

Desarrollo de un sistema de monitoreo de temperatura corporal y frecuencia respiratoria
para ganado bovino

Luis Jairo Guzmán López
Andrés Felipe Tello Díaz

Universidad CESMAG
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Electrónica
San Juan de Pasto
2025

Desarrollo de un sistema de monitoreo de temperatura corporal y frecuencia respiratoria
para ganado bovino

Luis Jairo Guzmán López

Andrés Felipe Tello Díaz

Informe final de trabajo de grado en la modalidad de Estancia en Línea presentado al
Comité Curricular del Programa de Ingeniería Electrónica para optar por el título de Ingeniero
Electrónico.

Asesor

William Andrés Arévalo Terán

Universidad CESMAG

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Electrónica

San Juan de Pasto

2025

Nota de Aceptación

Aprobado por el Comité Curricular en cumplimiento de los
requisitos exigidos por la Universidad CESMAG
para optar al título de Ingeniero Electrónico

William Andrés Arévalo Terán

Asesor

Miller Manuel Rúales Luna

Jurado

Olger Ferledy Erazo de la Cruz

Jurado

Página de nota de exclusión de responsabilidad intelectual

“El pensamiento que se expresa en esta obra es
exclusivamente responsabilidad de su autor y no
compromete la ideología de la Universidad
CESMAG”

Dedicatoria

Con el corazón lleno de gratitud, elevo mi agradecimiento más sincero a Dios, fuente de sabiduría y amor eterno. Su gracia ha guiado cada uno de mis pasos, brindándome fortaleza en la debilidad, esperanza en la adversidad y luz en los momentos de oscuridad. Este logro es un testimonio de Su infinita misericordia y una evidencia constante de Su presencia amorosa en mi vida.

A mis padres, quienes han sido mi sostén en las dificultades y mi guía en los momentos de incertidumbre, les dedico este logro con inmenso amor y profunda admiración. Su ejemplo, esfuerzo y sacrificio han sido la base sobre la cual he edificado mis sueños. Que su amor y enseñanzas sigan iluminando mi camino hacia nuevos horizontes.

A mis hermanos, compañeros fieles en cada etapa de la vida, les agradezco por su apoyo constante y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Hemos compartido alegrías y desafíos, creando recuerdos que guardaré por siempre en mi corazón. Que nuestra unión siga siendo una fuente de fuerza, alegría y consuelo en el porvenir.

A mi asesor, guía sabio y mentor comprometido, le expreso mi más profundo agradecimiento por su orientación certera y su apoyo incondicional a lo largo de este proceso académico. Su paciencia, conocimiento y compromiso fueron claves para mi desarrollo personal y profesional. Que su ejemplo siga inspirándome a crecer y superarme cada día.

A mi compañero de tesis y a los amigos que se han convertido en mi segunda familia, les agradezco por su amistad genuina, su lealtad incansable y por estar presentes en los momentos de risa y de desafío. Hemos compartido vivencias que trascienden el tiempo y la distancia. Que nuestra amistad continúe siendo un refugio de esperanza y alegría a lo largo de nuestras vidas.

Luis Jairo Guzmán López

Dedicatoria

A lo largo de este proyecto de grado, he recibido apoyo y orientación de diversas personas e instituciones, a las cuales me gustaría expresar mi más profundo agradecimiento.

En primer lugar, quiero agradecer a William Arévalo, quien, con su paciencia, conocimientos y guía, hizo posible la realización de este proyecto. Su experiencia y consejos fueron fundamentales para el desarrollo y finalización de este trabajo.

Agradezco también a mis profesores por sus valiosas aportaciones y por haberme brindado su tiempo y apoyo durante todo este proceso.

Quiero extender mi gratitud a la universidad Cesmag por facilitarme el acceso a los recursos necesarios para la investigación y por proporcionar un ambiente propicio para el desarrollo de este proyecto.

No puedo dejar de mencionar a mis compañeros y amigos, quienes me acompañaron durante esta travesía académica, ofreciendo su colaboración, motivación y apoyo incondicional.

A mi familia, quienes siempre creyeron en mí y me brindaron su amor, apoyo emocional y financiero. Sin su constante aliento y sacrificio, este logro no hubiera sido posible.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron a que este proyecto se hiciera realidad. A todos ustedes, muchas gracias.

Andrés Felipe Tello Díaz

Contenido

Nota de Aceptación.....	3
Página de nota de exclusión de responsabilidad intelectual.....	4
Introducción	10
1. El problema de Investigación	12
1.1 Objeto de investigación	12
1.2 Línea de investigación.....	12
1.3 Sub línea: Control de procesos.....	12
1.4 Planteamiento o Descripción del problema	12
1.5 Formulación del problema	16
1.5.1 Objetivo General.....	16
1.5.2 Objetivos Específicos.....	17
1.6 Justificación	17
1.7 Viabilidad.....	18
1.8 Delimitación.....	18
2. Tópicos del Marco Teórico	20
2.1 Antecedentes	20
2.1.1 Diseño de un sistema de monitoreo para ganado bovino utilizando tecnología LPWAN	20
2.1.2 Diseño, desarrollo y evaluación preliminar de un novedoso monitor de signos vitales llevable para vacunos	20
2.1.3 Sistema basado en internet de las cosas para el monitoreo de ganado vacuno usando una red LORAWAN	21
2.1.4 Prototipo de collar de monitoreo para ganado usando tecnología LPWAN ..	22

2.1.5	Clasificación de alta precisión de las conductas de descanso y alimentación del ganado mediante el uso de un sensor acelerómetro triaxial colocado en un collar.	22
2.2	Supuesto teóricos de la Investigación.....	22
2.2.1	Ganadería de precisión.....	22
2.2.2	Tipo de razas y características del ganado bovino en Nariño	23
2.2.3	Enfermedades en ganado bovino	23
2.2.4	Comportamiento del ganado según temperatura y altura sobre nivel del mar 24	
2.2.5	IoT (Internet of Things)	24
2.2.6	Redes de comunicación inalámbricas	24
2.2.7	Instrumentación	25
2.3	Definición de conceptos	26
2.3.1	Error relativo porcentual	26
3.	Metodología.....	27
3.1	Secuencia metodológica	27
3.1.1	Objetivo 1: Diseñar un sistema de medición de temperatura corporal y frecuencia respiratoria para ganado bovino.	27
3.1.2	Objetivo 2: Implementar el sistema en el ganado bovino.	27
3.1.3	Objetivo 3: Evaluar la eficacia y veracidad de los datos obtenidos	28
3.2	Técnicas de recolección de la información.....	28
3.2.1	Validez de la técnica	28
3.2.2	Confiabilidad de las técnicas de recolección.....	28
3.3	Instrumentos de recolección de la información	29
4.	Resultados	30
4.1	Diseñar un sistema de medición de temperatura y frecuencia respiratoria ganado bovino.	30

4.1.1	Análisis de requerimientos del diseño	33
4.1.2	Consumo por escenarios	34
4.1.3	Autonomía del sistema.....	36
4.1.4	Selección del tipo de red para comunicación inalámbrica en el sistema de monitoreo. 36	
4.1.5	Pruebas de funcionamiento del sistema electrónico y sistemas de comunicación.38	
4.1.6	Prueba de alcance de los módulos LoRa en sistema de monitoreo	47
4.1.7	Diseño del arnés.....	47
4.1.8	Implementación del arnés en el animal.....	48
4.1.9	Interfaz de visualización de los datos en ThingSpeak	49
5.	Análisis y discusión de resultados	52
	Conclusiones	61
	Recomendaciones	62
	Referencias	63

Introducción

La ganadería es una de las actividades económicas más importantes en Colombia, ya que anualmente se producen más de 7.000 millones de litros de leche y más de 800.000 toneladas de carne bovina que van a la mesa de los colombianos y para las exportaciones al mundo, como aporte a la permanencia de la seguridad alimentaria mundial (Federación Colombiana de Ganaderos - Fedegán, 2020).

Durante el segundo trimestre de 2024, el valor aportado por las actividades de agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca alcanzó el 9,8 % del total de la economía y el 9 % del PIB. Estos datos refuerzan la importancia del sector agropecuario como un componente clave para el desarrollo económico y el bienestar social del país (UPRA, 2024).

Dado que el país requiere mejorar el estatus sanitario de los productos que tienen un potencial de exportación, para lograr la admisibilidad de la carne, leche y sus productos derivados, se identificó la necesidad de capacitar a los ganaderos para cumplir lo reglamentado por el ICA mediante los Decretos 1500 de 2007 y 616 de 2006, mediante las Resoluciones 2341 de 2007 y 3585 de 2008, respectivamente, para optar por la certificación de sus explotaciones. (Federación Colombiana de Ganaderos - Fedegán, s/f)

El proyecto plantea apoyar al ganadero en mejorar el manejo del ganado bovino como requisito principal de la certificación de buenas prácticas en el cuidado del ganado, con el fin de tener un impacto en la economía del país debido a que si se tiene una buena gestión y cuidado del ganado aumentará la producción de los productos anteriormente mencionados y esto recae en que más fincas serán acreditadas para incrementar los bienes que el mismo sector genera.

El monitoreo del estado de salud y bienestar del bovino, mediante sensores instalados de forma no invasiva, permite obtener información precisa y continua sobre el animal. Este seguimiento no solo contribuye a garantizar su bienestar, sino que también repercute directamente en las finalidades productivas para las que ha sido criado, como la obtención de leche o carne, ya que un buen estado de salud influye en la calidad y rendimiento de estos productos, teniendo en cuenta que el monitoreo del animal es importante para el ganadero se realizara un control continuo con la medición de los datos de temperatura y de frecuencia respiratoria para que el campesino o ganadero tenga en cuenta para el cuidado del animal.

Se presenta en el documento la problemática del proyecto, la justificación, objetivos tanto general como específicos, proyectos anteriormente implementados en países y algunos instrumentados en otras regiones del país, también la metodología utilizada para alcanzar los objetivos planteados, así como los resultados obtenidos del funcionamiento del prototipo del sistema de monitoreo para frecuencia respiratoria y temperatura corporal para ganado bovino y por último las conclusiones.

1. El problema de Investigación

1.1 Objeto de investigación

Sistema de monitoreo de temperatura corporal y frecuencia respiratoria para ganado bovino.

1.2 Línea de investigación

La línea de sistemas de automatización y control de la Universidad CESMAG desarrolla procesos investigativos orientados al modelamiento, simulación, diseño, desarrollo y evaluación de algoritmos de control, sistemas de control, sistemas inteligentes, control de procesos industriales, sistemas embebidos, acondicionamiento y procesamiento de señales, robótica, domótica e inteligencia artificial. (Programa de Ingeniería Electrónica, 2015)

1.3 Sub línea: Control de procesos

Estudia el diseño e implementación de controladores que permitan regular las variables de un sistema o proceso con el fin de lograr un funcionamiento deseado, buscando mejorar la productividad y la eficiencia de los procesos, como también la reducción de costos de implementación y el impacto ambiental del mismo. Entre las temáticas que aborda la línea se encuentran el control en procesos industriales, sistemas inteligentes y control visual.

1.4 Planteamiento o Descripción del problema

Las acciones del productor ganadero en relación con el ganado bovino deben centrarse principalmente en asegurar su bienestar. Para llevar a cabo esta labor de manera eficaz, es esencial disponer de información clara y actualizada que facilite la toma de decisiones adecuadas en el cuidado y manejo de los animales, dentro de esta información lo que normalmente se debe conocer es el comportamiento según la alimentación, cuando tienen sed, el desplazamiento que frecuentan, presencia de malestar o dolor, medición de temperatura corporal, revisar frecuencia respiratoria, detectar indicios en la aparición de estrés calórico, nerviosismo, conocer el peso del animal, conocer antecedentes del animal, con el objetivo de tomar tratamientos médicos asociados al manejo dentro de la finca.

Algunas de las acciones tomadas pueden ser tardías, puesto que ciertos síntomas en el bovino no son perceptibles en el momento, sino que son evidenciables en un largo periodo de tiempo, generando que algunas enfermedades evolucionen y se agraven.

Existen enfermedades en bovinos que no presentan síntomas evidentes de forma inmediata, lo que dificulta su detección oportuna. A continuación, se mencionan dos enfermedades que requieren de un control riguroso para su identificación y manejo adecuado.

En primer lugar, la brucelosis bovina es una enfermedad causada por una infección bacteriana que afecta principalmente a las hembras en etapa reproductiva, provocando abortos y alteraciones en la fertilidad. Los machos también pueden verse comprometidos, desarrollando orquitis y epididimitis, lo que conlleva a una disminución en su capacidad reproductiva. Si no se aplican medidas de control eficaces, la enfermedad puede propagarse fácilmente entre los animales del hato e incluso transmitirse a los seres humanos. (Servicio Agrícola y Ganadero, s/f)

Los síntomas de la brucelosis pueden desaparecer durante semanas o incluso meses, pero tienden a reaparecer. Entre los signos más comunes se encuentran la inflamación del revestimiento interno del corazón, dolor e hinchazón en las articulaciones, artritis en los huesos de la columna vertebral y molestias en las articulaciones que conectan la columna con la pelvis. (Mayo Clinic, 2021)

Por otro lado, la leucosis enzoótica bovina es una enfermedad viral, de naturaleza benigna o maligna, que afecta principalmente al ganado lechero adulto. Esta patología genera tumores en el tejido linfático. Aunque puede infectar a un gran número de animales dentro del rebaño, solo un pequeño porcentaje desarrolla síntomas clínicos. No obstante, los animales infectados producen anticuerpos que permanecen en su organismo de por vida. (Ministerio de Agricultura, 2019)

Los síntomas pueden incluir anemia, agrandamiento parcial y simétrico de los ganglios linfáticos palpables, aparición de masas tumorales bajo la piel en distintas zonas del cuerpo, pérdida de apetito y pérdida de peso. (Prada, s/f)

Ante la sospecha de enfermedades en bovinos que requieren observación, el ganadero debe priorizar su seguridad personal y minimizar riesgos. Es crucial aislar de inmediato al animal enfermo para evitar el contacto con otros ejemplares sanos y susceptibles. Se debe realizar una observación detallada del estado corporal del animal, su apetito, manera de caminar (cojeras), condición del pelaje (si está erizado o áspero), así como signos de dolor como rechinar de dientes o bramidos continuos. Es recomendable registrar las constantes fisiológicas al menos dos veces al día mientras se espera la llegada del veterinario.

