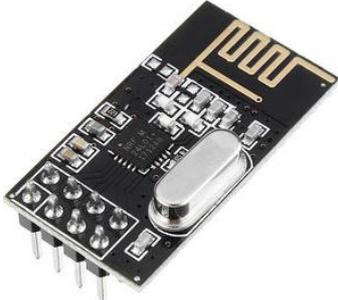


Tabla 2 Especificaciones técnicas del Transceptor NRF20L01 utilizado para la transmisión de datos de radiofrecuencia. (dfrobot, 2021; NYLAMMECHATRONICS, 2021; Sparkfun, 2008)

En cuanto al procesamiento de datos se ocupó el microcontrolador ATMEGA 328p ya que este puede trabajar con baja potencia y se puede activar el modo de sueño (sleep mode) en el intervalo de tiempo del próximo dato recolectado con el propósito de alargar la vida de las baterías.

Datos técnicos del Sensor ATMEGA 328P	
Oscilador externo	20 MHz
Memoria FLASH:	32KB
Memoria RAM:	2KB
Memoria EEPROM:	1KB
Pines:	28
CPU:	8-bit AVR
Pines de entrada/salida:	23
Entradas analógicas (ADC 10-bit):	6
Voltaje de alimentación:	5V máx.

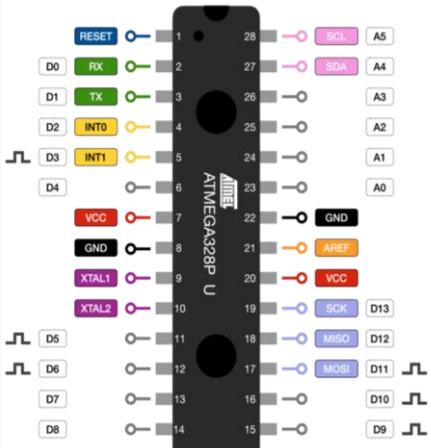


Tabla 3 Especificaciones técnicas del microcontrolador ATMEGA 328P utilizado para procesar los datos registrados por los sensores. (Microchip Technology, 2021; NYLAMMECHATRONICS, 2021)

5.1.3 Duración de las baterías

El sistema trabajará de manera inalámbrica, por lo que la alimentación será por medio de dos pilas AAA cada una de estas de 1.5 V conectadas en serie para lograr una diferencia de potencial de 3V.

Cálculo de duración de baterías

Para el cálculo se toma en cuenta el consumo de cada componente que actúa en el sensor inalámbrico. En la siguiente tabla presentamos los valores de consumo de cada componente.

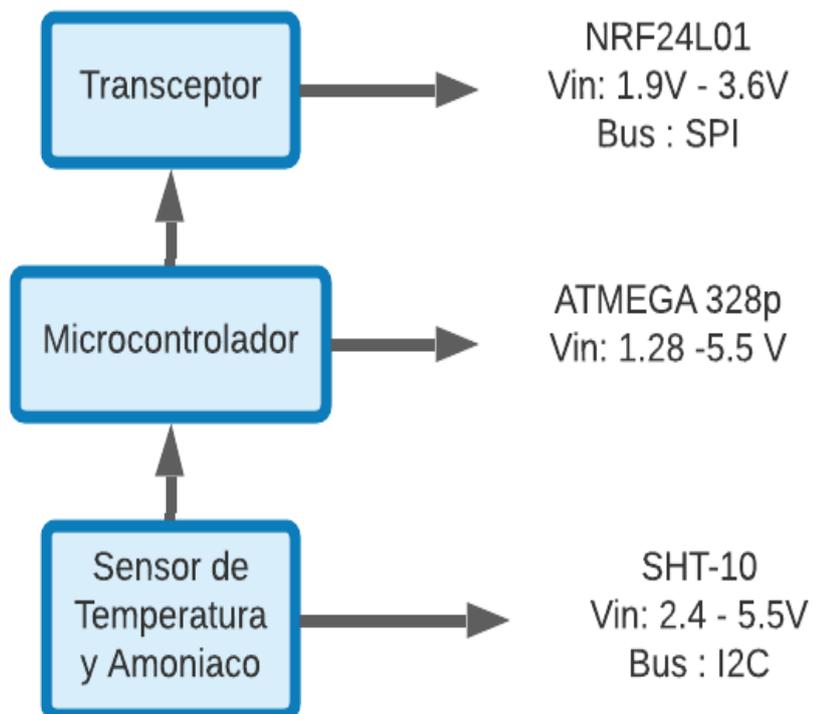
<u>Componente</u>	<u>Consumo (mAh)</u>
<u>Atmega328P (Active Mode)</u>	<u>1.5</u>
<u>Atmega328P (Sleep Mode,8Mhz)</u>	<u>0.001</u>
<u>Sensor SHT-10 (Active Mode)</u>	<u>0.55</u>
<u>Sensor SHT-10 (Sleep Mode)</u>	<u>0.0003</u>
<u>Transmisor NRF24L01(Active Mode)</u>	<u>13.5</u>
<u>Transmisor NRF24L01(Sleep Mode)</u>	<u>0.0009</u>

Tabla 4 de consumo eléctrico (dfrobot, 2021; NYLAMMECHATRONICS, 2021; Sparkfun, 2008; Microchip Technology, 2021)

Observamos en la figura 9 la interacción que existe entre los diferentes componentes elegidos para este sensor.

Figura 9.

Diagrama de flujo del dispositivo para medir temperatura y humedad.



Se observa en las figuras 10-11 el diseño electrónico en un software de diseño electrónico; Antes de realizar la construcción de la placa PCB se realizó las debidas pruebas utilizando un protoboard, esta tarjeta se utilizó con el fin de medir únicamente la temperatura y la humedad de la sala de recría de la granja de Santa Rosa.

Figura 10.

Diseño esquemático del sensor de temperatura y humedad

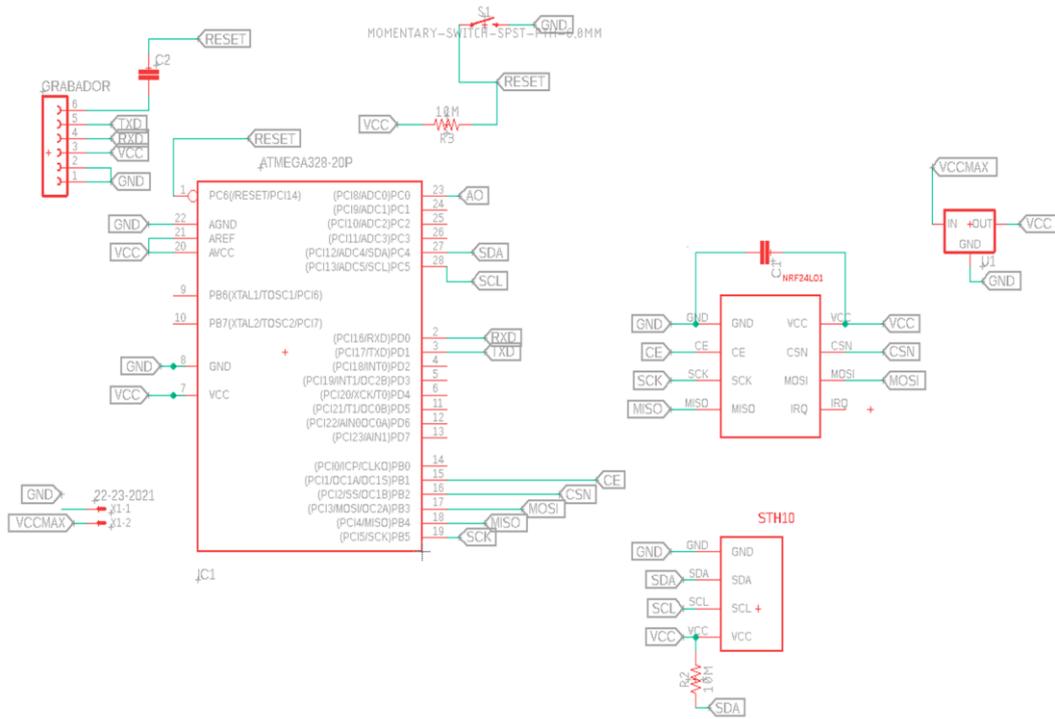
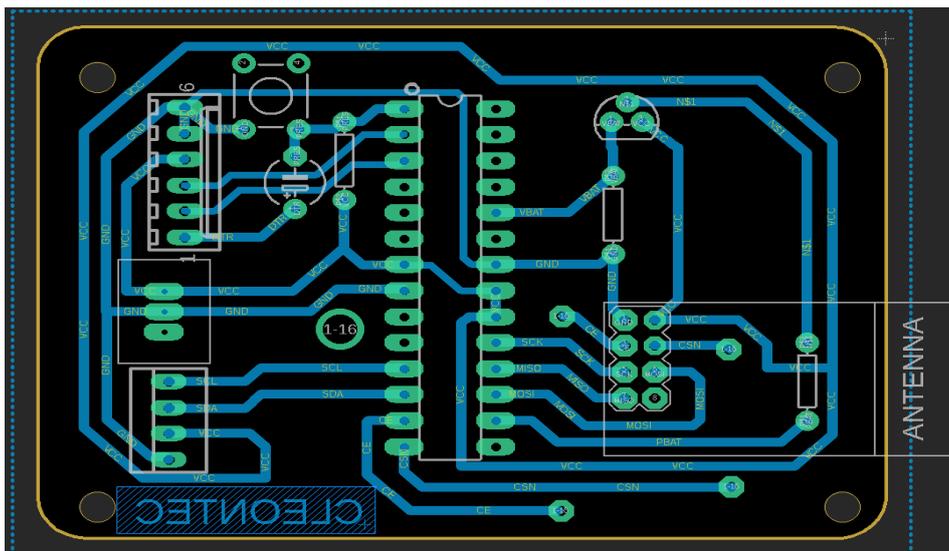


Figura 11.

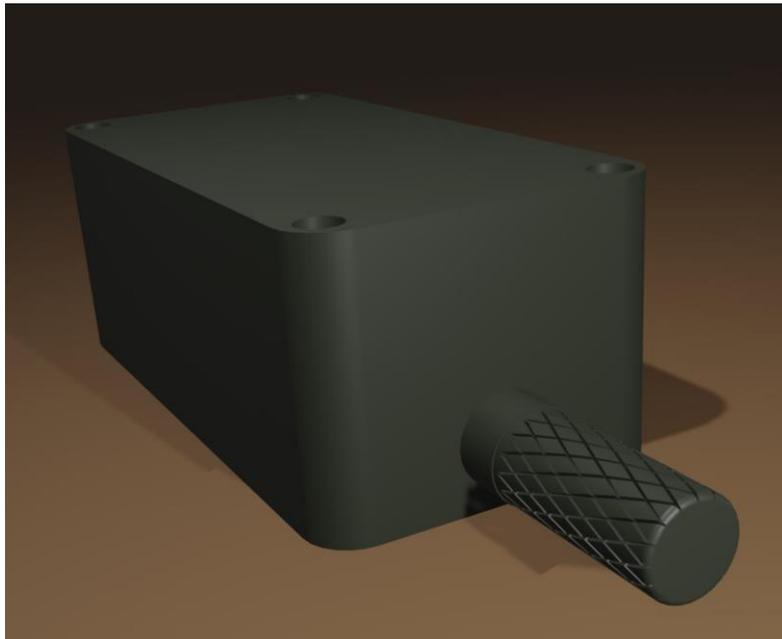
Diseño de la placa electrónica del sensor de temperatura y humedad.



A continuación, en la figura 12 mostramos el diseño de la caja que contendrá la placa del sensor protegiéndolo del exterior.

Figura 12.

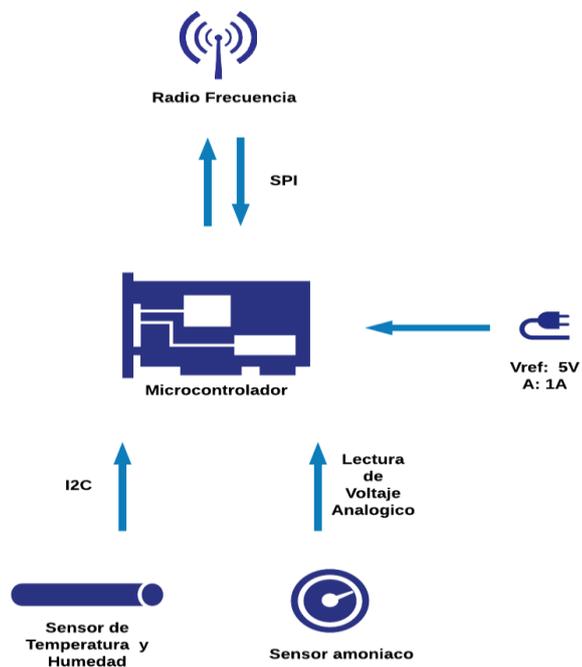
Diseño de la caja del sensor de temperatura.



Hemos diseñado otro dispositivo con los mismos requerimientos físicos que el anterior; para este sensor requerimos medir las partículas por millón en el aire del amoniaco. En la figura 13 vemos el funcionamiento de este sensor para la medición de temperatura, humedad y amoniaco.

Figura 13.

Diagrama de funcionamiento del sensor de temperatura humedad y amoniaco



El componente para sensor el Amoníaco será de MQ-137 (sensor de gas NH₃), hemos elegido este componente ya que al igual que el SHT10 tiene una cubierta tipo malla de acero inoxidable que impermeabiliza y protege del entorno lo que le hace ideal para ser utilizado en la cría de animales de granja. Este sensor utiliza lectura de voltaje analógico para medir la concentración de gas amoniaco en la sala, la salida analógica aumenta a medida que aumenta la concentración, cuanto mayor sea la concentración, mayor será la tensión, este componente necesita un voltaje de referencia para funcionar por lo que se optó por usar una fuente de 5V y 1.5. Este sensor además en sus prestaciones nos brinda alta sensibilidad al cambio de la variable esto es de suma importancia en este proyecto ya que el amoniaco es crítico en cuanto a la crianza de cerdos, además de esto el sensor está recubierto por un mallado de acero inoxidable que lo vuelve ideal para el entorno en el que va a trabajar; observamos sus características principales en la tabla V.

Datos Técnicos del Sensor MQ-137		
Voltaje de operación	5V	
Corriente	1.8 A	
Rango de medición	5-500 ppm	

Tabla 5 Especificaciones técnicas del Sensor MQ-137 utilizado para sensor el gas del amoníaco. (Didacticas Selectronicas, 2021; Robo Craze, 2021)

A continuación, en la figura 14, observamos la interacción de los componentes para sensor la temperatura, humedad y amoniaco, empezando en los sensores que recogen los datos del entorno para enviados al microcontrolador en donde son gestionados y esta información mandad en paquete a través del transceptor de radio frecuencia, que será el NRF20L01+. Este transceptor utiliza una antena externa esto le permite tener un mayor alcance para la transmisión de datos en el caso del sensor de temperatura humedad y amoniaco se utilizó esta presentación del componente de transmisión aprovechando la conexión directa a la red eléctrica; vemos los datos técnicos de este transceptor en la tabla VI.

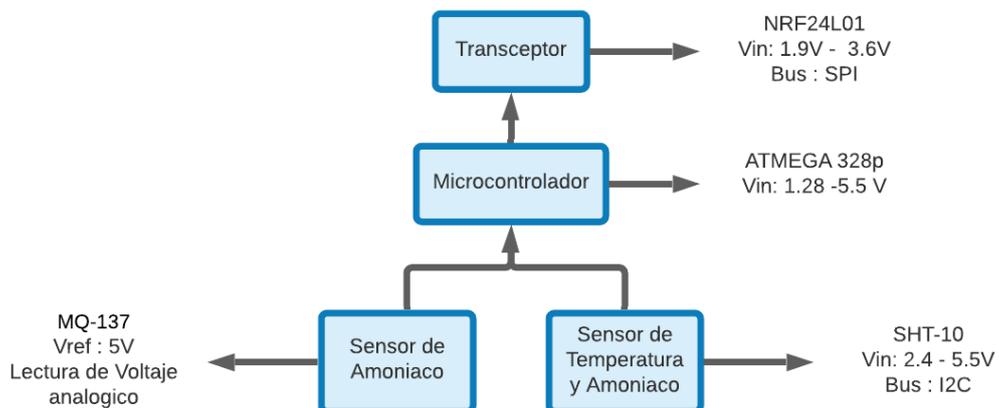
Datos técnicos del Sensor NRF24L01+	
Fuente de alimentación:	1.9 ~ 3.6V
Voltaje de funcionamiento del puerto IO:	0 ~ 3.3v / 5v (Tolerante a 5V)
Tasa de transmisión:	+ 7 dB
Recepción de sensibilidad:	≤ -90dB
El alcance de transmisión:	1km en zona abierta
Funcionamiento en la banda ISM:	2.4GHz
Protocolo de comunicación:	SPI



Tabla 6 Especificaciones técnicas del Transceptor NRF24L01 + utilizado para la transmisión de datos de radiofrecuencia en el sensor de temperatura, humedad y amoniaco. (NYLAMMECHATRONICS, 2021; Sparkfun, 2008; Microchip Technology, 2021)

Figura 14.

Diagrama de flujo del dispositivo para medir temperatura, humedad y amoniaco.



El diseño de las placas electrónicas se realizó en un software de diseño electrónico en este caso se agregó el sensor de amoniaco y la fuente de alimentación. en las siguientes figuras 15-16 Visualizamos el diseño esquemático y de PCB

Figura 15.

