

**Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro
de variables indicadoras de Estrés calórico en caprinos de
producción lechera dentro de galpones**

RONALDO MIGUEL ALMIRON CACERES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZÚ
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRONICA

Coronel Oviedo – Paraguay

Año 2023



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.



Usted es libre de:

- **Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato
- **Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material

Bajo los siguientes términos:

- **Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.
- **No Comercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero Electrónico aprobado en representación de la Facultad Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores y con la siguiente nota final:

Calificación final: _____(Números)

_____ (Letras)

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Prof. Ing.

Acta:

Fecha:

Calificación:



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

DEDICATORIA

Con profunda gratitud a Dios por haberme guiado y sostenido a lo largo de este camino académico.

A mis amados padres, Miguel Almirón y Elizabeth Cáceres, agradezco su apoyo incondicional y sus oraciones.

A mi hermano Tobías Almirón por su acompañamiento y aliento

Sin olvidar a todos mis amigos y familiares que me acompañaron en esta carrera de resistencia.

Este logro es el resultado de su amor inquebrantable, apoyo constante y aliento incansable.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

AGRADECIMIENTOS.

Quiero expresar mi profunda gratitud a todos aquellos que han sido parte fundamental de mi viaje.

En primer lugar, agradezco a Dios por su guía y bendiciones a lo largo de este camino. Su constante apoyo y dirección han sido mi mayor fortaleza.

A mis profesores y mentores, su conocimiento y orientación han sido esenciales en mi formación.

A mi tutor el Ingeniero Derlis Olmedo, con su apoyo y su dedicación, me ha brindado las herramientas para alcanzar este hito.

A mi co-tutor el Profesor José González por su ayuda constante y a partir de su experiencia guiarme y proveerme los conocimientos necesarios.

Al Ingeniero zootecnista Osvaldo Sánchez por los conocimientos brindados en un área desconocida.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Cesar Sanabria, Jorge Núñez y a mi novia Ivanna Santacruz, por su invaluable apoyo en los momentos cruciales durante la elaboración de este proyecto.

Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en este camino y ha sido parte de mi éxito. Que este logro sea también un testimonio de la importancia de la comunidad y el amor en nuestras vidas.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentido crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones

ELABORADO POR:

RONALDO MIGUEL ALMIRON CACERES.

TUTOR:

ING.DERLIS OLMEDO.

Trabajo presentado a la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la Universidad Nacional de Caaguazú, como requisito para la obtención del título de Ingeniero en Electrónica.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZÚ
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRONICA

Coronel Oviedo – Paraguay

Año 2023.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

RESUMEN.

En el presente trabajo de fin de grado se diseñó un Sistema de monitoreo de variables de estrés calórico en caprinos de producción de lechera dentro de galpones. El mencionado sistema fue diseñado con la idea de brindar una herramienta a los productores que les permita monitorear las distintas variables indicadoras de estrés calórico los cuales son: Temperatura ambiente y humedad relativa, Temperatura corporal y frecuencia cardiaca. Dichas variables son algunos de los parámetros más importantes para la detección de un caso de estrés calórico en caprinos. El problema radica en que el productor no cuenta con la capacidad de realizar las mediciones constantes de los parámetros mencionados anteriormente por lo que resulta difícil determinar el estado de bienestar del animal comprometiendo la salud de los mismos.

El Sistema tiene la funcionalidad de tomar registros en un intervalo de cada 10 minutos previamente programado de las distintas variables físicas por medio de los sensores y posteriormente procesar esta información para realizar los cálculos correspondientes gracias al programa cargado en el módulo de comunicación previamente codificado en el Software de Entorno de desarrollo integrado Arduino IDE. Este módulo de comunicación se comunica con la Plataforma Thingspeak que es una plataforma para Internet de las cosas que permite visualizar los resultados en una Interfaz gráfica en un dispositivo móvil como un teléfono celular o en una computadora.

Para el diseño del circuito en general se utilizó la versión libre del Software Fritzing y para el diseño de la caja contenedora del circuito se realizó el diseño gracias al Software FreeCAD y el Ultimaker Cura, para concluir el diseño se realizó la impresión con la impresora 3D robo.

Finalmente se pudo elaborar un Sistema de monitoreo eficiente, robusto, practico e intuitivo que resulta fácil de interpretar para cualquier usuario común.

Palabras Clave: Sensores, Modulo de comunicación, Entorno de desarrollo integrado, Internet de las cosas



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.
VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ABSTRACT.

In this final degree project, a system was designed to monitor heat stress variables in goats producing milk in sheds. The aforementioned system was designed with the idea of providing a tool to producers that allows them to monitor the different indicator variables of heat stress which are: Ambient temperature and relative humidity, body temperature and heart rate. These variables are some of the most important parameters for detecting a case of heat stress in goats. The problem is that the producer does not have the capacity to carry out constant measurements of the parameters mentioned above, which makes it difficult to determine the state of well-being of the animal, compromising their health.

The System has the functionality of taking records of the different physical variables through the sensors and subsequently processing this information to carry out the corresponding calculations thanks to the program loaded in the communication module previously coded in the Arduino IDE Integrated Development Environment Software. This communication module communicates with the Thingspeak Platform, which is a platform for the Internet of Things that allows the results to be displayed in a graphical interface on a mobile device such as a cell phone or a computer.

For the design of the circuit in general, the free version of the Fritzing Software was used and for the design of the circuit containing box, the design was carried out thanks to the FreeCAD Software and the Ultimaker Cura, to conclude the design, the printing was carried out with the 3D printer. heist.

Finally, it was possible to develop an efficient, robust, practical and intuitive monitoring system that is easy to interpret for any common user.

Keywords: Sensors, Communication module, Integrated development environment, Internet of things



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCION..... | 1 |
| 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 2 |
| 1.2. JUSTIFICACION..... | 4 |
| 1.3. OBJETIVOS..... | 5 |
| 1.3.1. Objetivos Generales..... | 5 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos..... | 5 |
| 2. MATERIALES Y METODOS..... | 6 |
| 2.1. Metodología..... | 6 |
| 2.1.1. Técnicas e instrumentos de recolección de Datos..... | 6 |
| 2.1.2. Fases metodológicas..... | 6 |
| 2.2. Recoleccion de informacion..... | 9 |
| 2.2.1. Variables de estrés termico..... | 9 |
| 2.2.2. Descripcion del lugar..... | 11 |
| 2.3. Caracteristicas tecnicas de Sensores..... | 15 |
| 2.3.1. Sensor de Temperatura ambiente y Humedad relativa..... | 15 |
| 2.3.2. Sensor de temperatura corporal..... | 16 |
| 2.3.3. Sensor de ritmo cardiaco..... | 17 |
| 2.3.4. Modulo de Comunicación..... | 18 |
| 2.4. Diseño..... | 19 |
| 2.4.1. Diseño PCB..... | 20 |
| 2.4.2. Diseño de la caja contenedora del Sistema de monitoreo..... | 22 |
| 2.5. Implementación..... | 24 |
| 2.5.1. Contrastación de Sensores..... | 32 |
| 2.5.2. Tratamiento y procesamiento de la información..... | 37 |
| 2.5.3. Sistema de Transmisión..... | 39 |
| 2.5.4. Interfaz de Usuario..... | 40 |
| 2.6. Pruebas del Sistema general..... | 44 |



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

| | |
|--|----|
| 2.6.1. Instalación | 44 |
| 2.6.2. Pruebas iniciales | 47 |
| 2.6.3. Pruebas finales..... | 51 |
| 3. Análisis economico..... | 57 |
| 4. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS | 60 |
| 5. CONCLUSION Y RECOMENDACIONES | 62 |
| 5.1. Conclusión..... | 62 |
| 5.2. Recomendaciones..... | 64 |
| 6. Bibliografía..... | 65 |
| 7. ANEXO..... | 66 |
| 7.1. ANEXO A. Vista frontal del Galpon donde se albergan las cabras..... | 66 |
| 7.2. ANEXO B. Codigo para la captacion de datos del Sensor SEN-11574 | 67 |
| 7.3. ANEXO C | 68 |
| 7.4. ANEXO D | 69 |
| 7.5. ANEXO E..... | 70 |
| 7.6. ANEXO F..... | 70 |



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.
VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ÍNDICE DE FIGURAS.

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 INDICE DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA | 10 |
| FIGURA 2 LUGAR DE EMPLAZAMIENTO DEL PROYECTO, VISTA SATELITAL | 11 |
| FIGURA 3 VISTA LATERAL DEL GALPON | 12 |
| FIGURA 4 CELDAS DEL GALPON | 12 |
| FIGURA 5 CABRA 1 | 13 |
| FIGURA 6 CABRA 2..... | 14 |
| FIGURA 7 SISTEMA GENERAL QUE VA EN LA CAJA CONTENEDORA..... | 19 |
| FIGURA 8 DISEÑO PCB VISTA SUPERIOR GENERAL | 20 |
| FIGURA 9 DISEÑO PCB CONEXION DE SENSORES | 21 |
| FIGURA 10 DISEÑO PCB CONEXION DE ALIMENTACION..... | 21 |
| FIGURA 11 DISEÑO DE LA CAJA CON EL SOFTWARE ULTIMAKER CURA | 22 |
| FIGURA 12 DISEÑO DE LA TAPA DE LA CAJA CONTENEDORA CON EL SOFTWARE ULTIMAKER CURA..... | 23 |
| FIGURA 13 DISPOSICION DE LA CAJA CONTENEDORA | 25 |
| FIGURA 14 CIRCUITO DE CONEXION DEL SENSOR DHT22..... | 26 |
| FIGURA 15 CIRCUITO ESQUEMATICO DEL SENSOR DHT22..... | 27 |
| FIGURA 16 DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONEXION DEL SENSOR DS18B20..... | 28 |
| FIGURA 17 DISEÑO ESQUEMATICO DEL SENSOR DS18B20..... | 28 |
| FIGURA 18 DISEÑO DE CONEXION DEL SENSOR SEN-11574..... | 29 |
| FIGURA 19 DISEÑO ESQUEMATICO DEL SENSOR SEN-11574..... | 30 |
| FIGURA 20 DISEÑO DEL CIRCUITO GENERAL FINAL..... | 31 |
| FIGURA 21 DISEÑO ESQUEMATICO DEL CIRCUITO FINAL | 31 |
| FIGURA 22 GRAFICA DE CARACTERIZACION DEL SENSOR DHT22 PARA LA VARIABLE DE TEMPERATURA AMBIENTE | 33 |
| FIGURA 23 GRAFICA DE CARACTERIZACION DEL SENSOR DHT22 PARA LA VARIABLE DE HUMEDAD RELATIVA | 34 |
| FIGURA 24 GRAFICA DE CARACTERIZACION DEL SENSOR DS18B20 | 35 |
| FIGURA 25 GRAFICA DE CARACTERIZACION DEL SENSOR SEN-11574..... | 36 |
| FIGURA 26 GRAFICA DE DISPERSION ENTRE EL RITMO CARDIACO Y EL ESTADO DE ESTRES TERMICO | 37 |
| FIGURA 27 UBICACION DEL ROUTER DENTRO DEL GALPON | 39 |
| FIGURA 28 INTERFAZ GRAFICA VIA WEB DE THINGSPEAK DURANTE EL MONITOREO | 41 |
| FIGURA 29 CREACION DEL TELEGRAMBOT | 42 |
| FIGURA 30 SOLICITUD DE ID DE LA CUENTA DE TELEGRAM..... | 43 |
| FIGURA 31 UBICACION DEL CIRCUITO QUE CONTIENE EL SENSOR DHT22 PARA MEDIR LA TEMPERATURA AMBIENTE Y HUMEDAD RELATIVA..... | 45 |
| FIGURA 32 COLOCACION DE LA CAJA CONTENEDORA Y FIJACION DE SENSORES EN LA CABRA 1 | 46 |



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.
VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

| | |
|---|----|
| FIGURA 33 CABRA 2 CON LA CAJA CONTENEDORA Y SENSORES YA INSTALADOS | 48 |
| FIGURA 34 MEDICION DE TEMPERATURA CORPORAL DURANTE LAS PRUEBAS INICIALES | 50 |
| FIGURA 35 ELEMENTOS DEL SISTEMA EN GENERAL | 51 |
| FIGURA 36 MEDICION DE TEMPERATURA AMBIENTE Y HUMEDAD RELATIVA..... | 52 |
| FIGURA 37 MEDICION DE TEMPERATURA CORPORAL EN AMBAS CABRAS..... | 53 |
| FIGURA 38 MEDICION DE RITMO CARDIACO EN AMBAS CABRAS | 54 |
| FIGURA 39 ESTADO DE ESTRES TERMICO EN BASE A LA TEMOERATURA AMBEINTE Y HUMEDAD RELATIVA..... | 55 |
| FIGURA 40 NOTIFICACION DE TELEGRAMBOT | 56 |



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ÍNDICE DE TABLAS.

| | |
|---|----|
| TABLA 1 DATOS FISIOLÓGICOS CON SUS VALORES CORRESPONDIENTES | 9 |
| TABLA 2 SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN EANALISIS | 15 |
| TABLA 3 SENSORES DE TEMPERATURA CORPORAL EN ESTUDIO | 16 |
| TABLA 4 SENSORES DE RITMO CARDIACO EN ESTUDIO | 17 |
| TABLA 5 MODULOS DE COMUNICACION EN ESTUDIO..... | 18 |
| TABLA 6 COMPONENTES DEL CIRCUITO GENERAL | 58 |
| TABLA 7 COMPONENTES DE LA CAJA CONTENEDORA | 58 |
| TABLA 8 MANO DE OBRA | 59 |
| TABLA 9 RESUMEN FINAL DE COSTOS Y EL COSTO TOTAL | 59 |
| TABLA 10 COMPARACION DE ERRORES PORCENTUALES | 61 |

1. INTRODUCCION

1.1. ANTECEDENTES

Existen trabajos similares de aplicación a la ganadería bovina que comparten ciertas características en común con el presente trabajo. Se optó por el que presenta mayor relación con el trabajo presente debido a la naturaleza del mismo el cual es el siguiente: “SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL MONITOREO DE BOVINOS HEMBRA EN SU CICLO ESTRAL”

Este trabajo fue elaborado por Kevin Sebastián Roa Prieto y Luis Carlos Rojas Scarpetta para la obtención del título de Ingeniero Electrónico en Bogotá en el año 2019.

Tuvo como principal objetivo: Desarrollar un sistema electrónico para el monitoreo de variables indicadoras del ciclo estral de bovinos hembra.

Donde algunas de sus conclusiones fueron:

- El diseño del sistema de monitoreo se cumplió a cabalidad, logrando que este sea capaz de enviar los datos obtenidos de las mediciones efectuadas por los diferentes sensores a la plataforma ThingSpeak en donde son representados gráficamente, dando a conocer una forma de transmitir información de forma inalámbrica entrando en el campo de IoT, lo que sugiere la amplia gama de soluciones que puede prestar la automatización, control y comunicación por medio de dispositivos sensores aplicados a procesos, ya sean a pequeña escala o a gran escala, demostrando que hay pocas barreras limitantes aplicadas a la ingeniería y las comunicaciones ya sea alámbricas o inalámbricas.
- Pese a que, cuando se implementó por primera vez el prototipo del sistema en el campo, la conexión que se tenía de los componentes hacía que la medición fuera un poco tediosa ya que, cuando la vaca se movía ocasionaba que estos se desconectaran haciendo que en los datos que se obtenían aparecieran errores. Para la segunda prueba se mejoró este sistema, con esta mejora fue más fácil hacer las mediciones ya que, las conexiones estaban mejor hechas y permitían una mayor libertad de movimiento de la

vaca antes de que fuera posible que se desconectaran (dicha desconexión no ocurrió en ningún momento).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La Facultad de Ciencias de la Producción de la Universidad Nacional del Caaguazú ubicado en la Ciudad de Coronel Oviedo cuenta con un espacio propio de tierra de 3,8 hectáreas en donde posee un galpón de 7 m² con la capacidad de albergar 7 cabras.

Dicho galpón es utilizado para la producción de carne y leche caprina, donde el ambiente por lo general es húmedo y caluroso y el espacio es reducido. Estas cabras se encuentran expuestas al denominado Estrés Calórico (EC), que básicamente consiste en la inhabilidad del animal de descender su temperatura corporal cuando la temperatura ambiente excede la temperatura ideal. El EC depende de varios parámetros como: temperatura corporal del animal, temperatura y humedad relativa del ambiente, pulso y ritmo cardiaco [1].

En la actualidad el estudio de monitoreo de indicadores de estrés calórico en rumiantes caprinos es un tema muy poco estudiado, especialmente en Paraguay por tal motivo no se conocen métodos probados efectivos para determinar un posible caso de Estrés Calórico en caprinos y los existentes están enfocados en rumiantes bovinos y equinos que solo pueden ser solventados por grandes productores debido al alto costo de inversión tecnológica existente en el mercado. La detección de EC en los caprinos es crítico para el rendimiento productivo afectando notablemente en la cantidad y calidad de producción de leche, calidad de carne y reproducción, además si no se identifica a tiempo puede afectar notablemente la salud del animal traduciéndose en pérdidas económicas para los productores.

Según los especialistas Ing. Osvaldo Sánchez e Ing. Manolo Mercado de la Facultad de Ciencias de la producción, existe imposibilidad de tomar registro de los parámetros de estrés calórico citados anteriormente, debido a que requiere de una gran cantidad de trabajadores que deben medir la temperatura y ritmo cardiaco de cada animal por lo

**Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras
del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones
Ronaldo Miguel Almirón Cáceres - 2023**

menos 3 veces al día, lo cual se dificulta aún más a medida que aumenta la cantidad de cabras en el galpón. Es necesario además medir la humedad relativa del ambiente, lo cual se logra a través de sensores exclusivos para el efecto siendo que la gran mayoría de productores no disponen en sus galpones.

Todo esto genera varias complicaciones para el productor que no puede tomar registro de dichos parámetros durante todo el día, por lo que la única forma que se tiene de detectar es un posible caso de EC es que el animal denote síntomas evidentes para identificar un caso y a partir de ahí buscar una solución. Esta forma de detección del EC a través de los síntomas tiene los siguientes inconvenientes: En general cuando el animal denota síntomas ya se encuentra condicionado en su estado de salud, esto requiere de una mayor inversión en medicamentos en búsqueda de una solución, por otra parte, esperar a que el animal denote síntomas conlleva un riesgo muy grande ya que el estrés calórico altera el ciclo estral y por ende la reproducción retrasando y disminuyendo la producción [2]

Para salvar los inconvenientes de la detección del EC mediante sus síntomas, es necesario que los registros de sus parámetros de control sean realizados en tiempo real, es decir todos los parámetros de estrés calórico deben ser evaluados constantemente de manera a tener un control preciso para plantear una solución rápida y efectiva a los casos detectados [3].

Por todo lo expuesto se plantea con este trabajo realizar un sistema electrónico capaz de monitorear los parámetros esenciales en las cabras de manera a ofrecer una ayuda al productor de poder determinar si estos animales se encuentran expuestos al estrés calórico y a su vez tener un control de bienestar animal en general.

1.3. JUSTIFICACION.

Como es sabido la ganadería es uno de los pilares de la economía paraguaya, por ende, una producción ganadera sostenible a través de conocimientos y tecnologías es fundamental para fortalecer los niveles de productividad tanto en los pequeños y grandes productores. La salud del animal es un factor imprescindible en este sentido [4].