También es importante revisar cuidadosamente todos los lotes para detectar posibles casos adicionales y solicitar asistencia si se considera necesario. Al momento de la visita del veterinario, se deben entregar todos los registros realizados y describir con claridad los síntomas observados. Si el experto sospecha de una enfermedad de control oficial, se debe notificar de inmediato al Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Finalmente, es esencial seguir rigurosamente todas las indicaciones y tratamientos prescritos por médico veterinario.(FEDEGAN, 2021a)

En la actualidad, la evaluación de los signos vitales en el ganado bovino se realiza predominantemente mediante métodos convencionales, como el uso de termómetros y estetoscopios. Si bien estas técnicas resultan eficaces para obtener parámetros fisiológicos básicos, su aplicación en el campo suele estar restringida a una frecuencia semanal, principalmente debido a la limitada disponibilidad de personal capacitado y a las dificultades logísticas para acceder al animal con regularidad. Conociendo lo anterior, existen proyectos en Colombia que se interesaron en este ámbito, de los cuales han implementado tecnología llamada ganadería de precisión (CONtextoganadero, 2023) Se enfocan principalmente en procesos de monitoreo mediante tecnología GPS para la localización del bovino, así como en la medición de parámetros fisiológicos como la temperatura corporal y la frecuencia respiratoria. Además, se emplea inteligencia artificial para analizar los patrones de comportamiento, con el objetivo de obtener información continua que permita detectar de manera temprana posibles signos de enfermedad.

Con base a CEDAIT, Centro de Desarrollo Agro Biotecnológico de Innovación e Integración Territorial afirma que con ayuda de tecnología se puede generar un sistema

sostenible para la producción ganadera con el fin de que esta actividad sea más eficiente.
(NCyTU, 2021)

Por consiguiente, se hace énfasis en variables de temperatura corporal y frecuencia respiratoria, ya que pueden ser un buen indicador de alguna irregularidad con respecto a salud del animal, por ejemplo, una mastitis bovina produce un fuerte malestar en el animal reflejado en la inflamación de glándulas mamarias y un síntoma de ello es el aumento de temperatura. Por otro lado, la presencia de estrés calórico eleva el ritmo de la frecuencia respiratoria en el bovino, teniendo en cuenta que la frecuencia normal de respiración es de 10 a 30 RPM (respiraciones por minuto), según Fernández Mayer, “bajo estrés térmico puede variar entre 65 a 120 RPM (respiraciones por minuto)”.(Rodríguez, 2024)

Normalmente, la temperatura corporal de los bovinos oscila entre 37.5°C y 38.9°C, y la frecuencia respiratoria varía entre 10 y 30 respiraciones por minuto. Cuando un bovino está expuesto a estrés calórico, esto puede afectar su producción de leche, provocar cambios metabólicos en la ubre, aumentar la mortalidad y debilitar el sistema inmune. El estrés calórico provoca un aumento en la temperatura corporal del animal, lo que puede favorecer la aparición de infecciones. Asimismo, se observa una aceleración del ritmo respiratorio como una respuesta fisiológica a dicha condición.(CONtextoGanadero, 2023)

Enfermedades como el síndrome respiratorio bovino pueden ser causadas por una variedad de agentes infecciosos, incluyendo bacterias, virus y parásitos, que causan graves problemas de salud al ganado. La presencia de esta enfermedad pone en desventaja al animal y afecta a su salud general. Se requiere un tratamiento adecuado para reducir estos efectos y reducir síntomas como depresión, fiebre, tos y secreción nasal.(CONtextoganadero, 2022)

Teniendo en cuenta lo anterior, se encuentra la oportunidad de investigación y desarrollo de un sistema de monitoreo de temperatura corporal y frecuencia respiratoria para ganado bovino, dos variables de estudio importantes para recolectar información de cada medición con el objetivo de detectar cambios importantes de las variables y brindar esta información para tener un monitoreo constante del estado del animal, asumiendo el reto de crear un sistema de monitoreo no invasivo para el bovino.

La ganadería en Colombia ha tardado en adoptar tecnologías avanzadas para mejorar el manejo del entorno animal, algunas de las razones son: falta de acceso a tecnología, muchas áreas rurales de Colombia no tienen un servicio de internet de alta velocidad o equipos y

maquinaria moderna; tecnología a menudo puede ser costosa de adquirir para ciertas implementaciones, por ende, es un inconveniente para los pequeños ganaderos que tienen recursos financieros limitados. La limitada inversión y apoyo por parte de entidades gubernamentales ha dificultado la adopción de tecnologías y equipos modernos por parte de los ganaderos. Sin un respaldo institucional sólido que promueva el mejoramiento continuo del sector, la implementación de herramientas innovadoras para optimizar la producción ganadera se vuelve poco accesible para muchos productores.

Según la encuesta de hogares ENTIC, el 48,6% de los hogares de zonas rurales en Colombia sin acceso a Internet citan los altos costes como principal motivo. El 23,1% afirmó que no veía necesidad de conexión, mientras que el 11,1% citó la falta de cobertura de red en su zona. Además, el 8,5% no sabía utilizar Internet, el 6,2% carecía de dispositivos de conexión y el 2,5% indicó que ya tenía acceso gratuito y suficiente a Internet desde otros lugares. (Bernal, 2025)

Otro indicador relevante dado por el consejo privado de competitividad (CPC) informó que el déficit digital en los hogares y a nivel regional sería de tan solo 17 departamentos de Colombia, es decir, menos del 50% poseen acceso a internet. (Consejo Privado de Competitividad, s/f)

Ante ello, se encuentra la oportunidad de realizar este proyecto para generar un dispositivo que logre monitorear y obtener los datos de dos variables, en este caso corresponde a la temperatura corporal y frecuencia respiratoria.

La eficacia de un sistema de monitoreo de temperatura corporal y frecuencia respiratoria en ganado bovino aún es desconocida, dado que no se ha desarrollado un estudio específico que evalúe su desempeño. En consecuencia, no existe evidencia suficiente que permita determinar si dicho sistema puede realizar mediciones de manera ágil y precisa en relación con las variables fisiológicas consideradas.

1.5 Formulación del problema

1.5.1 Objetivo General

Determinar la eficacia que brinda un sistema de monitoreo de temperatura corporal y frecuencia respiratoria para el ganado bovino con respecto a métodos de medición usados tradicionalmente.

1.5.2 *Objetivos Específicos*

- Diseñar un sistema de medición de temperatura y frecuencia respiratoria para ganado bovino.
- Implementar el sistema en el ganado bovino.
- Evaluar la eficacia y veracidad de los datos obtenidos.
- Comparar los datos recolectados por el sistema de monitoreo con respecto a los instrumentos tradicionales.

1.6 Justificación

El sistema de monitoreo implementado en el ganado bovino representa una alternativa tecnológica orientada a mejorar la calidad de vida del animal. Al procesar de forma continua los datos correspondientes a la temperatura corporal y la frecuencia respiratoria, este sistema permite obtener información más frecuente y detallada, lo cual contribuye a reducir la dependencia de herramientas tradicionales y minimizar intervenciones manuales. Cabe resaltar que el sistema no identifica la enfermedad que se está presentando durante el monitoreo, pero permite un sensado y registro autónomo de datos, proporcionando mediciones más constantes de las variables de frecuencia respiratoria y temperatura corporal. Monitorear la frecuencia respiratoria del ganado bovino tiene ventajas importantes, entre ellas, la detección temprana de enfermedades respiratorias, la frecuencia respiratoria es un indicador clave de la salud del bovino para ayudar a detectar enfermedades como neumonía o bronquitis, antes de que se vuelvan graves, esto permite una intervención temprana y un tratamiento efectivo para prevenir la propagación de la enfermedad. Una frecuencia de respiración alta puede ser signo de estrés o dolor en el ganado bovino, el seguimiento regular de esta variable puede ayudar a identificar lo que sucede y tomar medidas para el bienestar del animal. (Odeón & Romera, 2017)

Supervisar la temperatura corporal del ganado bovino es una práctica para el cuidado de la salud de los animales y para la identificación temprana de enfermedades. Es importante llevar un registro de la temperatura corporal del ganado para poder detectar cualquier variación en los valores normales y actuar de manera preventiva. Las variaciones en la temperatura corporal pueden ser indicio de enfermedades, tales como infecciones respiratorias, problemas digestivos, infecciones del tracto urinario, etc. Desde una perspectiva de impacto social, José Rivera afirma que la ganadería colombiana es un ámbito de producción con gran relevancia en el estilo

económico, social y cultural, agrega que: “El esfuerzo cotidiano de los ganaderos no solo es definitivo para la seguridad alimentaria del país, y una gran promesa para la diversificación de las exportaciones agropecuarias, sino que representa el principal sustento para más de 400.000 pequeños productores campesinos en todo el territorio nacional”. Algunos datos que hacen significativa esta actividad ganadera en Colombia es la contribución del 1,6% del PIB nacional, agrega el 24,8% del PIB agropecuario, finalmente, la ganadería añade el 48,7% de PIB en pecuario.(Federación Colombiana de Ganaderos - Fedegán, 2020)

Por otro lado, se anticipa que la implementación de este prototipo permita, en el futuro, correlacionar el comportamiento de ambas variables con enfermedades o alteraciones en el comportamiento del animal que puedan comprometer su bienestar. El veterinario especialista Ricardo Arenas, en una parte del Manual Práctico Ganadero elaborado por la Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN), manifiesta que la enfermedad que se logra anticipar de forma inmediata tiene la ventaja de tratarse y con ello cuidar la salud del animal para reducir: dolor, costos de veterinarios, la recuperación del bovino y los costos para la producción ganadera.(CONtextoganadero, 2023)

1.7 Viabilidad

El prototipo es viable ya que tiene el visto bueno de la Universidad Cesmag, es una parte del desarrollo de un proyecto de investigación docente, puesto que es un objetivo de ese proyecto, además la estructura que se propone para desarrollar el sistema cuenta con los recursos suficientes para ser llevado a cabo, todos los elementos necesarios que corresponden a tecnología que se encuentra en el medio para el proceso de integración, diseño y construcción. Se cuenta con el apoyo de la Universidad de Nariño para realizar la implementación en sus fincas de animales. Finalmente, se tiene el apoyo de la asesoría de zootecnistas, veterinarios e ingenieros.

1.8 Delimitación

El sistema de monitoreo será implementado en bovinos de la finca Granja Experimental Botana - Universidad de Nariño. En este sentido, el sistema medirá la temperatura corporal y la frecuencia respiratoria del ganado, y estos datos serán transmitidos, recibidos y procesados utilizando la herramienta Matlab. Posteriormente, la información será transferida a ThingSpeak, que se utilizará como plataforma gráfica para visualizar el comportamiento de estas variables.

Finalmente, toda la información será presentada en una interfaz para monitorear y analizar las mediciones en tiempo real.

2. Tópicos del Marco Teórico

2.1 Antecedentes

2.1.1 *Diseño de un sistema de monitoreo para ganado bovino utilizando tecnología LPWAN*

En este antecedente realizado por (Caicedo et al., 2021), presentan un diseño un sistema de monitoreo con el cual se recolecta información de posición como de temperatura mediante un protocolo LPWAN (Low Power Wide Área Networks), que permite la comunicación inalámbrica de diferentes dispositivos con una estación base denominada Gateway que tendría un consumo energético muy bajo para distancias de metros o kilómetro, se tuvo en cuenta la necesidad de almacenar datos para la interacción del usuario con el ganado y su seguimiento.

El antecedente utilizó un sensor TMP102 el cual tiene una resolución de 12 bits y es preciso en 0.5°C, el cual requiere un consumo mínimo de corriente 10uA activa y 1uA inactiva también tiene que ser alimentado con voltaje entre 1.4V a 3.6VDC. (SparkFun, s/f)

De lo anterior se tiene en cuenta que, al presentar los resultados del diseño del dispositivo, la estructura del almacenamiento era compacta y no causaba incomodidad al bovino ya que fue diseñado con el material ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), además cumplió con los parámetros de monitoreo y la implementación de un sistema de alarma para que el ganadero sepa si el animal fue hurtado.

El prototipo brinda bases para construir un sistema de comunicación local, pero en el caso del proyecto se adicionará mediciones de frecuencia respiratoria y medición de temperatura externa del ganado, que es una temperatura cercana a la interna para conocer el estado del animal.

2.1.2 *Diseño, desarrollo y evaluación preliminar de un novedoso monitor de signos vitales llevable para vacunos*

Según (Bonilla et al., 2018), se plantea un sistema de monitoreo de signos vitales como lo son frecuencia respiratoria, frecuencia cardíaca, temperatura y posicionamiento del ganado bovino para determinar comportamientos inusuales utilizaron un software libre R v.3.1.1 para el análisis estadístico de las variables de estudio. La temperatura se midió con el sensor MLX90614ESF el cual tiene una resolución 0,02°C en la salida en un intervalo o rango de

medición que es de -20 a 120°C y también a una corriente necesaria de funcionamiento de 2.5mA (mili Amperios). La interfaz se diseñó en el software SECG. Se adquirió las señales y luego fueron almacenadas para su posterior análisis.

El proyecto anterior aporta valiosas alternativas para la medición de la frecuencia respiratoria en el ganado bovino, demostrando cómo distintos tipos de sensores pueden facilitar esta tarea de manera práctica y accesible. Además, contribuye a mejorar el registro de la temperatura corporal, un parámetro vital en el monitoreo de la salud animal. En este contexto, el dispositivo MOSIVILLE destaca como una herramienta eficaz, ya que permite medir la temperatura de la piel usando un sensor infrarrojo que toma cambios de temperatura con alta precisión. Para la frecuencia respiratoria, el MOSIVILLE usa impedancia pletismográfica detectando ondas de inspiración y espiración por medio de la medición de cambios en la resistencia eléctrica durante la respiración, ambos datos se procesan y grafican en tiempo real.

En conclusión, este dispositivo representa una opción confiable para el monitoreo de signos vitales en bovinos, incluso en condiciones reales de campo.

2.1.3 Sistema basado en internet de las cosas para el monitoreo de ganado vacuno usando una red LORAWAN

El antecedente realizado (Guzmán, 2021), tuvo como objetivo el monitoreo de ganado en posicionamiento, temperatura, humedad y luz solar del lugar, con el fin de estudiar que comportamiento tendría el ganado y estado de salud dependiendo del clima que se encuentra en el lugar, utilizando un código abierto en la nube para obtención y gestionar datos, teniendo siempre seguridad sobre los datos procesados.