Diseño esquemático del sensor de temperatura, humedad y amoniaco

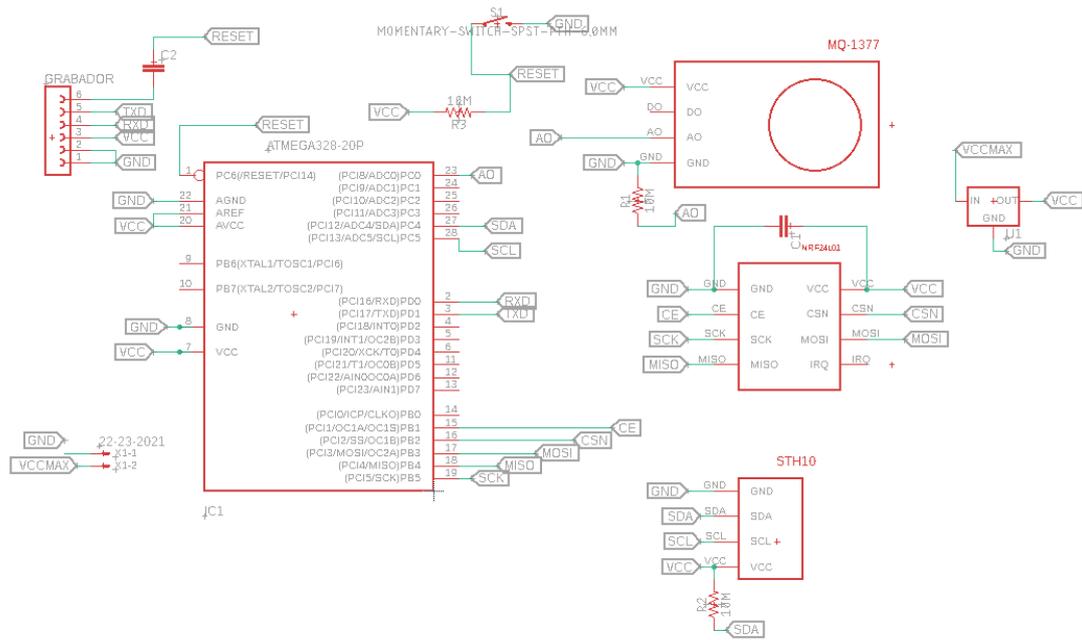
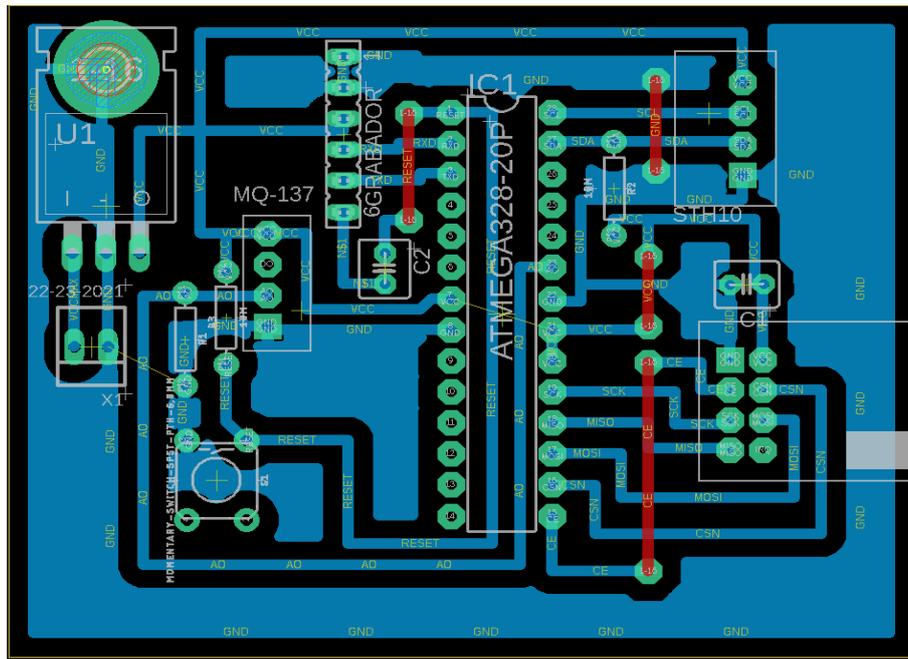


Figura 16.

Diseño de la placa electrónica del sensor de temperatura, humedad y amoniaco.



En cuanto a la Carcasa se adaptó para la antena externa y por los cables que van a la fuente de alimentación, así como los dos componentes para medir las variables de temperatura, humedad y amoniaco; se utilizó un software de diseño 3D como se puede observar en la siguiente figura 17.

Figura 17.

Diseño de la caja para el sensor de temperatura, humedad y amoniaco.

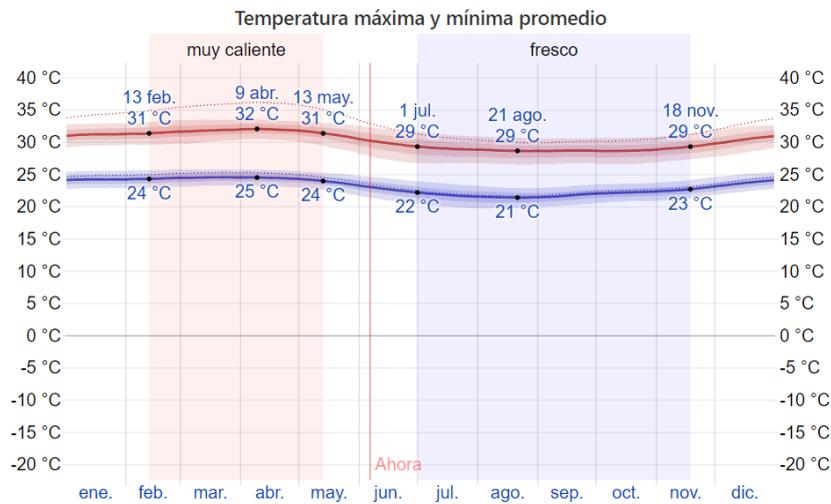


5.1.4 Frecuencia de Muestreo.

La frecuencia de muestreo es el tiempo que se tarda entre muestra y muestra; este sistema requiere este cálculo para no acumular datos innecesarios en la memoria del raspberry; también para evitar un consumo alto de energía en los sensores inalámbricos, (para esto se ocupa el mode sleep). Se han tomado datos de un año del clima de Santa Rosa como observamos en la figura 18, los picos de temperatura alta se encuentran entre los meses de febrero y mayo; por otro lado la mínima de temperatura baja entre Julio y Noviembre.

Figura 18.

Gráfico del comportamiento de temperatura durante un año en Santa Rosa. (Weather Spark, 2020)

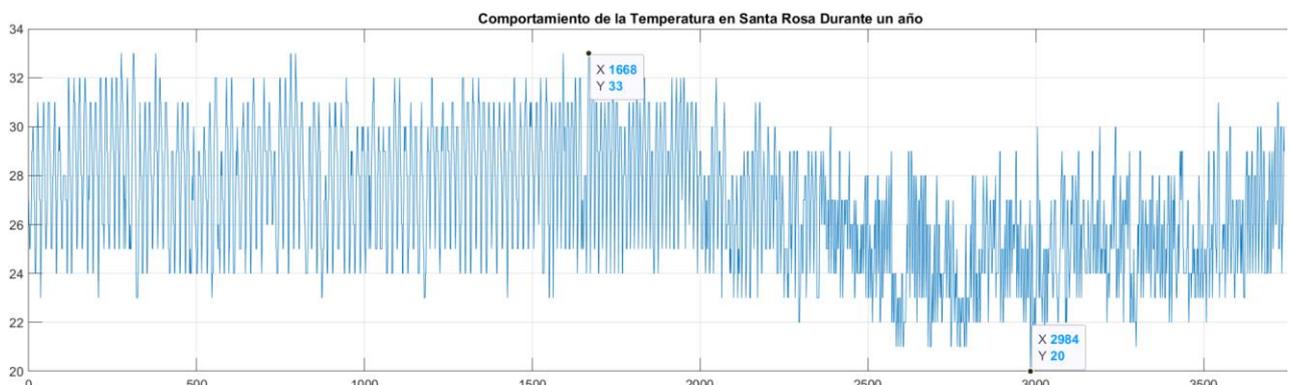


Obtenidos ya los datos se ha procedido a calcular la frecuencia máxima de muestreo recurriendo a la transformada de Fourier del sistema.

En la figura 19. observamos el gráfico del comportamiento de la temperatura en el año 2020, en donde vemos un pico máximo en el primer semestre del año de 33°C y la temperatura más baja registrada de 20°C en el segundo semestre del año; esta representación se hizo con los datos tomados de un año de temperatura en la ciudad de Santa Rosa, en el software de MATLAB.

Figura 19.

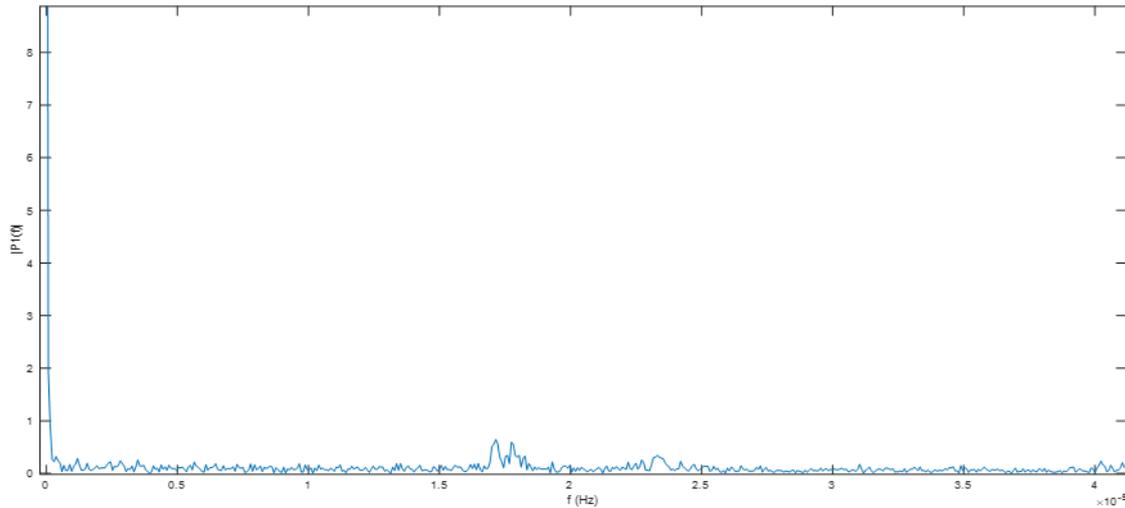
Comportamiento de temperatura durante un año en Santa Rosa graficado en Matlab.



A continuación, en la figura 20, vemos la transformada de Fourier del comportamiento de temperatura en Santa Rosa.

Figura 20.

Transformada de Fourier Comportamiento de temperatura durante un año en Santa Rosa graficado en Matlab.



A partir de esto se procedió a calcular la frecuencia máxima alcanzada por el sistema; con el propósito de obtener la frecuencia de muestreo o de Nyquist que es el número de muestras por unidad de tiempo que se toman de una señal continua: (Azimadli, 2020)

$$f_{max} = 1.3362e - 04 \text{ Hz (1)}$$

La frecuencia de muestreo viene dada por la fórmula (2).

$$fn \geq 2.2 * f_{max} \text{ (2)}$$

$$fn = 2.2 * 1.3362e - 04 \text{ (3)}$$

$$fn = 2.6724e - 04 \text{ Hz (4)}$$

Lo siguiente que se hace es sacar el período del sistema este se obtiene con la siguiente fórmula (5):

$$T = 1/fn \text{ (5)}$$

$$T = 1/2.6724e - 04 \text{ (6)}$$

$$T = 3.7420e + 03 \text{ sec (7)}$$

$$T = 62.3667 \text{ min (8)}$$

Después de haber concluido los cálculos se ha obtenido que los datos se deberían obtener cada hora aproximadamente, pero esto se debe a que los datos utilizados se han tomado cada hora durante un año y por el criterio del técnico de granja encargado de la sala de cría se ha decidido tomar los datos cada 15 minutos ya que es importante mantener un monitoreo constante al clima de las salas por qué cambios bruscos en las variables de control desencadenan afecciones en la salud de los cerdos.

5.1.5 Puerta de enlace de red.

Para este componente requerimos un dispositivo con la capacidad de almacenar y gestionar los datos recolectados por los sensores, aparte de esto deberá cumplir las funciones de una puerta de enlace de red y con el cometido de un precio razonable para estructurar un proyecto rentable en cuanto a sus beneficios por lo que hemos escogido utilizar un Raspberry pi 3 B+, observamos las características de este componente en la tabla VII.

Datos Técnicos Raspberry PI 3 B+	
CPU + GPU: Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz	
RAM: 1B LPDDR2 SDRAM	
Wi-Fi + Bluetooth: 2.4GHz y 5GHz	
Ethernet: Gigabit Ethernet sobre USB 2.0 (300 Mbps)	
GPIO de 40 pines	

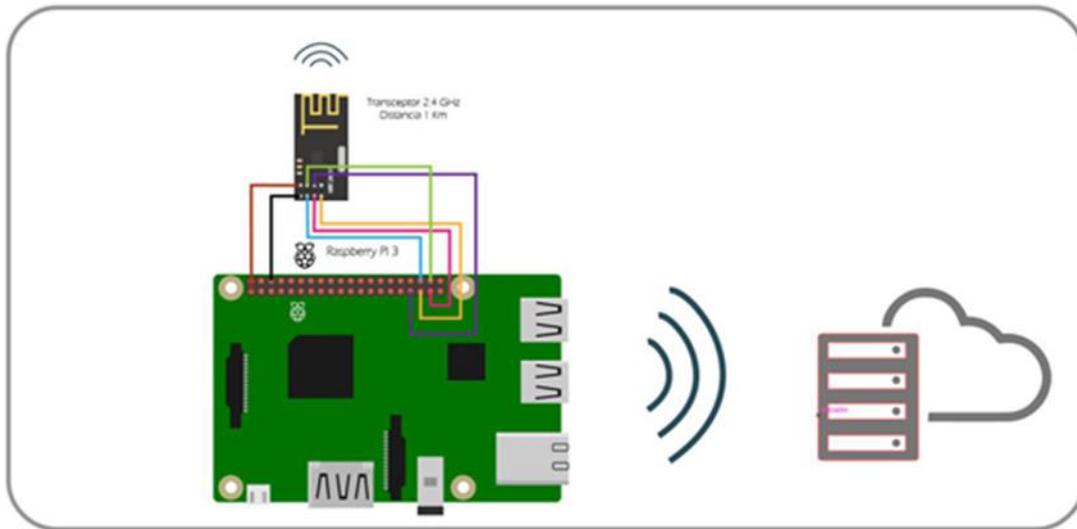
HDMI	
4 puertos USB 2.0	
Micro-SD	
Power-over-Ethernet (PoE)	
Fuente de alimentación de 5V - 2A	

Tabla 7 Especificaciones técnicas del Raspberry pi 3 B+ utilizado como puerta de enlace.
(Raspberry Pi, 2020; Elekstore, 2020)

La puerta de enlace de red recolecta los datos enviados por los sensores a través de radiofrecuencia los almacena en una base de datos para esto utilizamos php y mariaDB con estas herramientas creamos y administra los datos recolectados para gestionar una página web en donde los usuarios podrán ver el comportamiento del sistema con respecto a las variables, también aquí se llevará la toma de decisiones para los actuadores enviando señales a través de las GPIO.

Figura 21.

Raspberry 3 B + utilizado como puerta de enlace de red.

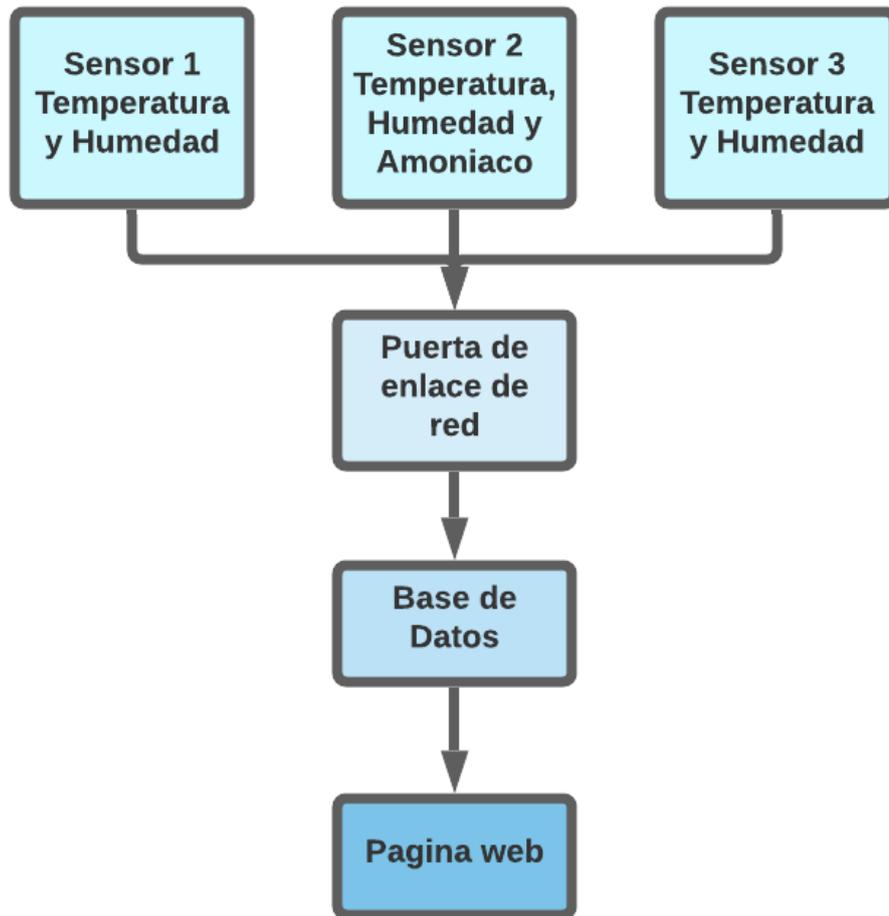


En la Figura 21, vemos como la puerta de enlace de recepta los datos suministrados por los sensores y los sube al Host Local para que los usuarios accedan a esta información; con los datos adquiridos se procederá al control de las variables, utilizando un PLC (controlador lógico programable) para la parte de potencia.

En este dispositivo se encuentra programado para que comande los motores consta de niveles, para establecer el nivel se ha propuesto la utilización de fin carreras, son tres en total dependiendo de las necesidades de los cerdos las cortinas se elevan o descienden hasta uno de estos tres componentes, por otro lado tenemos las lámparas infrarrojas estas tienen la función de elevar la temperatura de los corrales, para de esta manera mantener estable las variables de temperatura, humedad, amoniaco (NH₃) en la sala de recría.