Con el presente trabajo se pretende implementar un registro y control óptimo de las variables indicadoras de estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones, utilizando un sistema electrónico de monitoreo permitiendo observar en tiempo real a través de un dispositivo móvil que se encuentre dentro de la red todos los parámetros a ser evaluados, así como también al entorno donde se desenvuelve, controlando y almacenando las diferentes mediciones en un servidor web.

El sistema electrónico tiene la capacidad de monitorear en forma continua los siguientes parámetros: temperatura corporal del animal, temperatura y humedad relativa del ambiente, pulso y ritmo cardíaco.

Al realizar el monitoreo de dichos parámetros y teniendo en cuenta los resultados que arroje estos son evaluados mediante ciertos criterios establecidos que se realiza de manera automática y de acuerdo al resultado que arroje se puede prevenir que el animal se someta a un caso de estrés calórico, evitando así que esto afecte a la productividad ganadera y por ende una pérdida económica para los productores, dando una mejora a la labor del productor.

1.4. OBJETIVOS.

1.4.1. Objetivos Generales.

- Proyectar un Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Determinar las principales variables a medir y controlar en caprinos de producción lechera dentro de galpones.
- Analizar las alternativas para la implementación tecnológica de registro y control de variables de estrés calórico en caprinos.
- Determinar los dispositivos electrónicos más convenientes para el diseño del Sistema.
- Establecer el esquema de conexión de los componentes electrónicos de control del sistema.
- Programar el dispositivo seleccionado para el control del sistema.
- Realizar las pruebas y verificar los resultados en campo
- Elaborar presupuesto del sistema proyectado

2. MATERIALES Y METODOS.

2.1. Metodología.

El tipo de Investigación utilizada en el presente trabajo según el objeto de estudio es la investigación aplicada y también de tipo mixta.

Aplicada debido a que se busca encontrar mecanismos o estrategias de manera a cumplir un objetivo en específico y mixta ya que se utiliza más de un método para obtener resultados, esto debido a la naturaleza del proyecto que requiere el desarrollo de investigaciones tanto cuantitativas como cualitativas, las cuantitativas para la medición de variables numéricas como magnitudes físicas y cualitativas que se realizan mediante observaciones del proceso de estudio de manera a clasificar los resultados.

2.1.1. Técnicas e instrumentos de recolección de Datos.

Las técnicas utilizadas para la recolección de datos fueron las encuestas y la técnica de observación. Las encuestas fueron del tipo oral o entrevistas respaldados con una guía de encuesta como instrumento para la recopilación de datos. Mientras que la técnica de observación será de modalidad libre o no estructurada y tendrá como instrumento el registro descriptivo, mediante instrumentos de medición en tiempo real.

2.1.2. Fases metodológicas.

Se desarrolló las siguientes fases metodológicas para el logro de los objetivos perseguidos con este proyecto de fin de grado:

- **Fase I: Relevamiento de datos**

En esta fase se procede a la recolección de datos dentro del establecimiento de la Facultad de Ciencias de la Producción de la Universidad Nacional de Caaguazú a fin de conocer todas las variables dentro del galpón donde se encuentran las cabras por medio

**Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras
del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones
Ronaldo Miguel Almirón Cáceres - 2023**

de entrevistas a los Ingenieros Zootecnistas encargados y a los trabajadores del área, se debe realizar una observación directa del área y de los procesos llevados a cabo dentro del mismo. Así como también se deben establecer los valores de referencia de estas variables de control del EC.

- **Fase II: Análisis de las alternativas para la implementación tecnológica y elección de dispositivos para el Sistema de monitoreo**

Una vez recolectado los datos del entorno de estudio y teniendo conocimiento de los procesos se deben analizar las alternativas existentes en el mercado en búsqueda de una implementación tecnológica para proyectar el Sistema de monitoreo. Además se identificarán los distintos dispositivos y componentes tecnológicos que pueden ser útiles para la implementación del Sistema de monitoreo como sensores, módulos y sistemas de comunicación, considerando sus características propias y del entorno donde serían instalados, además de su disponibilidad en el mercado buscando siempre la mejor relación precio/beneficio

- **Fase III: Elaboración del esquema del circuito electrónico que permita el control de los distintos parámetros y almacenamiento de los mismos.**

En esta fase se realiza el esquema del circuito completo con la ayuda de la versión gratuita del software Fritzing, así como también la placa de circuito impreso PCB para realizar con mayor pulcritud la soldadura de los componentes, se debe establecer la plataforma para monitorizar los sensores y usarlo como servidor para almacenar las mediciones en tiempo real. Posteriormente se procede al ensamblado del circuito electrónico con los distintos módulos y sensores, así como también el diseño de la caja que contiene al circuito para protegerlo.

- **Fase IV: Programación del dispositivo electrónico**

Durante esta etapa se realiza la programación correspondiente para la comunicación entre los distintos dispositivos y los cálculos necesarios para determinar si el animal se encuentra o no dentro de los intervalos correctos. Dicha programación se realiza a través del software Arduino IDE que es un software libre que trabaja con el lenguaje de programación C++.

- **Fase V: Realización de pruebas**

En esta fase se realizarán las pruebas del circuito proyectado, a fin de tener un panorama general del funcionamiento y también poder constatar los inconvenientes y aspectos a mejorar para el correcto funcionamiento del sistema electrónico en general, posteriormente se procede a realizar las mejoras necesarias de manera a garantizar un funcionamiento óptimo del mismo.

- **Fase VI: Elaboración de presupuesto del sistema proyectado**

En esta última fase se elabora el presupuesto del Sistema proyectado en base al análisis previo sobre las características técnicas de los componentes, su disponibilidad en el mercado y no menos importante el costo de los mismos.

2.2. Recolección de información

2.2.1. Variables de estrés térmico

Las variables de estrés calórico en caprinos principales son:

- La temperatura ambiente la humedad relativa en donde se desenvuelven
- La temperatura corporal
- La frecuencia cardiaca

En la Tabla 1 se indican los datos fisiológicos de las cabras con los valores correspondientes en condiciones normales

| DATOS FISIOLÓGICOS | VALORES NORMALES |
|----------------------|---------------------------------|
| Temperatura corporal | 101.7 - 104.5°F (38.7 - 40.3°C) |
| Frecuencia cardiaca | 75-85 pulsaciones/minuto |

Tabla 1 Datos fisiológicos con sus valores correspondientes

En la Figura 1 se puede observar las combinaciones de la temperatura y humedad relativa para saber el estado de estrés calórico en el que se puede encontrar de acuerdo a los valores combinados de ambos parámetros. Esto se conoce como ITH (Índice de temperatura y humedad) [5].

Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones
Ronaldo Miguel Almirón Cáceres - 2023

| | Humedad relativa (%) | | | | | | | | | |
|---|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% | 60% | 70% | 80% | 90% |
| Temperatura ° centígrados (°C) | ITH | | | | | | | | | |
| | 24°C | 53.7 | 56.1 | 58.5 | 60.9 | 63.3 | 65.7 | 68.1 | 70.5 | 72.9 |
| | 27°C | 56.4 | 59.1 | 61.8 | 64.5 | 67.2 | 69.9 | 72.6 | 75.3 | 78 |
| | 29°C | 58.2 | 61.1 | 64 | 66.9 | 69.8 | 72.7 | 75.6 | 78.5 | 81.4 |
| | 31°C | 60 | 63.1 | 66.2 | 69.3 | 72.4 | 75.5 | 78.6 | 81.7 | 84.8 |
| | 33°C | 61.8 | 65.1 | 68.4 | 71.7 | 75 | 78.3 | 81.6 | 84.9 | 88.2 |
| | 36°C | 64.5 | 68.1 | 71.7 | 75.3 | 78.9 | 82.5 | 86.1 | 89.7 | 93.3 |
| | 38°C | 66.3 | 70.1 | 73.9 | 77.7 | 81.5 | 85.3 | 89.1 | 92.9 | 96.7 |
| | 40°C | 68.1 | 72.1 | 76.1 | 80.1 | 84.1 | 88.1 | 92.1 | 96.1 | 100.0 |
| | 42°C | 69.9 | 74.1 | 78.3 | 82.5 | 86.7 | 90.9 | 95.1 | 99.3 | 103.5 |

Figura 1 Índice de Temperatura y Humedad relativa

El área en color verde indica que no se experimenta estrés, color amarillo un estrés moderado, color azul un estrés grave y color rojo indica un estrés crítico.

La combinación entre el ITH y las mediciones fuera del rango de los datos fisiológicos en cabras indican un caso de estrés calórico, los síntomas iniciales se caracterizan principalmente por un aumento en la temperatura corporal y la frecuencia cardiaca y la aparición del jadeo del animal.

Para evitar que el animal este condicionado se debe examinar cuando el índice se encuentre en zona azul, para efectos prácticos se hace las siguientes asignaciones:

- Color verde: Estado de estrés 1
- Color amarillo: Estado de estrés 2
- Color azul: Estado de estrés 3
- Color rojo: Estado de estrés 4

Esto nos permite realizar un análisis más simplificado basándonos en solo números para saber el estado de estrés térmico en la que se encuentra la cabra.

2.2.2. Descripción del lugar

El galpón que alberga a las cabras se encuentra ubicado en la Facultad de Ciencias de la Producción de la Universidad Nacional de Caaguazú cuyas coordenadas son -25.497178902121313, -56.45986344193976. Posee un área de 7 metros cuadrados que es capaz de albergar hasta 7 cabras, cuenta justamente con 7 divisorias o celdas, cada una de estas cuentan con un comedero y un bebedero. También existe un pasillo estrecho que se utiliza para ordeñar a las cabras.

En las siguientes figuras se pueden observar la ubicación geográfica, así como el galpón en cuestión.

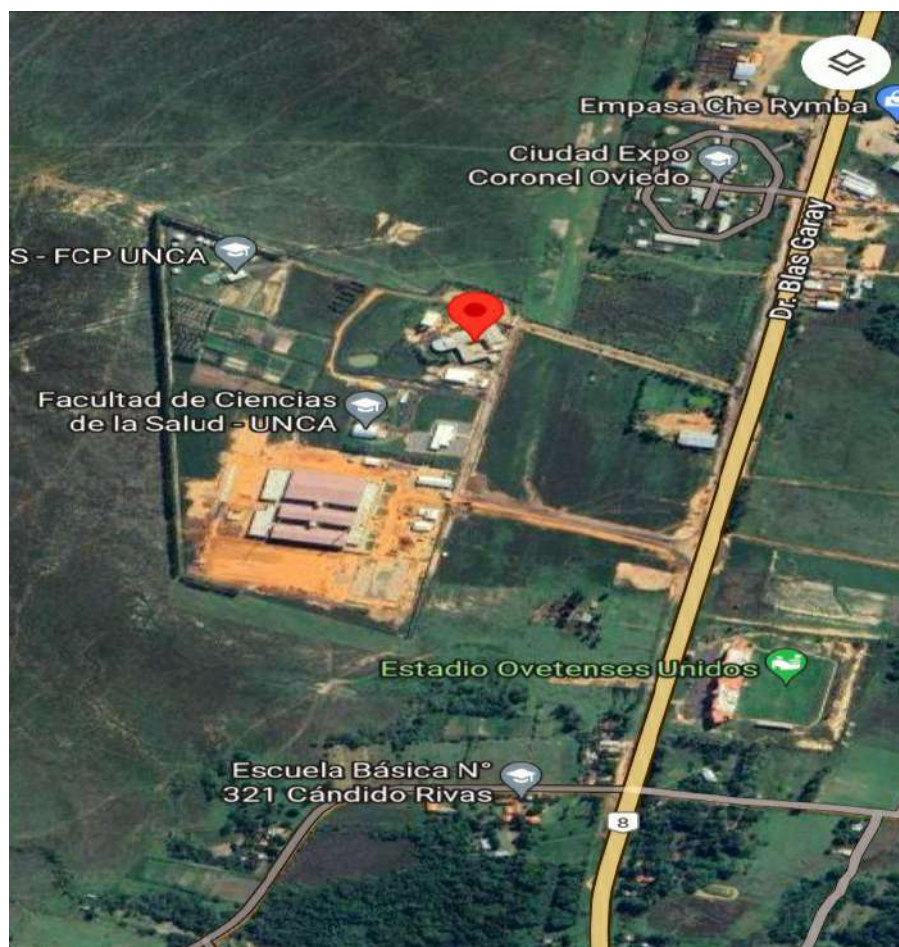


Figura 2 Lugar de emplazamiento del proyecto, vista satelital

**Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras
del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones
Ronaldo Miguel Almirón Cáceres - 2023**



Figura 3 Vista lateral del galpon



Figura 4 Celdas del galpón

Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones
Ronaldo Miguel Almirón Cáceres - 2023

Las cabras encontradas dentro del galpón son de raza Saanen de aproximadamente 3 años de edad, estas cabras antes de ser alojadas en el galpón se encontraban en campo abierto en un Sistema Silvopastoril por lo que no son animales muy dóciles para el manejo como lo son las cabras que desde pequeños se encuentran dentro de galpones. En las siguientes figuras se pueden observar a las dos cabras mencionadas.

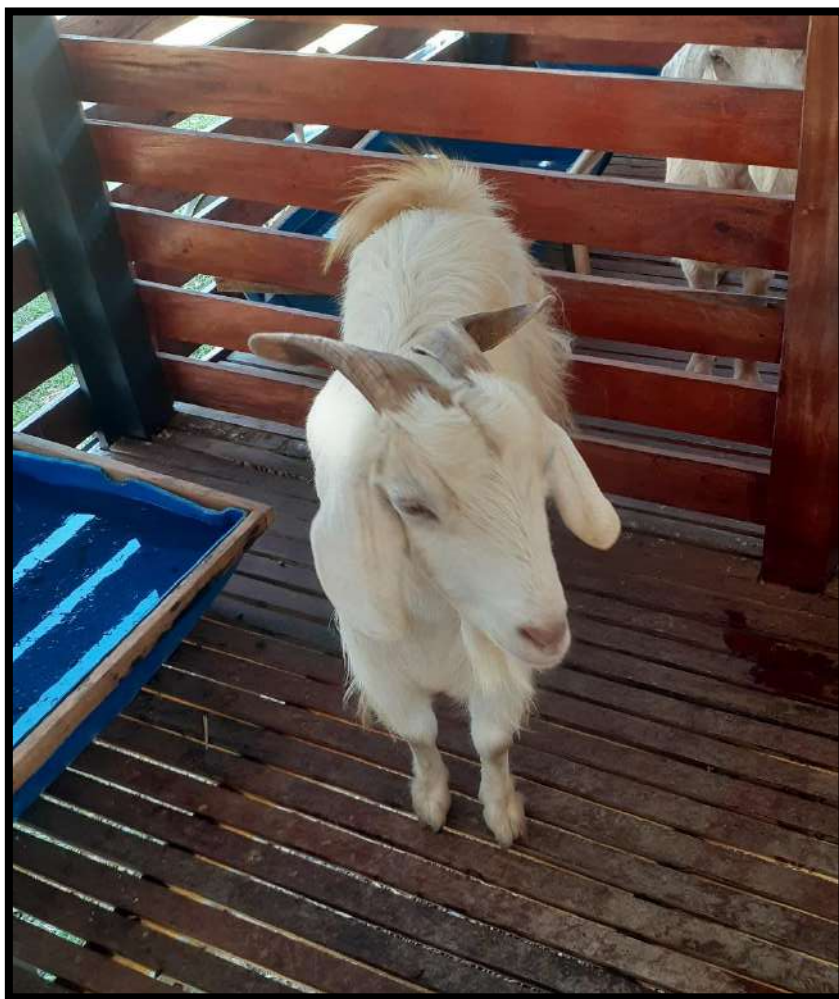


Figura 5 Cabra 1



Figura 6 Cabra 2

En el lugar no se cuenta con servicio de internet por lo cual se debe instalar un router para la comunicación, pero la señal de las diferentes compañías telefónicas presenta una cobertura estable para la instalación de un enrutador que permita la comunicación continua y segura en red. En el Anexo A se puede ver más detalladamente la ubicación del galpón.

2.3. Características técnicas de Sensores

En el mercado existen diversos tipos de sensores para el propósito del presente trabajo, pero es importante analizarlos minuciosamente para determinar cuál cumple con las especificaciones deseadas para el Sistema que se quiere implementar examinando y valorando todos los detalles desde el punto de vista técnico como también económico. A continuación, se detallan los sensores por los cuales se optaron para el presente proyecto especificando las razones de cada elección.

2.3.1. Sensor de Temperatura ambiente y Humedad relativa

Los sensores en estudio son los siguientes:

- DHT22
- DHT11
- BME680

| Sensor | Consumo | Tipo | Exactitud | Rango | Operación | Costo (Gs) |
|---------------|----------------|-------------|--------------------|-----------------------------------|------------------|-------------------|
| DHT22 | 2.5 mA | Digital | +0.5°C, +- 2.5% | -40– 125°C 0–100% | Intemperie | 35.000 |
| DHT11 | 2.5 mA | Digital | +2°C , +- 5% | 0–50°C 20–80% | Intemperie | 65.000 |
| BME680 | 12 mA | Intemperie | +1°C | (-40°C a 85)°C 0-100% RH | Digital | 110.000 |

Tabla 2 Sensores de temperatura y humedad relativa en eanálisis

Se puede observar en la Tabla 2 que el sensor DHT22 es el que presenta mayor precisión y un rango mayor, además de ser un Sensor de salida digital y no menos importante con

**Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras
del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones
Ronaldo Miguel Almirón Cáceres - 2023**

un costo no muy elevado. Por los motivos exployados anteriormente es el sensor por el cual se opta para el presente trabajo.

2.3.2. Sensor de temperatura corporal

Los sensores disponibles en el mercado para su estudio son:

- DS18B20
- MAX30205
- MLX90614

| Sensor | Consumo | Tipo | Exactitud | Rango | Operación | Costo (Gs) |
|---------------|----------------|-------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------|-------------------|
| MAX30205 | 600 uA | Digital | $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ | (0 a 50°C) | Contacto tipo pulsera | 50.000 |
| DS18B20 | (0,1-2) mA | Digital | $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ | (-70 a 125°C) | Longitud de onda | 40.000 |
| MLX90614 | 25 mA | Analógico/Digital | $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ | (-200 a 350°C) | Contacto superficial | 75.000 |

Tabla 3 Sensores de temperatura corporal en estudio

El sensor escogido para el presente trabajo es el SEN DS18B20 por su practicidad y robustez, este sensor a diferencia del resto puede ser sumergido en agua sin que le afecte y es el más adecuado para el propósito ya que estos animales se encuentran muchas veces expuestos a salpicaduras y golpes.

2.3.3. Sensor de ritmo cardiaco

Por ultimo para la elección del Sensor de ritmo cardiaco se analizaron las características técnicas y funcionamiento de los siguientes Sensores en la Tabla 4:

| Sensor | Consumo | Tipo | Exactitud | Rango | Operación | Costo (Gs) |
|-----------|----------|-----------|-------------|----------------|----------------------------|------------|
| MAX30100 | 1.2mA | Analógico | ± 10 nm | (780 a 950) nm | Longitud de onda | 45.000 |
| MAX30105 | 1.1mA | Analógico | 7pA | (490 a 590) nm | Longitud de onda | 50.000 |
| SEN-11574 | 3 - 4 mA | Analógico | ± 1 BPM | (0 a 200) BPM | Emisión y recepción de luz | 35.000 |

Tabla 4 Sensores de ritmo cardiaco en estudio

En principio el sensor escogido fue el MAX30105 debido a su gran exactitud y su bajo consumo, pero posteriormente este fue reemplazado por el sensor de pulso cardiaco SEN-11574 por los motivos que se explicaran en la sección de Implementación.