El anterior trabajo brinda una forma de seguridad para ganado bovino y también hacer medición de temperatura, protección de información ya que es encriptada y enviada para que solo el transmisor y el receptor tenga acceso a esta información y que ninguna persona externa pueda acceder a ella. Se tiene en cuenta las recomendaciones que se plantearon en el antecedente como lo es el uso de varios sensores en diferentes posiciones del cuerpo del animal para tener mejoramiento en resolución de datos y evitar tener un error en la toma de datos. También aporta al desarrollo del prototipo en dar una alternativa de un sistema de alarma para que el ganadero conozca en cualquier momento las variaciones en temperatura o frecuencia respiratoria el ganado bovino.

2.1.4 *Prototipo de collar de monitoreo para ganado usando tecnología LPWAN*

El antecedente presentado por (Silva, 2018), desarrollo un prototipo de collar para ganado bovino el cual realizaría un seguimiento de la ubicación del ganado y tener conocimiento de temperatura del mismo animal. Por medio de red de comunicación LPWAN se hizo la transmisión de la información del sensor y GPS mediante una arquitectura loRa en el cual mediante envió de paquetes que contienen la información tanto de posicionamiento como de la temperatura se pudo monitorear al ganado bovino en una red como es la LPWAN.

Del anterior trabajo se pudo extraer información sobre qué elementos son necesarios para la transmisión de información haciendo el menor uso de energía consumida en la comunicación entre dispositivos y el consumo total del prototipo.

2.1.5 *Clasificación de alta precisión de las conductas de descanso y alimentación del ganado mediante el uso de un sensor acelerómetro triaxial colocado en un collar.*

Según el artículo (Nogoy et al., 2022) , el que se realizó estudios del comportamiento de descanso y alimentación del ganado mediante un sensor acelerómetro, el cual estaría instalado en el cuello. Este sensor es un dispositivo patentado en corea denominado 3D LSM9DS1 el cual detecta cambios de movimiento en el cuello en los 3 ejes de referencia de un plano cartesiano.

Se recopiló la información y posteriormente fue comparada con videos llevados a cabo por el equipo de investigación para determinar la validez de los datos obtenidos. Se registraron en una hoja de Excel los datos obtenidos por el sensor en cada minuto y se hizo un análisis mediante un entrenamiento neuronal para determinar con qué frecuencia el animal realiza la actividad de descansar, alimentarse o pasear por el terreno. Mediante el análisis se obtuvo una gráfica de dispersión donde se evidenciaba el estudio.

2.2 *Supuesto teóricos de la Investigación*

2.2.1 *Ganadería de precisión*

La ganadería de precisión permite hacer un uso más racional y eficiente de la alimentación. Los datos recolectados sirven para analizar objetivamente todo el proceso de producción, lo que favorece el uso más responsable de recursos para reducir el impacto ambiental (por ejemplo, en emisiones de gases de efecto invernadero) y la eficiencia en el

aprovechamiento del alimento. Esto incide positivamente la cadena de producción pecuaria a nivel económico, social y ambiental (repuestosfuster, 2020)

Mediante el uso de tecnología sofisticada se hace un seguimiento de los animales para poder determinar el uso más eficiente de recursos tomando datos por medio de sensores, drones o dispositivos de localización. Sin embargo, esto también implica que este tipo de control sobre los animales tenga costos elevados, lo que limita el acceso a estos sistemas modernos a un número reducido de personas.

2.2.2 Tipo de razas y características del ganado bovino en Nariño

Según un estudio realizado (Mejía et al., 2015) se presentaron 5 tipos de ganados presentes en el departamento de Nariño los cuales son: Holstein, Normando, Pardo suizo, Jersey y Criollo presentes dentro del trópico alto de Nariño son regiones frías presentes en el departamento de Nariño donde se encuentran localizados los diferentes tipos de raza de ganado bovino.

Con base en lo anterior, se enfocó el estudio en analizar las características de los distintos tipos de ganado bovino, identificando sus principales ventajas y desventajas en relación con las condiciones de las regiones frías del departamento de Nariño.

2.2.3 Enfermedades en ganado bovino

El ganado bovino está expuesto a varias enfermedades que afectan las condiciones normales del animal, como la alimentación, el comportamiento que maneja en el entorno, características de aspecto físico, temperatura corporal, sistema digestivo y respiratorio, por ello se hace uso de un programa de salud y bienestar para proteger al animal de cualquier síntoma, infección, desequilibrio nutricional, bacteria, etc.

Dada esta situación, La Federación Colombiana de Ganaderos (FEDEGAN, 2021b) brinda información sobre enfermedades de control oficial, que corresponden a: Fiebre aftosa, encefalopatía Espongiforme Bovina (EEB), brucelosis bovina, tuberculosis bovina y rabia silvestre. Cada una tiene una característica particular en los bovinos porque al ser expuestos por este tipo de enfermedades que hacen presencia de síntomas como fiebre alta, lesiones en pezuñas y ubre, disminución del apetito, cambios de temperamento, agresividad, nerviosismo, frecuencia respiratoria alterada, debilidad muscular, pérdida de peso, provocación de aborto en los bovinos infectados, inflamación en los órganos reproductivos, letargo, agitación, etc. El ganado al tener

contacto con ciertas enfermedades genera un estado de alerta ya que pueden ser transmitidas a seres humanos.

2.2.4 *Comportamiento del ganado según temperatura y altura sobre nivel del mar*

Explica el zootecnista Carmen Trejo (Agencia de Noticias UN., 2021) ,que cuando suceden lluvias fuertes y heladas esto genera pérdidas de alimento que alteran las condiciones ambientales y hace que los bovinos utilicen energía para conservar su temperatura en vez de destinarla a la producción y calidad de la leche ya que pierden energía realizando más trabajo en conservar su temperatura normal que en ejercer sus acciones en la producción de leche, lo que provoca una disminución considerable en la calidad de la leche.

2.2.5 *IoT (Internet of Things)*

El IoT o también conocido como el internet de las cosas está definido como una red de objetos electrónicos conectados a través de una red de internet, estos interactúan a por medio de redes de comunicación, aplicaciones o bases de datos en la nube.

Permite también comunicar los dispositivos entre sí y así como también acceder a la información de cada elemento conectado por medio de la red. Esto indica que se puede crear sistemas en donde se pueda compartir datos de diferentes dispositivos electrónicos conectados a la red y que se pueda trabajar de manera más inteligente ya que se puede acceder a cualquier información que los elementos puedan brindar.(Muñoz, 2019)

2.2.6 *Redes de comunicación inalámbricas*

Son aquellas que permiten la transmisión de información sin la necesidad de medio físico, esto involucra una modulación de ondas electromagnéticas que se extienden por el espacio, además se manejan de acuerdo a la necesidad que en este caso es la cobertura y rango de frecuencia. Estas redes utilizan tecnologías como Wi-Fi, bluetooth, comunicación satelital o un medio móvil.

Entre las redes de comunicación que existen, el prototipo se implementó una comunicación específica entre dos ESP32 la cual es denominada ESP-NOW y para larga distancia se usó dispositivos LoRa RYLR998 que usa comunicación por radiofrecuencia.

ESP-NOW (Personal de Maker.io, 2024) , es una forma de comunicación directa entre dispositivos ESP que permite enviar y recibir datos fácilmente sin usar un router Wifi. Funciona con las placas ESP32 y ESP8266, y puede usarse al mismo tiempo que Wifi y Bluetooth (BLE).

El RYLR998 (REYAX, 2022), es un módulo nuevo desarrollado por REYAX Technology que sirve para enviar y recibir datos a larga distancia usando la tecnología LoRa. Ofrece buena resistencia a interferencias y consume poca energía. Funciona en frecuencias de 868 y 915 MHz. Se puede conectar por medio de la interfaz UART y es fácil de manejar usando comandos AT.

2.2.7 Instrumentación

Es la disciplina de la ingeniería que integra distintas ramas, como sistemas de control, automatización, electrónica y tecnología 4.0 que son tecnologías basadas en aplicación de inteligencia artificial, robótica e IOT. En las industrias, la instrumentación y control cumple un papel importante, ya que a través de esta práctica los operadores pueden calcular y registrar las variables de determinado proceso, con el fin de informar y mejorar resultados (industriasGSL, 2021)

Por medio de la instrumentación se puede optimizar procesos en los cuales se presenta repetitividad de acciones por parte de los operarios y que requieren hacer mediciones de manera continua o frecuente. El sistema de control cuenta con dos sensores principales que permiten la obtención de las variables fisiológicas del bovino: el sensor acelerómetro MPU9250 y el sensor de temperatura infrarrojo MLX90614. El acelerómetro, que se encuentra instalado en el costado del animal, permite detectar los movimientos que provoca la expansión y contracción del tórax al respirar. La información de aceleración de este sensor es importante para poder estimar la frecuencia respiratoria del animal.

El sensor MLX90614, el cual está instalado en el cuello, permite medir la temperatura corporal del animal sin contacto físico, lo que facilita la estimación de su temperatura de manera no invasiva. Ambos sensores son fáciles de integrar al sistema, dado que cuentan con un tamaño reducido y un bajo consumo energético, aspectos ideales para el desarrollo de esta aplicación en campo.

El sistema hace uso de dos tipos de comunicación inalámbrica para transmitir la información obtenida por los sensores. La primera es ESP-NOW, utilizada para la comunicación local entre módulos dentro del mismo animal. Este protocolo permite enviar los datos del acelerómetro, ubicado en el costado, hacia el segundo módulo situado en el cuello. ESP-NOW es un protocolo de baja latencia que permite la conexión directa entre dispositivos ESP32 sin necesidad de una red Wi-Fi, lo que garantiza una transmisión rápida y eficiente.

La segunda comunicación es mediante el módulo LoRa RYLR998, empleado para el envío de datos a largas distancias hacia la estación remota. Una vez que el segundo módulo en el cuello del bovino ha recibido la información del acelerómetro y del sensor de temperatura, esta es transmitida a la estación remota de forma inalámbrica. El módulo LoRa RYLR998 permite establecer comunicación hasta a 200 metros de distancia, incluso sin línea de vista, lo que lo hace ideal para entornos rurales y de campo abierto.

2.3 Definición de conceptos

2.3.1 *Error relativo porcentual*

La variable a medir es la eficiencia del sistema en este caso se utilizó el concepto denominado Error relativo porcentual la que permite comparar la exactitud del sistema de monitoreo con los instrumentos tradicionales usados por el ganadero para las variables de estudio.

$$\varepsilon_r = \left| \frac{V_{medida} - V_{referencia}}{V_{referencia}} \right| \times 100 \%$$

Donde:

Er = Error Relativo Porcentual

Vmedida = Valor de variable medida

Vreferencia = Valor de variable de referencia

3. Metodología

3.1 Secuencia metodológica

3.1.1 *Objetivo 1: Diseñar un sistema de medición de temperatura corporal y frecuencia respiratoria para ganado bovino.*

En primer lugar, se determina los requisitos de funcionamiento del prototipo, tales como los rangos de temperatura del sensor, la fuerza máxima que soportan los acelerómetros o galgas extensiométricas, y las dimensiones del área en la que se transmitirá la información. Posteriormente, con base en estos requisitos, se seleccionan los sensores adecuados para medir tanto la frecuencia respiratoria como la temperatura corporal del animal.

Una vez determinados los requerimientos necesarios para el diseño del sistema de medición, se procede a seleccionar los materiales adecuados para su implementación. Con base en las dimensiones de los sensores, microcontrolador ESP32 y transmisores de información, se diseña el arnés que será instalado en el bovino, el cual debe estar fabricado con un material flexible que permita una correcta medición de la frecuencia respiratoria, evitando desplazamientos o interferencias en la lectura.

Posteriormente, se selecciona una fuente de alimentación que garantice el suministro de energía al prototipo durante su funcionamiento. También se define el sistema de almacenamiento de datos, lo que implica la utilización de captura y resguardo de datos donde quedará registrada la información captada por los sensores. Finalmente, mediante una aplicación web, se habilita el monitoreo remoto e instantáneo del estado de los bovinos, específicamente en lo relacionado con su temperatura corporal y frecuencia respiratoria.

3.1.2 *Objetivo 2: Implementar el sistema en el ganado bovino.*

Ya determinado los sensores, la red de comunicación a utilizar, el almacenamiento de la información y como se va presentar al usuario, se procede a instalar los dispositivos en el arnés para conocer donde se va a localizar los sensores y la fuente de alimentación. Para prolongar el funcionamiento del prototipo se hace un estudio del consumo de energía de los sensores, transmisor y el recolector de información. Luego de ser instalado en el animal se procede a

realizar pruebas de funcionamiento tanto en la toma de datos como en la transmisión de información. Se repite varias pruebas de toma de datos con el fin de verificar el correcto funcionamiento del sistema y de este modo comprobar que los sensores realicen mediciones de datos reales y que funcionen dentro de los rangos establecidos.

3.1.3 *Objetivo 3: Evaluar la eficacia y veracidad de los datos obtenidos*

Ya una vez comprobado que el sistema procesa la información y la envía desde el dispositivo de medición al repositorio de información en línea, se debe comparar la información de los datos obtenidos por los sensores con la medición de los instrumentos tradicionales como termómetros y estetoscopios. Se determina la diferencia de toma de datos y se presentan los resultados tanto por la interfaz como por los instrumentos tradicionales que son usados por veterinarios.

3.2 *Técnicas de recolección de la información*

Se obtiene la información por medio de sensores, lo que equivale a una observación directa.

3.2.1 *Validez de la técnica*

Se espera que la técnica de observación directa sea válida, ya que al usar sensores para medir temperatura corporal y frecuencia respiratoria se obtendrán datos fiables de ambas variables en la implementación al ganado bovino. El uso de este medio de tecnología hace que la información registrada sea precisa porque se trabaja con instrumentos calibrados, es decir, se tendrán medidas de un instrumento con respecto a un patrón de referencia para verificar que el ejercicio de medición sea el adecuado.