Figura 22.

Diagrama de funcionamiento de la puerta de enlace red en comunicación con los demás componentes del sistema.

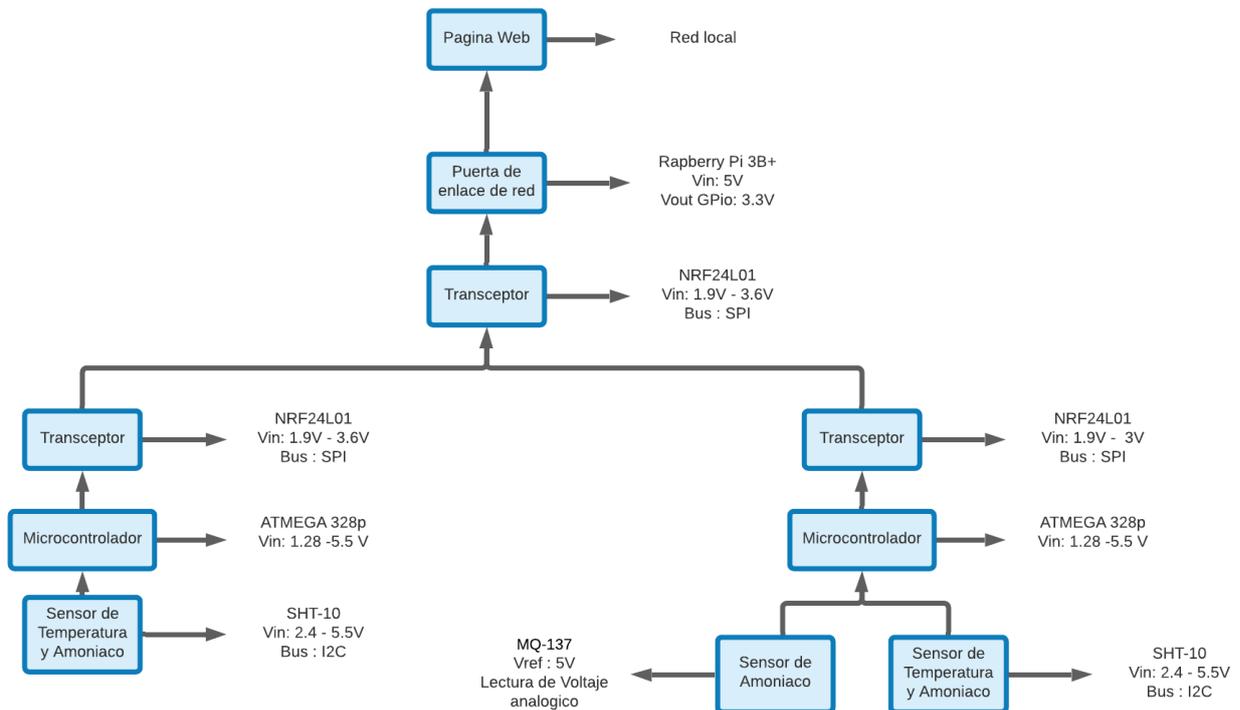


En la figura 22, se observa el diagrama del funcionamiento de todo el sistema, así como la interacción de cada uno de los componentes diseñados y su función en el proceso de climatización; empezando desde la recolección de datos en los sensores de temperatura humedad y amoniaco para que sean enviados a través de radio frecuencia al puerta de enlace de red, aquí se almacenan los datos en una base de datos gestionada por PHP y se muestran en la página web.

Los sensores serán colocados de una manera distributiva dentro de una de las salas de recría de la granja de Santa Rosa de Italimentos. También cada uno de estos se comunicará por medio de señales de radio frecuencia al Puerta de enlace de red.

Figura 23.

Diagrama de funcionamiento del sistema de recolección, transmisión y gestión de datos de las variables de temperatura, humedad y amoniaco.



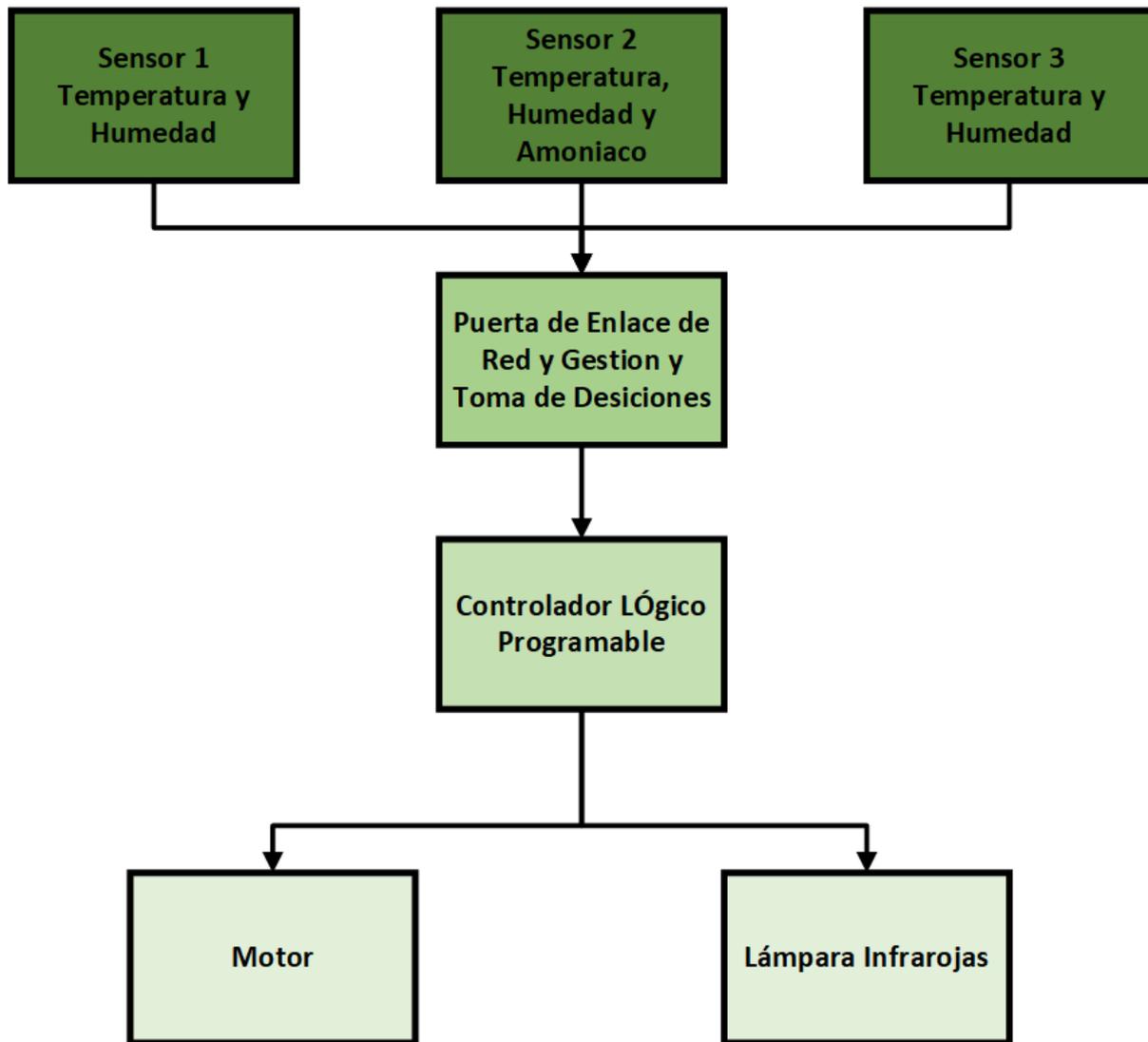
En la figura 23 observamos el diagrama de funcionamiento del sistema de recolección y gestión de los datos de temperatura, humedad y amoniaco, que empieza con la recolección de los datos hasta la administración y visualización del comportamiento de las variables en la página web.

5.1.6 Diseño de un sistema de control para las variables mediante actuadores:

Para el sistema de control se utiliza el mismo procesador que para la puerta de enlace de red un raspberry pi 3 B +, este es el encargado de la toma de decisiones ya que envía señales al controlador lógico programable para la activación de los actuadores según convenga.

Figura 24.

Diagrama de cómo funciona la placa de control para los actuadores.

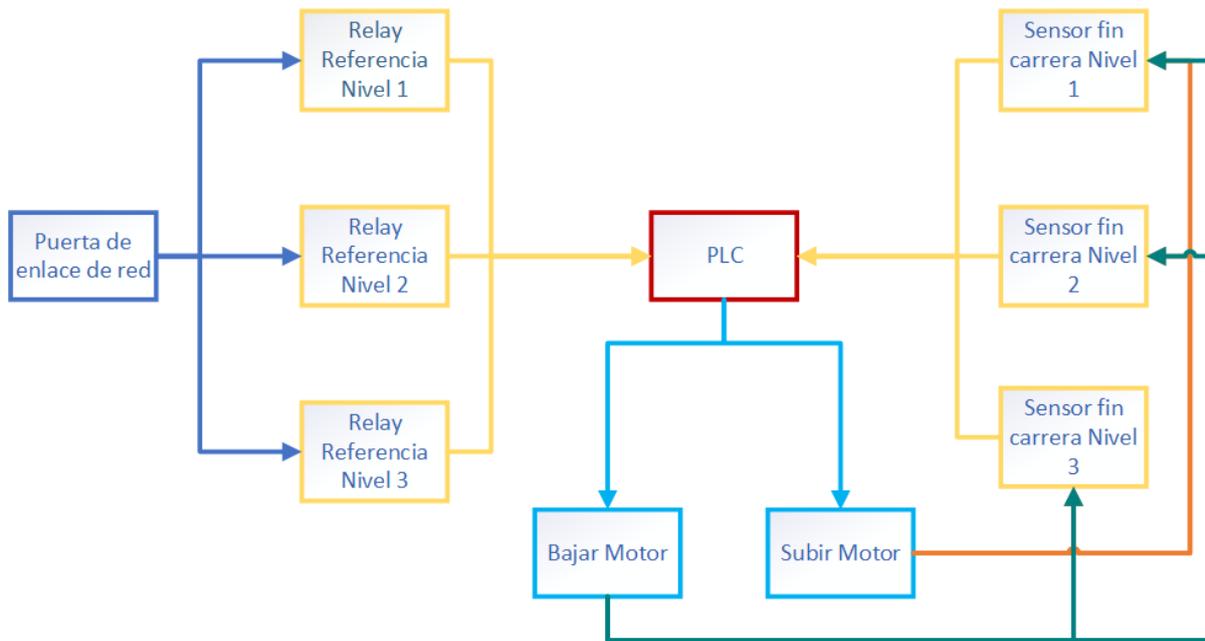


A partir de la puerta de enlace de red se realiza la toma de decisiones para el respectivo accionamiento de los actuadores para esto se dirigen las señales hacia el PLC desde donde se comanda los actuadores que en este caso son un motor y una línea de lámpara infrarrojas y se dejara tanto en la placa electrónica de control como en la caja de potencia las salidas necesarias para una futura instalación de ventilación.

En la figura 24 vemos cómo es el proceso de comunicación para la toma de decisiones en cuanto al movimiento del motor; este sistema tiene señales de entrada enviados desde la puerta de enlace de red; estas se encargan de establecer hacia dónde deben ubicarse las cortinas mediante el motor; y las otras señales provienen de los sensores de fin carrera que son tres; estas muestran en qué nivel se encuentran las cortinas.

Figura 25.

Diagrama de cómo se realiza la toma de decisiones para el movimiento de los motores según corresponda; partiendo desde la puerta de enlace de red.



En la figura 26 y 27 observamos el diagrama de flujo de la lógica utilizada para programar el PLC en donde observamos el funcionamiento del algoritmo para la toma de decisiones sobre el accionamiento y sentido del giro del motor para controlar las cortinas de la sala de recría las entradas I1, I2, I3 son las señales de entrada enviadas por la puerta de enlace de red, estas señales pertenecen al nivel donde se deben posicionar las cortinas, primer nivel, segundo nivel y tercer nivel respectivamente; las entradas I7, primer fin carrera, I5 segundo fin carrera e I6 tercer fin carrera, corresponde a las señales obtenidas de los sensores de fin carrera con los que sabemos en qué posición se encuentran las cortinas. Las salidas Q2 y Q3 se las utilizó para el sentido del giro del motor dependiendo si este tiene que subir o bajar.

Figura 26.

Diagrama de flujo del algoritmo para la toma de decisiones para motor.

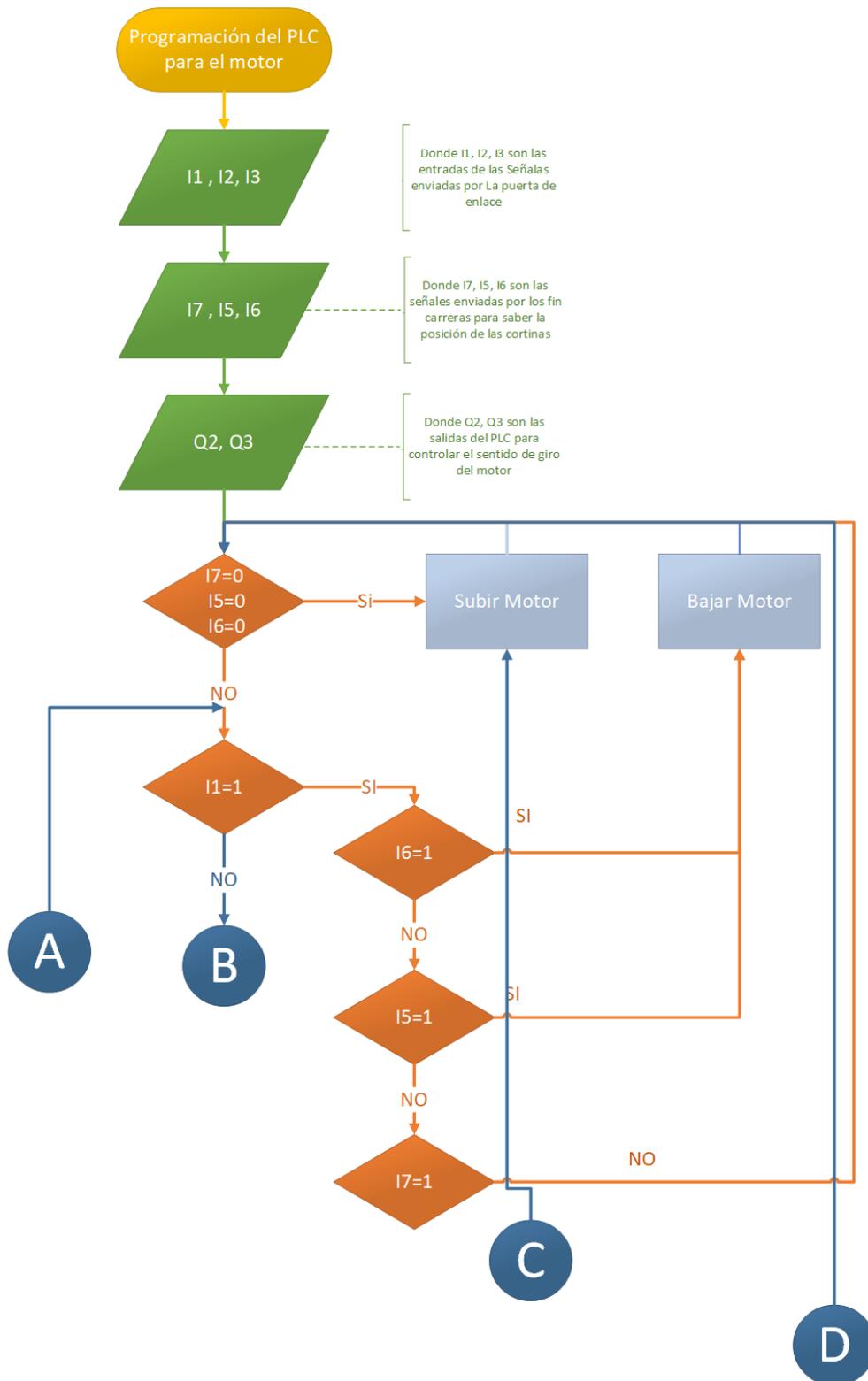
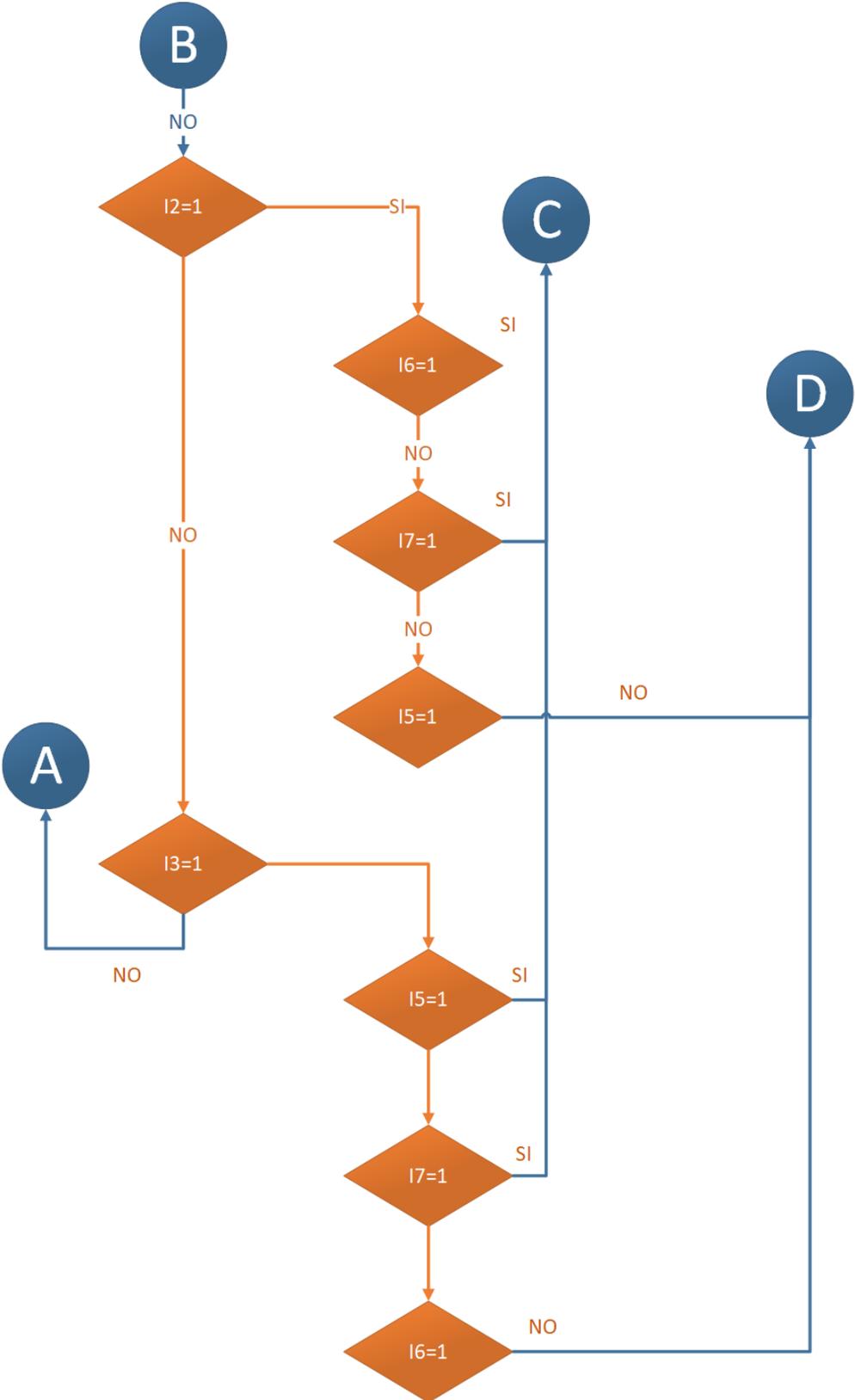


Figura 27.