2.3.4. Módulo de Comunicación

En esta sección se analiza los distintos módulos de comunicación existentes en el mercado, describiendo sus características técnicas mas importantes, así como su funcionamiento y costo.

En la Tabla 5 se puede observar todas estas características

| Modulo | Voltaje de trabajo | Corriente de transmisión | Corriente de recepción | Corriente en Hibernación | RAM | Cantidad de Pines | Frecuencia | Costo(Gs) |
|------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------|--------------------------|-------------------|------------------|
| Nodem Cu esp8266 | 3 a 3.6 V | 215 mA | 62 mA | 10 uA | 64 KB + 96 KB | 17 | 2.4 GHz | 85.000 |
| Nodem Cu esp32 | 2.3 a 3.6 V | 240 mA | 100 mA | 5 uA | 520 KB | 36 | 2.4 GHz | 135.000 |
| XBee SX 868 | 2.4 a 3.6 V | 55 mA | 40 mA | 1.8 uA | - | 13 | 863 MHz a 870 MHz | 375.000 |

Tabla 5 Modulos de comunicacion en estudio

Sin lugar a dudas el NodemCu esp32 presenta mejores características pero resulta un poco más costoso y considerando que las características técnicas del NodemCu esp8266 son más que suficientes para garantizar una correcta comunicación, además de presentar un costo más accesible.

2.4. Diseño

Considerando las características del galpón donde se alojan las cabras se establecen los siguientes elementos necesarios para el sistema de monitoreo:

- Unidad de control y comunicación
- Sensor de temperatura ambiente y humedad relativa
- Sensor de temperatura corporal
- Sensor de ritmo cardiaco
- Interfaz de usuario

En la Figura 7 se puede observar en forma general la composición del sistema

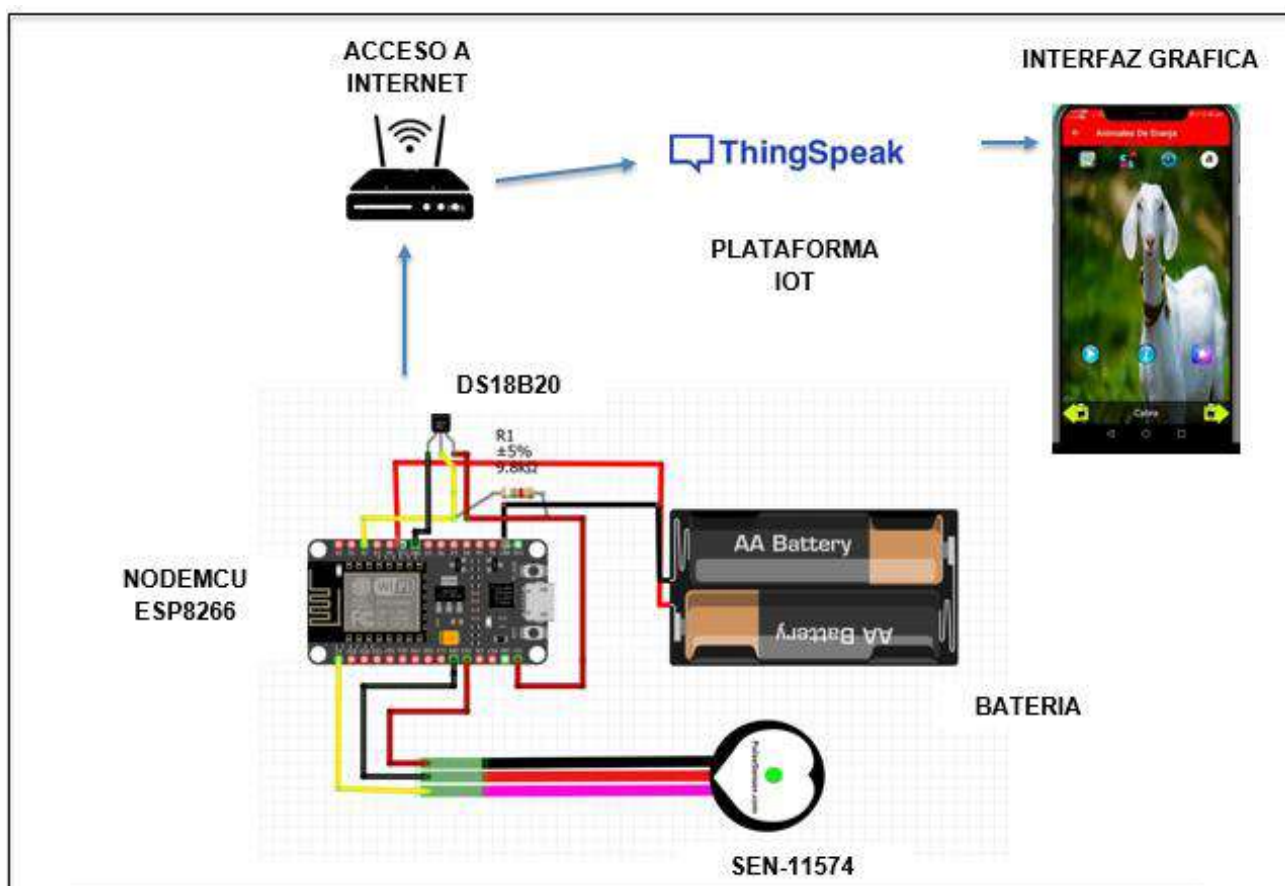


Figura 7 Sistema general que va en la caja contenedora

2.4.1. Diseño PCB

En la Figura 8, Figura 9 y Figura 10 se muestran el diseño en PCB del sistema de monitoreo en 3 vistas distintas. Dicho diseño se realizó con el software libre Fritzing, se optó por este software debido a ser un Software muy práctico y por sobre todo libre, además cuenta con las plantillas de todos los sensores utilizados en el sistema, de manera a que se pueda ver bien las características físicas de las mismas. Cabe resaltar que existen numerosos programas para este propósito, pero en su gran mayoría no cuentan con la plantilla correspondientes a los sensores utilizados o en el peor de los casos son Softwares propietarios que requieren de licencia para su uso.

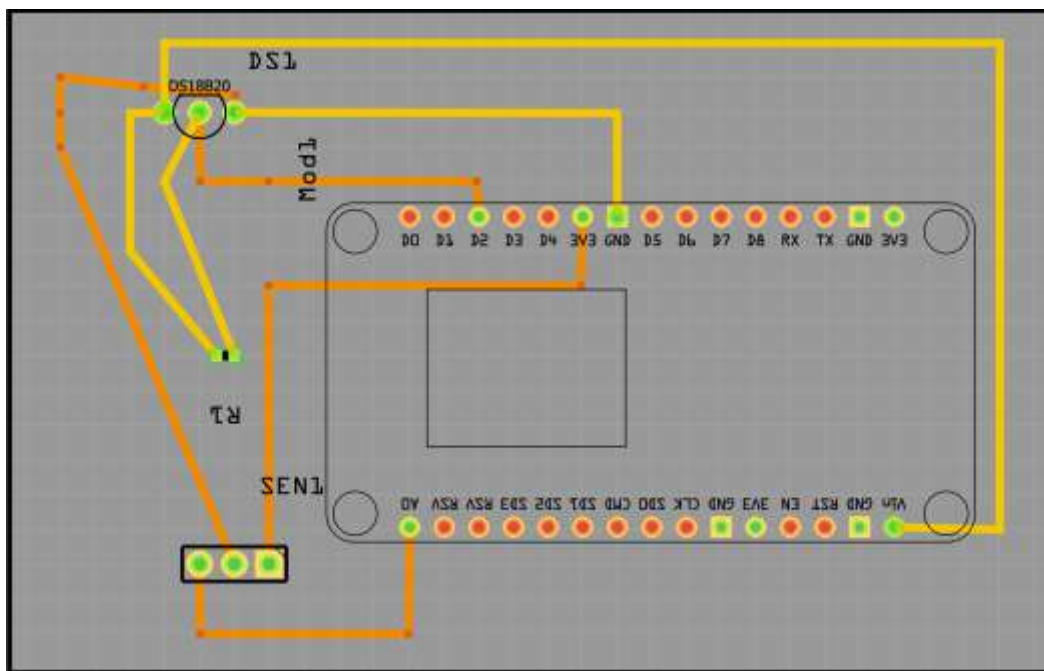


Figura 8 Diseño PCB vista superior general

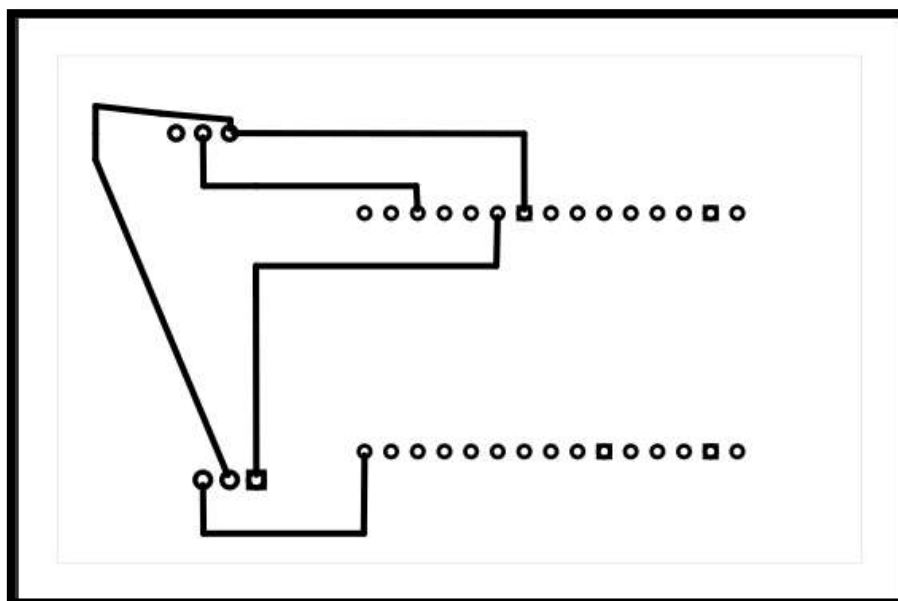


Figura 9 Diseño PCB conexión de sensores

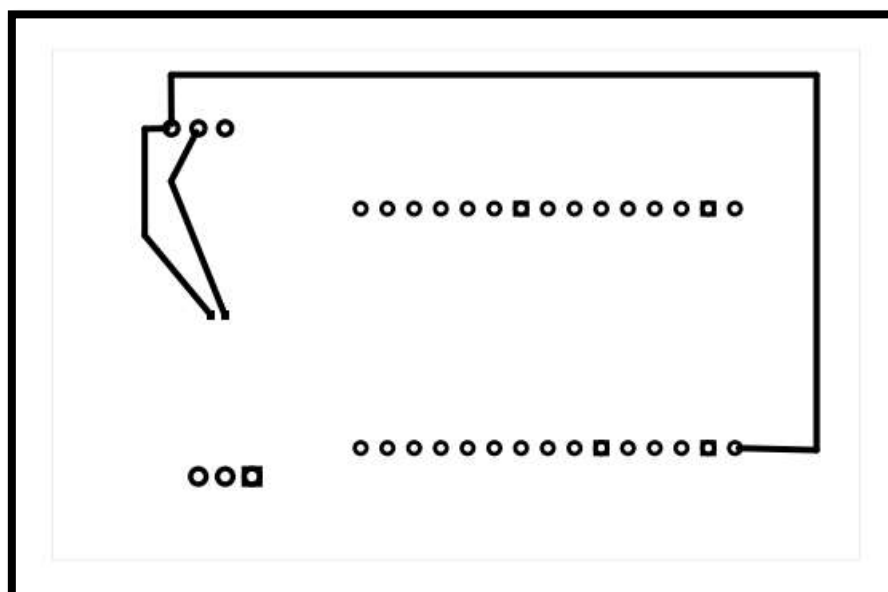


Figura 10 Diseño PCB conexión de alimentación

2.4.2. Diseño de la caja contenedora del Sistema de monitoreo

Por último, el diseño de la caja que contiene al circuito completo se realizó con el software freeCAD, primeramente, dicho diseño posteriormente se convirtió a formato gcode para que la impresora 3D pueda imprimir el diseño, esta conversión se realizó con ayuda del software Ultimaker Cura y la impresión de la misma con la Impresora Ultimaker que se dispone en la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú.

Las dimensiones de la caja son de 13 cm de largo, 6 cm de ancho y 10 cm de altura, el diseño se puede observar en la figura. El material utilizado para la impresión fue PLA que es un filamento de material retráctil que se contrae con el calor, resultando muy útil para estas aplicaciones debido a la resistencia que presenta.

GG

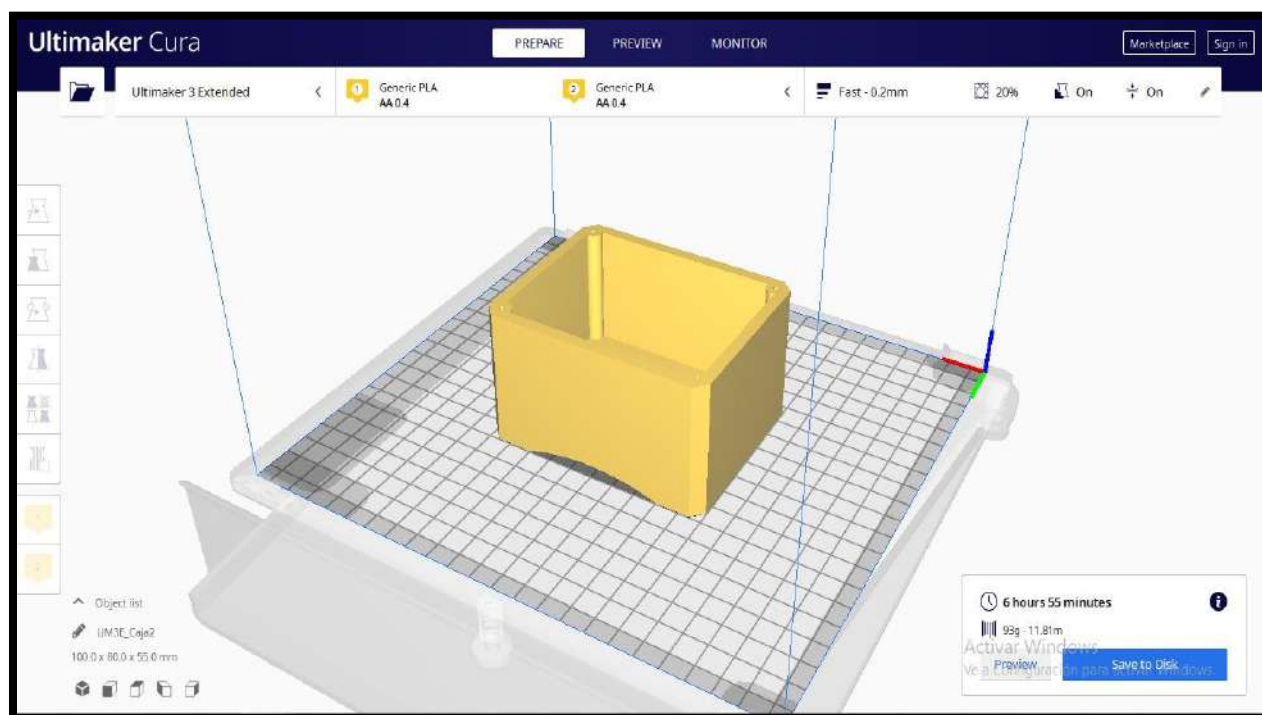


Figura 11 Diseño de la caja con el software Ultimaker Cura

Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones

Ronaldo Miguel Almirón Cáceres - 2023

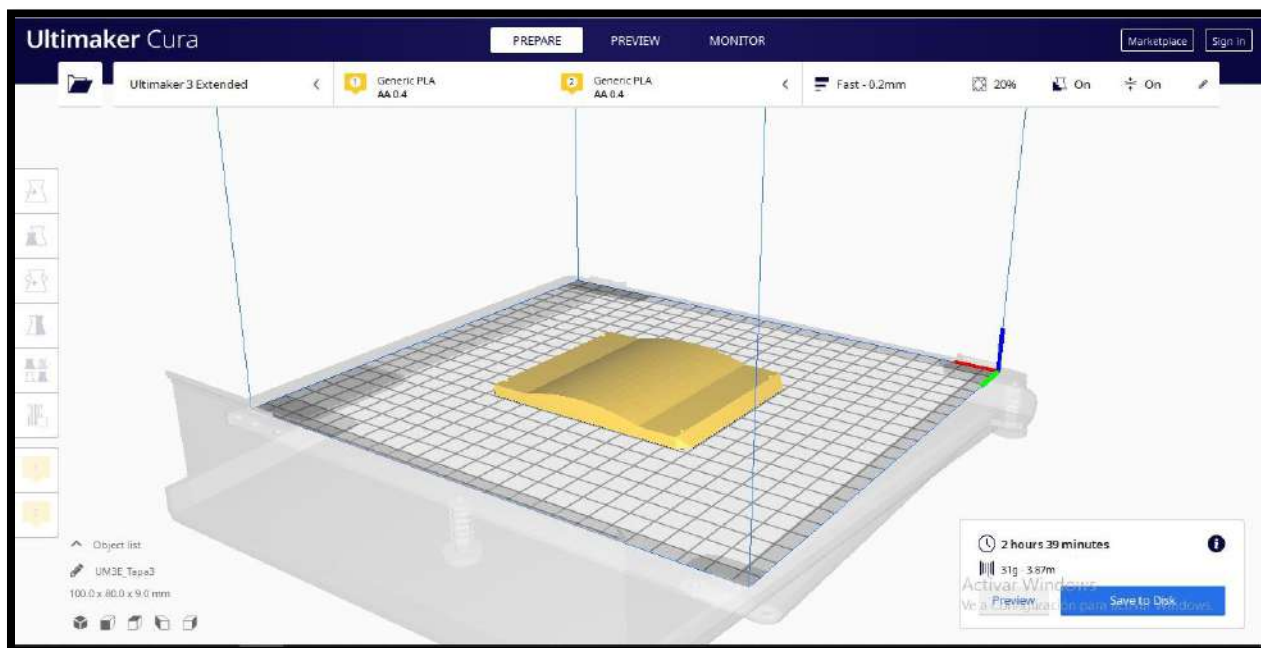


Figura 12 Diseño de la tapa de la caja contenedora con el software Ultimaker Cura

2.5. Implementación

Previamente establecido las variables indicadoras de estrés calórico en caprinos y una vez determinado los dispositivos a utilizar en la sección anterior, se procede a describir la disposición de las mismas en el animal, la ubicación de la caja y el colocado de los sensores, además de la ubicación del sensor DHT22 para el monitoreo de la temperatura ambiente y humedad relativa dentro del galpón.

Los sensores son los siguientes:

1. Sensor de temperatura y humedad relativa: DHT22
2. Sensor de temperatura corporal: SEN DS18B20
3. Sensor de ritmo cardiaco: SEN-11574

A continuación, se prosigue con la descripción del circuito y las conexiones del módulo NodemCu con los distintos sensores para una medición exitosa.

Para asegurar que el modulo junto con los sensores queden fijos y en contacto con el caprino se utiliza una cubierta externa que contiene a los mismos y es colocado en forma de collar en el cuello del animal, quedando cerca del pecho para la toma de muestras como se observa en la Figura 13. Previamente la idea era la de colocar la caja contenedora por encima del lomo del animal, pero en la sección de Pruebas iniciales se indica la razón por la cual esto fue descartado.