3.2.2 *Confiabilidad de las técnicas de recolección*

Se espera que la técnica de recolección sea confiable, con el método de observación directa se hace registro detallado de lo que sucede en tiempo real, en este caso la medición de temperatura corporal y frecuencia respiratoria en ganado bovino. La observación directa proporciona consistencia y precisión de los datos para que los resultados puedan estar libres de errores o fluctuaciones aleatorias en el proceso de medición. Finalmente, toda la información

estará almacenada en una base de datos para realizar un análisis completo de lo acontecido y así incorporar ciertas mejoras complementarios para que todo el proceso pueda ser eficiente.

3.3 Instrumentos de recolección de la información

Funcionamiento de los sensores de temperatura: Se basa en diversas propiedades físicas que cambian de forma previsible con las alteraciones de la temperatura. Uno de los principios más utilizados en estos sensores es el cambio en la resistencia eléctrica. (GMS instruments, 2023)

El funcionamiento del sensor de temperatura se basa en captar las variaciones térmicas a través de diferentes mecanismos y convertirlas en una señal eléctrica.

Funcionamiento de sensores acelerómetros giroscópicos: El giroscopio se emplea para medir la expansión y contracción del tórax del animal, permitiendo así determinar su frecuencia respiratoria. Para ello, el sensor detecta pequeños cambios en los tres ejes de referencia que se producen durante la respiración. Este dispositivo utiliza un sistema MEMS (MicroElectroMechanical Systems) para medir la velocidad angular a través del efecto Coriolis. A partir de esta velocidad angular, es posible calcular el desplazamiento angular mediante su integración respecto al tiempo, lo que permite obtener la posición angular si se conoce el punto de inicio del movimiento. (Lithium ION, 2022)

4. Resultados

4.1 Diseñar un sistema de medición de temperatura y frecuencia respiratoria ganado bovino.

El monitoreo de la temperatura y la frecuencia respiratoria en el ganado bovino es crucial para su salud y bienestar. Considerando que el sistema no debe ubicarse en lugares que resulten incómodos para el animal y que las conexiones por cable no son viables, se ha optado por implementar comunicaciones inalámbricas, como el protocolo ESP-NOW.

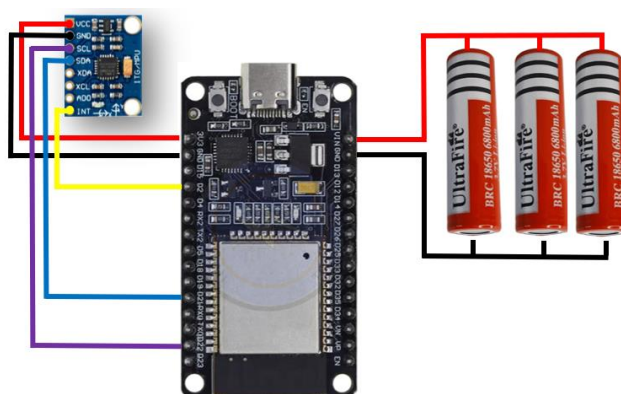
La comunicación se estableció entre dos dispositivos ESP32, los cuales fueron enlazados a través de comunicación ESP-NOW. Esta elección se realizó con el propósito de evitar el uso de cables y prevenir la pérdida de conexión, especialmente cuando el ganado se desplazaba entre árboles u otros obstáculos que podrían interferir con las conexiones por cable.

El sistema de monitoreo está compuesto por tres módulos: dos de sensado y uno de registro remoto. Uno de los módulos de sensado se instala en el costado del animal, integrado en una caja diseñada en 3D para proteger los componentes electrónicos; el segundo se ubica en el cuello; y el tercero se encuentra en la estación remota, donde se registra y almacena la información captada.

- **Módulo sensor de frecuencia respiratoria:**

En el costado del animal se ubicará un módulo de sensado integrado en una caja diseñada en 3D, con el objetivo de proteger los componentes electrónicos. Este módulo incluirá un ESP32, un sensor acelerómetro MPU 6050 y su propia fuente de alimentación. Desde este punto se obtendrán los datos de aceleración del bovino, los cuales serán utilizados para la posterior interpretación de la frecuencia respiratoria. La información será transmitida mediante el protocolo ESP-NOW al ESP32 ubicado en el cuello del animal.

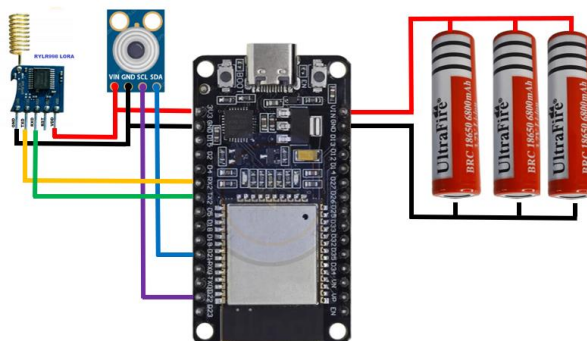
Figura 1. *Módulo de frecuencia respiratoria*



- **Módulo sensor de temperatura corporal:**

La segunda etapa del sistema estará compuesta por un ESP32 ubicado en el cuello del animal, cuya función será recibir los datos transmitidos desde el primer módulo mediante el protocolo ESP-NOW. Este módulo también integrará un sensor de temperatura infrarrojo MLX90614, encargado de medir la temperatura corporal del bovino sin contacto directo. La información recopilada, tanto de aceleración como de temperatura, será enviada de forma inalámbrica a la estación remota a través de un módulo de comunicación LoRa RYLR998, el cual ofrece un alcance de conectividad de hasta 200 metros.

Figura 2. *Módulo de sensor temperatura y comunicación LORA*

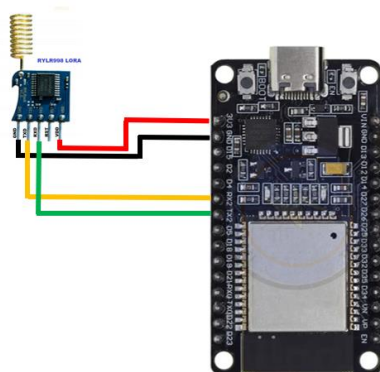


- **Módulo de registro remoto:**

Esta sección del sistema de monitoreo estará conformada por un ESP32 y un módulo de comunicación LoRa RYLR998, configurado como receptor. Su función principal será recibir los datos transmitidos desde el segundo módulo instalado en el animal. Posteriormente, la información será procesada mediante un código desarrollado en MATLAB, el cual interpretará las señales provenientes del sensor acelerómetro para estimar la frecuencia respiratoria del

bovino. Asimismo, permitirá visualizar los datos recopilados por los sensores de manera clara y ordenada para su análisis.

Figura 3. Sistema de comunicación LORA



- **Propuesta conceptual para la instalación del dispositivo**

A continuación, se presenta un diagrama de posicionamiento donde van a ir cada uno de los elementos de monitoreo en el bovino.

Figura 4. Sistema de monitoreo de temperatura y frecuencia respiratoria para bovinos



4.1.1 Análisis de requerimientos del diseño

Analizando los requerimientos del diseño del sistema de monitoreo de ganado bovino que se presentan a continuación:

Tabla 1. *Requerimientos del sistema de monitoreo*

<i>Dispositivo</i>	<i>Requerimiento</i>	<i>Descripción de requerimiento</i>
Sensor de temperatura infrarrojo	Medición en amplio rango	Adaptarse a variaciones naturales de temperatura.
	Diseño pequeño	Integración y colocación en el ganado sin causar molestias.
	Margen de error mínimo	Fiabilidad en las lecturas de temperatura.
	Bajo consumo de energía	Operar con bajo voltaje y corriente para prolongar la vida útil de la batería.
	Ligereza	Facilitar la colocación en diferentes áreas del cuerpo del animal.
Sensor de frecuencia respiratoria	Precisión en la detección	Variaciones en la expansión y contracción del tórax del ganado.
	Tamaño y peso reducido	Colocación en el ganado sin causar molestias.
	Precisión excepcional y margen de error mínimo	Fiabilidad en las mediciones.
	Bajo consumo de energía	Prolongar la vida útil de la batería y reducir costos operativos.

Siguiendo los requisitos establecidos, se han adquirido dos sensores que cumplen con las funciones necesarias para la implementación del sistema de monitoreo del ganado. Uno de ellos está destinado a medir la frecuencia respiratoria del animal, permitiendo un seguimiento preciso de esta variable fisiológica es un sensor que detecta pequeños movimientos en tres direcciones.

Este se colocó estratégicamente para registrar el movimiento del pecho al respirar, enfocándose principalmente en el eje vertical. La información captada es enviada a un microcontrolador ESP32 mediante el protocolo I2C. El sensor tiene un voltaje de operación de 3.3 V y unas dimensiones de $51 \times 23 \times 8$ mm, lo que permite integrarlo fácilmente al sistema sin causar molestias al animal.

Se empleó un sensor infrarrojo MLX90614 para medir la temperatura corporal, el cual permite realizar las lecturas sin necesidad de tocar al animal, lo que minimiza molestias y evita procedimientos invasivos. Este sensor ofrece un amplio rango de medición, desde -70 °C hasta 380 °C, con una precisión de ± 0.5 °C, lo que garantiza datos confiables. Su voltaje de operación varía entre 3.3 V y 5 V, y gracias a su tamaño compacto $16 \times 11 \times 6$ mm, se integra sin dificultad en el diseño general del sistema, sin afectar el comportamiento ni la movilidad del animal.

4.1.2 Consumo por escenarios

Para determinar la autonomía del sistema de monitoreo para ganado bovino es necesario calcular el consumo total por cada módulo y determinar qué capacidad es necesaria para su funcionamiento continuo.

Tabla 2. Consumo del primer escenario del sistema de monitoreo

<i>Dispositivo</i>	<i>voltaje y corriente</i>	<i>Potencia de consumo</i>
Tarjeta ESP 32	3.3 v / 80 mA	
	Transmisión BT: 130 mA	
Sensor acelerómetro MPU92/65	3.3v / 3.5 mA	
POTENCIA TOTAL CONSUMIDA		0.925 W

Nota. Voltios(V) unidad de magnitud que mide diferencia de potencial existentes entre dos puntos de un conductor. Amperios(A) unidad de medida de la intensidad de corriente eléctrica es decir cantidad de cargas eléctricas en un conductor. Vatios(W) unidad de potencia eléctrica consumida o generada por un dispositivo.

Se determina el consumo máximo de corriente que puede generarse en el primer escenario. Con ello, podemos determinar la capacidad de la fuente necesaria para mantener una autonomía prolongada.

Asimismo, se calcula el consumo energético de la segunda sección del sistema de monitoreo. Esta sección está compuesta por un ESP32, configurado para recibir los datos transmitidos del primer escenario, además de leer los datos del sensor infrarrojo MLX90614. Posteriormente, debe transmitir ambos conjuntos de datos a través del módulo LoRa RYLR998, el cual se encarga de enviar los datos a la base central.

Tabla 3. Consumo de segundo escenario del sistema de monitoreo

<i>Dispositivo</i>	<i>voltaje y corriente</i>	<i>Potencia de consumo</i>
Tarjeta ESP 32	3.3 v / 80 mA	
	Recepción BT: 100 mA	
Sensor acelerómetro MPU92/65	3.3v / 3.5 mA	
Módulo LORA RYLR 998	Modo transmisión 3.3 v / 140 mA	
POTENCIA TOTAL CONSUMIDA		0.74 mW

Nota. Voltios(V) unidad de magnitud que mide diferencia de potencial existentes entre dos puntos de un conductor. Amperios(A) unidad de medida de la intensidad de corriente eléctrica es decir cantidad de cargas eléctricas en un conductor. Vatios(W) unidad de potencia eléctrica consumida o generada por un dispositivo.

Con los datos de potencia consumida por los dispositivos, podemos calcular la autonomía del segundo escenario del sistema de monitoreo, lo que nos permite seleccionar la fuente de alimentación más adecuada para alcanzar una autonomía prolongada según los objetivos establecidos.

Posteriormente, se procede a calcular el consumo de los dispositivos del tercer escenario, que serán responsables de recibir los datos de los sensores y enviarlos a Matlab para su análisis y presentación. Estos datos se almacenarán utilizando la herramienta de análisis llamada ThingSpeak. Además, se desarrollará una aplicación para que el usuario pueda visualizar el estado del ganado de manera intuitiva y eficaz.

Tabla 4. Consumo de dispositivos del tercer escenario

<i>Dispositivo</i>	<i>voltaje y corriente</i>	<i>Potencia de consumo</i>
Tarjeta ESP 32	3.3 v / 80 mA	

Módulo LORA RYLR 998 Modo recepción 3.3 v / 17.5
mA

POTENCIA TOTAL 0.6 mW
CONSUMIDA

Nota. Voltios(V) unidad de magnitud que mide diferencia de potencial existentes entre dos puntos de un conductor. Amperios(A) unidad de medida de la intensidad de corriente eléctrica es decir cantidad de cargas eléctricas en un conductor. Vatios(W) unidad de potencia eléctrica consumida o generada por un dispositivo.

ThingSpeak es una plataforma de IoT (Internet de las cosas) que permite recopilar, almacenar y analizar datos de sensores y otros dispositivos conectados a internet. Desarrollada por MathWorks, la misma compañía detrás del software MATLAB, ThingSpeak facilita la creación de proyectos de IoT al proporcionar herramientas para la adquisición, análisis y visualización de datos en tiempo real.

4.1.3 Autonomía del sistema.

De acuerdo a los valores consumidos por escenarios es necesario conocer la autonomía de cada conjunto de dispositivos.

Tabla 5. Autonomía del sistema de monitoreo para ganado bovino

Dispositivo	Potencia	Autonomía hora
Batería de litio	3.7 v * 2200mah = 8.14 W	-----
Escenario 1	3.7 v * 250 mA = 0.925W	8.14 w / 0.925 w = 8.8 horas
Escenario 2	3.7 v * 200 mA = 0.74 W	8.14 w / 0.74 w = 11 horas

Nota. Voltios(V) unidad de magnitud que mide diferencia de potencial existentes entre dos puntos de un conductor. Amperios(A) unidad de medida de la intensidad de corriente eléctrica es decir cantidad de cargas eléctricas en un conductor. Vatios(W) unidad de potencia eléctrica consumida o generada por un dispositivo.