Diagrama de flujo del algoritmo para la toma de decisiones para motor.



En la figura 28, se explica el proceso que realiza el sistema diseñado para prender o apagar las lámparas infrarrojas de acuerdo a las temperaturas alcanzadas dentro de la sala de recría; la puerta de enlace de red envía la señal hacia el PLC en donde se dirige hacia las lámparas infrarrojas para controlar la temperatura en los corrales de los cerdos de recría.

Figura 28.

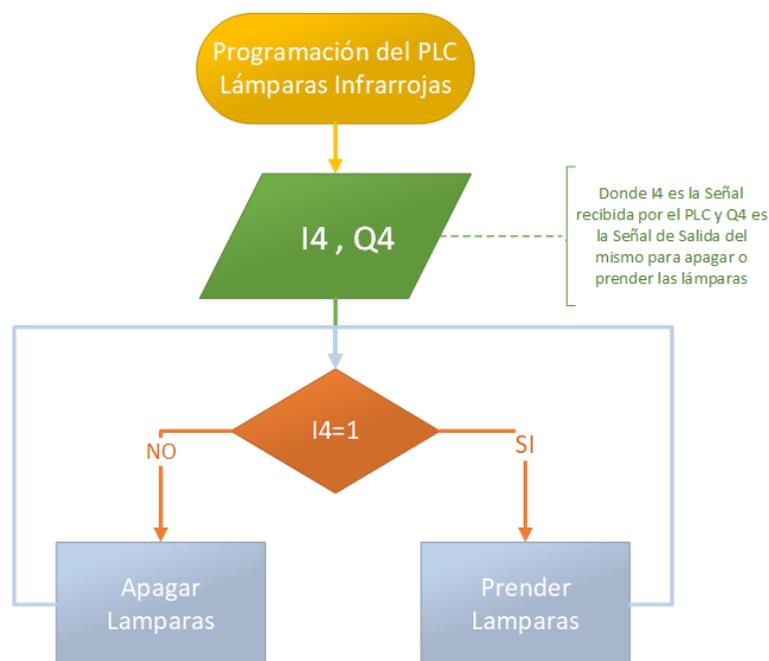
Diagrama de cómo se realiza la toma de decisiones para la activación de las lámparas infrarrojas según corresponda; partiendo desde la puerta de enlace de red.



Observamos en la figura 29 el diagrama de flujo de la lógica utilizada para el accionamiento de las lámparas infrarrojas donde la variable I4 es la señal enviada desde la puerta de enlace de red, cuando se ha tomado una decisión sobre el estado de estos actuadores y la variable Q4 es la salida del PLC para prender o apagar las lámparas infrarrojas.

Figura 29.

Diagrama de flujo del algoritmo del PLC para prender o apagar las lámparas infrarrojas.



De la misma forma la placa para el control de los actuadores fue diseñado en un software de diseño electrónico tanto el diseño esquemático como la PCB se puede ver en las figuras 30 y 31, Este dispositivo irá colocado cerca de un puerto Ethernet con conexión a internet para gestionar la base de datos y el interfaz que es una página web con el fin de que los usuarios (trabajadores y técnicos de la granja de Italimentos) puedan tener conocimiento del control para la climatización efectuada por el sistema mecatrónico desarrollado.

Figura 30.

Diseño esquemático de la puerta de enlace de red.

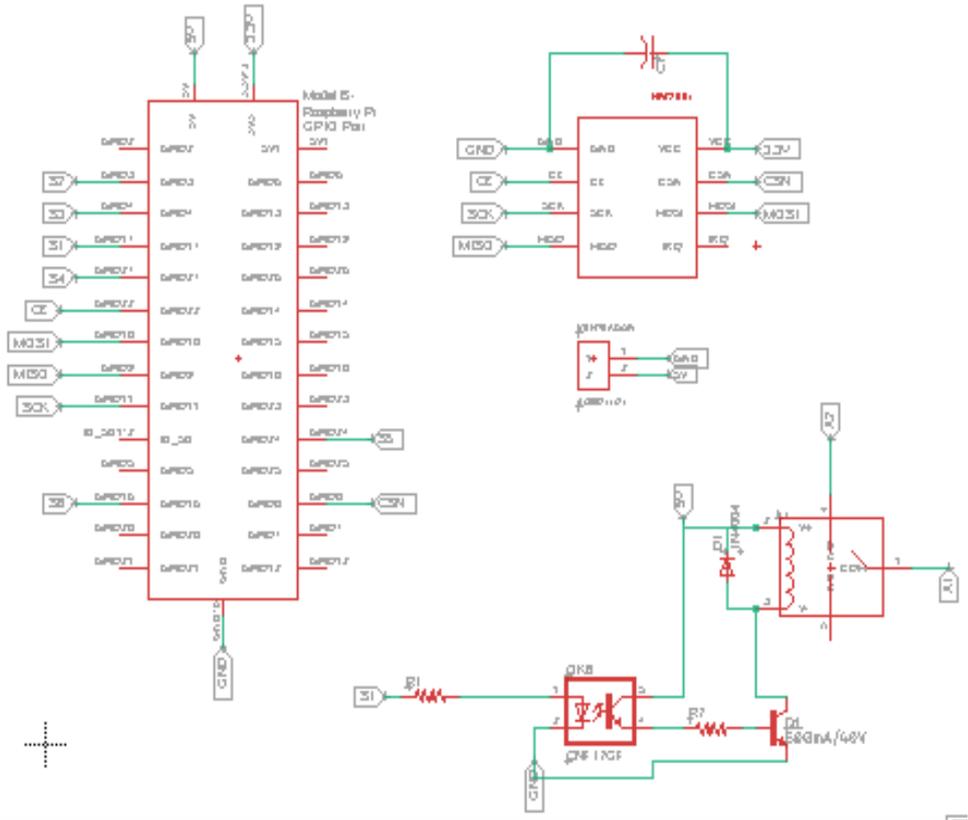
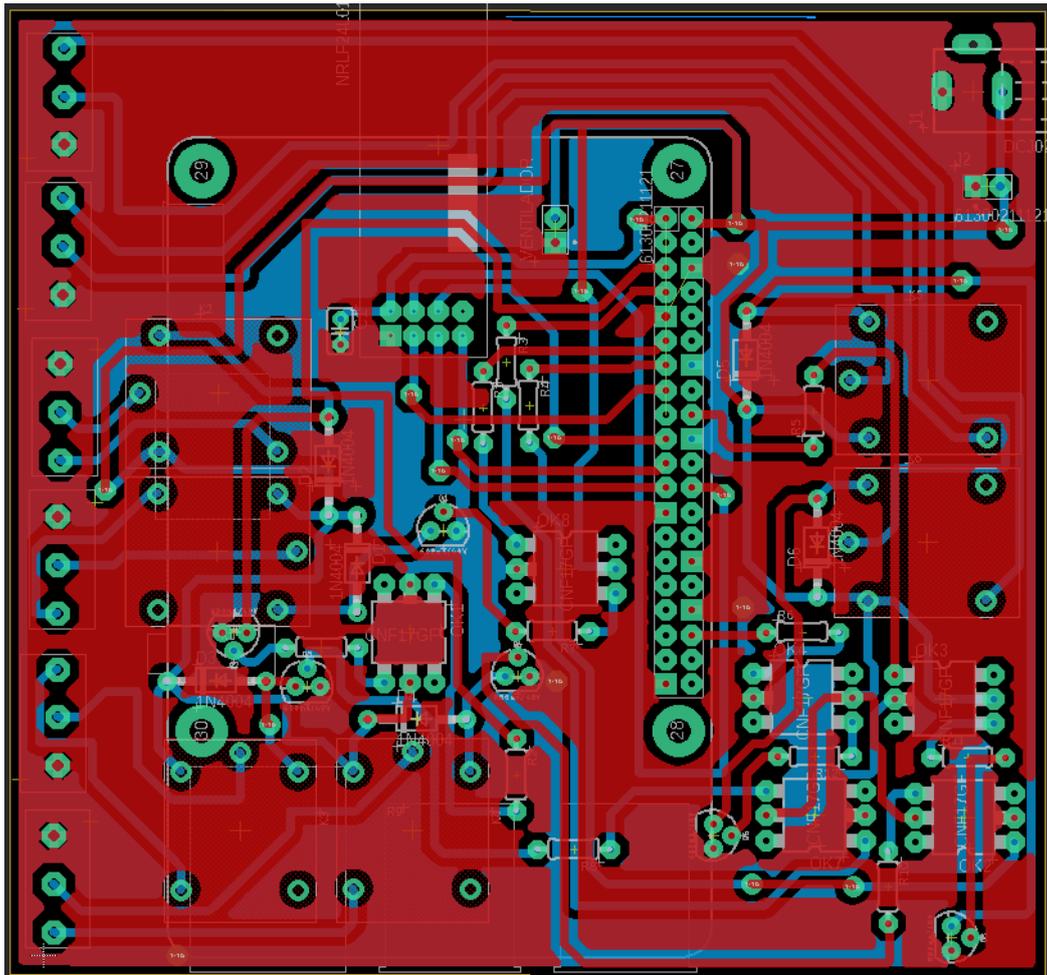


Figura 31.

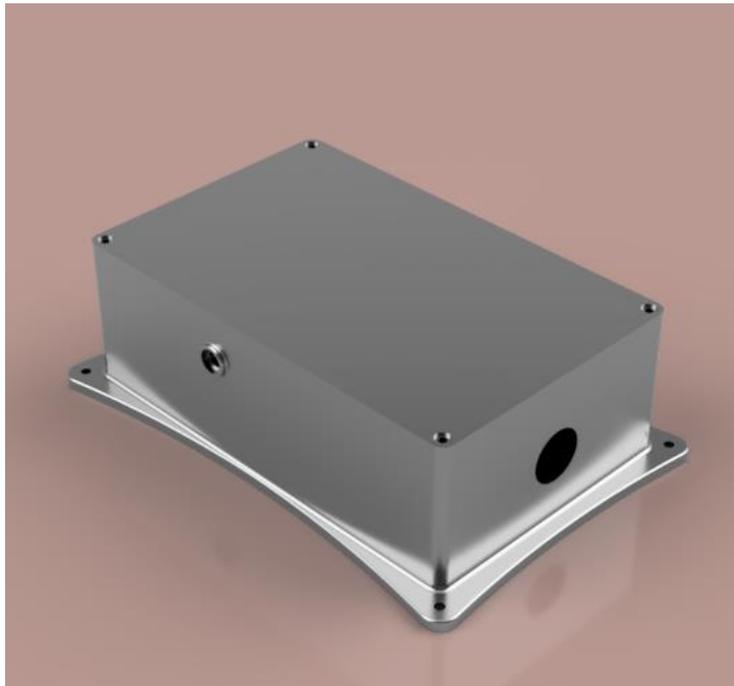
Diseño de la placa electrónica de la puerta de enlace de red.



El Puerta de enlace de red fue diseñado con 6 salidas para comunicarse con el LOGO, este se encargará de ejecutar los actuadores cuando la puerta de enlace de red mande las señales de acuerdo con el rango de las variables que se le ha programado. En cuanto a la carcasa de la puerta de enlace de red esta fue diseñada en el software de diseño 3D como se puede apreciar en la figura 32, y deberá ser sujeta en una pared con una distancia menor a los 100 metros de donde se encuentran los sensores para climatizar.

Figura 32.

Diseño de la caja para proteger la placa de la puerta de enlace de red.



En la figura 33 está la caja de control de potencia armada que utilizamos en este proyecto, más adelante en el documento encontraremos el esquema de cómo se armó y su funcionamiento.

Figura 33.

Caja de control de potencia.



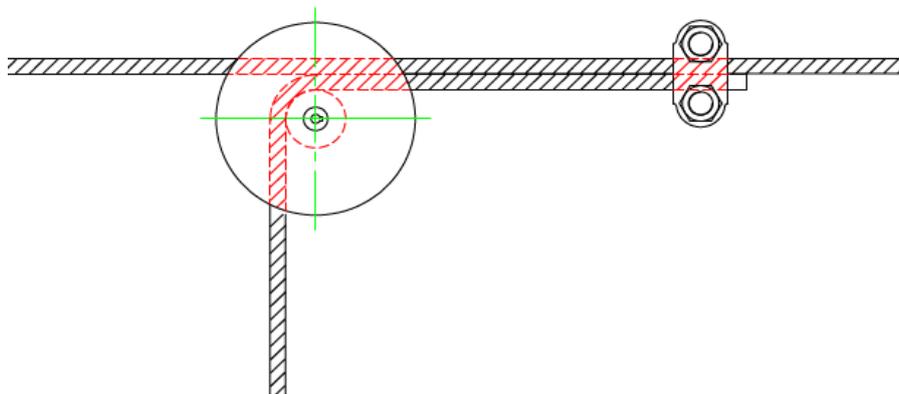
5.2 Diseño Mecánico

El sistema mecánico propuesto trabaja en conjunto con la electrónica para controlar el desplazamiento de las cortinas industriales, para esto el sistema consiste de un mecanismo de cables y poleas preexistente, un tecele eléctrico y la estructura mecánica que soporta el tecele como se ve en la figura 34.

Con el objetivo de reutilizar el sistema existente, se busca acoplar el tecele eléctrico, reemplazando el tecele manual que se llevaba utilizando para la ejecución del movimiento. Para la selección del tecele eléctrico se debe tomar en consideración la carga a mover con su respectivo factor de seguridad que no debe ser menor al 50% de la carga total, la fuente de alimentación eléctrica disponible para el dispositivo (Grupoap, 2013)

Figura 34.

Sistema de poleas para el movimiento de las cortinas



Los componentes para tomar en consideración para calcular la carga a mover por el tecele eléctrico son: cable de acero, tubo de acero 1", cortina de rafia laminada y un contrapeso de 20 Kg.

5.2.1 Cortina de rafia laminada

En la sala de recría se utiliza una doble capa de rafia laminada por cada ventana de ventilación, procedemos a sacar el peso total de la cortina, se presenta los datos de estas en la tabla VIII.

Datos de las cortinas	
Material	Rafia laminada
Peso por metro cuadrado	180 g /m ² (Agroredes, 2020)
Dimensiones	10.76 m x 2.6 m
Área de la cortina levantada por el tecele	27.976 m ²

Tabla 8 Datos de las cortinas.

Peso de las cortinas:

$$peso = \text{área} \times \text{masa por metro cuadrado} \quad (9)$$

$$peso = 180 \text{ g/m}^2 \times 27.976 \text{ m}^2 \quad (10)$$

$$peso = 5035.68 \text{ g por capa}$$

Tomando en consideración que la cortina es de doble capa se procede a duplicar el peso obtenido en el cálculo anterior.

$$peso \text{ total} = 5035.68 \times 2 = 10071.36 \text{ g}$$

$$peso \text{ total} = 10.7 \text{ Kg}$$

5.2.2 Cable de Acero

El cable es utilizado para realizar el movimiento de las cortinas, siendo de acero para evitar el desgaste por el desplazamiento del sistema, en la tabla IX observamos los datos del cable de acero trenzado que utiliza el sistema.

Datos cable de acero trenzado:	
Norma	DIN 3052
Peso	0,502 kg/m
Largo utilizado	50m
Peso total	25.1 Kg

Tabla 9 Datos cable de acero.

5.2.3 Tubo de Acero

El tubo de acero es utilizado como estructura de la cortina, y se le coloca el cable de acero; vemos los datos del tubo en la tabla X.