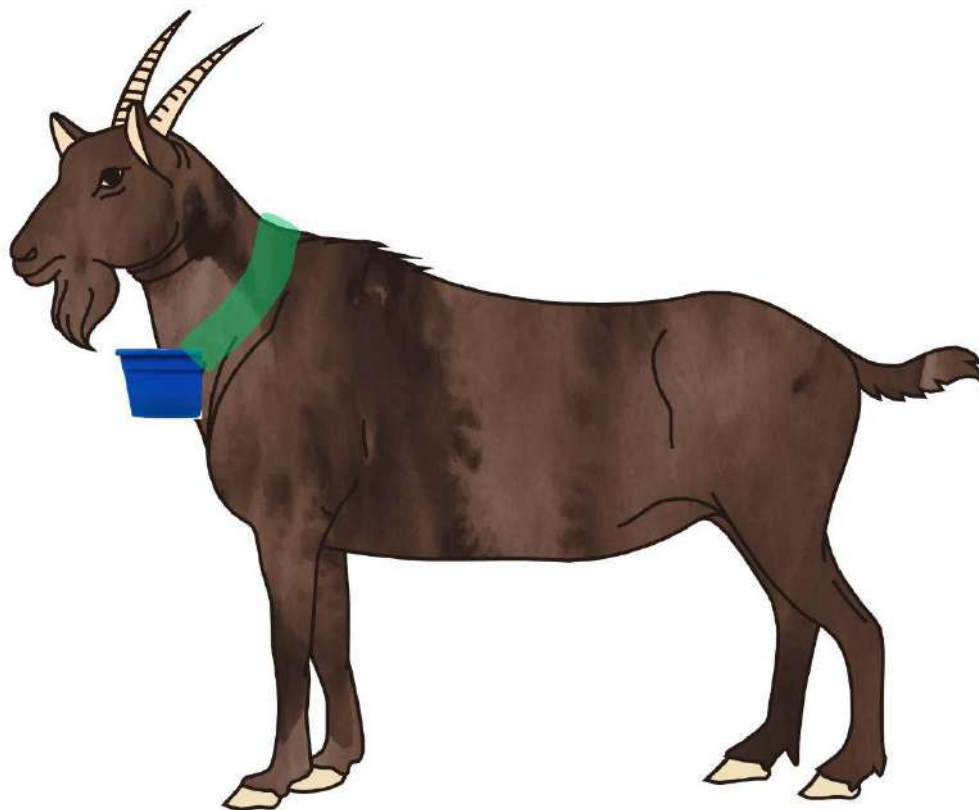


Figura 13 Disposición de la caja contenedora

En el ANEXO se puede ver el proceso de impresión de la caja contenedora mediante la impresora 3D de la marca Robo el cual dispone la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú.

Luego de establecer la ubicación del dispositivo final se procede a la adecuación de los sensores junto con el modulo.

El primer sensor es el sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 que a diferencia del resto de los sensores este queda fijo en un lugar ubicado dentro del galpón, en general es el que presenta menos dificultad para su instalación. Básicamente se coloca dentro de una caja para evitar que inferencias externas causen registros erróneos o en el peor de los casos dañe el circuito, el sensor queda en la intemperie entre la caja y el interior del galpón para la medición.

En la Figura 14 y Figura 15 se observa el esquemático de la conexión del sensor DHT22, así como también el circuito para la captación correcta de datos por parte del sensor.

Cabe resaltar que el esquema y el circuito fueron diseñados con el Software libre Fritzing

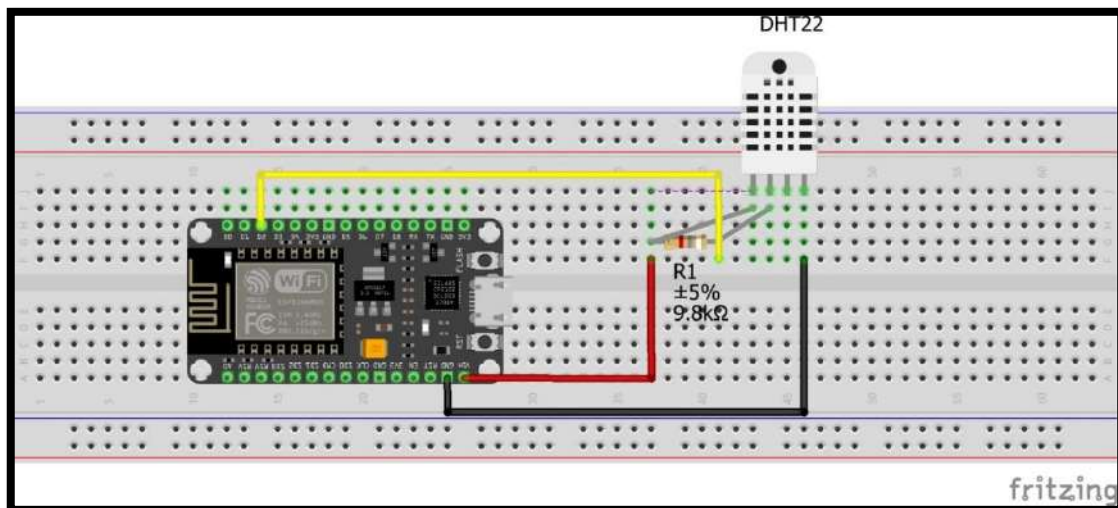


Figura 14 Circuito de conexión del sensor DHT22

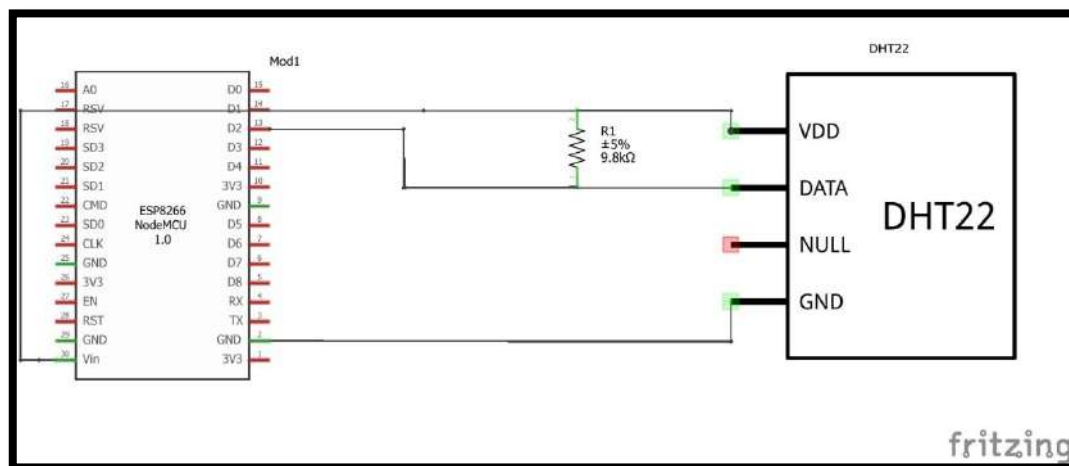


Figura 15 Circuito esquemático del sensor DHT22

El segundo sensor corresponde al sensor de temperatura corporal SEN DS18B20 que es uno de los sensores que debe ir fijo sobre la piel del animal, dicho sensor sale del interior de la caja a través de un orificio y debe ser colocado sobre alguno de los puntos térmicos de la cabra, en el presente trabajo se optó por la zona axilar ya que está demostrado que es uno de los puntos térmicos donde se registra con mayor exactitud la temperatura corporal, además de ser una zona estratégica cercana a la caja.

En la Figura 16 y Figura 17 se pueden ver el esquemático y el circuito de la conexión del sensor SEN DS18B20 junto con el modulo para la toma correcta de datos.

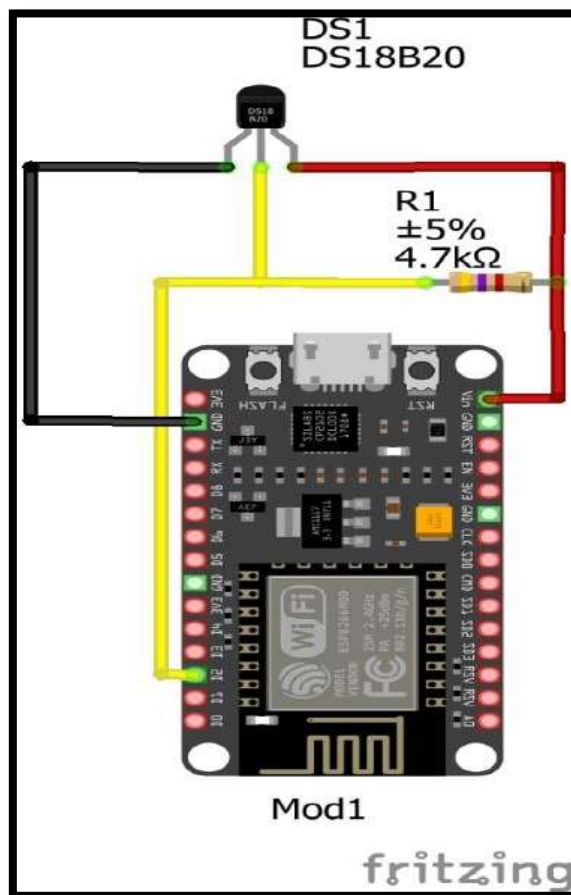


Figura 16 Diseño del circuito de conexión del sensor DS18B20

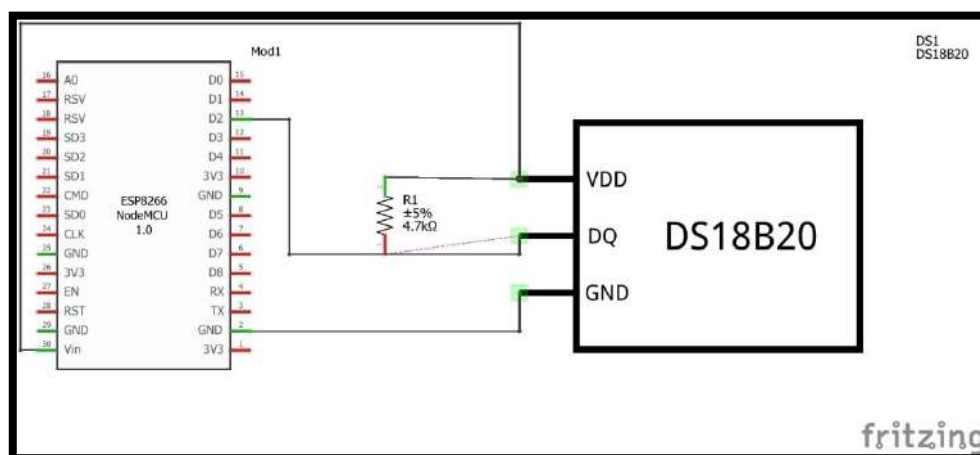


Figura 17 Diseño esquemático del sensor DS18B20

El tercer sensor es el sensor de ritmo cardiaco SEN-11574 dicho sensor debe ir colocado correctamente sobre la piel del animal y debe ser aislado de luz para evitar histéresis durante las mediciones. Por ende, debe estar bien asegurado para evitar lecturas incorrectas, este sensor sale del interior de la caja y debe ser colocado en el cuello en donde se encuentra el punto de medida cardiaco del caprino.

En primera instancia el sensor optado para el propósito de registros de frecuencia cardiaca fue el sensor MAX30105 debido a su bajo consumo y su precisión, pero el mencionado sensor ocupa un espacio mayor, además de ser un dispositivo más delicado por lo que para la naturaleza del presente trabajo no resulta muy adecuado.

En la Figura 18 y Figura 19 se pueden observar el esquemático y el circuito de la conexión del sensor SEN-11574 al módulo para el registro de datos

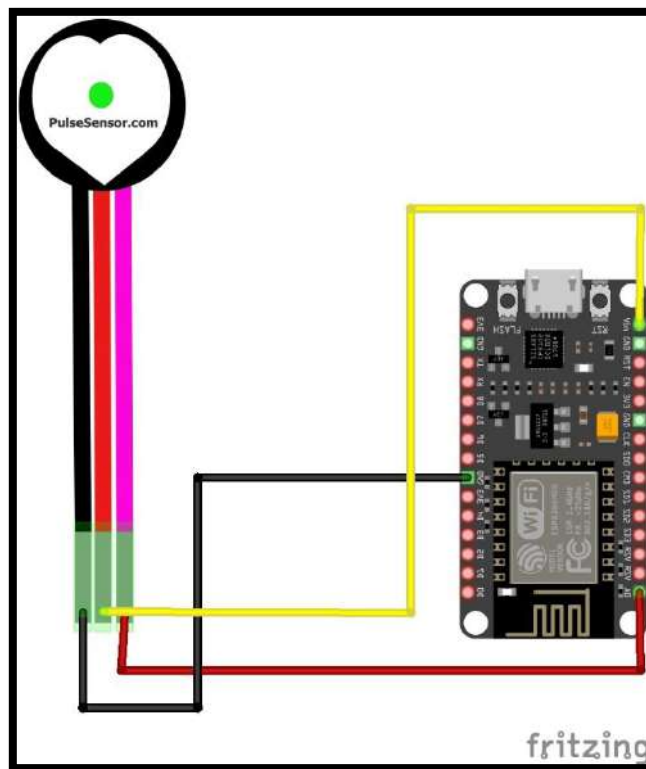


Figura 18 Diseño de conexión del sensor SEN-11574

Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones

Ronaldo Miguel Almirón Cáceres - 2023

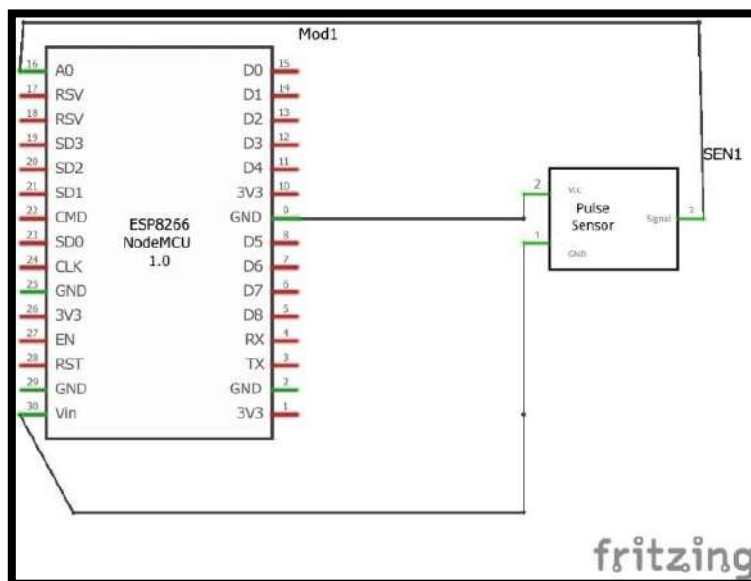


Figura 19 Diseño esquemático del Sensor SEN-11574

El circuito final es el conjunto de todos los sensores analizados anteriormente junto con el módulo de comunicación y la batería. En las siguientes figuras quedan detallados el esquema de conexión y el circuito final.

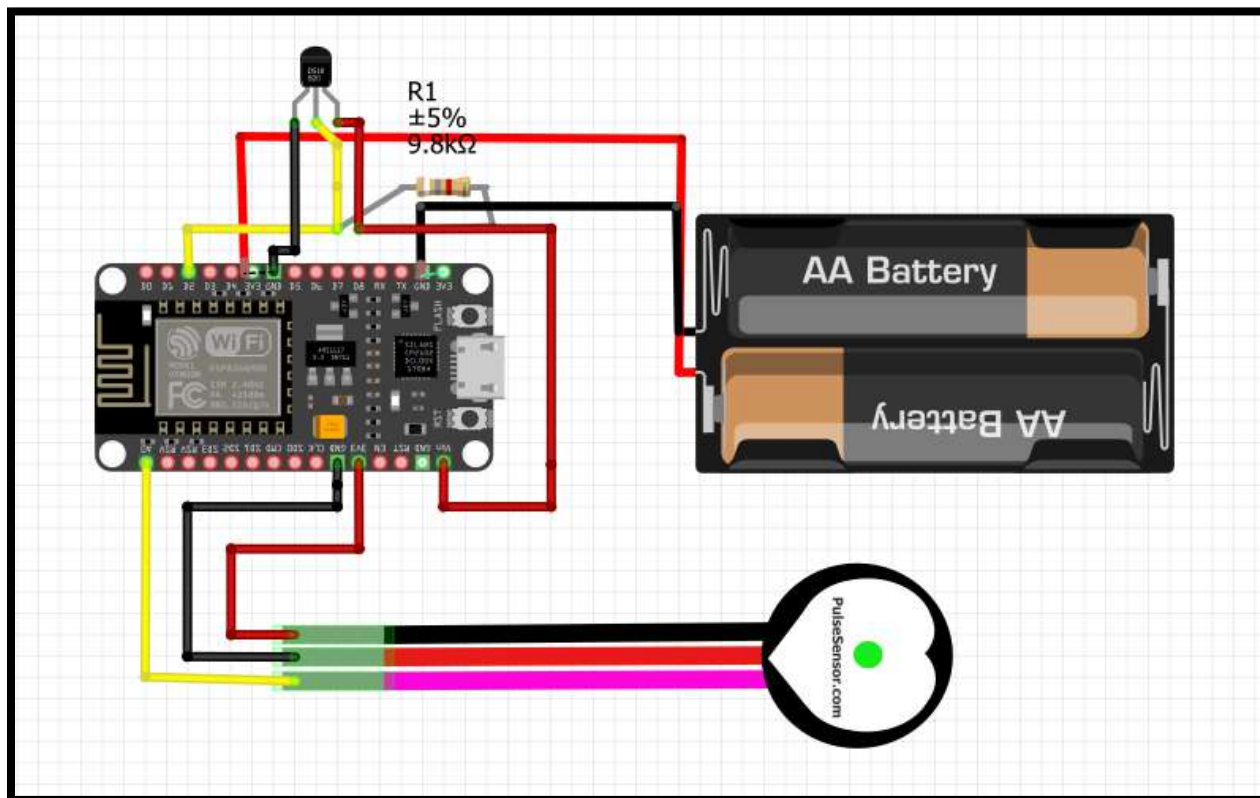


Figura 20 Diseño del circuito general final

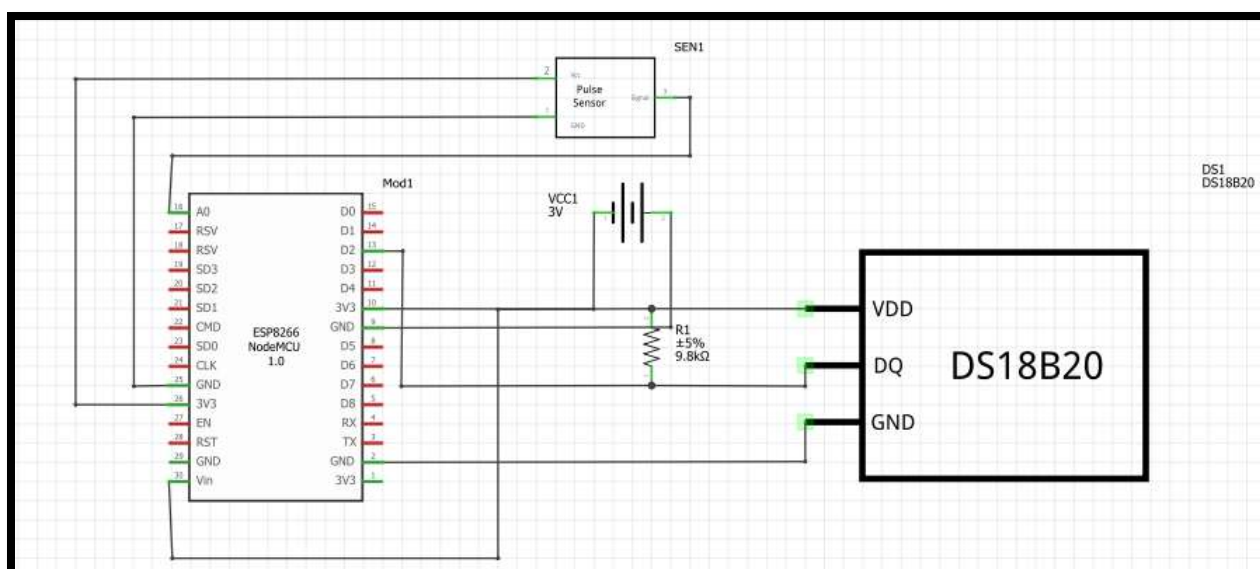


Figura 21 Diseño esquemático del circuito final

2.5.1. Contrastación de Sensores

La contrastación de sensores consiste en evaluar el sensor de manera a conocer su comportamiento e incertidumbre, esto se consigue usando un instrumento de referencia o instrumento patrón de manera a poder calibrarlo en caso de ser necesario para garantizar una correcta medición por parte de los mismos.