4.1.4 Selección del tipo de red para comunicación inalámbrica en el sistema de monitoreo.

Dentro del marco del sistema de monitoreo que se está desarrollando, es esencial establecer dos tipos de conexiones distintas para garantizar una comunicación eficaz entre los diferentes escenarios. En primer lugar, para la comunicación entre el primer y segundo escenario, hemos implementado una transmisión inalámbrica. Para este propósito, hemos seleccionado

cuidadosamente el protocolo ESP-NOW, diseñado específicamente para asegurar una conectividad confiable entre dispositivos ESP32. Este protocolo nos permite configurar un dispositivo como receptor y otro como transmisor, simplificando así el proceso de establecimiento de la comunicación entre los diferentes puntos del sistema de monitoreo. Además, aprovechamos la capacidad de ESP-NOW para utilizar la dirección IP de los dispositivos ESP32, lo que facilita la identificación y el direccionamiento dentro de la red. Esta característica resulta especialmente útil en entornos con múltiples dispositivos, donde se requiere un método eficiente para gestionar la comunicación.

En resumen, la elección de ESP-NOW para la comunicación inalámbrica entre el primer y segundo escenario de nuestro sistema de monitoreo se basa en su capacidad para proporcionar una conexión robusta y de bajo consumo energético, así como en su facilidad de configuración y su compatibilidad con los dispositivos ESP32 utilizados en nuestra infraestructura.

Para facilitar la conexión entre módulo sensor de temperatura corporal y módulo de registro remoto, donde se requiere una conectividad a una distancia mayor, se ha optado por incorporar un módulo diseñado específicamente para este propósito. Después de un detallado análisis de las características y prestaciones de diversos dispositivos disponibles en el mercado, se ha seleccionado el módulo RYLR998 como la opción más adecuada para las necesidades del sistema.

El módulo de comunicación transceptor Lora RYLR998 se distingue por su capacidad para proporcionar una conexión confiable y estable a distancias extendidas, lo que lo convierte en la elección ideal para establecer una comunicación efectiva entre los escenarios mencionados. Además, su flexibilidad y facilidad de configuración mediante comandos AT, según lo especificado por el fabricante, nos permite adaptar rápidamente su funcionamiento a los requerimientos específicos de nuestro sistema.

Una vez configurado, el RYLR998 actúa tanto como receptor como transmisor, lo que nos permite implementar un flujo bidireccional de datos entre los dos escenarios. Desde el transmisor, se envían datos de aceleración y temperatura al receptor, los cuales son recibidos y posteriormente analizados en Matlab. Esta integración nos proporciona una herramienta poderosa para recopilar datos relevantes desde una ubicación remota y llevar a cabo un análisis detallado para obtener información valiosa.

En resumen, la elección del módulo RYLR998 para la conexión entre el segundo y tercer escenario de nuestro sistema se basa en su capacidad para proporcionar una conectividad robusta a larga distancia, así como en su facilidad de configuración y versatilidad para adaptarse a nuestras necesidades específicas de comunicación y análisis de datos.

4.1.5 Pruebas de funcionamiento del sistema electrónico y sistemas de comunicación.

Se procede a realizar una prueba integral del sistema mediante la verificación del correcto funcionamiento de los sensores. En esta fase, se llevó a cabo la presentación del código implementado y la lectura de cada sensor para evaluar su desempeño individual.

El propósito primordial de esta prueba es garantizar que los sensores estén operando según las especificaciones requeridas, lo cual es esencial para el correcto funcionamiento y precisión del sistema en su conjunto. Durante esta etapa, se recopilarán datos detallados sobre las lecturas de cada sensor para su posterior análisis.

El proceso de prueba implica la ejecución del código diseñado para interactuar con cada sensor de manera individual y obtener sus lecturas correspondientes. Se llevará a cabo una presentación detallada del código implementado, seguida de la lectura de cada sensor en tiempo real.

Es fundamental que cada sensor proporcione lecturas coherentes y dentro de los rangos esperados para garantizar la integridad y precisión del sistema en su conjunto.

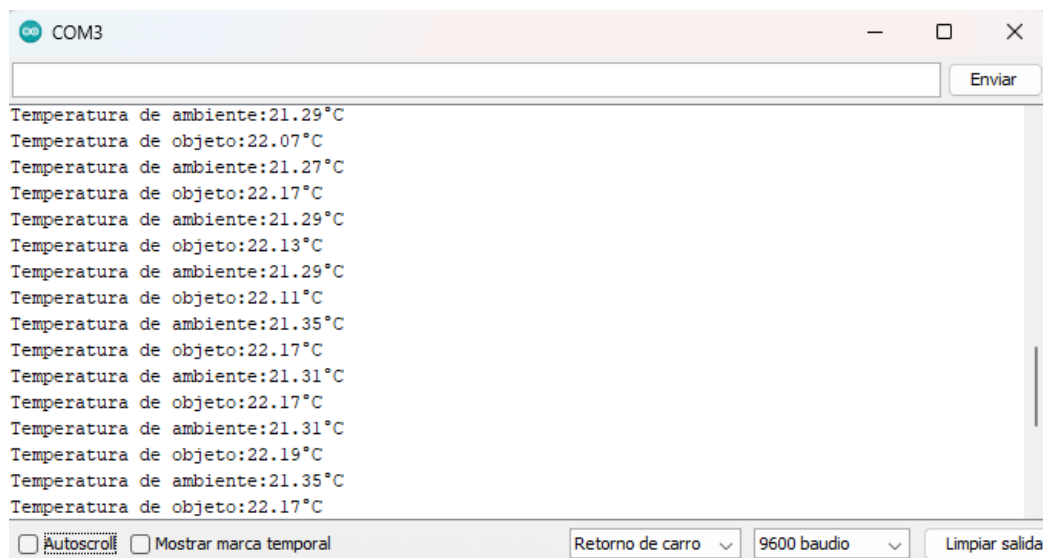
El protocolo I2C proporciona la interacción entre un microcontrolador y varios aparatos empleando únicamente dos líneas. SCL (reloj) y SDA (datos). Cada sensor conectado al bus I2C posee una dirección única de 7 bits, facilitando así que el maestro reconozca a cada esclavo. Este protocolo se aplica a sensores como el MPU6050 y el MLX90614; el primero posee direcciones 0x68 o 0x69 dependiendo del estado del pin AD0, mientras que el segundo tiene como dirección predeterminada 0x5A, la cual puede ser alterada mediante software. Si sus direcciones son distintas, ambos sensores pueden cohabitar en el mismo bus sin interferencias. El transmisor comienza la comunicación transmitiendo una condición START, luego la dirección del esclavo, y recibe o envía información, concluyendo con una condición STOP.

Sensor de temperatura infrarrojo MLX90614:

Se hace prueba al sensor de temperatura para verificar su correcto funcionamiento mediante la librería Adafruit MLX90614 Library.

Se observa el monitor serial del ide Arduino para ver la lectura.

Figura 5. Lectura del sensor de temperatura MLX90614

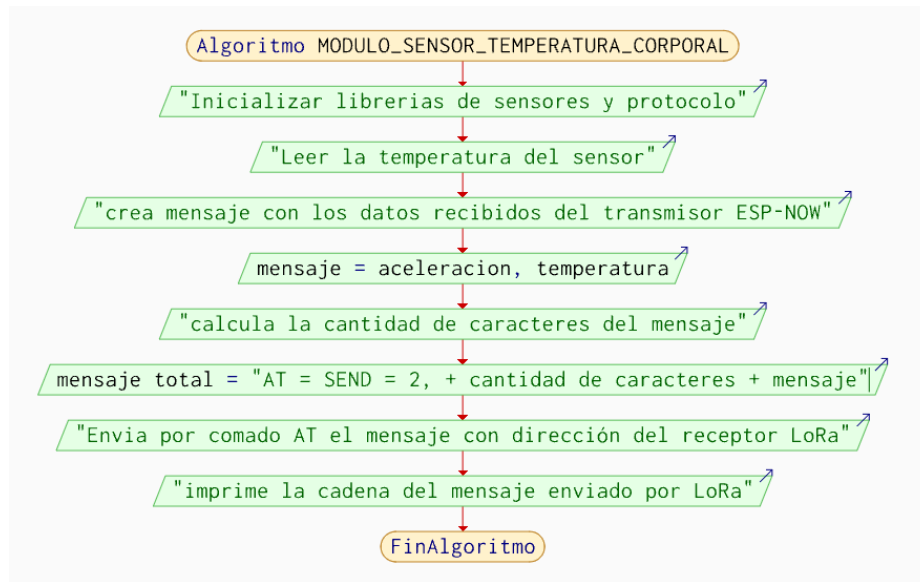


Como se puede observar la temperatura del ambiente y del objeto están dentro de un rango adecuado debido al clima presente en la ciudad de Pasto.

Mediante un llamado a la librería creada por terceros en la plataforma Arduino IDE nos facilita la ejecución e implementación de la comunicación I2C para el sensor infrarrojo con el microcontrolador ESP32.

A continuación se explica de manera general el código utilizado en el módulo de sensor de temperatura corporal.

Figura 6. Diagrama de código general en módulo de sensor de temperatura corporal

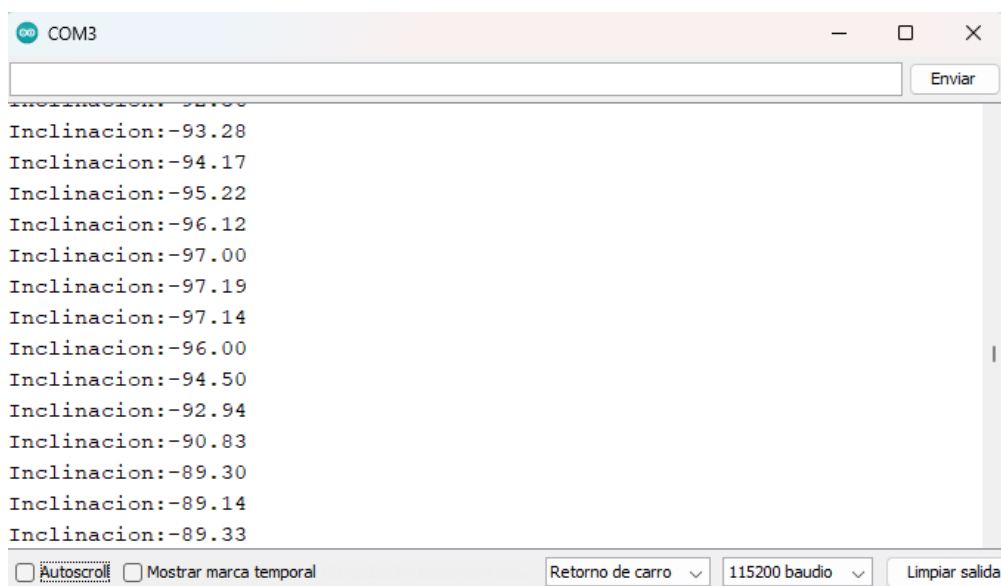


Sensor acelerómetro MPU6050:

Para el sensor acelerómetro MPU6050 se realiza la misma prueba, pero en este caso verificando el ángulo de inclinación lateral.

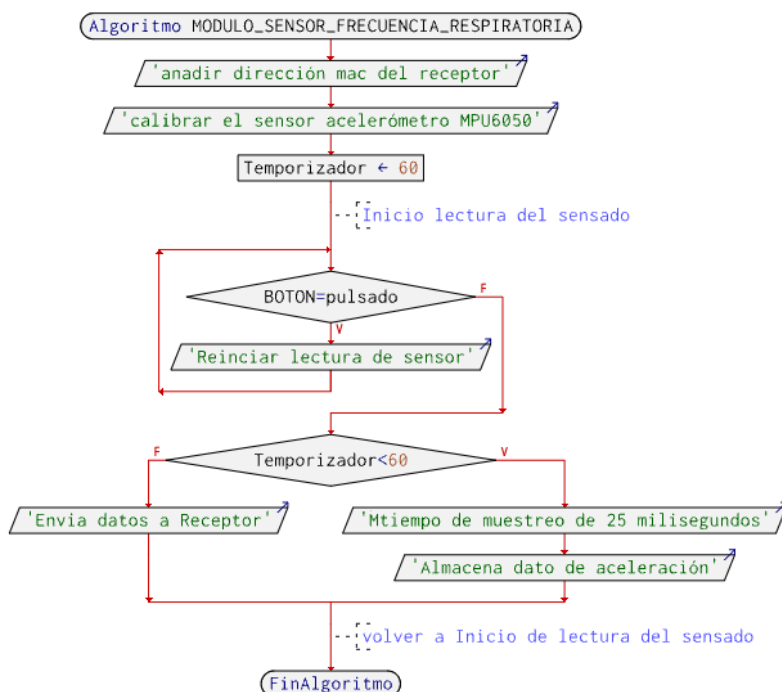
Se realiza validación de la inclinación que nos muestra el sensor. Nos muestra la inclinación en este caso del eje z.

Figura 7. Lectura del sensor acelerómetro MPU6050



A continuación, se explica de manera general la secuencia lógica del módulo sensor de frecuencia respiratoria del que tiene un botón o pulsador el cual permitirá sincronizar el tiempo tomado con un cronómetro y así también iniciar la lectura con el instrumento de medición tradicional el fonendoscopio.

Figura 8. Diagrama de código del módulo sensor frecuencia respiratoria



También se presenta los diseños finales dentro de las cajas contenedoras impresas en 3D para cada módulo del sistema de monitoreo para ganado bovino.

Figura 9. PCB del sensor acelerómetro

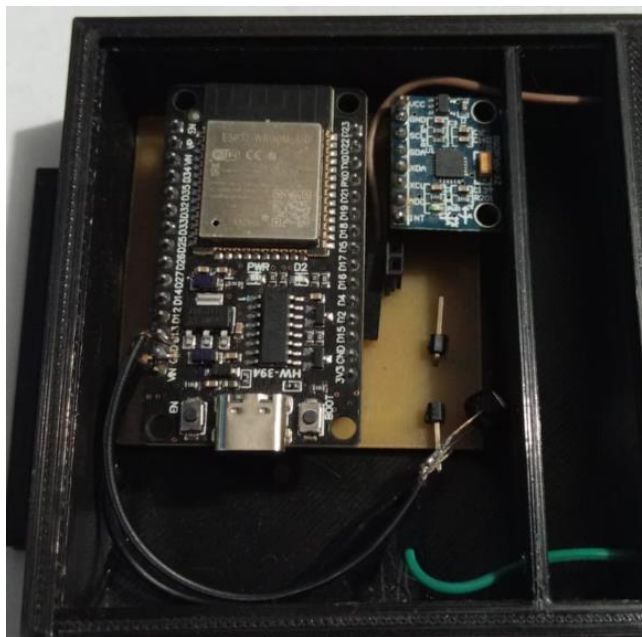


Figura 10. PCB del sensor de temperatura y transmisor Lora



Se optó por implementar el protocolo de comunicación ESP-NOW, una elección estratégica que facilita la interacción entre los dispositivos ESP32. Esta decisión se fundamenta en la necesidad de evitar la dependencia del cableado convencional, un desafío significativo dada

la naturaleza itinerante del ganado bovino. Al deambular libremente entre árboles y terrenos irregulares, el uso de cables para la comunicación sería impráctico y potencialmente peligroso, dado que existe el riesgo de que se dañen o se desconecten.