Datos Tubo:	
Diámetro	1"
Peso	2.5Kg/m
Longitud utilizada:	10.71m

Tabla 10 Datos de Tubo que sostiene las cortinas.

$$\text{peso total tubo} = 10.7 \text{ m} \times 2.5 \text{ Kg/m} = 26.75 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso total: } 26.75 \text{ Kg}$$

5.2.4 Peso total para mover

$$\text{peso total} = \text{peso cortina} + \text{peso cable acero trenzado} + \text{peso tubo} + \text{contrapeso}$$

$$\text{peso total} = 10.7 \text{ Kg} + 25.1 \text{ Kg} + 26.75 \text{ Kg} + 60 \text{ Kg}$$

$$\text{peso total} = 122.55 \text{ Kg}$$

Para la selección del teclé eléctrico se parte de los 122.55 Kg que se desplazará, se considera un factor de seguridad de mínimo el 50% del total del peso a mover para mantener nuestro equipo en óptimo funcionamiento. (Grupoap, 2013)

$$\text{peso de arrastre} = 122.55 \text{ Kg} * 2$$

$$\text{peso de arrastre} = 245.1 \text{ Kg}$$

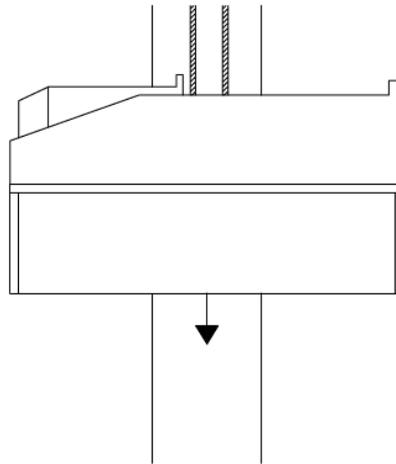
Requerimos un teclé con un peso de arrastre de 245.1 Kg

Debemos utilizar un teclé eléctrico de 245.1 Kg, con una búsqueda nacional del producto optamos por el modelo de BP de 250Kg, ya que este teclé eléctrico mueve un peso próximo al calculado, el modelo seleccionado cumple con los requerimientos de carga, como de

alimentación eléctrica, ya que se alimenta de 220V AC, que es el suministro eléctrico disponible en la Granja.

Figura 35.

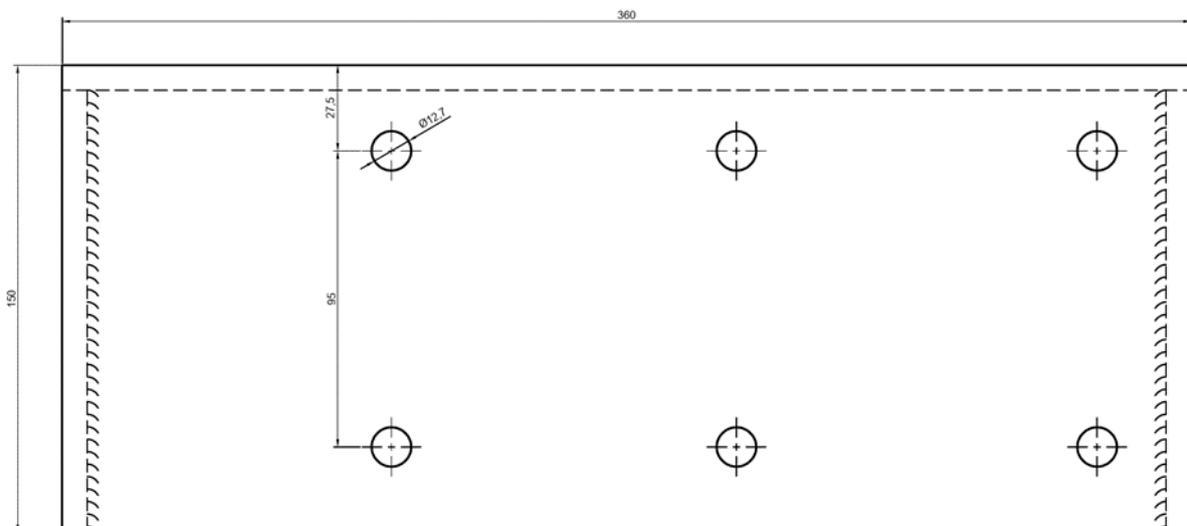
Motor que genera el movimiento de las cortinas.



Para el anclaje del teclé eléctrico a la estructura principal se diseñó una placa de sujeción en plancha negra, será soldada a la estructura principal de la sala de recría en la misma ubicación que el teclé manual observar Anexo, la placa de sujeción consta de 6 agujeros para la sujeción con el teclé el cual observamos en la figura 7.

Figura 36.

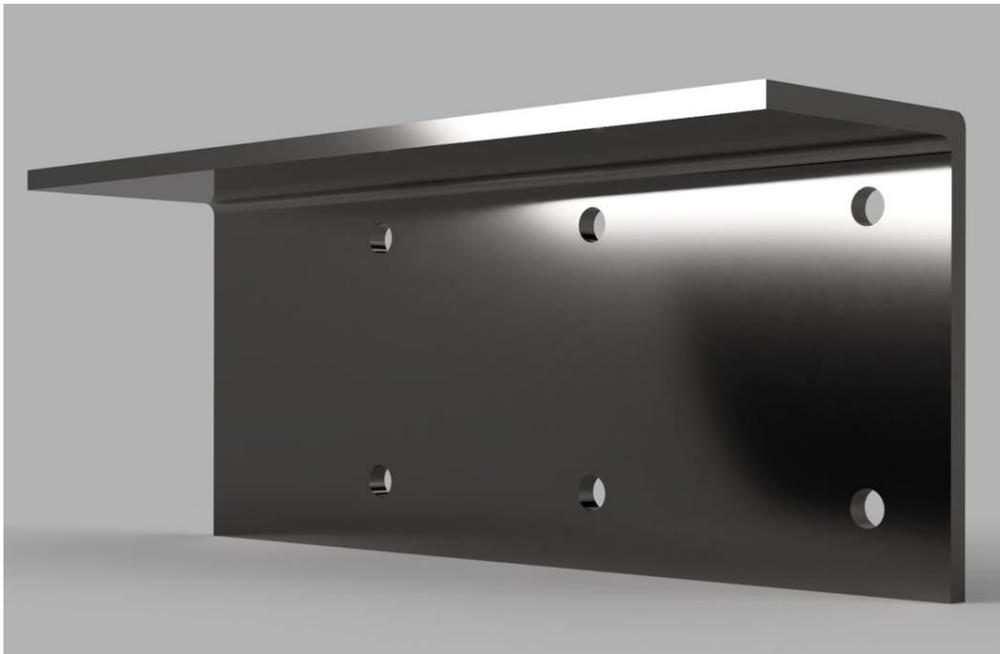
Placa para el anclaje del teclé



Presentamos el plano de la placa y el modelo en 3d para su futura construcción de esta.

Figura 37.

Modelo 3D de la placa para anclaje del tecl



5.3 Diseño de un sistema de monitoreo mediante una aplicación web para observar las variables controladas:

Para el diseño Web se hizo una base de datos utilizando mysql aquí guardamos las variables recolectadas por los sensores de temperatura, humedad y amoniaco.

Figura 38.

Base de datos gestionada a través de APACHE.

	ID_SENSORS	FECHA	HORA	TEMP1	TEMP2	TEMP3	HUM1	HUM2	HUM3	AMONIACO	PTEMP_S1	PHUM_S1
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	323	2021-04-23	10:26:15	24	24	21	47	50	56	1.62	23	51
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	318	2021-04-23	10:24:31	24	23	21	77	74	56	1.74	22.6667	69
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	327	2021-04-23	10:27:25	24	23	21	47	50	56	1.62	22.6667	51
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	325	2021-04-23	10:26:50	24	24	21	46	50	56	1.62	23	50.6667
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	329	2021-04-23	10:27:59	24	23	21	45	51	57	1.68	22.6667	51
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	330	2021-04-23	10:28:17	24	23	21	45	51	57	1.68	22.6667	51
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	516	2021-04-23	11:25:24	23	23	21	52	53	56	2	22.3333	53.6667
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	320	2021-04-23	10:25:05	24	24	21	54	55	56	1.68	23	55

Para la muestra de datos en la página Web se utilizaron diferentes tecnologías en la parte estética como la funcional entre ella tenemos : Bootstrap, AJAX, JS, mediante el uso de estas

tecnologías tenemos una ventana que muestra el valor de Temperatura promedio, Humedad promedio y amoniaco como variables principales para el monitoreo de las variables, luego de esto tenemos una parte de información directa en una tabla, donde se puede consultar los valores según las fechas que entremos en el buscador o por defecto todos los valores adquiridos.

En el final de la página tenemos las gráficas que van a indicar cada una de las variables, en la cual se escogerá entre diferentes viñetas la variable a observar, en cada viñeta tenemos la opción de activar o desactivar la visibilidad de cada uno de los sensores.

Para la visualización de la página Web tenemos las siguientes secciones en la ventana que interactúan con el usuario

Figura 39.

Visualización de los valores de temperatura, humedad y amoniaco en la página web.



En la parte superior tenemos las variables de Temperatura Humedad y Amoniaco de la última toma de datos del sensor, con esto garantizamos una información actualizada.

Figura 40.

Buscador de datos a través de la fecha.



En la siguiente sección tenemos un buscador desarrollado de manera dinámica para hacer una búsqueda en tiempo real de los datos a mostrar en nuestra tabla de datos, con el fin de encontrar los datos requeridos por los operadores de la Granja para el control.

Figura 41.

Visualización de la tabla de base de datos en la página web.

Mostrar registros por página. Búsqueda

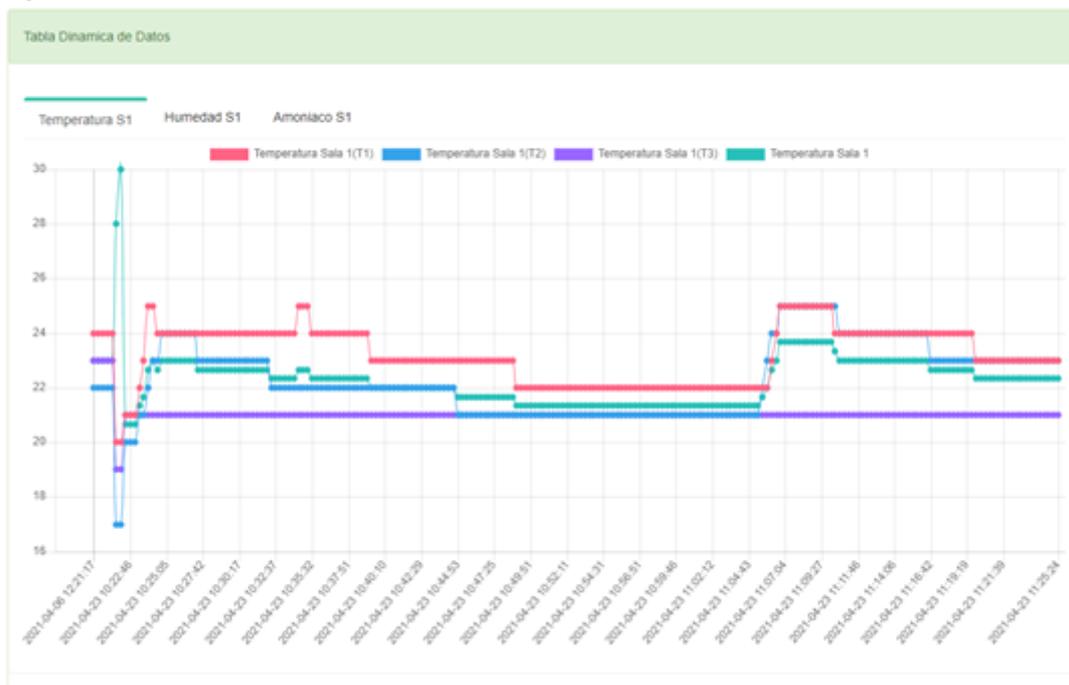
FECHA	HORA	TEMP1	TEMP2	TEMP3	HUM1	HUM2	HUM3	AMONIACO
2021-04-23	11:25:24	23	23	21	52	53	56	2
2021-04-23	11:25:07	23	23	21	52	53	56	2
2021-04-23	11:24:49	23	23	21	51	53	56	1.93
2021-04-23	11:24:32	23	23	21	51	53	56	1.93
2021-04-23	11:24:15	23	23	21	51	53	56	1.93
2021-04-23	11:23:57	23	23	21	51	52	56	1.93
2021-04-23	11:23:40	23	23	21	51	52	56	1.86
2021-04-23	11:23:22	23	23	21	51	52	56	1.86
2021-04-23	11:23:05	23	23	21	51	52	56	1.86

Presentamos la Tabla de Datos donde cada variable depende de la fecha para un correcto orden y una búsqueda organizada, tenemos un buscador por texto para ubicar una fecha u hora que necesita para la Búsqueda de datos.

Figura 42.

Gráficos del comportamiento dinámico de las variables.

Comportamiento Dinámico de las Variables



Mediante Python hacemos la adquisición y gestión de los datos, como también el control de los actuadores según las variables registradas en el Servidor, para el control de los actuadores se hace uso de las salidas GPIO del Servidor, los cuales se van a comunicar con un PLC que se encarga de toda la parte de potencia.

6. IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

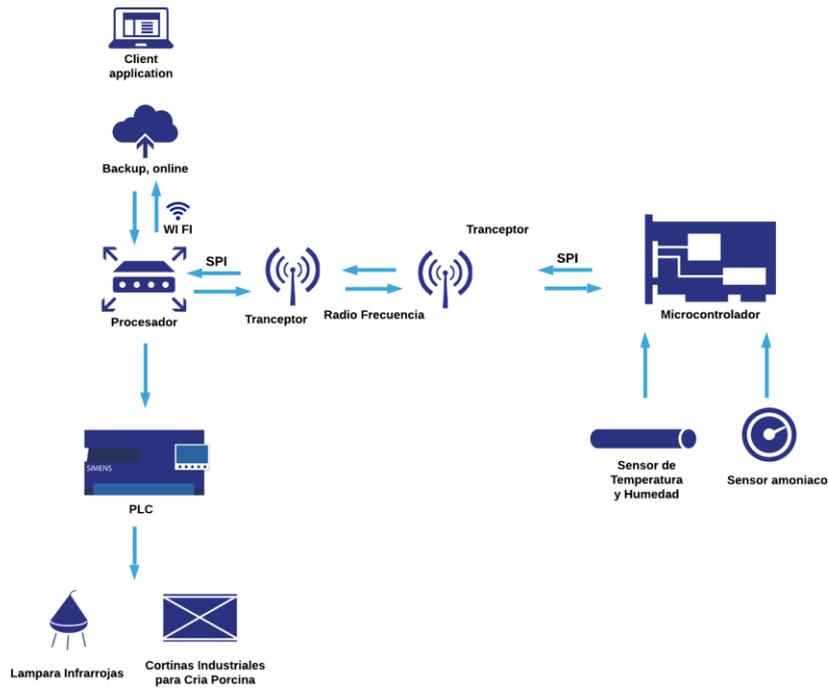
En este capítulo se presenta la implementación del diseño mecatrónico para el control de las variables propuestas, mediante la adquisición de los parámetros del entorno, presentaremos los pasos para inicializar el sistema y la correcta ubicación de los dispositivos. Debido a inconvenientes logísticos a causa de la pandemia mundial Covid-19 el desarrollo y la implementación se desarrollará en la ciudad de Cuenca, donde se ubica la matriz de la empresa Italimentos.

6.1 Diagrama de implementación

En el diagrama de implementación se observa las diferentes partes que conforman el sistema, la distribución de los componentes y los tipos de comunicación entre los mismo, para esto los dividiremos en 3 secciones:

- Dispositivos de Adquisición
- Dispositivo de Recepción y Control
- Gestor de Base de Datos

Figura 43.
Diagrama de implementación

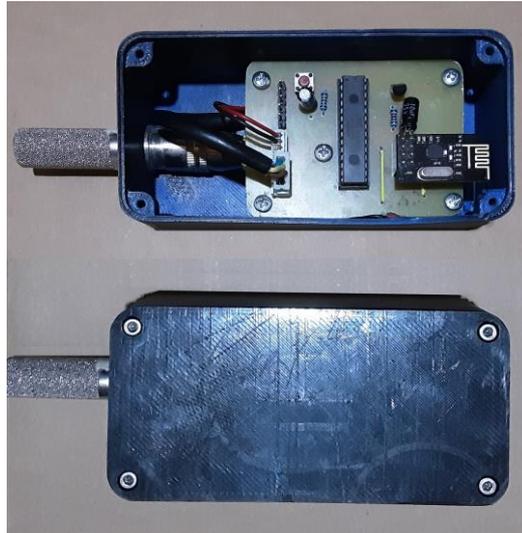


6.2 Dispositivos de Adquisición

En la adquisición de datos contamos con 3 módulos que se muestran en la figura 44 ubicados en distintos corrales de la sala de recría porcina, 2 de estos cumplen la función de transmitir las variables de temperatura y humedad, estos módulos trabajan sin conectarse a la red eléctrica por el lugar donde son ubicados, cuentan con una autonomía de 100 días enviando datos cada 15 minutos, la transmisión se realiza en cadenas que son receptados por la puerta de enlace.

Figura 44.

Sensor de temperatura y humedad.



el segundo tipo de módulo que se muestra en la figura 45. envía las variables de temperatura, humedad y amoniaco tomando en cuenta las características de consumo del sensor MQ-137 este módulo tiene una conexión directa a la red eléctrica.

Figura 45.

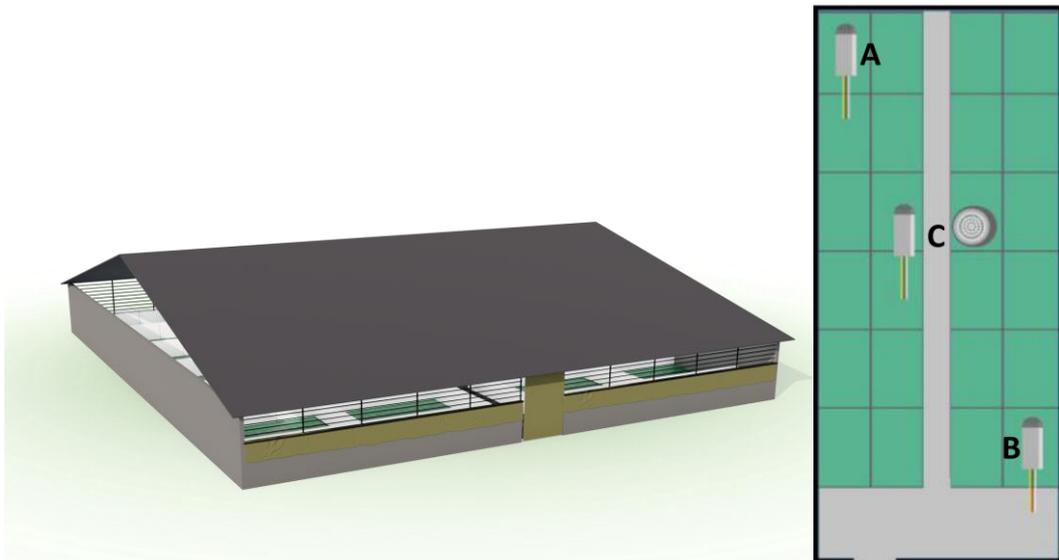
Sensor de temperatura humedad y amoniaco



En la ubicación de los sensores, se colocará en las ubicaciones A y B dentro de los corrales de Recría, y el módulo con el sensor de amoniaco, se ubicará en la locación C de la figura 45 Se debe tomar en cuenta la altura a la que debe ubicarse los sensores que no será inferior a los 60 cm desde el piso para prevenir que los cerdos interactúen con los sensores y causen algún daño en los mismos.