Los dispositivos con sus respectivos instrumentos de referencia son:

- Sensor DHT22: Estación local de la Facultad de Ciencias de la Producción
- Sensor SEN DS18B20: Termómetro digital o de mercurio
- SENSOR SEN-11574: Estetoscopio

Para determinar el error que posee cada sensor se utiliza el cálculo de error porcentual donde previamente se realiza un promedio de un número de muestras realizadas tanto por el sensor como por el instrumento patrón, la ecuación para el cálculo de error porcentual es la siguiente

$$EP = \frac{|Valor\ medido - Valor\ real|}{Valor\ real} * 100$$

Donde:

- EP: Error porcentual
- Valor medido: Es el valor obtenido por el sensor en cuestión
- Valor real: Es el valor obtenido por el instrumento de referencia

Para el sensor DHT22 que realiza lecturas de temperatura ambiente y humedad relativa se usa los datos obtenidos por la estación local con la que cuenta la Facultad de Ciencias de la Producción donde se encuentra ubicado el galpón.

**Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras
del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones
Ronaldo Miguel Almirón Cáceres - 2023**

En la Figura 22 y 23 se detallan los datos obtenidos por la estación, así como también los datos obtenidos por el sensor DHT22, es notorio que la diferencia existente es mínima y a través del cálculo del error porcentual se observa que los errores son mínimos

$$EPH = \frac{|55 - 55,5|}{55} * 100$$

$$EPH = 0,9090 \%$$

$$EPT = \frac{|39,3 - 38,94|}{39,3} * 100$$

$$EPT = 0,9160 \%$$

Siendo EPH (Error porcentual de Humedad) y EPT (Error porcentual de Temperatura)

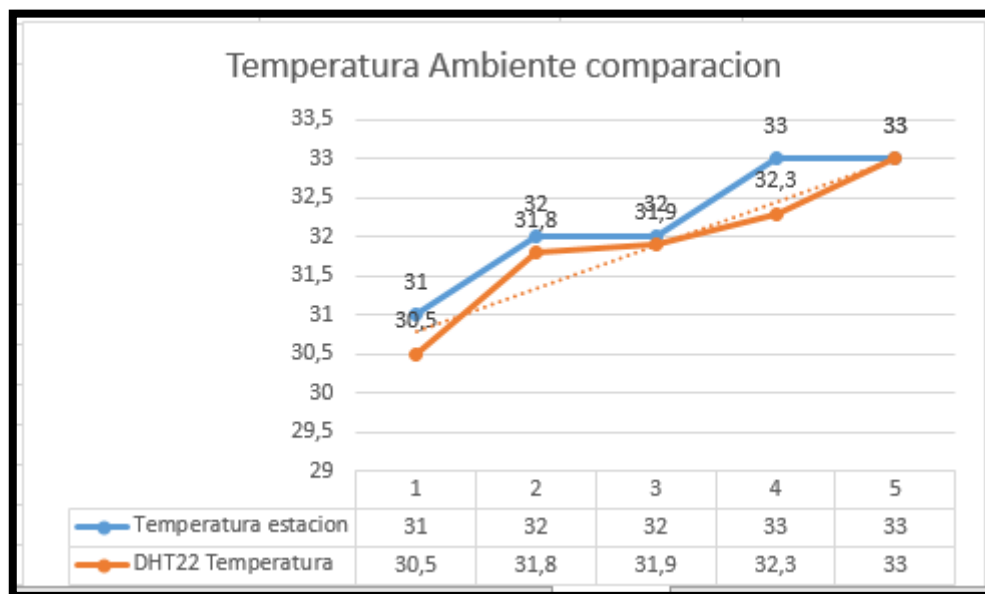


Figura 22 Grafica de caracterización del Sensor DHT22 para la variable de temperatura ambiente

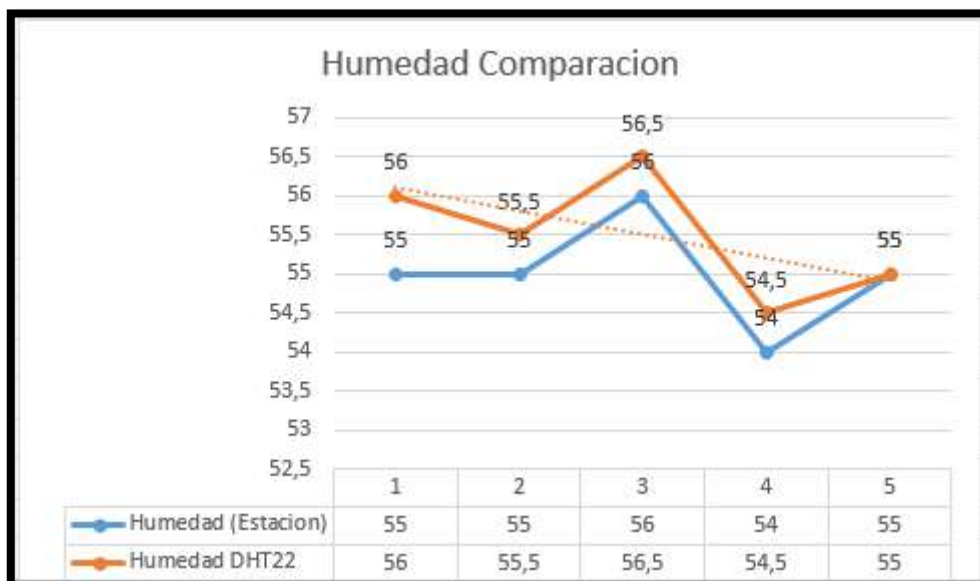


Figura 23 Grafica de caracterización del Sensor DHT22 para la variable de Humedad relativa

Analizando los resultados, se puede concluir que el sensor garantiza una correcta lectura para ambas variables.

El segundo sensor es el sensor de temperatura DS18B20 cuyo instrumento de referencia utilizado es el termómetro digital tal, según las características del termómetro digital de la marca comercial Iraola el cual posee un rango de (32 – 42) °C y una incertidumbre de ± 0.1 °C entre 35,5 y 42.0 °C que resulta mínimo. La temperatura promedio de las Cabras es de 39.5 °C y se encuentra dentro del rango del termómetro de referencia. El sensor DS18B20 debe ir ubicado en contacto directo con la piel del animal, para el propósito del presente proyecto ira por la axila ya que es un punto térmico preciso. En la Figura 24 se puede observar las mediciones en forma comparativa realizadas tanto por el termómetro como por el sensor, se observa que el resultado del cálculo porcentual es muy pequeño por lo tanto se puede asimilar que el sensor en estudio es fiable.

$$EP = \frac{|38,94 - 39,3|}{39,3} * 100$$

$$EP = 0,9160 \%$$

Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones
Ronaldo Miguel Almirón Cáceres - 2023

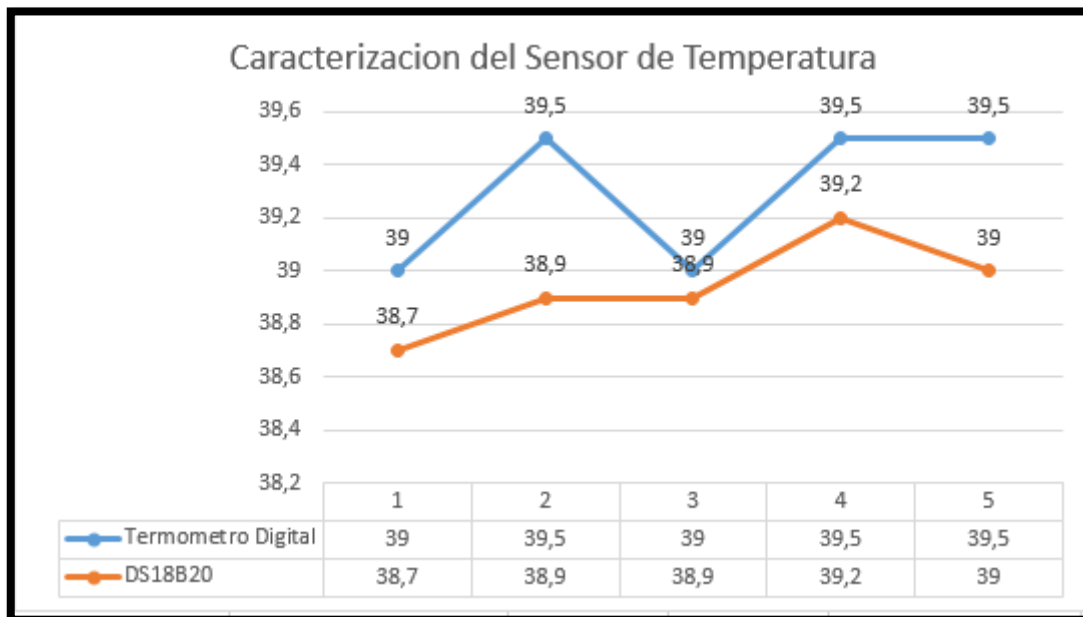


Figura 24 Grafica de caracterizacion del sensor DS18B20

Por último, el sensor de ritmo cardiaco SEN-11574 utiliza como instrumento de referencia un Estetoscopio de la marca Littman, se procede a realizar el conteo de latidos por minuto de la cabra y se registra posteriormente, también se registran los datos obtenidos por el sensor, se realiza un promedio de las mismas para su posterior cálculo de error porcentual.

En la Figura 25 se puede observar la comparación de las mediciones, así como también el cálculo de error porcentual

$$EP = \frac{|86,2 - 87,6|}{86,2} * 100$$

$$EP = 1,598 \%$$

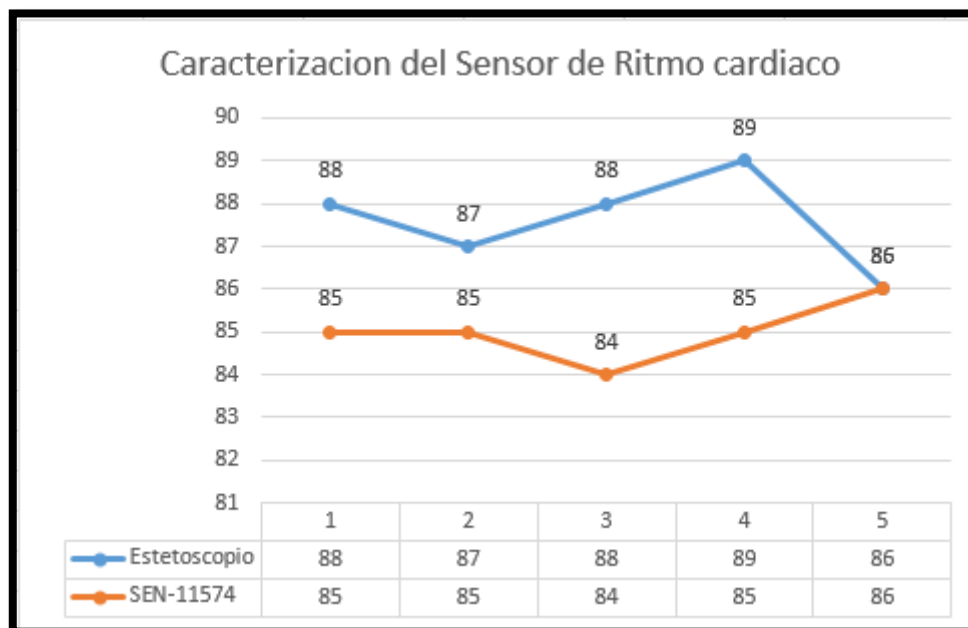


Figura 25 Grafica de caracterización del sensor SEN-11574

Por ultimo en la Figura 26 se ejemplifica un gráfico de dispersión que permite ver la intensidad de relación entre las variables de estado de estrés calórico y ritmo cardiaco, donde la variable independiente es el ritmo cardiaco y la variable dependiente es el estado de estrés calórico, esto con el objetivo de demostrar que se pueden realizar mayores análisis con los datos obtenidos y entender mejor la correlación entre las variables el comportamiento de las mismas.

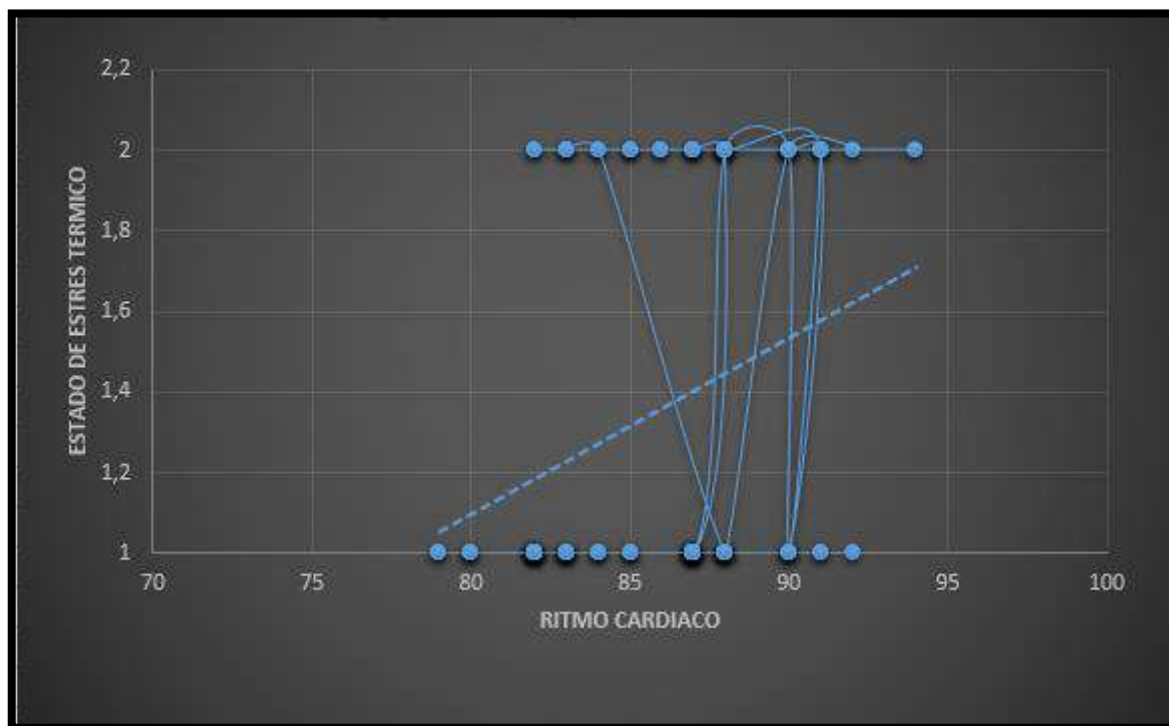


Figura 26 Grafica de dispersión entre el ritmo cardiaco y el estado de estrés térmico

2.5.2. Tratamiento y procesamiento de la información

Luego de verificar la fiabilidad de cada uno de los sensores se debe tratar los datos que obtienen los mismos de manera a que resulte útil y comprensible para los productores o las personas que necesiten utilizar la información.

El tratamiento de la información se realiza a través de un programa informático llamado Arduino IDE el cual es un entorno de desarrollo integrado que permite realizar los códigos necesarios tanto para configurar la red al cual ira conectado la tarjeta NodemCu esp8266 como también para establecer la lógica del funcionamiento en general, esto a través de módulos de interpretación en el caso del Sensor DS18B20. Cabe destacar que cada sensor utiliza un código diferente, pero a fin de cuentas todos los códigos concurren en uno solo que es el que se carga a la tarjeta esto gracias a Arduino IDE.

**Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras
del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones
Ronaldo Miguel Almirón Cáceres - 2023**

El sensor de ritmo cardiaco SEN-11574 tiene un tratamiento más sencillo debido a que su funcionamiento se basa en longitudes de onda cuyo diseño permite la captura de datos una vez que se este se encuentre alimentado, cabe resaltar que este sensor se conecta a un pin analógico del NodemCu para la captura de datos. La codificación correspondiente para este sensor es la más sencilla y se puede observar en el ANEXO B.

El sensor DHT22 posee internamente un pequeño microcontrolador que realiza el tratamiento de señal, su señal de salida es digital por lo tanto se debe conectar el pin de señal a uno de los pines digitales del NodemCu. La codificación de este sensor no resulta muy compleja, pero si extensa para el propósito del proyecto, todo esto debido a los rangos establecidos bajo el criterio del estrés calórico en caprinos que se basa justamente en la temperatura ambiente y la humedad relativa. Es importante aclarar que esta es la única codificación que ira separada debido a que la medición de temperatura y humedad no tiene dependencia con los parámetros fisiológicos del animal por lo tanto ira ubicado en un lugar apartado dentro del galpón. Las líneas de código se pueden observar en el ANEXO C.

Los criterios de Humedad relativa y de Temperatura ambiente se puede observar en la siguiente tabla

Y por último lo correspondiente al cálculo de Índice de temperatura y humedad ITH se puede determinar con la ecuación de Kibler [6] :

$$ITH = 1,8 * TA - (1 - HR) * (TA - 14,3) + 32$$

Donde:

ITH: Índice de temperatura y humedad

TA: Temperatura ambiente

HR: Humedad relativa

Esto se realiza dentro de la programación para determinar en un rango del 1 al 4 el nivel de estrés calórico. Siendo 1 Nivel óptimo, 2 Nivel aceptable, 3 Nivel de alerta y por ultimo 4 Nivel crítico.

Por último, el sensor SEN DS18B20 es un sensor digital por lo tanto el pin de señal debe ser conectado a un pin digital del NodemCu, al ser un sensor digital, la señal captada por la misma no se degrada debido a la distancia del cableado. El tiempo que emplee para la toma de datos se puede establecer dentro de la programación, en el ANEXO C se puede observar una codificación básica para la toma de datos por parte del sensor

2.5.3. Sistema de Transmisión

Analizando el lugar donde se encuentran alojadas las cabras y debido a su extensión se optó como sistema de transmisión a la tecnología WIFI que resulta más que suficiente para abarcar toda el área de estudio, para ello se cuenta con un router o enrutador que se encarga de proporcionar WIFI para poder realizar el envío de información a los dispositivos. En la figura se puede observar como quedo instalado el router en el centro mismo del galpón.