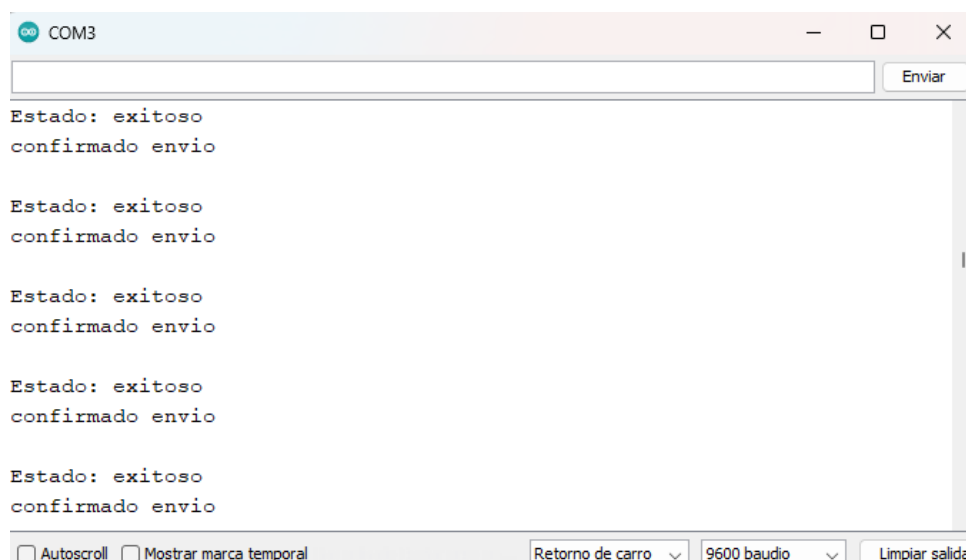
Para usar ESP-NOW, primero se activa el protocolo en el dispositivo y se registran las direcciones MAC de los dispositivos con los que se quiere comunicar. Luego, se configuran funciones que permiten recibir y enviar datos, y con esto se pueden enviar pequeños paquetes de información directamente entre los dispositivos sin necesidad de un router o red Wi-Fi. Cada vez que llegan datos, una función especial se ejecuta para procesarlos, lo que hace que la comunicación sea rápida y eficiente.

El protocolo ESP-NOW asegura la comunicación directa entre los microcontroladores ESP32, evitando la necesidad de una red Wi-Fi tradicional o de conexiones físicas. Esta tecnología inalámbrica, destacada por su baja latencia y escaso uso de energía, envía pequeños paquetes de datos, lo que la convierte en particularmente apropiada para sistemas que necesitan intercambios de datos rápidos y seguros. Mediante el uso de ESP-NOW, los aparatos ESP32 consiguen mantener una comunicación estable y fiable.

Al adoptar el protocolo ESP-NOW, no solo se supera el obstáculo del cableado, sino que también se asegura una comunicación fluida y continua entre los dispositivos ESP32, independientemente de la ubicación del ganado bovino. Esta solución no solo mejora la eficiencia de la comunicación, sino que también reduce el riesgo de interrupciones en la transmisión de datos, lo que resulta fundamental para el monitoreo y la gestión efectiva del ganado en entornos rurales.

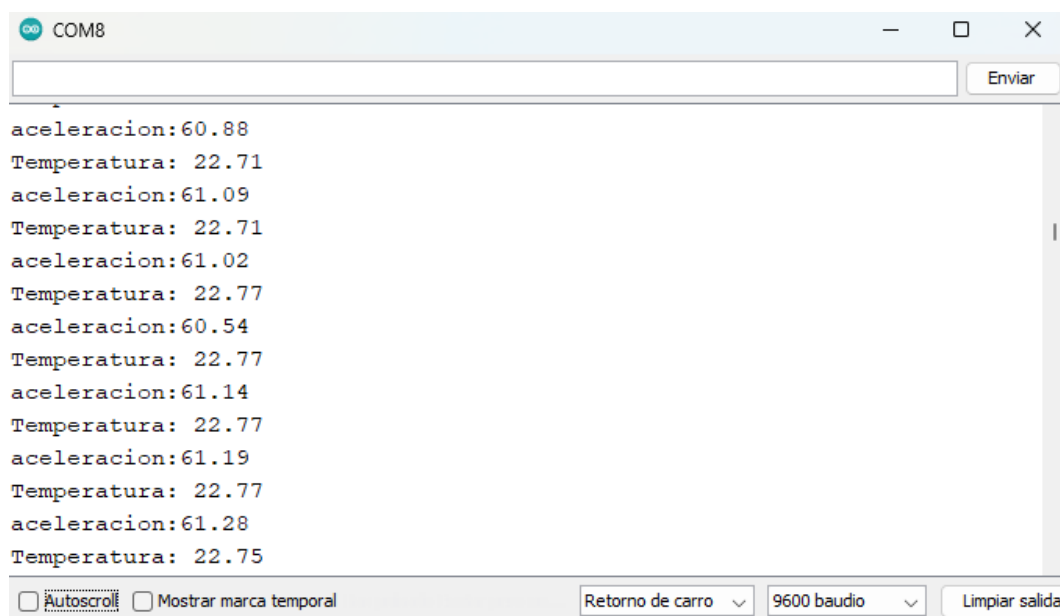
En transmisor determina si se envía bien la información del acelerómetro al receptor.

Figura 11. Lectura del transmisor ESP-NOW



También se visualiza los datos que se están obteniendo en el receptor, pero en este caso se adiciona el valor leído por el sensor de temperatura MLX90614.

Figura 12. Lectura de receptor ESP-NOW



Comunicación LoRa:

Se determinó usar el módulo de comunicación lora RYLR998 con el fin de comunicar el segundo escenario con el lugar donde se analizará los datos por medio de Matlab.

Se explica a continuación la lógica de programación de la transmisión de la trama desde el transmisor LoRa al receptor LoRa.

Figura 13. Cadena enviada por el transmisor LoRa

```
+OK
AT+SEND=2,11,50.15,21.57

+OK
AT+SEND=2,11,32.32,21.55

+OK
AT+SEND=2,12,-27.80,21.57
```

De la figura 13 se puede observar que mediante comandos AT se configura el mensaje de transmisión, como parámetros del mensaje se envía dirección del receptor, cantidad de bits del mensaje, dato medido por el acelerómetro y por último el dato del sensor de temperatura.

Según el manual de uso de los transceptores LoRa RYLR998, se describe el proceso de asignación de parámetros necesarios para establecer una comunicación efectiva entre los dispositivos. A continuación, se presentan algunas de las configuraciones más importantes que fueron implementadas.

Tabla 6. Comandos AT para configuración de transceptores Lora

Comandos de configuración transceptores Lora	Descripción
AT+IPR	Permite ajustar la velocidad de baudios de comunicación entre dispositivos.
AT+BAND	Permite elegir la banda de frecuencia de comunicación.
AT+ADDRESS	Sirve para identificar dispositivos y dar una dirección es decir un ID.

AT+ NETWORKID

Nos permite comunicar los dispositivos en una misma red designando una ID de red.

Para enviar datos desde el transmisor al receptor LoRa, es necesario utilizar una estructura de mensaje clara y definida, que permita a los dispositivos identificar correctamente cada parte de la información enviada. Esta estructura se compone de tres elementos: la dirección del receptor, la longitud del mensaje y los datos a transmitir, siguiendo orden:

Figura 14. Estructura del mensaje enviado del transmisor LoRa

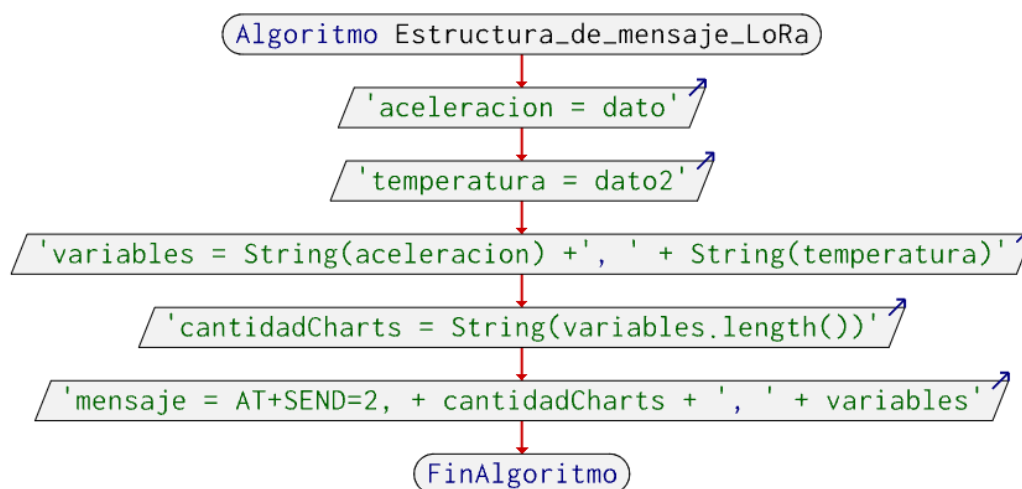


Figura 15. Orden del mensaje de recepción LoRa

A screenshot showing three lines of received data from a LoRa module. Each line contains two numerical values separated by a comma. The data is as follows:

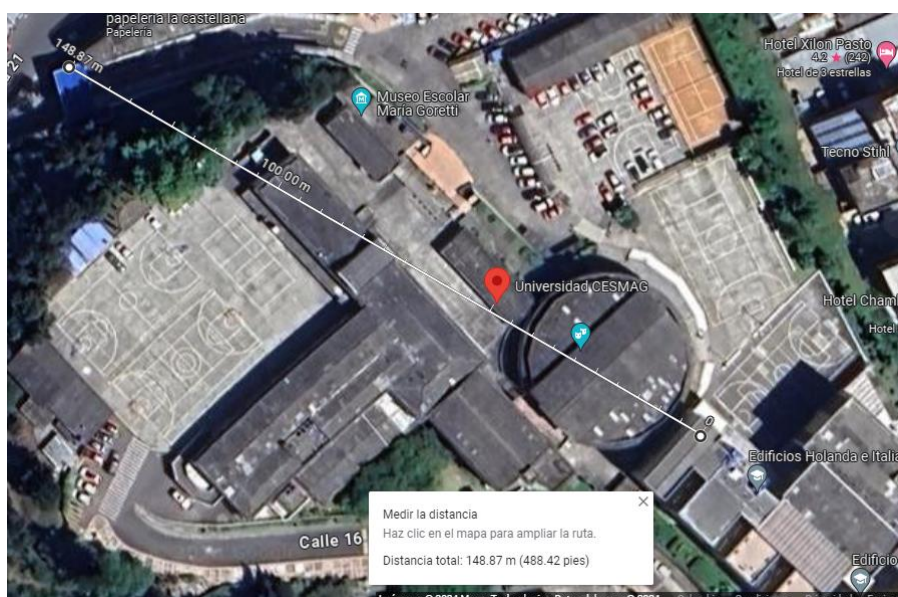
50.15	21.57
32.32	21.55
-27.80	21.57

En la figura 15 se muestran los datos recibidos por el módulo LoRa el cual mediante una separación de cadenas se selecciona los datos importantes para el análisis en la estación donde se implementará mediante el programa MATLAB un procesamiento de los datos para determinar la frecuencia respiratoria.

4.1.6 Prueba de alcance de los módulos LoRa en sistema de monitoreo

Se realizaron pruebas de transmisión y recepción de datos a distancia, desde el laboratorio de Ingeniería Electrónica hasta la entrada principal de la Universidad CESMAG. El objetivo de esta prueba consiste en comprobar que los datos se enviaran y recibieran de forma satisfactoria. A pesar de no contar con línea de vista directa entre los dispositivos, se logró establecer comunicación a una distancia de 148.87 metros, incluso bajo condiciones climáticas adversas, como una lluvia intensa. Esto demuestra la efectividad del sistema en escenarios reales, donde la señal puede verse afectada por obstáculos y condiciones ambientales.

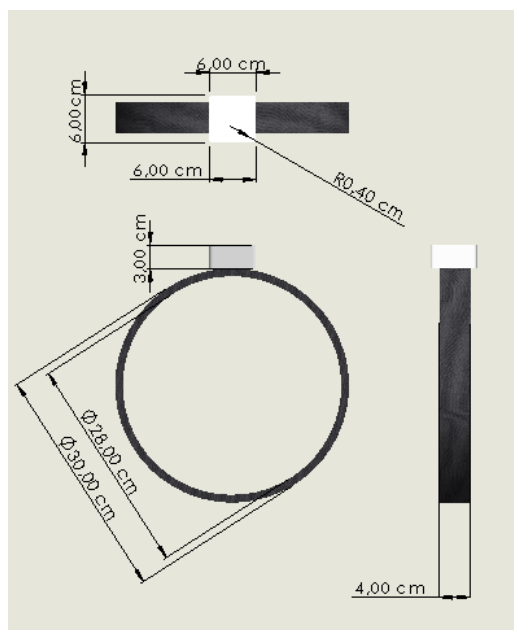
Figura 16. Distancia de prueba de alcance de transmisión y recepción del sistema de monitoreo



4.1.7 Diseño del arnés

Para este caso fue necesario realizar el diseño de dos collares los cuales disponían de los diferentes escenarios para poder mediar las variables deseadas. Esto llevo a hacer una adecuación de los collares siendo estos de un material elástico e impermeable ya que este estará expuesto al exterior donde podría sufrir daños o humedad.