Figura 46.

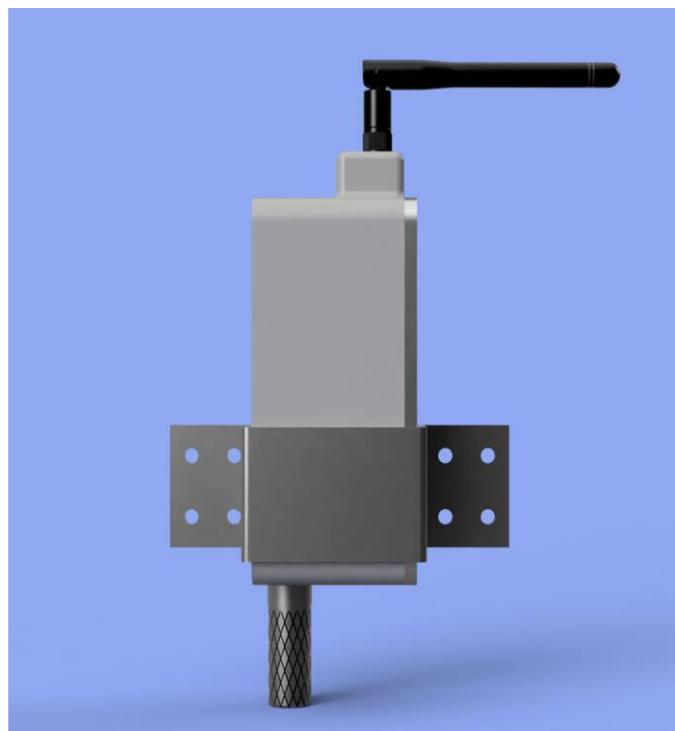
Ubicación de los sensores en la sala de cría.



También los sensores irán sujetos a la estructura de los corrales para esto se ha diseñado placas de sujeción, estas placas serán de acero inoxidable y deberán ser ajustada con tornillos M5x8 como observamos en la figura 47.

Figura 47.

Placa para la empotrar los sensores a la pared de la sala.



6.2.1 Tiempo de Muestreo

Para determinar el tiempo de muestreo se utilizó datos de temperaturas del año 2020 en el cantón Santa Rosa, después de un análisis de frecuencia en cuanto a la variación de la temperatura se determina que la adquisición de datos se realizará cada 62 min, por recomendación del técnico de granja a cargo del área de cría se decidió tomar la muestra cada 15 min para precautelar cualquier cambio fuerte en la temperatura, y que cause algún problema de salud en el cerdo.

6.2.2 Máxima distancia entre Dispositivos

Para la comunicación entre dispositivos se utiliza los NRF24L01 y NRF24L01+, al realizar las pruebas de campo en Santa Rosa obtuvimos los resultados observados en la tabla XI, dando como la distancia máxima de transmisión en los corrales de 60m para el NRF24L01 y de 200m o más para el NRF24L01+.

Distancia(m)	NRF24L01+		NRF24L01	
	Línea de Vista	Obstáculos	Línea de Vista	Obstáculos
0	Conectado	Conectado	Conectado	Conectado
10	Conectado	Conectado	Conectado	Conectado
20	Conectado	Conectado	Conectado	Conectado
30	Conectado	Conectado	Conectado	Conectado
40	Conectado	Conectado	Conectado	Conectado
50	Conectado	Conectado	Conectado	Conectado
60	Conectado	Conectado	Conectado	Conectado
70	Conectado	Conectado	Conectado	Desconectado
80	Conectado	Conectado	Conectado	Desconectado

90	Conectado	Conectado	Conectado	Desconectado
100	Conectado	Conectado	Desconectado	Desconectado
110	Conectado	Conectado	Desconectado	Desconectado
120	Conectado	Conectado	Desconectado	Desconectado
130	Conectado	Conectado	Desconectado	Desconectado
140	Conectado	Conectado	Desconectado	Desconectado
150	Conectado	Conectado	Desconectado	Desconectado
160	Conectado	Conectado	Desconectado	Desconectado
170	Conectado	Conectado	Desconectado	Desconectado
180	Conectado	Conectado	Desconectado	Desconectado
190	Conectado	Conectado	Desconectado	Desconectado
200	Conectado	Conectado	Desconectado	Desconectado

Tabla 11 Prueba para medir la distancia de alcance de los transceptores utilizados.

Con estos resultados cumplimos con las distancias requeridas para la correcta transmisión de información desde los sensores a la puerta de enlace que almacena los datos.

6.2.3 Autonomía de los Sensores

Luego de 97 y 99 días transmitiendo datos cada 15 minutos los sensores con batería de 3v dejaron de transmitir debido al desgaste de las baterías, en los cálculos se estimó un tiempo de 100 días de autonomía, al ser componentes de bajo consumo energético y permiten estados de reposo en su programación para maximizar la duración de las baterías.

6.3 Dispositivo de Recepción y Control

Para la recepción de los datos contamos con una puerta de enlace que se comunica mediante RF con los sensores. Entre los requerimientos que necesita este módulo, será la conexión a internet mediante un cable RJ45, alimentación eléctrica de 110V, el lugar de instalación debe estar en un lugar libre de obstáculos y muros para su correcta interconectividad con los dispositivos.

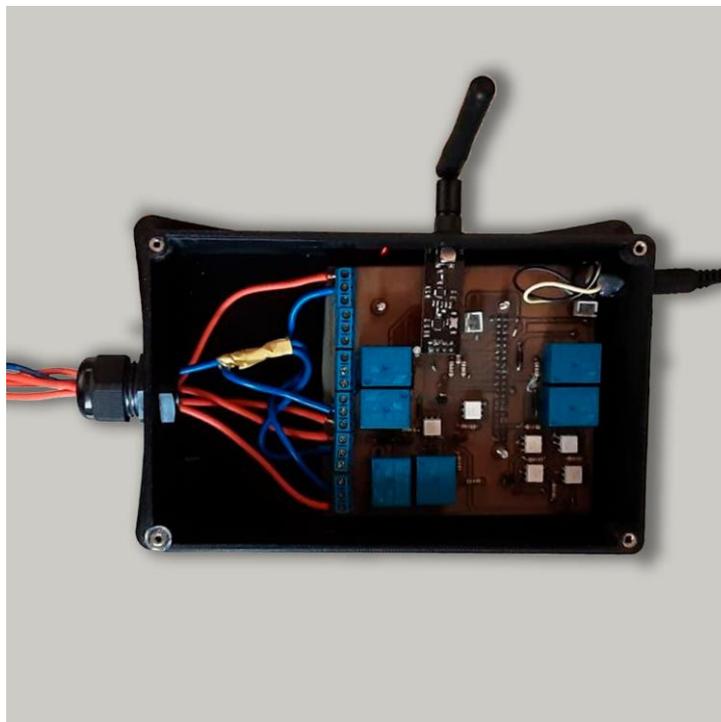
Figura 48.

Carcasa de la puerta de enlace de red.



Figura 49.

Carcasa y placa de la puerta de enlace de red.



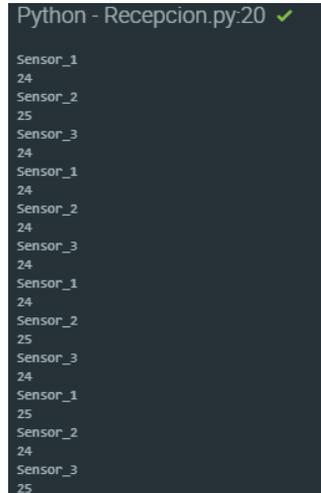
6.3.1 Inicialización de la puerta de enlace

Una vez encendido el dispositivo se genera una IP estática con la que se conecta a internet para otorgar el acceso mediante su dirección web al panel de monitoreo, al mismo tiempo se ejecutará el programa de Python que gestionará la antena y la base de datos en segundo plano. Para hacer la comprobación de que los datos llegan a nuestra puerta de enlace vamos a entrar

mediante un programa de acceso remoto y revisar que los sensores respondan correctamente como observamos en la figura 50.

Figura 50.

Recepción de datos sensores.



```
Python - Recepcion.py:20 ✓
Sensor_1
24
Sensor_2
25
Sensor_3
24
Sensor_1
24
Sensor_2
24
Sensor_3
24
Sensor_1
24
Sensor_2
25
Sensor_3
24
Sensor_1
25
Sensor_2
24
Sensor_3
25
```

6.3.2 Adquisición de los datos

En la puerta de enlace también se gestiona la interfaz HMI, en la cual podremos monitorear la temperatura la humedad, el amoniaco y el registro histórico de todas estas variables, para las pruebas realizadas el 19 de agosto del 2020 entre las 12h00 pm y 17h00 pm se tomó los datos en la granja de Santa Rosa los cuales muestran una correcta comunicación entre los sensores. Obteniendo los siguientes resultados como se muestra en la Figura 51.

Figura 51.

Tabla de los datos recolectado por los sensores mostrada en la página web.

FECHA	HORA	TEMP1	TEMP2	TEMP3	HUM1	HUM2	HUM3	AMONIACO
2020-08-19	17:13:12	24	25	24	45	45	46	23
2020-08-19	16:56:14	25	25	24	45	46	44	23
2020-08-19	16:40:44	24	25	25	48	50	48	23
2020-08-19	16:24:02	24	25	25	46	47	48	23
2020-08-19	16:05:29	24	24	23	40	42	45	24
2020-08-19	15:49:24	26	26	25	35	38	36	24
2020-08-19	15:32:22	25	26	25	30	32	29	24
2020-08-19	15:15:12	26	26	25	28	29	27	22
2020-08-19	14:58:20	26	27	26	27	28	28	23
2020-08-19	14:42:35	26	28	26	27	28	26	24
2020-08-19	14:25:44	28	29	27	25	26	25	22
2020-08-19	14:09:17	28	29	28	25	25	23	22
2020-08-19	13:53:33	27	28	28	25	25	24	23
2020-08-19	13:37:08	28	28	27	25	26	24	23
2020-08-19	13:20:08	28	29	27	27	25	26	23
2020-08-19	13:04:07	28	30	29	25	27	25	23
2020-08-19	12:46:21	28	29	28	24	26	23	23
2020-08-19	12:31:11	27	29	27	25	27	21	20
2020-08-19	12:15:14	28	29	29	25	26	25	21
2020-08-19	12:00:12	28	29	28	25	26	25	22

Mostrando página 1 de 1

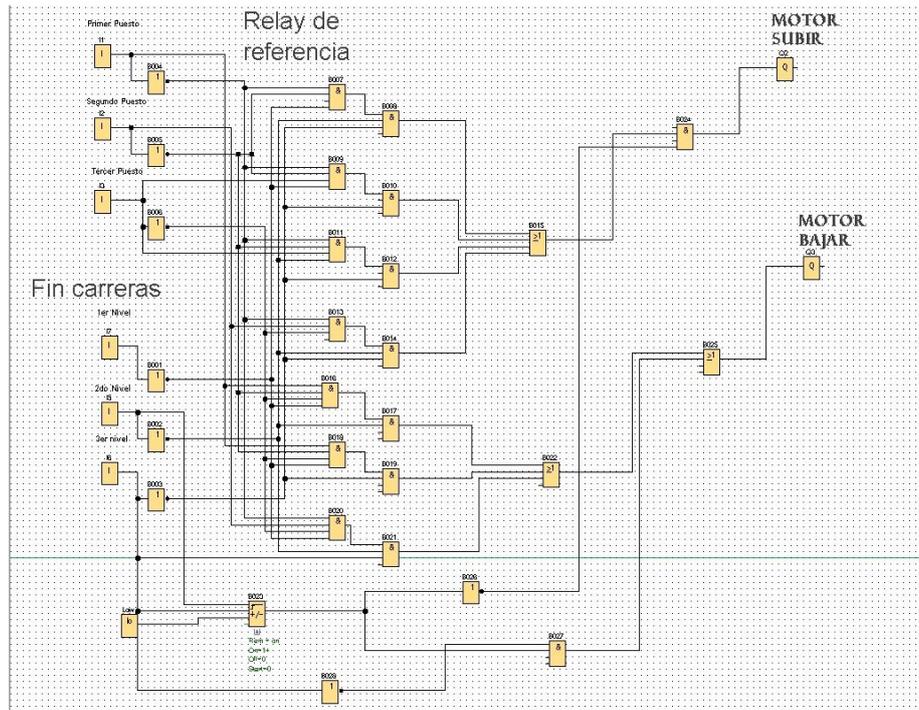
Anterior 1 Siguiente

6.3.3 Prueba de los actuadores

Debido a la Pandemia desarrollada en 2019-2021 la implementación de los actuadores se realizó en la empresa Italimentos ubicada en la Ciudad de Cuenca, en la cual se mostró el correcto funcionamiento del sistema de potencia en conjunto con los actuadores (motor de la cortina, lámparas), esta sección funciona a la par entre python y el programa desarrollado para logo PLC que satisfaga los requerimientos de la automatización.

Figura 52.

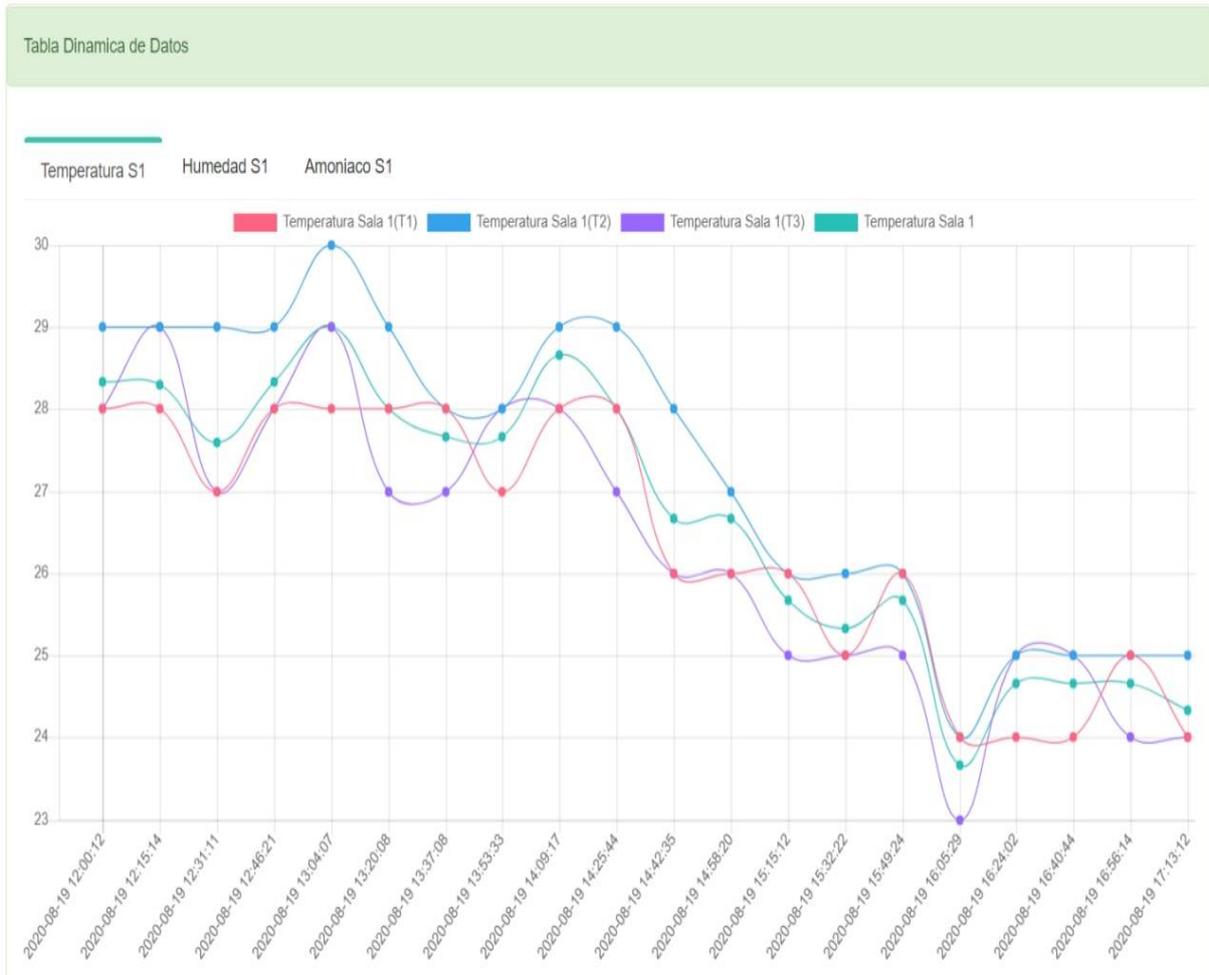
Programa para el PLC con el que se gestiona la activación de los actuadores.