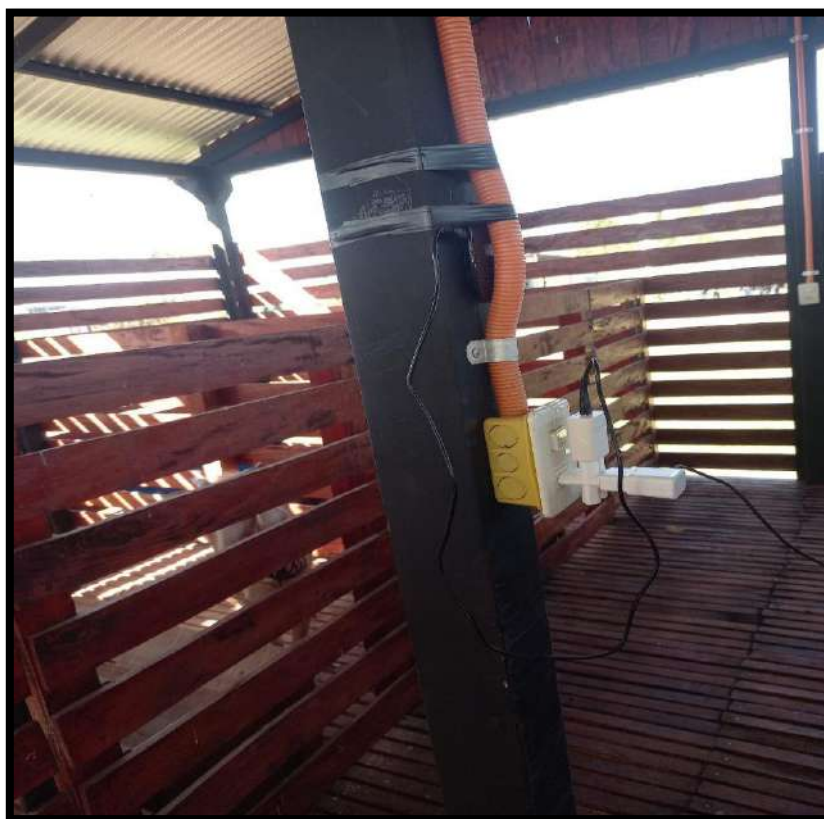


Figura 27 Ubicación del router dentro del galpón

La tarjeta NodemCu previamente cargado con el código final analizado en la sección anterior cuenta con la configuración dentro de las líneas de código de manera a que pueda conectarse de manera automática a la red. En el ANEXO D puede observarse dicha configuración.

2.5.4. Interfaz de Usuario

El resultado final debe ser visualizado en un entorno grafico amigable y legible para el usuario final ya sea en un dispositivo móvil como un teléfono celular o una computadora de mesa, laptop, etc.

Para este propósito se optó por una plataforma de IoT llamada ThingSpeak que básicamente es una API y aplicación de código abierto para IoT que facilita almacenar la captura de datos por parte de los sensores en la nube, desarrollar aplicaciones IoT, poder analizar y visualizar estos datos a través de Matlab e incluso actuar sobre estos datos [7]. ThingSpeak se estructura en canales y campos, los canales contienen a los campos y en los campos se almacenan los datos brindados por nuestro circuito en general. Incluyen numerosos dispositivos para escoger desde el cual se realiza el envío de datos como, por ejemplo: Esp8266, Raspberry Pi, BeagleBone, etc. Lo más interesante es que aparte de todas las funcionalidades citadas anteriormente nos permite un registro gratuito con más limitaciones claramente con respecto a las cuentas de paga, pero para el propósito de este proyecto la disponibilidad de canales y campos para una cuenta gratuita es más que suficiente. Otro aspecto importante es que los datos del canal se pueden exportar o importar, en el ANEXO E se puede observar el resultado de una exportación en una Hoja de Cálculo con todos los detalles necesarios para un posterior análisis.

En la Figura 28 se puede observar un ejemplo del entorno grafico vía web.

Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones

Ronaldo Miguel Almirón Cáceres - 2023

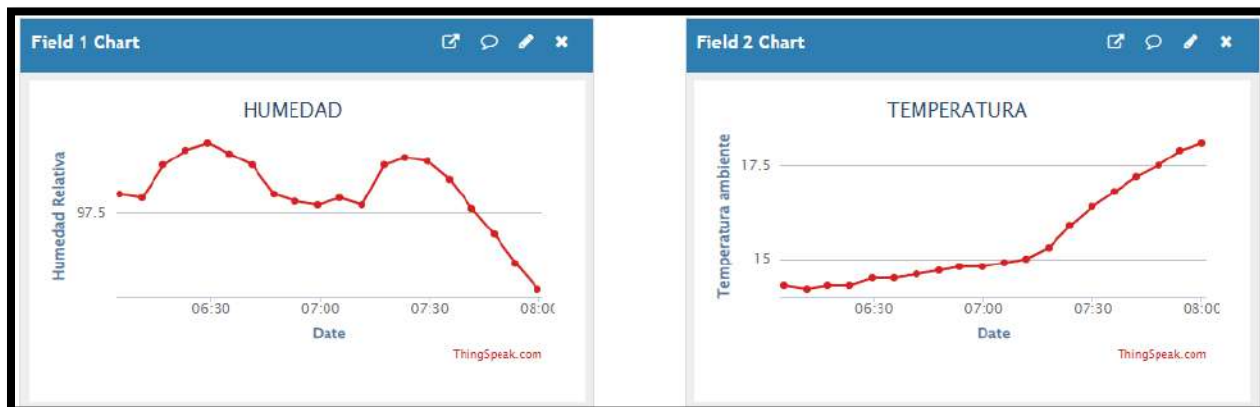


Figura 28 Interfaz gráfica vía Web de Thingspeak durante el monitoreo

Es imprescindible dentro de un Sistema de Monitoreo recibir una notificación en caso de algún problema o anomalía, si bien es cierto que los valores en la plataforma pueden ser claramente visibles y entendibles, no se puede obviar el hecho de que el productor o la persona encargada de controlar a los animales le resultara imposible estar pendiente de analizar los resultados que se muestran en pantalla, por esta razón se optó por utilizar un sistema de aviso a través de la aplicación Telegram que básicamente es una aplicación social de mensajería, todo esto gracias a la creación previa de lo que se conoce como TelegramBot cuya función es facilitar tareas como realizar una llamada o enviar un mensaje predeterminado [8].

En la figura 29 y 30 se pueden observar los pasos para la creación de un TelegramBot, así como también como conocer nuestro ID correspondiente a nuestra cuenta, así como también el Token de nuestro BOT recientemente creado que son necesarios para establecer la comunicación de Telegram con el módulo.

Para la creación del TelegramBOT primeramente se busca dentro de Telegram "BOTFather" se accede al chat y inicia, luego se agrega el comando /newbot, inmediatamente después de que el BOTFather nos responda agregamos el nombre que deseamos asignarle como por ejemplo en este caso se intentó con el nombre de MDCBot, pero no estaba disponible por lo tanto se optó por el nombre de Control_de_cabrasBot que fue confirmado.

Para la obtención de nuestro ID de Telegram basta con buscar "IDBot" para luego iniciar y agregar el comando /getid y IDBot ya nos proporciona nuestro ID.

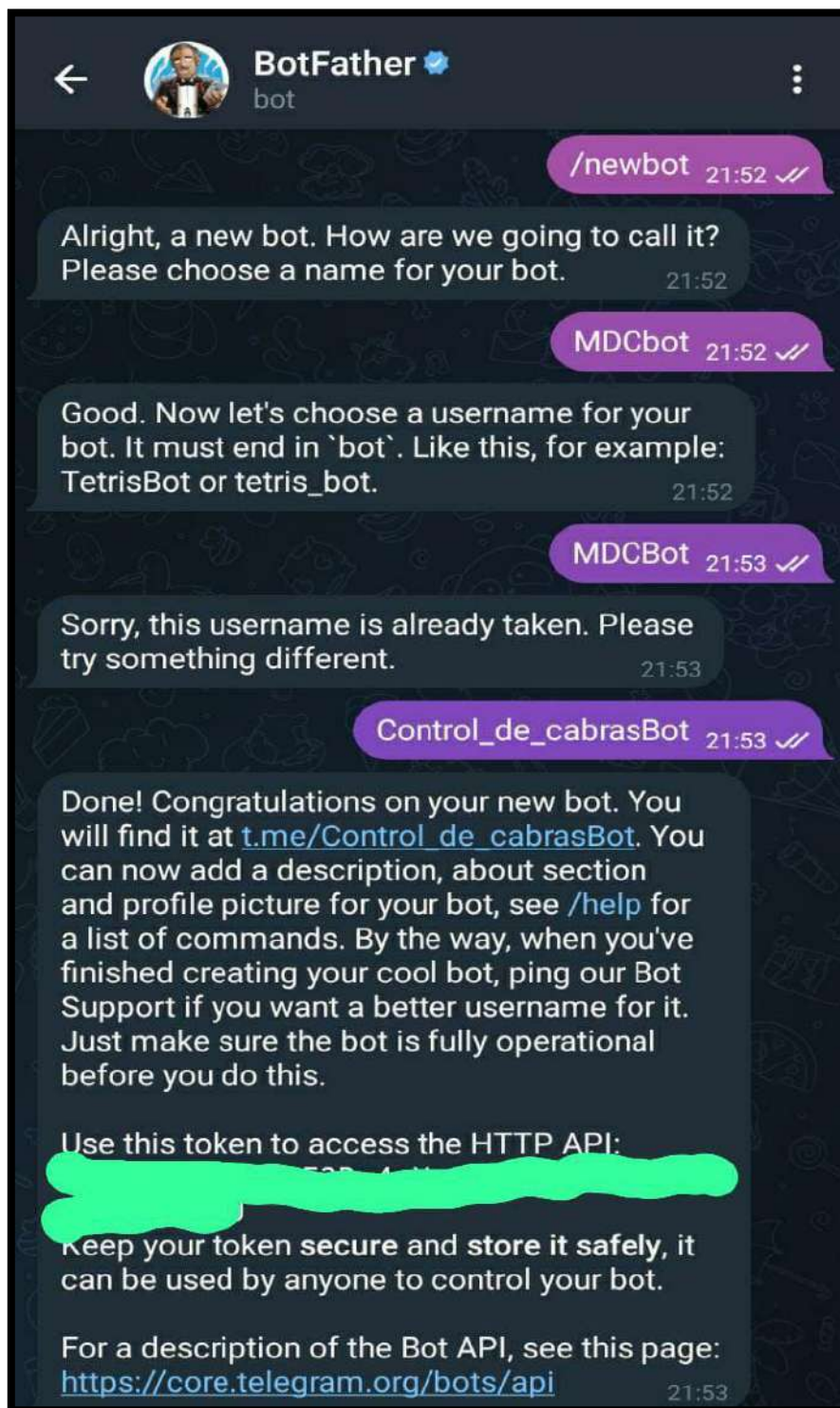


Figura 29 Creacion del TelegramBOT

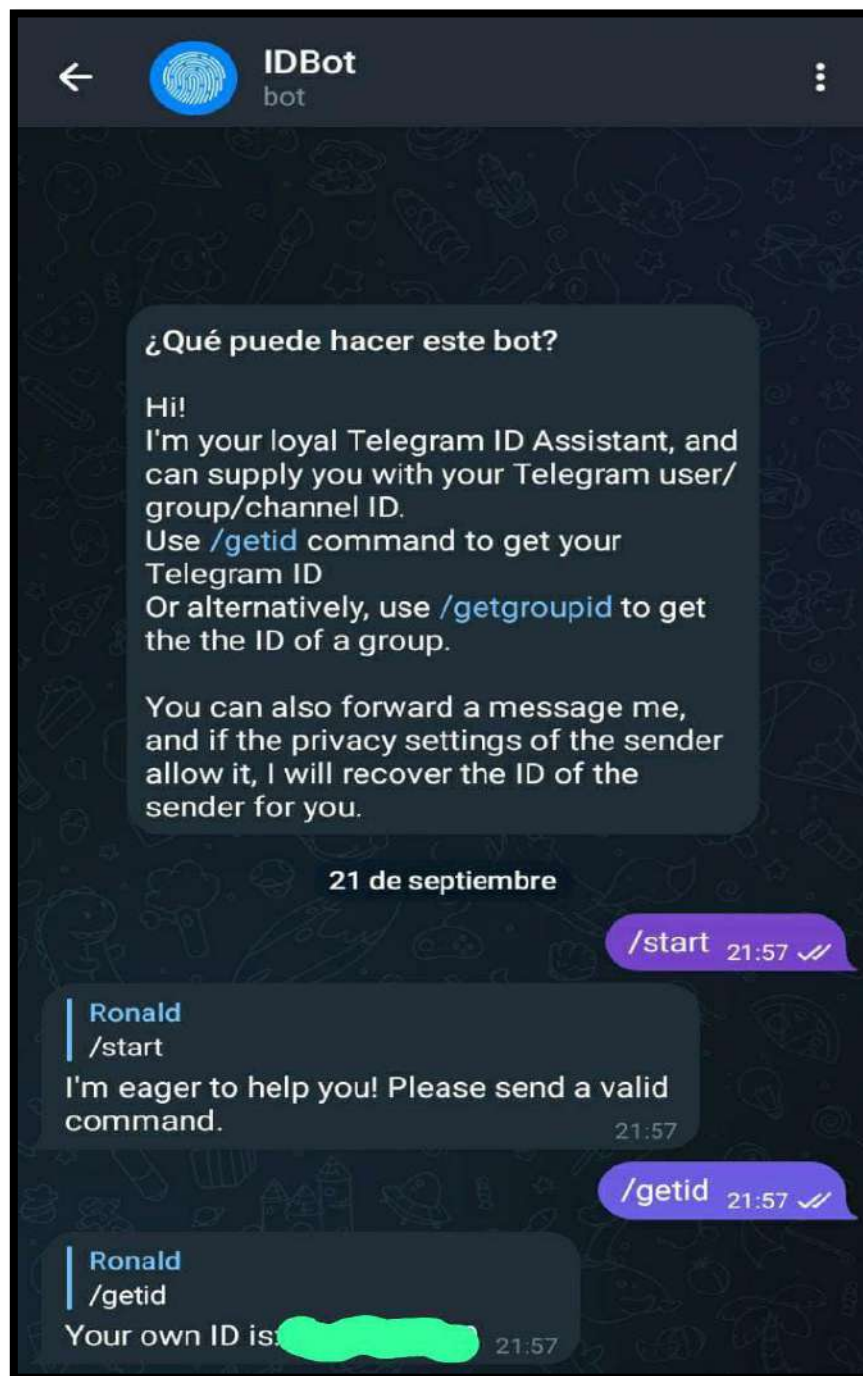


Figura 30 Solicitud de ID de la cuenta de telegram

El token de API que nos genera para nuestro BOT es información personal al igual que el ID de nuestra cuenta de telegram, dichas informaciones son utilizadas en la configuración que va incluida dentro del código

Existen varias librerías en Arduino IDE que permiten comunicar al módulo NodemCu esp8266 con Telegram y a partir de ahí enviar un mensaje al BOT, en el ANEXO F se puede ver las librerías necesarias, así como también la configuración para la conexión entre el modulo y Telegram.

Con los pasos anteriores se establecen la comunicación entre el Sistema general en si con la aplicación de Telegram como Notificador, ya depende de si existe algún registro por fuera del rango de alguno de los parámetros fisiológicos monitoreados para que la notificación por Telegram se active, en el ANEXO G se puede ver las funciones utilizadas que permiten enviar un mensaje predeterminado a Telegram si se cumplen ciertos criterios, en este caso en caso de que la temperatura corporal este por debajo o por encima del rango de valores normales.

2.6. Pruebas del Sistema general

En esta sección se describe los detalles de las pruebas realizadas del prototipo colocado sobre los animales en estudio. La prueba se realizó en dos cabras, ambas hembras de la raza Saanen de aproximadamente 3 años de edad al momento del estudio.

2.6.1. Instalación

Lo primero que se realizo fue la instalación del sensor de temperatura ambiente y humedad relativa DHT22 ubicado en el centro del galpón para una toma correcta de datos como se puede observar en la figura 31.



Figura 31 Ubicación del circuito que contiene el Sensor DHT22 para medir la temperatura ambiente y humedad relativa

Esta instalación no significo ningún problema, se colocó cerca de un punto que cuenta con tomacorrientes para poder ser alimentado con una fuente de 5V.

El circuito de medición de parámetros fisiológicos conformados por los sensores de ritmo cardiaco, temperatura corporal más la tarjeta NodemCu esp8266 como se ha previsto en la sección de diseño están alojados dentro de una caja que va ajustado a un collar por el cuello del animal como se puede observar en la Figura, así como también la disposición de los sensores que salen a través de un orificio para ser colocados en sus respectivos lugares.



Figura 32 Colocación de la caja contenedora y fijación de sensores en la Cabra 1

Previo a la colocación de los sensores sobre la piel de cada animal se tuvo que rasurar la zona de manera a garantizar un contacto pleno entre los sensores y la piel, se utilizó vendaje adhesivo leukoplast para asegurar los sensores sobre la piel y que estos de adhieran de forma segura para una correcta lectura.

2.6.2. Pruebas iniciales

La primera prueba se realizó solo con una cabra con el objetivo de determinar los problemas que podrían presentarse y poder considerarlos para una prueba general final. Al inicio de la prueba se colocó la caja encima del lomo del animal, esto represento un problema ya que la cabra mostraba cierta incomodidad al moverse y por otra parte la longitud del conductor del sensor de temperatura corporal que fue colocado en la zona de la axila era muy extensa, requiriendo de un mayor vendaje para sostenerlo e incomodando mucho más al animal, como consecuencia se optó por colocar la caja en la zona del pecho como se puede observar en la figura 33.