Figura 17. *Diseño de collar para el sistema de monitoreo para ganado bovino*



4.1.8 Implementación del arnés en el animal

Se instalaron los sensores en los collares que posteriormente se colocaron en el bovino para medir las variables deseadas con el fin de extraer datos.

Figura 18. *Implementación del sistema de monitoreo en el bovino*



Los datos fueron comparados con los instrumentos tradicionales usados por los encargados de ganadería de la granja botana, los instrumentos que se mencionan son el

estetoscopio que se usa para medir frecuencia respiratoria y termómetro rectal el cual mide la temperatura interna del bovino. A continuación, se presenta los instrumentos tradicionales usados para la medición de las variables de estudio los cuales son el termómetro el cual cuenta con un caimán para sujetarlo de la ropa del encargado y evitar perderlo o caerse y del estetoscopio el cual permite escuchar sonidos internos con mayor facilidad.

Figura 19. Instrumentos tradicionales de medición para temperatura y frecuencia respiratoria



Termómetro

Estetoscopio

4.1.9 Interfaz de visualización de los datos en ThingSpeak

Mediante una interfaz se presentan los datos enviados desde Matlab que han sido procesados y analizados previamente para poder integrarlos en la aplicación de visualización de datos. El análisis de la frecuencia respiratoria en base a los datos del sensor acelerómetro el cual mide expansión y contracción del tórax del bovino, primero se recolectan los datos de aceleración, descartando las primeras 100 muestras para eliminar posibles inestabilidades del arranque. La señal resultante se amplifica y luego se suaviza mediante una media móvil, reduciendo así el ruido y resaltando los componentes relevantes.

Un filtro de media móvil tiene la siguiente formula:

$$y[n] = \frac{1}{5} (x[n-2] + x[n-1] + x[n] + x[n+1] + x[n+2])$$

donde:

$x[n]$: valor original de la señal en el instante n

$y[n]$: Valor suavizado

debido a que para calcular el valor suavizado se utilizó una ventana de 5 puntos es decir 2 puntos anteriores y 2 posteriores al $x[n]$, Es una media móvil centrado de 5 puntos que ayuda a reducir el ruido de la señal de respiración antes de aplicar la transformada de Fourier (FFT).

Posteriormente, se aplica la Transformada Rápida de Fourier (FFT), que traduce la señal del tiempo al dominio de la frecuencia y genera un espectro donde los picos indican patrones periódicos. En el código se elimina las primeras cinco frecuencias del espectro FFT (cerca de 2.5 Hz) con el objetivo de eliminar elementos no necesarios como el ruido de baja frecuencia, las variaciones lentas de la señal o el componente DC (valor oscilante). En el código, se realizaron varias operaciones matemáticas para lograr las mediciones a partir de los datos recolectados por MATLAB. Primero, se determina la temperatura media del cuerpo a través de la media aritmética de los valores registrados. Después, la señal de aceleración se amplifica, normaliza y suaviza mediante una media móvil, lo que disminuye la cantidad de ruido. Se utiliza la Transformada Rápida de Fourier (FFT) para convertir la señal al dominio de la frecuencia y adquirir su espectro. Se descartan las bajas frecuencias no deseadas y se determina el pico de mayor amplitud, que se vincula con la frecuencia respiratoria. Por último, esta frecuencia se transforma en respiraciones por minuto (RPM) al multiplicarla por 60.

Estos datos serán las variables deseadas para poder detectar cambios o anomalías que ocurren en el animal y que pueden brindar una mejor respuesta a posibles riesgos, todo esto en un periodo de tiempo determinado el cual en el sistema tiene un tiempo de muestreo para el acelerómetro de 25 ms entre datos lo cual indica que en 1 minuto el total de datos es 2400 datos en 60 segundos. Debido a que el sistema cuenta con limitaciones de transmisión en los módulos lora se optó por dar un delay o retardo entre datos de 200 milisegundos.

$$tiempo\ total = 200\ ms\ delay * 2400\ datos = \frac{480000\ ms}{60000\ ms(1\ minuto)} = 8\ minutos$$

De acuerdo con la fórmula previa, se puede apreciar que, para transmitir con un retraso de 200 milisegundos entre datos, se necesitarían 8 minutos para enviar un total de 2400 datos.

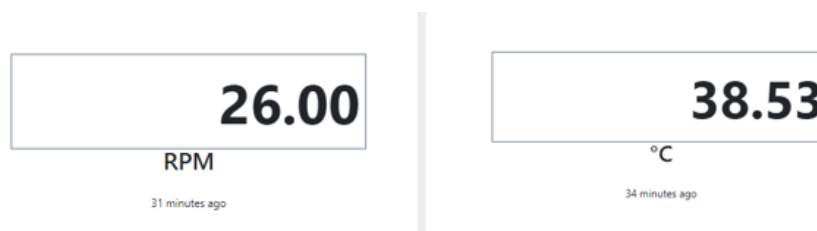
El algoritmo implementado en el código de Matlab tiene como finalidad adquirir, procesar y analizar datos fisiológicos provenientes de un dispositivo conectado mediante un puerto serial, específicamente valores de aceleración y temperatura corporal. Inicialmente, se configura y habilita la comunicación serial, asegurando el cierre de posibles conexiones previas. Durante la ejecución, los datos son leídos de forma continua siempre que cumplan con el formato esperado (dos valores separados por coma) y se almacenan en vectores independientes, junto con sus respectivas marcas de tiempo. Una vez finalizado el proceso de adquisición, se calcula la temperatura corporal promedio aplicando la media aritmética sobre el conjunto de datos recopilados. Paralelamente, la señal de aceleración es recortada, amplificada, normalizada y

suavizada mediante una media móvil de cinco puntos, con el propósito de reducir el ruido de alta frecuencia y preparar la señal para su análisis espectral.

Posteriormente, se aplica la Transformada Rápida de Fourier (FFT) a la señal suavizada para convertirla del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. Se descartan las componentes de baja frecuencia, generalmente asociadas a artefactos o variaciones lentas no relacionadas con el patrón respiratorio, con el fin de mejorar la precisión del análisis. A partir del espectro filtrado, se identifica la frecuencia dominante correspondiente al ritmo respiratorio, la cual es convertida de hercios (Hz) a respiraciones por minuto (RPM) mediante un factor de escala.

Por último, los datos de temperatura media y frecuencia respiratoria se transmiten a la plataforma ThingSpeak para su almacenamiento y visualización a distancia, y todas las variables del ambiente laboral se registran automáticamente con un identificador basado en la fecha y hora de la ejecución, lo que simplifica su seguimiento y análisis futuro.

Figura 20. Visualizaciones variables en ThingSpeak



A continuación, se observa como las variables se muestran en unas graficas las cuales pueden ofrecer una mejor comprensión del comportamiento del animal en el tiempo.

Figura 21. Gráficas de variables medidas



5. Análisis y discusión de resultados

Este sistema no tiene como objetivo establecer asociaciones entre enfermedades y las variables que se están estudiando. Su propósito principal es evaluar la eficiencia. Dado que se presentó la oportunidad de que el bovino fue inseminado y atravesó un periodo de celo que duró aproximadamente una semana, se aprovechó ese momento para realizar la recolección de datos. Esto permitió observar posibles cambios en algunas de las variables de estudio durante esa semana de celo y compararlos con los datos de la semana siguiente, cuando el animal ya no presentaba dicho estado. Fuera de esta observación puntual, no se identificaron ni se buscaron otras asociaciones.

Se realizaron 10 pruebas en donde se compararon los datos obtenidos del sistema de monitoreo con los instrumentos tradicionales para determinar el error de lectura.

Se aclara que para cada prueba el total de datos tomados es de 2400 datos por cada prueba. Es decir, para determinar una frecuencia y temperatura se manejaron 4800 datos en total por cada prueba.

Figura 22. *Tabla de comparación de datos registrados por sistema vs instrumentos tradicionales*

PRUEBAS	FRECUENCIA RESPIRATORIA		TEMPERATURA CORPORAL	
	ACELEROMETRO	FONENDOSCOPIO	SENSOR INFRARROJO	TERMOMETRO RECTAL
Prueba 1	26 RPM	26 RPM	38,37 °C	37 °C
Prueba 2	25 RPM	26 RPM	38.25 °C	37 °C
Prueba 3	25 RPM	26 RPM	38,37 °C	37 °C
Prueba 4	26 RPM	26 RPM	38.69 °C	37 °C
Prueba 5	27 RPM	26 RPM	38.71 °C	38 °C
Prueba 6	27 RPM	27 RPM	38.77 °C	38 °C
Prueba 7	26 RPM	26 RPM	38.75 °C	38 °C
Prueba 8	27 RPM	28 RPM	38.41 °C	38 °C
Prueba 9	25 RPM	29 RPM	38.53 °C	38.5 °C
Prueba 10	26 RPM	29 RPM	38.32 °C	39 °C

Para dar respuesta al objetivo del proyecto el cual es determinar la eficacia que brinda un sistema de monitoreo de temperatura corporal y frecuencia respiratoria para el ganado bovino

con respecto a métodos de medición usados tradicionalmente se hace uso del error relativo porcentual con la siguiente formula.

$$\varepsilon_{r\%} = \left| \frac{V_{medida} - V_{referencia}}{V_{referencia}} \right| \times 100 \% \quad (2)$$

Donde:

Er = Error Relativo Porcentual

Vmedida = Valor de variable medida

Vreferencia = Valor de variable de referencia

Se disponible aplicar la formula en las variables medidas en las 10 pruebas donde las Vmedidas serán las medidas por el sensor acelerómetro y sensor de temperatura corporal también donde Vreferencia son los medidos por el fonendoscopio y el termómetro rectal.

Tabla 7. Errores relativos porcentuales en pruebas

Prueba No.	Error Relativo Porcentual	Error Relativo Porcentual Frecuencia
	Temperatura Corporal	Respiratoria
1	$\varepsilon_{r\%} = 0.037 \%$	$\varepsilon_{r\%} = 0\%$
2	$\varepsilon_{r\%} = 0.034 \%$	$\varepsilon_{r\%} = 0.038\%$
3	$\varepsilon_{r\%} = 0.037 \%$	$\varepsilon_{r\%} = 0.038\%$
4	$\varepsilon_{r\%} = 0.046 \%$	$\varepsilon_{r\%} = 0\%$
5	$\varepsilon_{r\%} = 0.018 \%$	$\varepsilon_{r\%} = 0.038\%$
6	$\varepsilon_{r\%} = 0.020 \%$	$\varepsilon_{r\%} = 0\%$
7	$\varepsilon_{r\%} = 0.19 \%$	$\varepsilon_{r\%} = 0\%$
8	$\varepsilon_{r\%} = 0.011 \%$	$\varepsilon_{r\%} = 0.036\%$

9	$\varepsilon_{r\%} = 0.008 \%$	$\varepsilon_{r\%} = 0.14\%$
---	--------------------------------	------------------------------

10	$\varepsilon_{r\%} = 0.017 \%$	$\varepsilon_{r\%} = 0.10\%$
----	--------------------------------	------------------------------

Se realiza un promedio del error relativo en las 10 pruebas tanto para temperatura corporal dando lo siguiente:

$$P_{er} = \frac{0.037 + 0.034 + 0.037 + 0.046 + 0.018 + 0.020 + 0.19 + 0.011 + 0.008 + 0.017}{10} = 0.0418 \%$$

Donde:

Per = Promedio error relativo porcentual

De igual forma se calcula el promedio del error relativo en las 10 pruebas tanto para la frecuencia respiratoria dando lo siguiente:

$$P_{er} = \frac{0 + 0.038 + 0.038 + 0 + 0.038 + 0 + 0 + 0.036 + 0.14 + 0.10}{10} = 0.039 \%$$

Donde:

Per = Promedio error relativo porcentual

Se llevó a cabo un monitoreo durante dos semanas y cada semana se monitoreo por 5 días, realizando un seguimiento continuo de 8 horas diarias. El muestreo de los datos es cada 8 minutos dándonos un muestreo durante las dos semanas de:

$$\text{No. muestras en una hora} = \frac{60}{8} = 7.5 \text{ muestras}$$

$$\text{No. muestras en 8 horas} = 8 \times 7.5 = 60 \text{ muestras diarias}$$

$$\text{No. muestras en 10 días} = 10 \times 60 = 600 \text{ muestras diarias}$$

De lo anterior se concluye que el número de muestras durante dos semanas fueron 600 muestras durante 10 días ya que debido a la falta de disponibilidad de personal durante fines de semana no se pueden monitorear los sábados y domingos.

Debido a que el sistema de recepción no contaba con acceso a una conexión a internet, fue necesario almacenar localmente los datos recopilados. Una vez finalizado el periodo de monitoreo, los datos fueron cargados a la plataforma ThingSpeak para su visualización gráfica.

Para determinar el funcionamiento del sistema de monitoreo de ganado bovino se realiza el monitoreo en una semana importante donde se realiza al ganado inseminación para cría de ganado. Con el fin de mirar cambios en la semana donde ellas entran en un proceso llamado celo el cual es importante ver el estado del animal para poder evaluar si el animal es apto para cría de ganado o no.

Figura 23. *Implementación de sistema de monitoreo en campo*



Se instaló el sistema de monitoreo en el lote cercano al invernadero de la granja Botana para evaluar el funcionamiento del prototipo y el alcance de la señal para transmisión de datos.

Se hizo monitoreo en la segunda semana por 5 días para determinar los cambios durante la semana posterior a la inseminación y se obtuvieron los siguientes resultados en las variables de temperatura corporal y frecuencia respiratoria del animal.

Debido a que la plataforma ThingSpeak no permite seleccionar datos durante periodos específicos de tiempo se vio necesario hacer su análisis en Matlab.

Se debe tener en cuenta que la respiración normal en el ganado bovino es de 10 a 30 RPM. A continuación, se muestran los gráficos de respiración de las dos semanas, junto con las

respectivas gráficas de temperatura corporal, que incluyen datos de temperaturas normales de un bovino entre 37.5 y 39.5°C.