6.4 Resultados

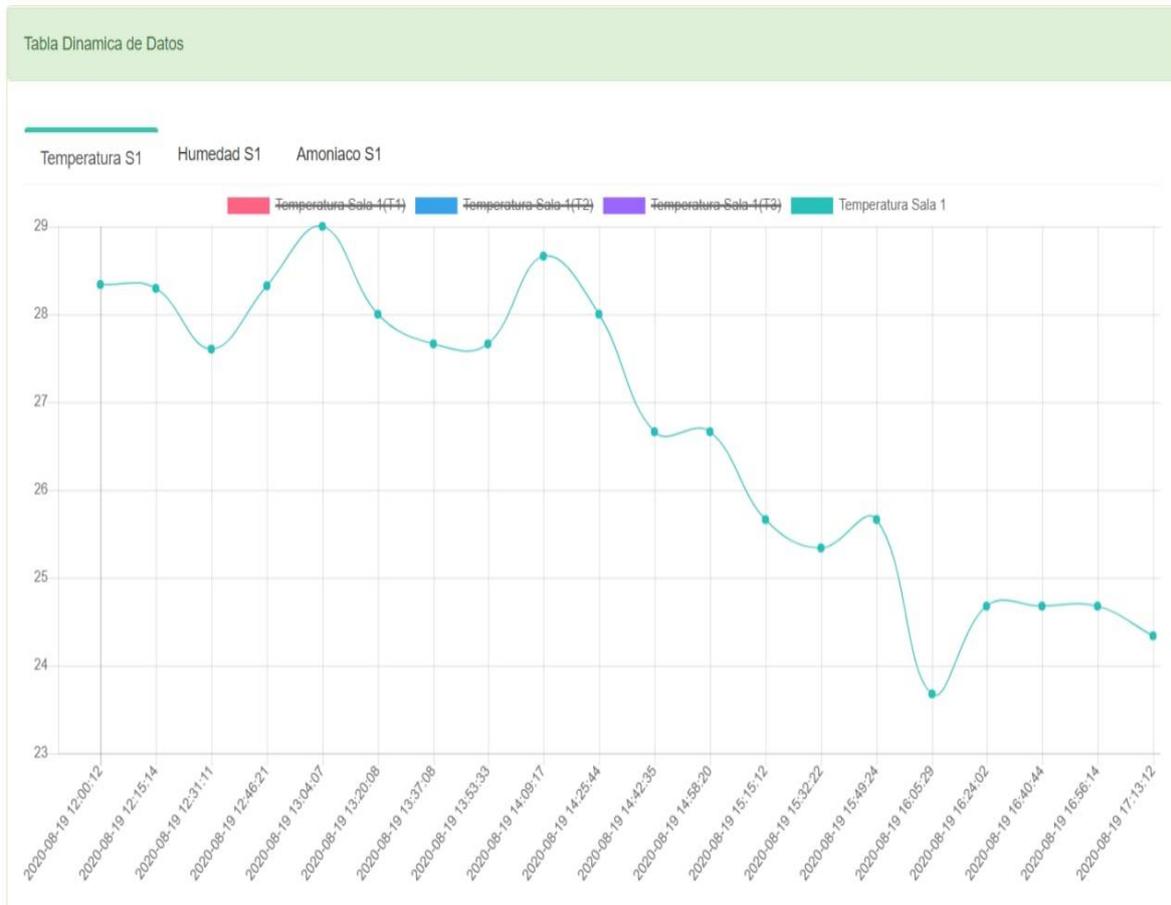
Al mostrar la información de las variables tomadas, se utilizan gráficas que permiten una correcta interpretación para los técnicos de la granja dividiéndolas por tipo de variable y número de sensor.

Figura 53.
Gráficos del comportamiento de las variables.



En la primera gráfica tenemos los valores de temperatura de 3 sensores y su promedio en la sala de recría, en este panel de gráficas se puede aislar cada una de las curvas según sea el requerimiento del técnico a cargo de los animales, también puede revisar fecha y hora de la en que se tomaron los datos.

Figura 54.
Gráfica del comportamiento de la temperatura.



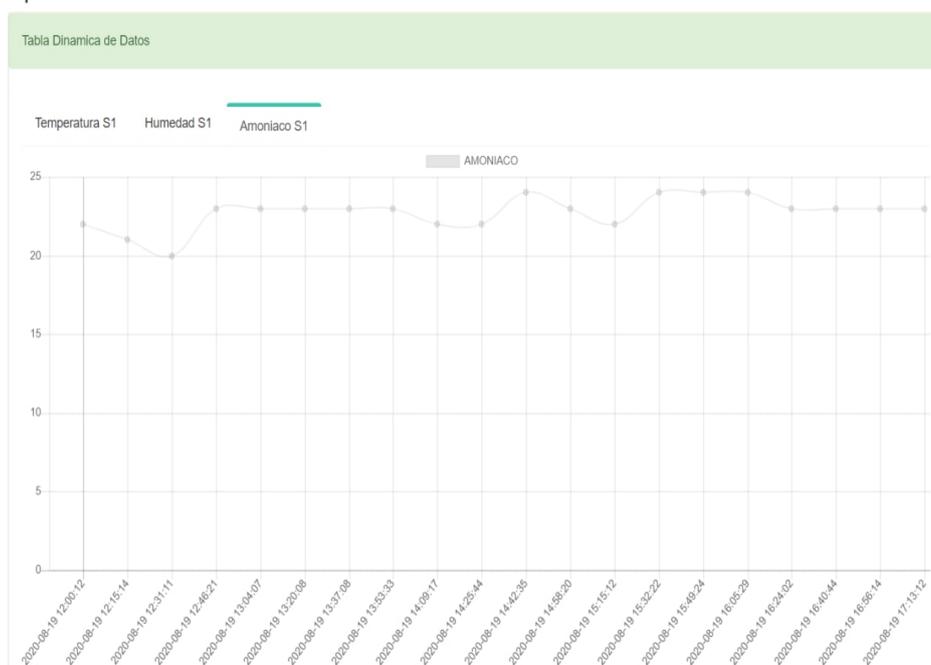
En la figura 54 observamos la temperatura promedio de la Sala 1 de recría donde vemos la caída de temperatura desde las 12pm hasta las 17h00 y esto se dio por una lluvia leve que se dio ese día lo cual se puede comprobar con el aumento de la humedad en la figura 55.

Figura 55.
Gráfica del comportamiento de la humedad.



El aumento de la humedad se produjo por la lluvia entre las 12:00 pm y 5:00 pm, esto mostró el correcto funcionamiento de los sensores al captar la variación de la humedad.

Figura 56.
Gráfica del comportamiento del amoniaco.



El amoniaco se mantuvo en un nivel normal ya que al ser un día poco soleado no se generaron una sobresaturación de gases en el ambiente.

6.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con este proyecto se logró diseñar un sistema mecatrónico para el control y monitoreo de temperatura, humedad y amoniaco en la sala de recría porcina de la empresa Italimentos CIA. LTDA. ubicado en la ciudad de Santa Rosa para mejorar las condiciones ambientales en la que se desarrollan los cerdos de recría.

En cuanto a la implementación del sistema se lo realizó en la ciudad de Cuenca en la fábrica de la empresa de Italimentos debido a la situación de salubridad en la que se encuentra el mundo por la pandemia de covid-19 como norma de bioseguridad se ha restringido el ingreso a la granja de Santa Rosa.

Para el sistema de adquisición de datos inalámbrico para medir la temperatura, humedad y amoniaco en la granja se han diseñado sensores que se comunican a través de radio frecuencia alcanzando estas señales distancias de hasta 60 metros con obstáculos. Los sensores de humedad y temperatura trabajan con 2 baterías de 1.5 V cada una a 1.5Ah, dichas baterías deberán ser cambiadas cada 100 días de uso aproximadamente para evitar que el sistema de recolección de datos se vea afectado y se pierda información.

Las variables: temperatura, humedad y amoniaco, se ha logrado controlar mediante cortinas industriales y lámparas, la toma de decisiones la realiza la puerta de enlace de red según los datos recolectado por los sensores, la puerta de enlace de red envía señales al PLC quien dirige estas señales para el correcto comportamiento de los actuadores; estos corresponden a las lámparas infrarrojas y a para el movimiento de las cortinas industriales se ha llevado a cabo la selección de un tecele eléctrico que puede soportar una carga de 250 kg, lo que garantiza que podrá generar la fuerza necesaria para mover el sistema más el factor de seguridad mínimo de 50% recomendado por el fabricante de este componente, esto ayuda a garantizar el funcionamiento óptimo y de larga vida útil para el sistema.

La aplicación web que se ha diseñado para el monitoreo e interacción permite distintos modos de visualización como tablas o gráficas lo que facilita que el técnico esté en pleno conocimiento del estado de las variables de climatización de la sala de recría.

La implementación del sistema mecatrónico para el control y monitoreo de temperatura, humedad y amoniaco se realizó con éxito en la ciudad de Cuenca dentro de las instalaciones de la fábrica de la empresa Italimentos CIA. LTDA donde se cumplió con los objetivos planteados en este proyecto. Con la implementación de este sistema se mejorará el control climatológico de los cerdos en etapa de recría suponiendo una mejor calidad de vida en los animales y disminuyendo la tasa de mortalidad de estos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Pedersen, B., Collell, M., Casanovas, C., Escobet, J., Escobet, J., & Escobet, J. et al. (2005). Control del medio ambiente del cerdo. https://www.3tres3.com/articulos/control-del-medio-ambiente-del-cerdo_1292/

Departamento de Producción Animal. (22 de octubre de 2019). Ampliación sobre la reproducción en las explotaciones porcinas. <http://www.departamento.us.es/gprodanim/Porcino/instalaciones.pdf>.

El sitio Porcino. (2015). Manejo del ambiente - Manejo sanitario y tratamiento de las enfermedades del cerdo. <https://www.elsitioporcino.com/publications/7/manejo-sanitario-y-tratamiento-de-las-enfermedades-del-cerdo/287/manejo-del-ambiente/>.

Soft, T. (24 de Junio del 2020). Estrés calórico en cerdos. <https://www.elproductorporcino.com/leerEntrada/num/252>

Aacporcinos. (22 de Octubre del 2019). Manejo del lechón: Destete y Recría http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/manejo_porcino_manejo_del_lechon.html

Granjas de Cerdos. (22 de Octubre del 2019). Destete de los cerdos. <http://www.granjasdecerdos.org/informe/explotacion/destete>

G. Bencomo, A., Hurtado, A., & Mejía, L. (2010). Manejo sanitario eficiente de los cerdos. <https://www.fao.org/3/as542s/as542s.pdf>.

Razas Porcinas.(2019). Criterios de decisión para instalar calefacción en una granja de cerdos. <https://razasporcinas.com/criterios-de-decision-para-instalar-calefaccion-en-una-granja-de-cerdos/>.

Flament Macià, Carola. (2010). Viabilidad técnica y económica de una instalación geotérmica para la climatización de una explotación porcina. <http://hdl.handle.net/10459.1/45861>.

Castro Mendoza, C., & Murillo Sevillano, M. (2015). Diseño e implementación de un prototipo de sistema automatizado para la alimentación y climatización de una granja porcina <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10438>.

Italimentos (22 de Octubre del 2019). <https://www.laitaliana.com.ec/>.

Manrique M. (2021). Cría del cerdo. <https://agrotendencia.tv/agropedia/la-cria-del-cerdo/>.

Electronica Estudio. (22 de Octubre del 2019). ¿Qué es un microcontrolador? <https://www.estudioelectronica.com/que-es-un-microcontrolador/>

Porcina, I. (22 de Octubre del 2019). Retrieved 22 October 2019, from <http://intiveterinaris.com/?p=304&lang=es>

Ponce S. (2016). Sistema de automatización para la climatización y alimentación de granja porcina en Inprosa S.A. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/20546>

Tecna. (26 de Octubre de 2019). Calefacción Industrial http://www.tecna.es/images/Tarifas/HD/12_Calefaccion%20industrial_9_2019.pdf

Agriculture and Horticulture Development Board.(26 de Octubre de 2019). Ventilating pig buildings manual pages no appendices. Retrieved 23 May 2021, from <https://pork.ahdb.org.uk/media/271144/ventilating-pig-buildings-manual-pages-no-appendices.pdf>

Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social(MSCBS). (26 de Octubre de 2019). Equipos de enfriamiento evaporativo https://www.mscbs.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/7_leg.pdf

Climatizacion10. (26 de Octubre de 2019). Aero Termos. <https://climatizacion10.com/aeroterminos/>.

Aerotermino AIX By SABIANA. (26 de Octubre de 2019). Calefacción Industrial: Aerotermino. https://www.archiproducts.com/es/productos/sabiana/aerotermino-aix_172233.

REHAU. (26 de Octubre de 2019). Tubos y sistemas de unión para superficies radiantes <https://www.rehau.com/es-es/tubos-y-sistemas-de-union-radiantes>

BioAire. (26 de Octubre de 2019). Cómo funciona un tubo radiante a gas <https://www.bioaire.es/como-funciona-un-tubo-radiante-a-gas/>

CALORYFRIO. (27 de Octubre de 2019). Calefacción por infrarrojos - ¿Cómo funciona? <https://blog.caloryfrio.com/calefaccion-por-infrarrojos-todo-lo-que-necesitas-saber/>

Company S.A. (28 de Octubre de 2019). Lámpara Infrarroja, <http://devak-co.com/producto/lampara-infrarroja-interheat-250-ld/>

dfrobot. (23 Mayo 2021). Datasheet-humidity-sensor-SHT1x, <http://image.dfrobot.com/image/data/SEN0148/Datasheet-humidity-sensor-SHT1x.pdf>.

NYLAMMECHATRONICS (23 Mayo 2021). Módulo NRF24L01 2.4 GHz <https://naylorlampmechatronics.com/inalambrico/38-modulo-nrf24l01.html>.

Sparkfun. (23 Mayo 2021). nRF24L01+ Single Chip 2.4GHz Transceiver https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Plus_Preliminary_Product_Specification_v1_0.pdf

Microchip Technology. (23 Mayo 2021). 404 | Microchip Technology. <https://www.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/ATmega48A-PA-88A-PA-168A-PA-328-P-DS-DS40002061B.pdf>.

NYLAMMECHATRONICS. (23 Mayo 2021). ATMEGA 328P DIP. <https://naylampmechatronics.com/microcontroladores/111-atmega328p-dip.html>.

Didacticas Selectronicas. (24 Mayo 2021). Modulo sensor de Amoniac MQ137 <https://www.didacticasselectronicas.com/index.php/sensores/gases/modulo-sensor-de-amoniaco-mq137-sensores-de-gas-gases-amoniaco-nh3-mq137-mq-137-detail>.

Robo Craze. (24 Mayo 2021). MQ-137 Gas Sensor Module India | Buy MQ137 Ammonia Gas Sensor Online at Best Prices. <https://robocraze.com/mq-137-nh3-gas-sensor-module>

Raspberry Pi. (20 Junio 2020). Raspberry Pi 3 Model B+. Raspberry Pi. <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus>.

Elekstore. (20 Junio 2020). Raspberry pi 3 B+. Elektor. <https://www.elektor.com/raspberry-pi-3-b-plus>.

Weather Spark. (22 Junio 2020). El clima y el tiempo promedio en todo el año en Santa Rosa. El clima en Santa Rosa, el tiempo por mes, temperatura promedio (Ecuador) - Weather Spark. <https://es.weatherspark.com/y/19333/Clima-promedio-en-Santa-Rosa-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>.

Azimadli. (18 Junio 2020). Frecuencia Nyquist. <http://www.azimadli.com/vibman-spanish/frecuencianyquist1.htm>.

Luis Llamas. (18 Junio 2020). Comunicación inalámbrica a 2.4GHz con Arduino Y NRF24L01.. <https://www.luisllamas.es/comunicacion-inalambrica-a-2-4ghz-con-arduino-y-nrf24l01/>.

Agroredes. (27 Junio 2020). Rafia Laminada. Group-Ap. | <https://grupo-ap.com.ar/rafiarafia-laminada>.

Grupo-ap. (21 Octubre 2020). Rafia Laminada. <https://grupo-ap.com.ar/rafiarafia-laminada/>.

Energizer. (21 Octubre 2020). ENERGIZER E92. <https://docs.rs-online.com/17ea/0900766b80ee2094.pdf>

Components101. (21 Octubre 2020). MQ-135 - gas sensor for Air Quality. <https://components101.com/sensors/mq135-gas-sensor-for-air-quality>.

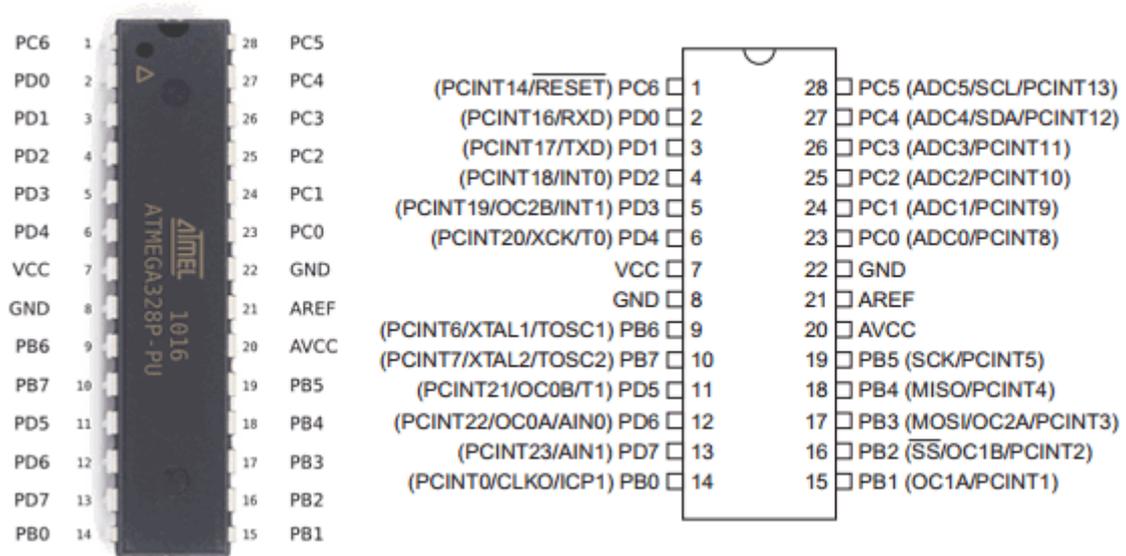
DIY Usthad. (21 Octubre 2020). nRF24L01 Pinout. <https://diyusthad.com/tag/nrf24l01>

8. ANEXOS

ANEXO 1: DATASHEET DEL MICROCONTROLADOR ATMEGA 328P

Figura 57.