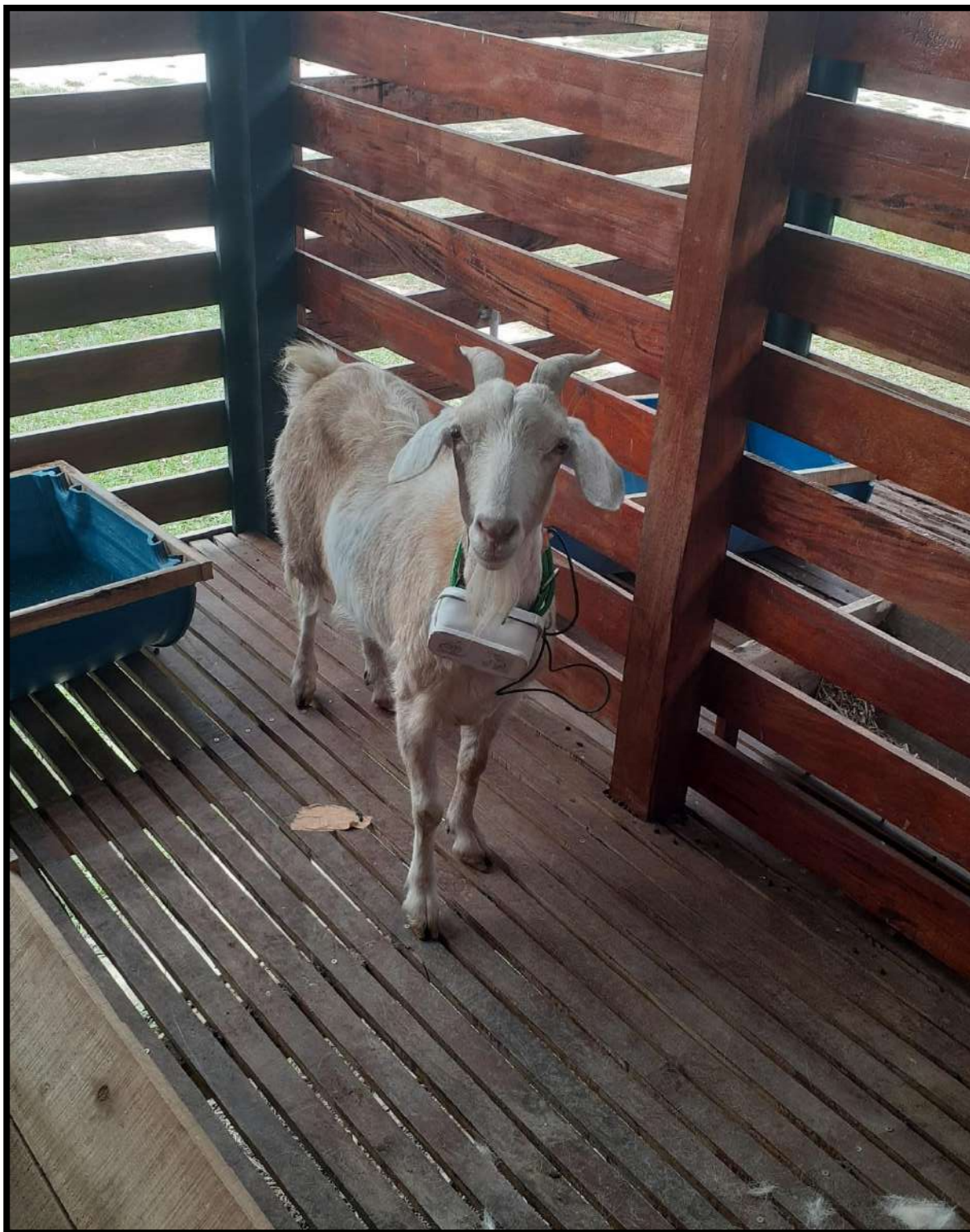


Figura 33 Cabra 2 con la caja contenedora y sensores ya instalados

**Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras
del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones
Ronaldo Miguel Almirón Cáceres - 2023**

En cuanto a los valores captados por los sensores una vez instalado en el animal tenían ciertos desajustes, después de mucho indagar se determinó que los valores no eran los esperados debido a la filtración que presentaba el adhesivo por las características de su textura, esto permitía que el aire externo interfiriera en la temperatura corporal de la cabra, por esta razón la medición tenía un valor en promedio de 36.75 que es un valor por debajo del rango, posterior a eso se reforzó con una cinta de embalaje por encima para garantizar que no exista ruido en las mediciones.

Los valores fueron normalizándose después del ajuste, pero otro problema encontrado fue que el ingreso de luz al sensor de ritmo cardiaco generaba Histéresis que fue solucionado colocando una cinta aislante por encima del adhesivo, además se reforzó el conductor del sensor de ritmo cardiaco con un forro termo contraíble para evitar ruidos que alteren las mediciones.

En la Figura 34 se puede observar algunas mediciones realizadas de los parámetros en las cabras que por simplicidad de identificación se le asignó el nombre de Cabra 1 y Cabra 2 respectivamente.

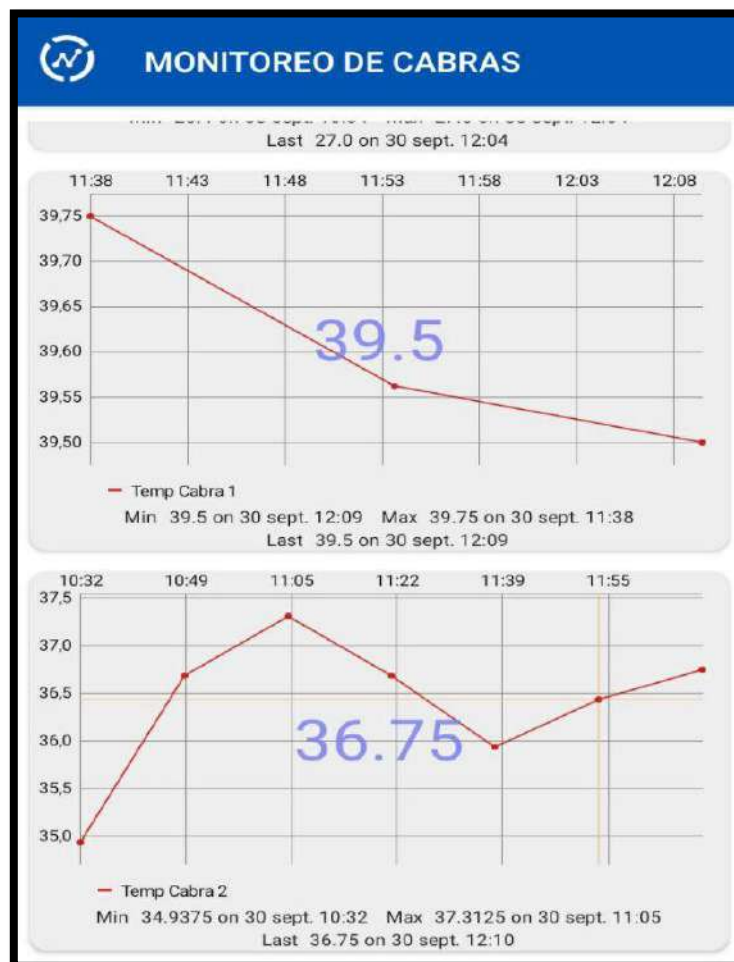


Figura 34 Medición de temperatura corporal durante las pruebas iniciales

Por otra parte, otro inconveniente encontrado fue el rápido crecimiento de los pelos del animal, esto generaba que la cinta se despegara más rápidamente y a consecuencia de esto en una ocasión el sensor de ritmo cardiaco quedo expuesto y golpeado sufriendo daños irreparables y teniendo que ser reemplazado por uno nuevo.

Para lidiar con este problema se tuvo que rasurar al animal cada 5 días para garantizar un correcto contacto de los sensores con la piel.

2.6.3. Pruebas finales

Para la prueba final se aplicaron las correcciones a los problemas encontrados y se realizó la instalación a las dos cabras situadas dentro del galpón. En la figura 35 se observan los elementos necesarios para el monitoreo de las cabras.



Figura 35 Elementos del Sistema en general

El monitoreo general inicio en fecha 28 de septiembre a las 10 am de forma ininterrumpida hasta la fecha 1 de octubre donde se debió interrumpir para el cambio de las baterías. Es importante mencionar que la duración promedio de las baterías es de 75 horas, el módulo NodemCu está configurado para desactivarse durante un periodo de 10 minutos, esto gracias a la función SLEEP que puede configurarse a través del Arduino IDE en la codificación, el objetivo de la implementación de esta función es el ahorro de energía ya que en este modo el modulo tiene un consumo solo en términos de los micro-amperes. Una vez transcurrido ese tiempo el modulo vuelve a despertarse y los sensores vuelven a realizar las lecturas correspondientes.

**Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras
del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones
Ronaldo Miguel Almirón Cáceres - 2023**

Luego del cambio de baterías se volvió a monitorear durante 70 horas de forma ininterrumpida, esto prosiguió así hasta la fecha 13 de octubre donde se llegó a 15 días de monitoreo casi constante, considerando que el tiempo de cambio de baterías es mínimo, aproximadamente de 10 minutos en total para ambas cabras.

A continuación, se pueden observar algunas mediciones realizadas durante la prueba final, donde los valores se encuentran totalmente estables y dentro de los rangos normales.

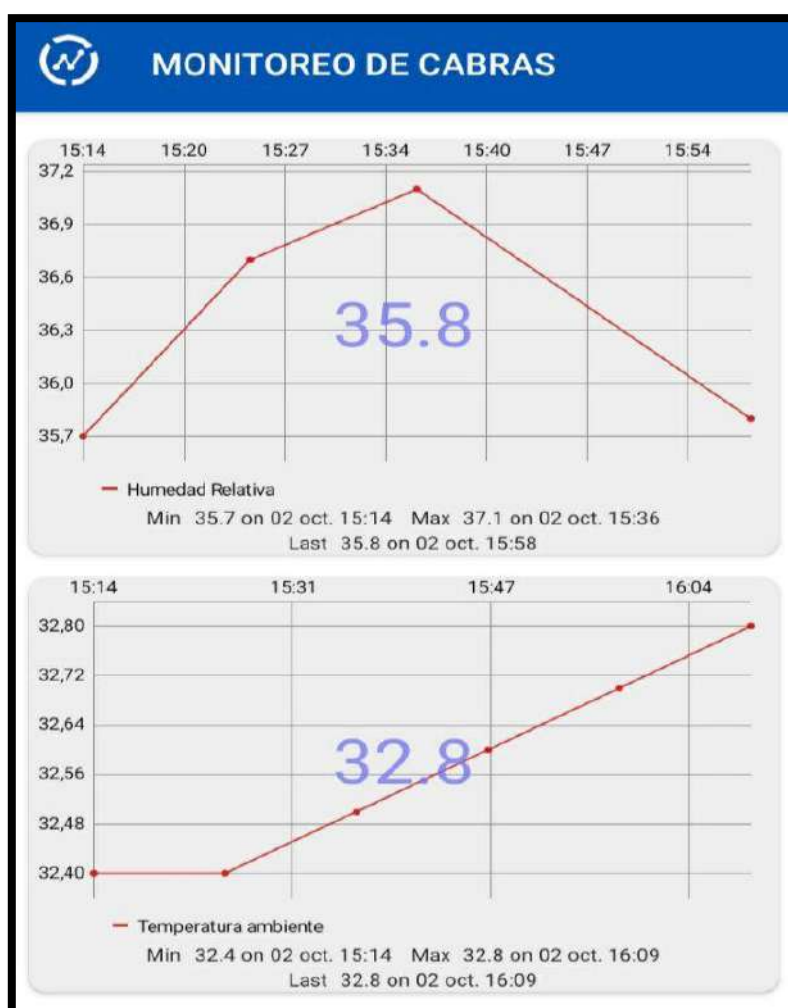


Figura 36 Medición de temperatura ambiente y humedad relativa

Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones

Ronaldo Miguel Almirón Cáceres - 2023

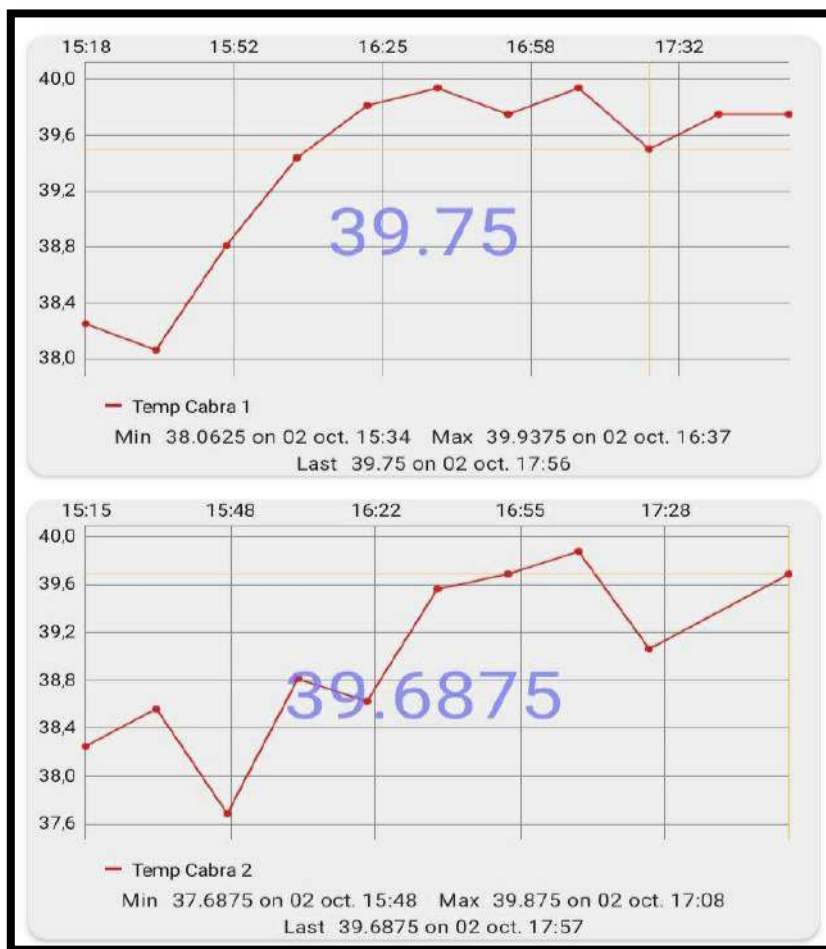


Figura 37 Medición de temperatura corporal en ambas cabras

Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones

Ronaldo Miguel Almirón Cáceres - 2023

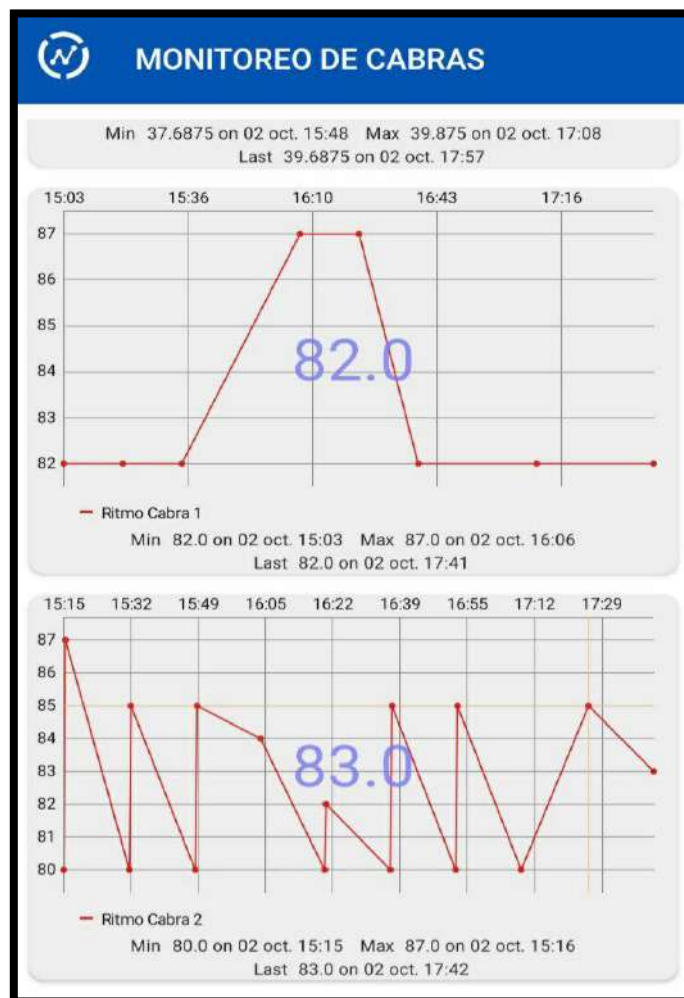


Figura 38 Medición de ritmo cardiaco en ambas cabras

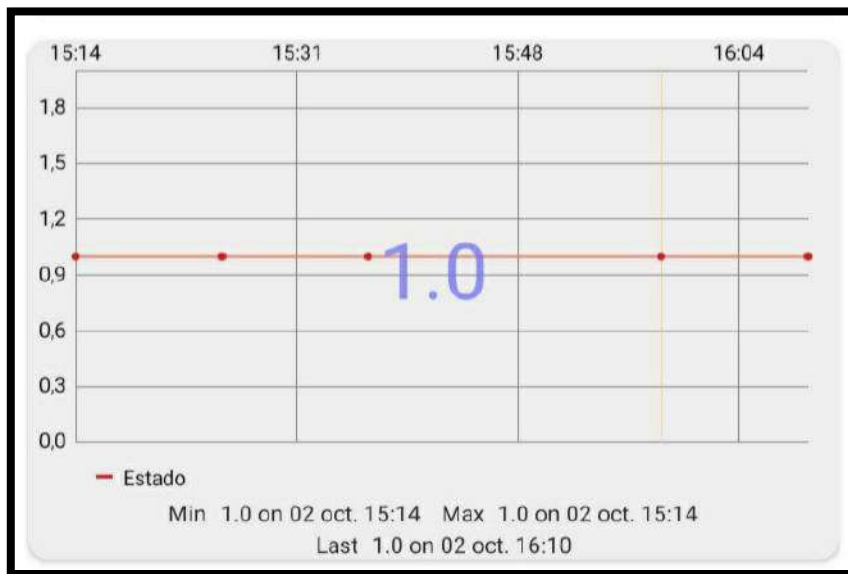


Figura 39 Estado de estrés térmico en base a la Temperatura ambiente y humedad relativa

También se puede observar las notificaciones en Telegram en caso de ciertas anomalías con las medidas registradas o inicios de comunicación cada vez que el módulo iniciaba.