Atmega 328p pinout. (NYLAMMECHATRONICS, 2021)



ANEXO 2: DATASHEET DEL SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD SHT10

Figura 58.

Sensor SHT10 pinout. (dfrobot, 2021)

Pin	Name	Comment
1	GND	Ground
2	DATA	Serial Data, bidirectional
3	SCK	Serial Clock, input only
4	VDD	Source Voltage
NC	NC	Must be left unconnected

Figura 59.

Características eléctricas del sensor SHT10. (dfrobot, 2021)

Parameter	Conditions	min	typ	max	Units
Power supply DC ¹⁰		2.4	3.3	5.5	V
Supply current	measuring		0.55	1	mA
	average ¹¹	2	28		μA
	sleep		0.3	1.5	μA
Low level output voltage	I _{OL} < 4 mA	0		250	mV
High level output voltage	R _p < 25 kΩ	90%		100%	VDD
Low level input voltage	Negative going	0%		20%	VDD
High level input voltage	Positive going	80%		100%	VDD
Input current on pads				1	μA
Output current	on			4	mA
	Tri-stated (off)		10	20	μA

ANEXO 3: DATASHEET DEL SENSOR DE AMONIACO MQ-137

Figura 60.

Pinout del sensor MQ-137. (Components101, 2018)

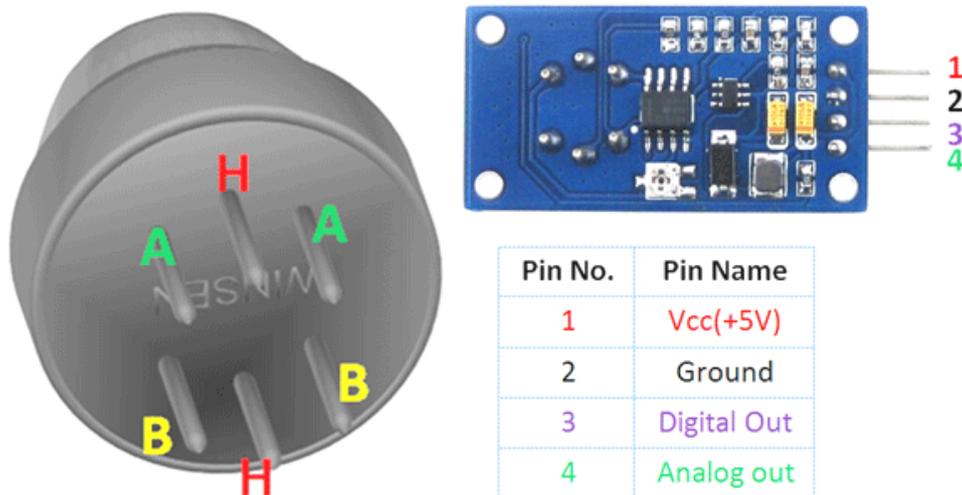


Figura 61.

Dimensiones y estructura del sensor MQ-137. (Didacticas Selectronicas, 2021)

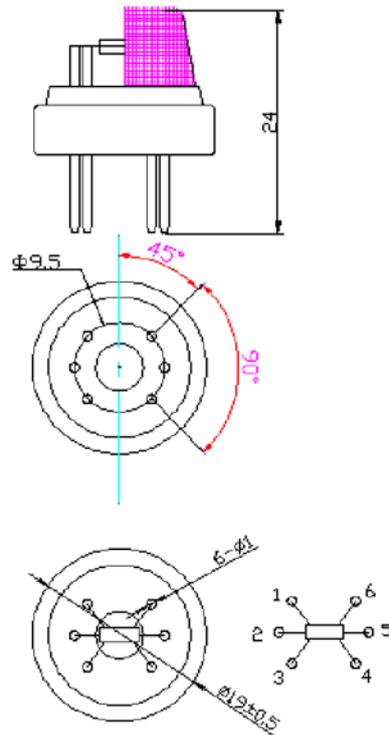


Figura 62.

Parámetros técnicos del sensor MQ-137. (Didacticas Selectronicas, 2021)

Model			MQ137
Sensor Type			Semiconductor
Standard Encapsulation			Bakelite, Metal cap
Target Gas			Ammonia Gas(NH ₃)
Detection range			5~500ppm NH ₃
Standard Circuit Conditions	Loop Voltage	V _c	≤24V DC
	Heater Voltage	V _H	5.0V±0.1V AC or DC
	Load Resistance	R _L	Adjustable
Sensor character under standard test conditions	Heater Resistance	R _H	29Ω±3Ω(room tem.)
	Heater consumption	P _H	≤900mW
	Sensitivity	S	R _s (in air)/R _s (50ppmNH ₃)≥2
	Output Voltage	ΔVs	≥0.5V (in 50ppm NH ₃)
	Concentration Slope	α	≤0.6(R _{200ppm} /R _{50ppm} NH ₃)
Standard test conditions	Tem. Humidity		20°C±2°C ; 55%±5%RH
	Standard test circuit		V _c :5.0V±0.1V; V _H : 5.0V±0.1V
	Preheat time		Over 48 hours

ANEXO 3: DATASHEET DEL TRANSCEPTOR NRF24L01

Figura 63.

Pin out del transceptor NRF24L01. (DIY Usthad, 2021)

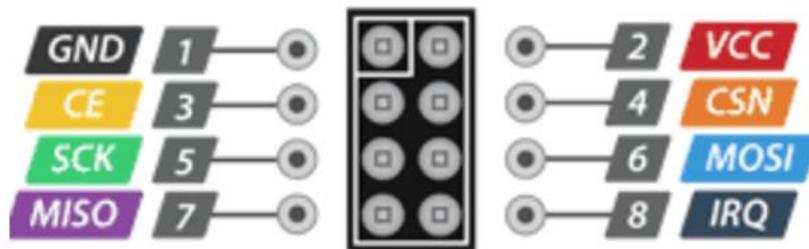
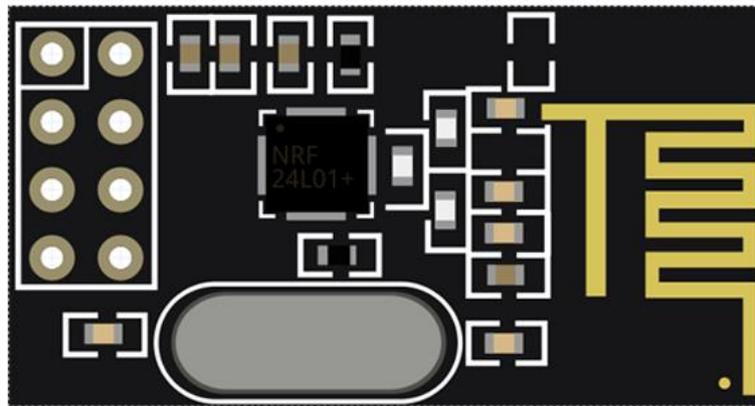


Figura 64.

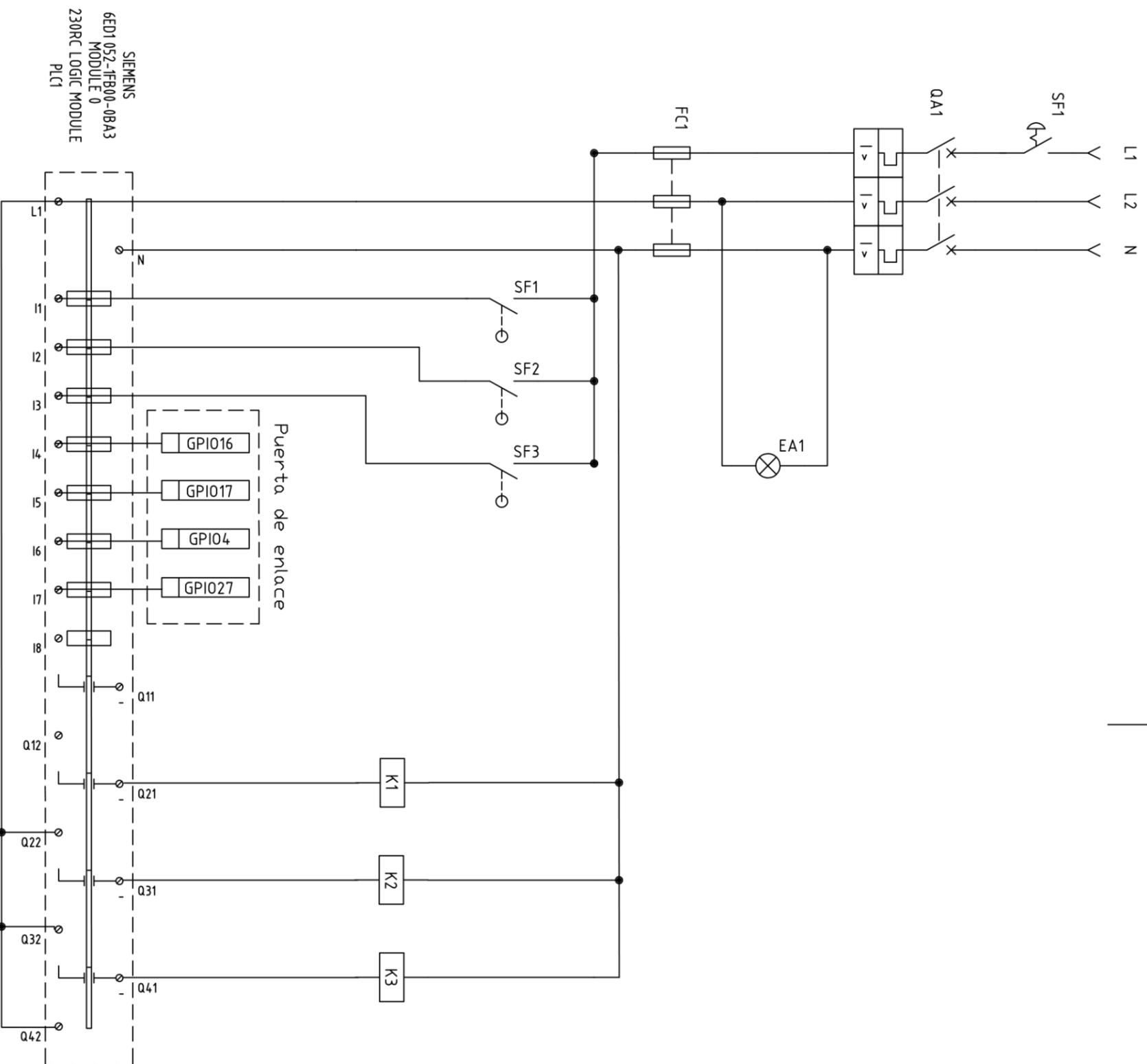
Condiciones de Funcionamiento NRF24L01. (DIY Usthad, 2021)

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
VDD	Supply voltage		1.9	3.0	3.6	V
VDD	Supply voltage if input signals >3.6V		2.7	3.0	3.3	V
TEMP	Operating Temperature		-40	+27	+85	°C

ANEXO 4: ESQUEMA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA.

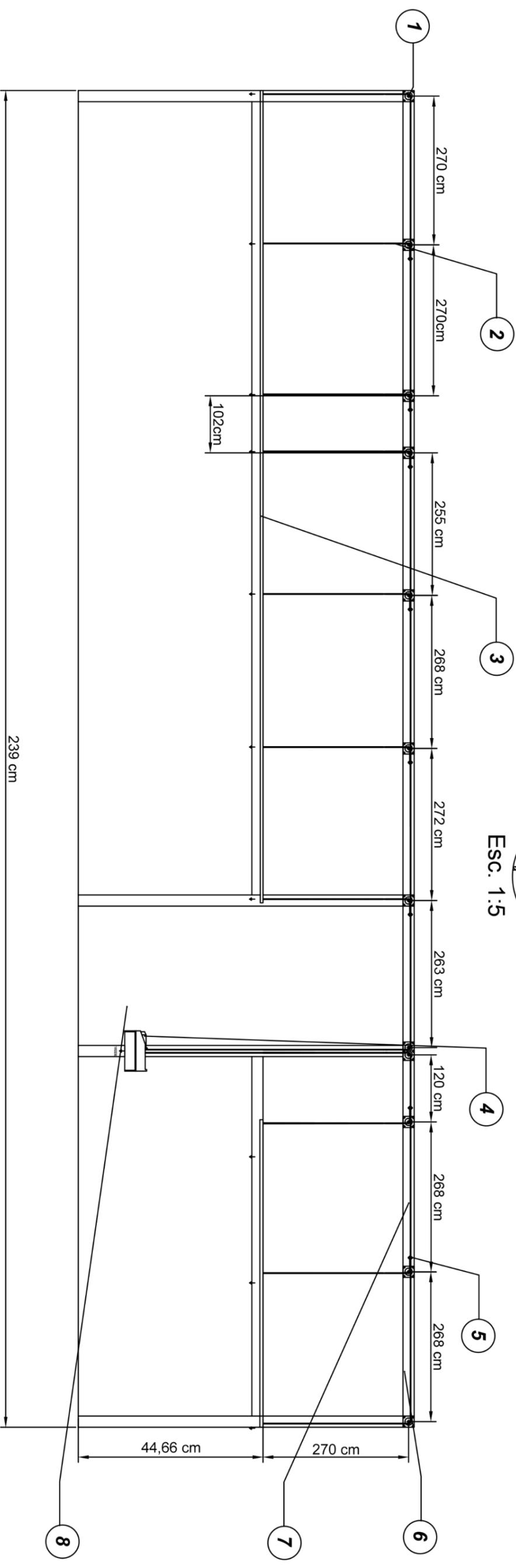
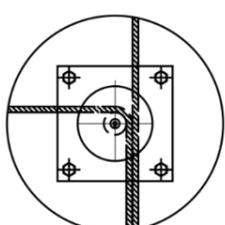
ANEXO 5: ESQUEMA GENERAL DE LA ESTRUCTURA.

ANEXO 6: SOPORTE DEL TECLE ELÉCTRICO.



Nombre		Fecha		Ingeniería Mecatrónica	
Dibujado		León K. - Hidalgo M. 04/12/2020		SEDE	
Comprobado				MATRIZ CUENCA	
Proyección				UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA	
Sistema Eléctrico de Potencia					
				Escala: 1:1	
				Lámina N° 01/01	

Detalle A



8	1	SopORTE para TeclE	Acero SAE 1018		
7	16	Perno hexagonal M12x40	Acero Inoxidable		
6	48	Perno hexagonal M14x80	Acero Inoxidable		
5	8	Abrazadera Metálica			
4	1	TeclE electríco			
3	10.71m	Tubo Ø1"	Acero Inoxidable		
2	50m	Cable Trensado	Acero Inoxidable	DIN 3052	
1	12	Polea Ø 1" de una canal	Aluminio		
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas

Fecha		Nombre	
07/14/21		Kevin León Cristina Hidalgo	
Comprobado			
Proyecto de Titulación			



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE MATRIZ CUENCA

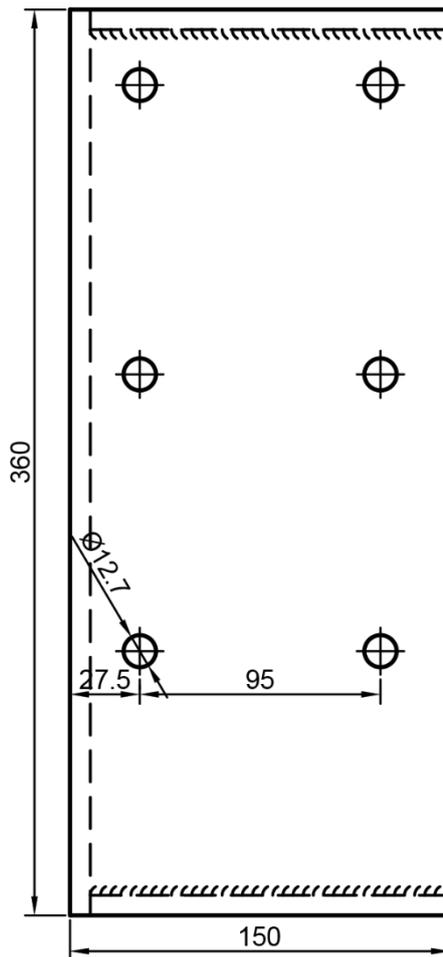
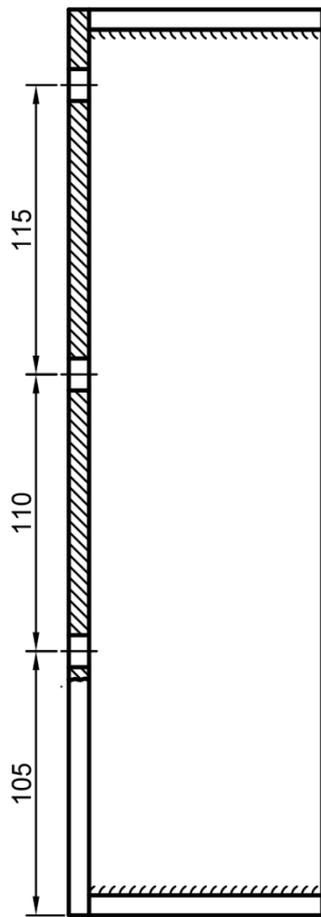
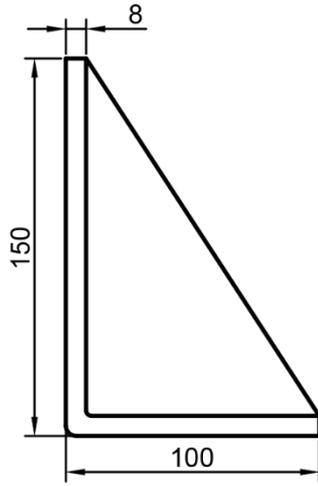
INGENIERÍAS
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Escala: 1:10

Subconjunto:

Lámina: 01

Esquema General de la Estructura



Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
		Fecha		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica	
		Nombre			
Dibujado	07/14/21	Kevin León Cristina Hidalgo			
Comprobado					
Proyecto de titulación					
Escala: 1:3		Subconjunto: Soporte del Teclé Eléctrico			
Lámina: 02		Esquema General de la Estructura			