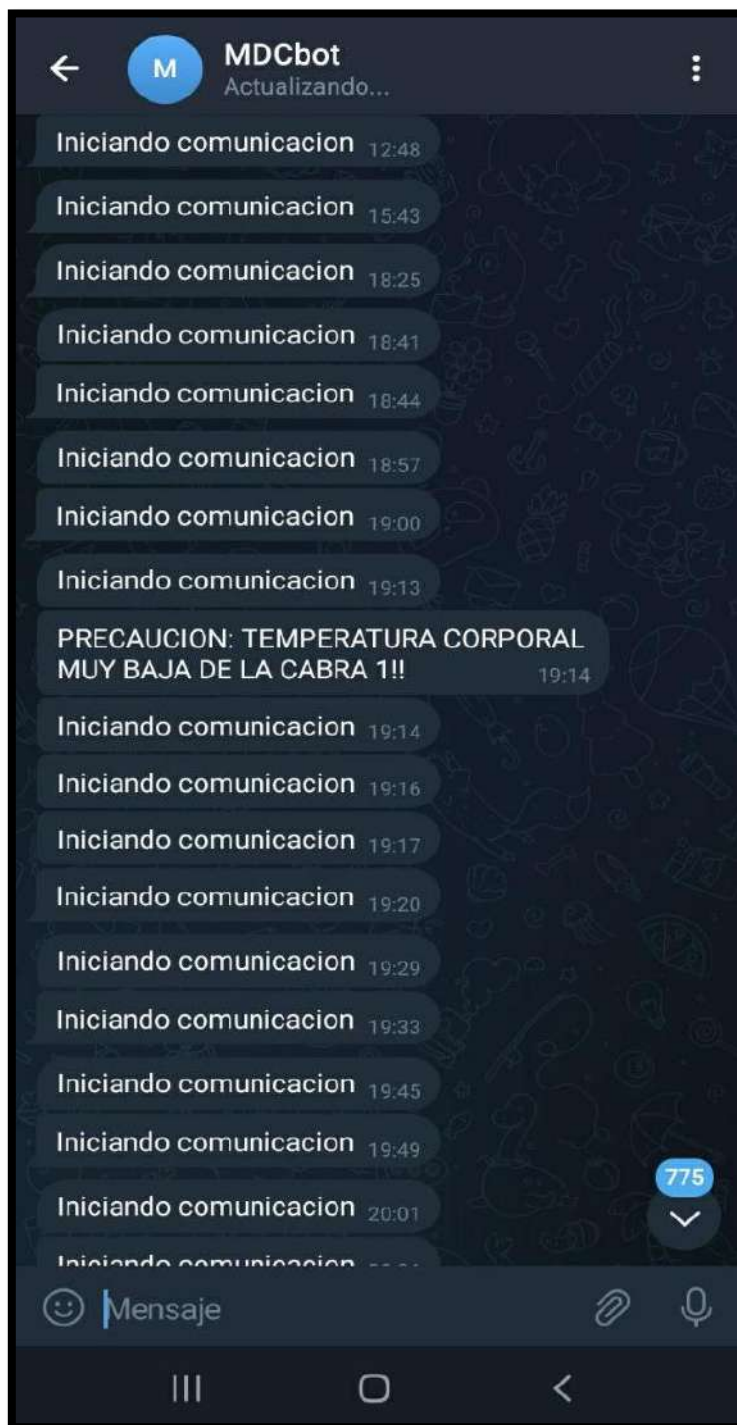


Figura 40 Notificacion de TelegramBOT

Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones
Ronaldo Miguel Almirón Cáceres - 2023

3. Análisis económico

A continuación, se presenta los costos monetarios para la implementación del proyecto distribuidos en 3 partes los cuales son Componentes electrónicos, diseño e impresión de la caja contenedora, mano de obra. Por último, se detalla el costo total para la elaboración del presente proyecto, es importante destacar que todo el análisis se realiza en base al monitoreo de dos cabras, para el caso de un número mayor de cabras se debe hacer un nuevo análisis.

| COMPONENTE | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (GS) | COSTO TOTAL(GS) |
|------------------------------|-----------------|-----------------------------|------------------------|
| NODEMCU ESP8266 | 3 | 85.000 | 255.000 |
| SENSOR DHT22 | 1 | 35.000 | 35.000 |
| SENSOR DS18B20 | 2 | 40.000 | 80.000 |
| SENSOR SEN-11574 | 2 | 35.000 | 70.000 |
| JUMPER | 4 packs | 15.000 | 60.000 |
| PLACA DE PRUEBA | 2 | 20.000 | 40.000 |
| BORNERA | 8 | 3.500 | 28.000 |
| INTERRUPTOR | 3 | 7.000 | 21.000 |
| BATERIA | 8 | 25.000 | 200.000 |
| CAUTIN | 1 | 50.000 | 50.000 |
| ESTAÑO | 1 rollo | 75.000 | 75.000 |
| PLACA DE COBRE | 2 | 20.000 | 20.000 |
| CINTILLOS | 1 paquete | 15.000 | 15.000 |
| CINTA AISLADORA | 1 rollo | 5.000 | 5.000 |
| PISTOLA DE SILICONA | 1 | 30.000 | 30.000 |
| FORRO TERMOCONTRAIBLE | 2 metros | 4.000 | 8.000 |
| CABLE USB B8 | 5 | 15.000 | 75.000 |

**Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras
del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones
Ronaldo Miguel Almirón Cáceres - 2023**

| | | | |
|-----------------------|---|--------|-----------|
| PASTA TERMICA | 1 | 28.000 | 28.000 |
| COSTO SUBTOTAL | | | 1.095.000 |

Tabla 6 Componentes del circuito general

En la Tabla 6 se agregaron todos los dispositivos electrónicos así como también otros componentes que no son electrónicos ni eléctricos pero que hacen parte del ensamblado del circuito final

| COMPONENTE | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (GS) | COSTO (GS) | TOTAL |
|-----------------------------|--------------------|-------------------------|---------------|-------|
| Rollo PLA | 1 rollo | 146.000 | 146.000 | |
| Bolsa burbuja para embalaje | 3 metros cuadrados | 5.000 | 15.000 | |
| Goma eva | 4 | 4.500 | 18.000 | |
| Collar | 2 | 20.000 | 40.000 | |
| COSTO SUBTOTAL | | | 219.000 | |

Tabla 7 Componentes de la caja contenedora

**Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras
del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones
Ronaldo Miguel Almirón Cáceres - 2023**

| SERVICIO | ENTIDAD O PROFESIONAL | COSTO DE SERVICIO POR HORA O POR ELABORACION | CANTIDAD DE HORAS/CANTIDAD DE UNIDADES | COSTO TOTAL |
|-----------------------------------|---------------------------------------|--|--|------------------|
| Impresión 3D | Empresa de Diseños | 40.000 | 2 | 80.000 |
| Programación y diseño del sistema | Ingeniero Junior | 2.000.000 | 1 | 2.000.000 |
| Ensamblaje de circuito | Técnico Electrónico | 300.000 | 1 | 300.000 |
| Manejo de animales | Médico veterinario o Ing. Zootecnista | 200.000 | 1 | 200.000 |
| Servicio de Internet | Empresa de telefonía | 75.000 | 1 mes | 75.000 |
| COSTO SUBTOTAL | | | | 2.655.000 |

Tabla 8 Mano de Obra

| COMPONENTES/SERVICIOS | COSTO SUBTOTAL |
|------------------------------------|------------------|
| Componentes electrónicos | 1.095.000 |
| Componentes de la caja contenedora | 219.000 |
| Servicio de mano de obra | 2.655.000 |
| COSTO TOTAL | 3.969.000 |

Tabla 9 Resumen final de costos y el Costo Total

4. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

A través de varias investigaciones sobre estrés calórico en rumiantes caprinos, sus características y las variables preponderantes fue posible determinar el diseño del circuito y el Sistema en general, los sensores, módulos y la plataforma para la comunicación y notificaciones correspondientes que mejor se ajustaron para el propósito del trabajo.

En cuanto al diseño de la caja contenedora del circuito resulto muy favorable ajustándose a las medidas necesarias, siendo compacto, resistente, ligero y práctico para instalar junto con el collar en la zona del cuello de las cabras.

Los distintos sensores no presentaron mucha dificultad en su instalación, pero si requirió de una revisión constante del estado en las que se encontraba, teniendo que rasurar la zona en un intervalo de 7 días para asegurar que las mismas queden bien fijadas con los adhesivos.

Los resultados arrojados por las pruebas superaron las expectativas, realizando mediciones bastantes precisas pudiendo ser visualizados correctamente en la plataforma tanto en tiempo real, así como también en las copias de seguridad en formato xls. Las notificaciones se activaron correctamente a tiempo en cada caso particular y no se encontró ninguna notificación por fuera de los registros de anomalía.

Realizando una comparación con el trabajo mencionado en la sección de Antecedentes mas precisamente en las contrastaciones de los sensores en común (Sensor de temperatura corporal DS18B20 Y Sensor de ritmo cardiaco SEN-11574) arrojando resultados similares. En la tabla se puede observar los resultados de la caracterización de estos sensores en comparación a los obtenidos con el presente trabajo.

**Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras
del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones
Ronaldo Miguel Almirón Cáceres - 2023**

| SENSOR | Error porcentual 1 | Error porcentual 2 |
|------------|--------------------|--------------------|
| SEN DS18B0 | 1.64 % | 0,9160 % |
| SEN-11574 | 1.84 % | 1,598 % |

Tabla 10 Comparación de errores porcentuales

Donde el Error porcentual 1 corresponde al trabajo tomado como antecedente y el Error porcentual 2 al presente trabajo.

En cuanto a las pruebas realizadas tuvieron ciertos inconvenientes en la colocación de los sensores al igual que en este trabajo haciendo la salvedad de las diferentes características entre el ganado bovino y caprino.

Cabe destacar que las mediciones realizadas en el trabajo de referencia no se realizaron de forma constante como si aconteció en el trabajo actual.

5. CONCLUSION Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusión.

Después de un arduo trabajo en la recabación de datos en lo que concierne al Estrés térmico en caprinos, información sobre tecnología IoT, comunicación y aplicaciones móviles se pudo determinar el método más apropiado que se ajusta a los objetivos planteados para posteriormente identificar la instrumentación necesaria para la captura de las variables en estudio (Temperatura ambiente, humedad relativa, frecuencia cardiaca y temperatura corporal) para el óptimo funcionamiento del sistema de monitoreo.

El diseño de sistema de monitoreo se logró con un resultado óptimo siendo capaz de enviar los datos obtenidos por parte de los sensores a la plataforma ThingSpeak para que a través de la Interfaz gráfica sea vista de una manera sencilla de interpretar para el usuario final. Cabe destacar que la Tecnología IoT brinda bastante solución para lograr los objetivos del proyecto gracias a la amplia gama de soluciones en el aspecto de la comunicación, control y automatización más específicamente de forma inalámbrica entre módulos de comunicación y sensores, resaltando que existen soluciones a lo que muchas veces se consideran como barreras limitantes dentro de la Ingeniería de control.

Sin dudas durante todo el proceso surgieron problemas que conllevaron un gran desafío para la implementación óptima e íntegra del sistema, desde aspectos inherentes a la rama de la producción animal como lo es el manejo de las cabras y su comportamiento ofreciendo cierta resistencia para su estudio, hasta aspectos técnicos para la comunicación entre los módulos, los sensores y la plataforma, teniendo que indagar bastante para encontrar una que se ajuste mejor con los propósitos establecidos.

Proyecto de Sistema electrónico para el monitoreo y registro de variables indicadoras del Estrés calórico en caprinos de producción lechera dentro de galpones
Ronaldo Miguel Almirón Cáceres - 2023

Se considera que este Sistema de Monitoreo será de gran ayuda para el área de producción animal, mas específicamente para la producción lechera de cabras dentro de galpones, ofreciendo una herramienta con la cual el productor tendrá una mayor certeza del estado de sus animales, así como también del entorno en donde se desenvuelven, pudiendo prever perdidas económicas ocasionados por el Estrés calórico.

El circuito final ensamblado es compacto, robusto y práctico para instalar, el entorno grafico donde se visualizan los resultados es bastante sencillo e intuitivo para una fácil interpretación por parte del usuario, además de poder descargar los registros en una hoja de cálculos para un análisis más detallado si se desea. Desde el punto de vista económico se concluye que el costo final del Sistema es accesible considerando que resulta como una herramienta de gran utilidad para el Productor.

5.2. Recomendaciones.

En base a lo registrado en el proceso de diseño, construcción e implementación del Sistema de monitoreo de parámetros de estrés calórico en caprinos, se realizan las siguientes recomendaciones:

- Buscar alternativas para la alimentación del circuito de manera a prolongar la duración del monitoreo sin muchas interrupciones
- Se recomienda implementar el monitoreo de un nuevo parámetro el cual es la frecuencia respiratoria de manera a abarcar un mayor control de bienestar animal
- Utilizar el módulo de comunicación NodemCu esp32 que presenta mejores características técnicas a comparación del módulo NodemCu esp8266

Con la implementación de dichas recomendaciones se deberá realizar un nuevo análisis económico para determinar la factibilidad económica del nuevo sistema.

6. Bibliografía.

- [1] S. R. Dobson H, «What is stress, and how does it affect reproduction?,» de *Animal Reproduction*, 2000, pp. 60-61.
- [2] U. Bernabucci, Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants, *Animal* 4.7, 2010.
- [3] J. E. J. Ghiano, «Producción, comportamiento y bienestar de vacas lecheras sometidas a estrés calórico en la Argentina,» Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 2019.
- [4] E. Orrego, «PROPUESTA DE GANADERIA PARAGUAYA SOSTENIBLE,» *Ministerio del ambiente y desarrollo sostenible (MADES)*, p. 209, 2022.
- [5] A. A. Salama, Efecte de l'estrès per calor en cabres productores de llet, Ruminant Research Group, & Ruminant Research Group., 2015.
- [6] G. F, «Curso II de Medicina Veterinaria,» 2003.
- [7] A. G. Soriano, «Dispositivos móviles,» *Revista Seguridad Universidad Nacional Autonoma de Mexico*.
- [8] K. Aston, Internet of the Things, Disponible en <http://www.rfidjournal.com/article/print/4986>, 1999.
- [9] N. y. M. (. Instituto Nacional de Tecnología, Norma Paraguaya NP 2 028 13 Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión., Asunción, 2013.
- [10] A. R. Cedeño, «EFECTO DEL ESTRÉS CALÓRICO EN EL BIENESTAR ANIMAL, UNA REVISIÓN EN TIEMPO DE CAMBIO CLIMÁTICO,» *Revista_ESPAMCIENCIA*, vol. vol.2, nº 1º, pp. 15-25, jun. 2011.
- [11] E. Araúz, «Importancia del microambiente sobre la produccion de pequeños,» pp. 12-21, 2010.
- [12] S. H., «The evolution of the stress concept,» *American Scientist*, 1973, p. 61.
- [13] J. P. Montero, «Una aproximación a algunos elementos de Internet de las cosas,» *Diario La Ley*, p. pág. 15, 2015.
- [14] C. P, «Medio ambiente y reproducción animal,» *MundO Zootecnia*, pp. 2-14, 1993.
- [15] O. E. B. L. S. F. W. F. Uribe-Velásquez LF, «Efeitos do estresse termico nas concentrações plasmáticas de progesterona (P4) e estradiol 17-b (E2) e temperatura retal em cabras da raça Pardo Alpina,» *Bras Zoot*, 2001.

7. ANEXO.

7.1. ANEXO A. Vista frontal del Galpón donde se albergan las cabras



7.2. ANEXO B. Código para la captación de datos del Sensor SEN-11574

```
2  #define USE_ARDUINO_INTERRUPTS true // Set-up low-level interrupts for most accurate BPM math.
3  #include <PulseSensorPlayground.h> // Includes the PulseSensorPlayground Library.
4
5  // Variables
6  const int PulseSensorHRWire = A0; // PulseSensor PURPLE WIRE connected to ANALOG PIN 0 // The on-board Arduino LED, close to PIN 13.
7  int Threshold = 600; // Determine which Signal to "count as a beat" and which to ignore.
8  int Signal; // Use the "Getting Started Project" to fine-tune Threshold Value beyond default setting.
9  int calc; // Otherwise leave the default "550" value.
10 |-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
11
12
13 void setup() {
14
15     Serial.begin(9600);
16
17
18 }
19
20
21
22 void loop() {
23
24     Signal = analogRead(PulseSensorHRWire);
25     calc = Signal - 725;
26     Serial.println(calc);
27
28     delay(5000); // considered best practice in a simple sketch.
29 }
```

7.3. ANEXO C Lógica de captación de datos por parte del Sensor DHT22

```
67 void loop() {
68
69 float h = dht.readHumidity(); //Se lee la humedad
70 float t = dht.readTemperature(); //Se lee la temperatura
71 //Se imprimen las variables
72 Serial.println("Humedad: ");
73 Serial.println(h);
74 Serial.println("Temperatura: ");
75 Serial.println(t);
76 delay(5000); //Se espera 2 segundos para seguir leyendo //datos
77
78
79 ThingSpeak.writeField(myChannelNumber, 1, h, myWriteAPIKey);
80 delay(20000);
81
82
83 ThingSpeak.writeField(myChannelNumber, 2, t, myWriteAPIKey);
84 delay(20000);
--
```

7.4. ANEXO D. Configuración del Módulo de comunicación para la conexión a la red.

```
35 void setup()
36 {
37     Serial.begin(115200);
38     delay(1000);
39     sensor.begin();
40
41     Serial.print("Connecting to: ");
42     Serial.println(ssid);
43
44
45     WiFi.begin(ssid, pass);
46
47     while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
48     {
49         delay(100);
50         Serial.print("");
51     }
52     Serial.println("");
53     Serial.println("***WiFi connected***");
54
55     Serial.println(WiFi.localIP());
56     configTime(0, 0, "pool.ntp.org"); // obtenemos la Hora UTC via NTP
57     client.setTrustAnchors(&cert); // Agregamos el certificado Raiz de api.telegram.org
58     bot.sendMessage(CHAT_ID, "Iniciando comunicacion", "");
59     WiFi.begin(ssid, pass);
60
61     ThingSpeak.begin(client);
62 }
```

7.5. ANEXO E. Hoja de Cálculo Importado de la Plataforma ThingSpeak

| | created_at | Temperatura ambiente | Humedad relativa | Temp cabra 1 | Temp cabra 2 | Ritmo cabra 1 | Ritmo cabra 1 | Estado |
|----|---------------------------|----------------------|------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|--------|
| 1 | 2023-09-19T02:40:49+00:00 | 21 | 54 | 37.9 | 38.2 | 78 | 83 | 1 |
| 2 | 2023-09-19T02:41:15+00:00 | 22 | 54.5 | 37.9 | 38.3 | 79 | 82 | 1 |
| 3 | 2023-09-19T02:41:45+00:00 | 21.8 | 54.5 | 37.8 | 38.2 | 78 | 83 | 1 |
| 4 | 2023-09-19T02:42:11+00:00 | 22.1 | 55 | 37.8 | 38.2 | 78 | 82 | 1 |
| 5 | 2023-09-19T02:42:42+00:00 | 22 | 55.3 | 37.8 | 38.3 | 79 | 80 | 1 |
| 6 | 2023-09-19T02:43:07+00:00 | 22.3 | 55.3 | 37.9 | 38.2 | 81 | 80 | 1 |
| 7 | 2023-09-19T02:43:38+00:00 | 22.3 | 55.4 | 38 | 38.2 | 81 | 80 | 1 |
| 8 | 2023-09-19T02:44:04+00:00 | 22.3 | 55.1 | 38 | 38.2 | 81 | 80 | 1 |
| 9 | 2023-09-19T02:44:34+00:00 | 22.2 | 55 | 38.2 | 38.2 | 82 | 80 | 1 |
| 10 | 2023-09-19T02:45:00+00:00 | 22.3 | 55.2 | 38.1 | 38.2 | 80 | 80 | 1 |
| 11 | 2023-09-19T02:45:31+00:00 | 22.1 | 55.2 | 38 | 38.2 | 82 | 80 | 1 |
| 12 | 2023-09-19T02:45:56+00:00 | 22 | 55.1 | 38.4 | 38.5 | 78 | 82 | 1 |
| 13 | 2023-09-19T02:46:27+00:00 | 22.1 | 55.3 | 38.6 | 38.2 | 80 | 82 | 1 |
| 14 | 2023-09-19T02:46:53+00:00 | 22 | 55.4 | 38.5 | 38.3 | 80 | 82 | 1 |
| 15 | 2023-09-19T02:47:23+00:00 | 22 | 55.6 | 38.5 | 38.8 | 80 | 83 | 1 |
| 16 | 2023-09-19T02:47:49+00:00 | 22.1 | 57 | 38.6 | 38.2 | 82 | 82 | 1 |
| 17 | 2023-09-19T02:48:20+00:00 | 21.9 | 57 | 38.5 | 38.4 | 81 | 80 | 1 |
| 18 | 2023-09-19T02:48:45+00:00 | 21.9 | 57.1 | 38.7 | 38.6 | 80 | 80 | 1 |
| 19 | 2023-09-19T02:49:16+00:00 | 21.8 | 57 | 38.5 | 38.6 | 80 | 79 | 1 |
| 20 | 2023-09-19T02:49:41+00:00 | 21.9 | 57.1 | 38.5 | 38.2 | 79 | 82 | 1 |
| 21 | | | | | | | | |

7.6. ANEXO F. Librerías necesarias para el funcionamiento de TelegramBOT

```
4 #include <ESP8266WiFi.h>
5 #include <ArduinoJson.h>
6 #include <ArduinoJson.hpp>
7 #include <UniversalTelegramBot.h>
8 #include <WiFiClientSecure.h>
```

7.7. ANEXO G. Función para enviar mensajes a TelegramBOT

```
if ((t <= 35 && t > 32) && (h >= 60 && h <90)){  
    estado = 3;  
    ThingSpeak.writeField(myChannelNumber, 7, estado, myWriteAPIKey);  
    bot.sendMessage(CHAT_ID, "ALERTA: NIVEL DE ESTRES TERMICO 3!!", "");  
}
```

7.8. ANEXO H. Impresión de la caja contenedora