Figura 24. Gráfica de Datos de Frecuencia Respiratoria Semana 1 de 2 Días

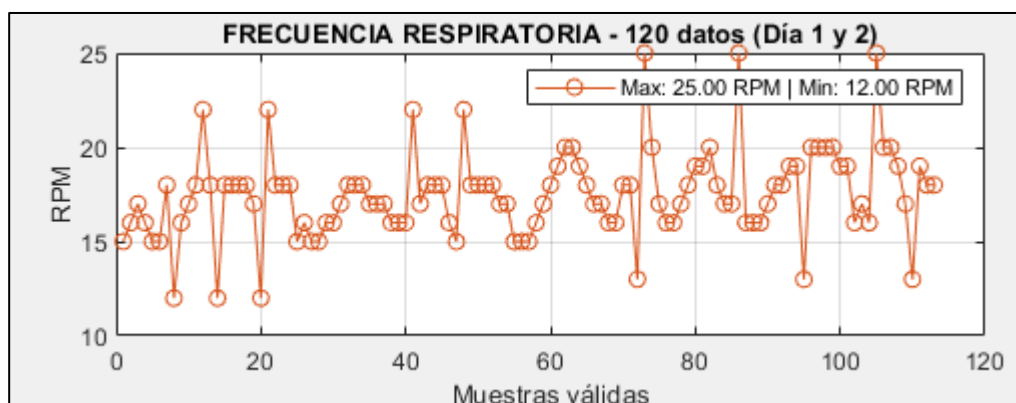


Figura 25. Gráfica de Datos de Frecuencia Respiratoria Semana 1 de 3 Días

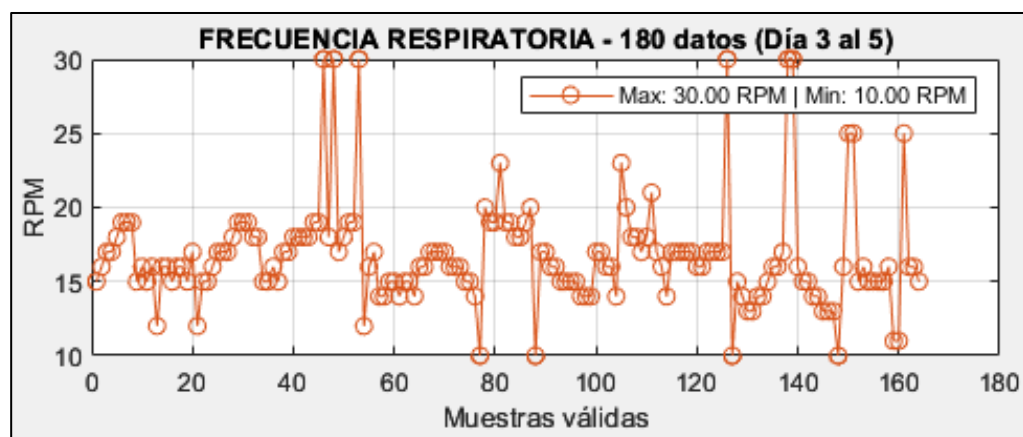


Figura 26. Gráfica de Datos de Temperatura Semana 1 de 2 Días

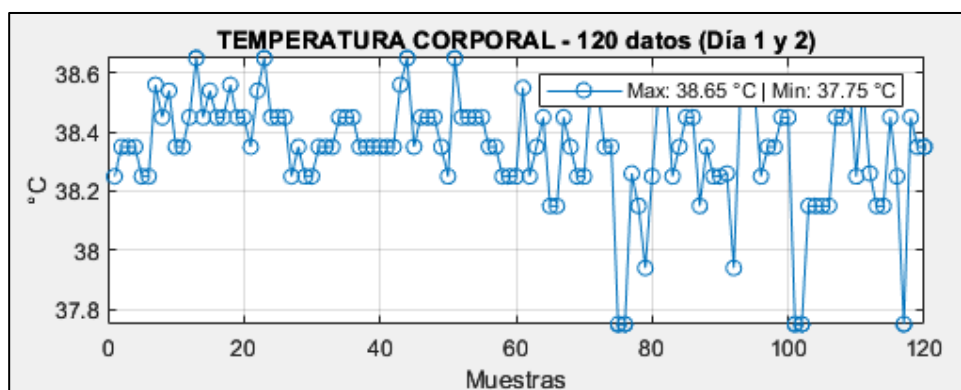
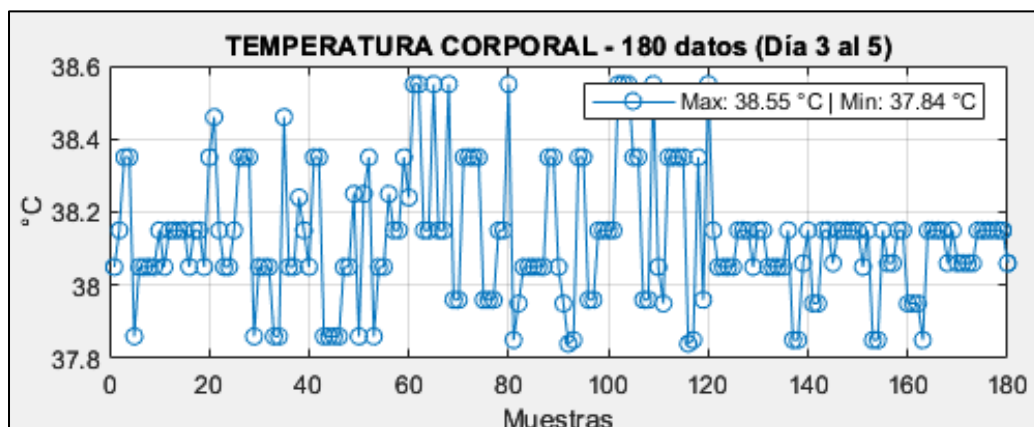


Figura 27. Gráfica de Datos de Temperatura Semana 1 de 3 Días



Se presenta a continuación los datos registrados en la segunda semana de monitoreo.

Figura 28. Gráfica de Datos de Frecuencia Respiratoria Semana 2 de 2 Días

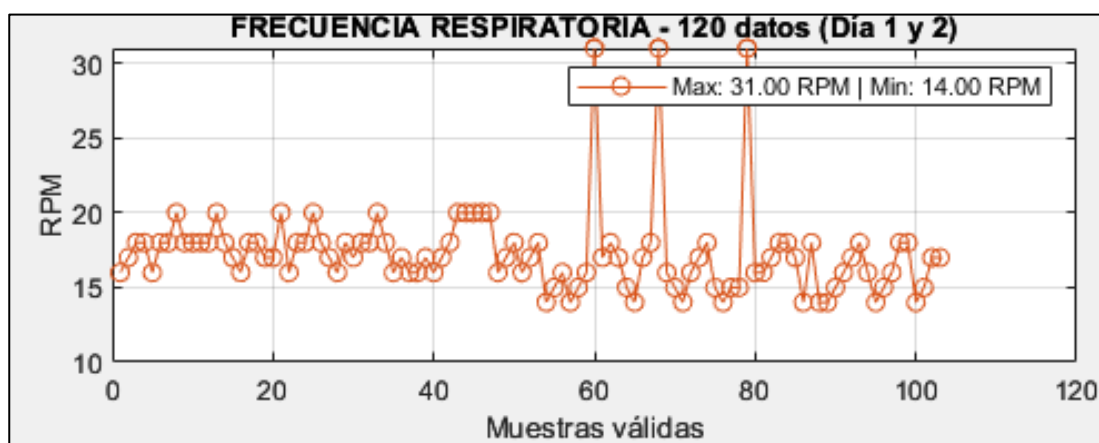


Figura 29. Gráfica de Datos de Frecuencia Respiratoria Semana 2 de 3 Días

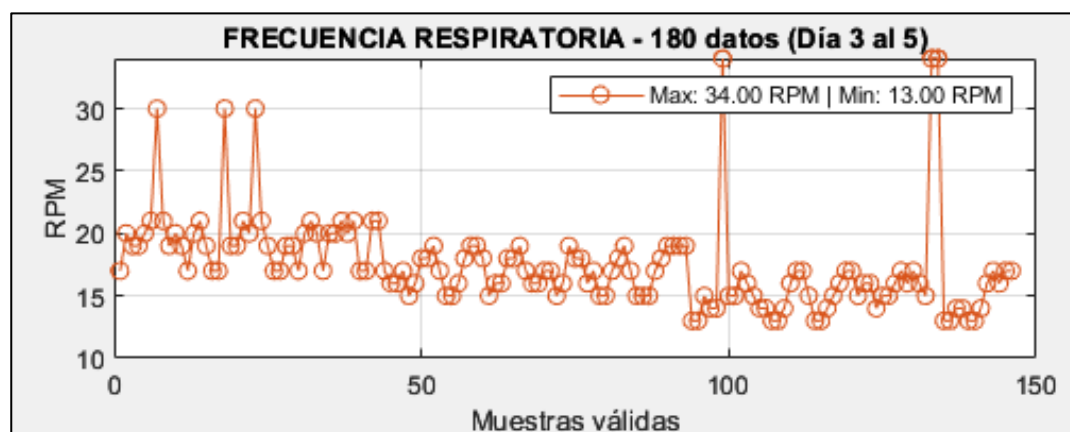


Figura 30. Gráfica de Datos de Temperatura Semana 2 de 2 Días

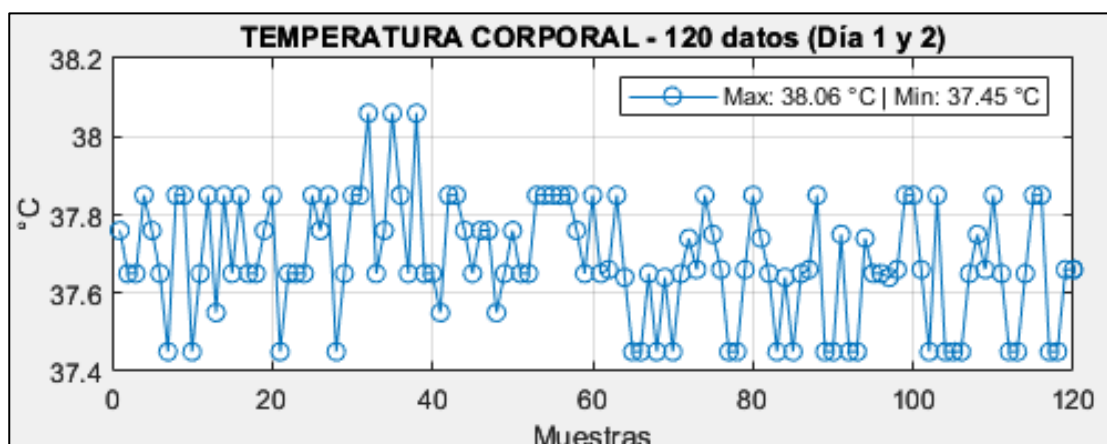
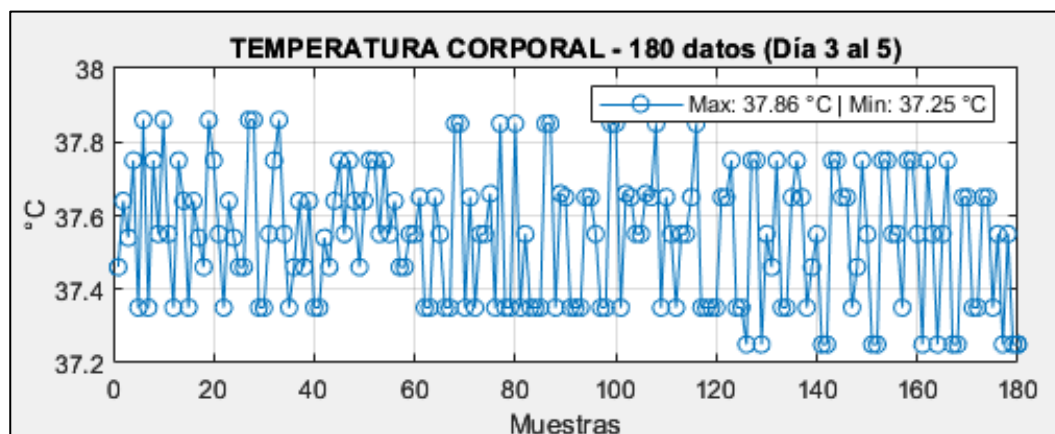
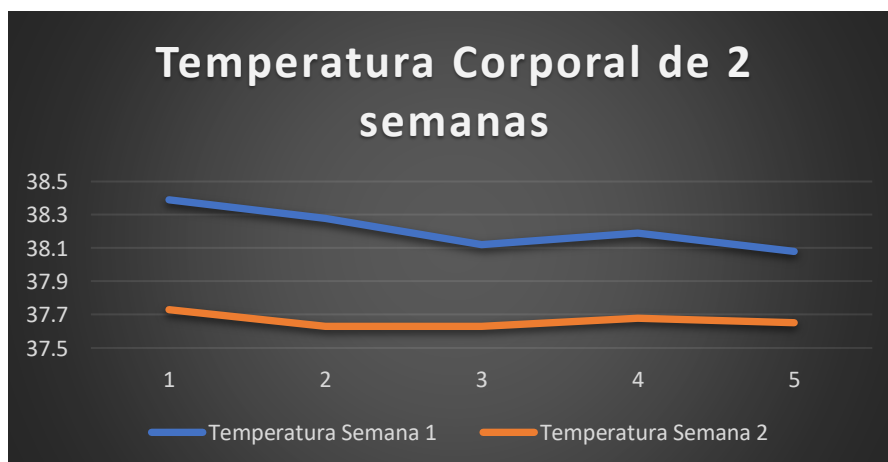


Figura 31. Gráfica de Datos de Temperatura Semana 2 de 3 Días



Se realizó una representación gráfica de los datos promedios de cada día por 2 semanas teniendo en cuenta que cada semana se monitoreo por 5 días.

Figura 32. Gráfica de Temperatura Corporal de las 2 semanas



Se realizó un promedio de temperatura corporal y frecuencia respiratoria por día y se presenta los resultados a continuación.

El promedio de temperatura de la semana 1 fue:

$$P_r = \frac{38.3893 + 38.2828 + 38.12 + 38.188 + 38.0767}{5} = 38.21^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

Donde:

Pr = promedio a calcular

Como se puede observar la temperatura promedio durante la semana 1 es 38.21 °C la cual está dentro del rango normal de temperatura en el bovino.

El promedio de temperatura de la semana 2 fue:

$$P_r = \frac{37.7372 + 37.6272 + 37.6264 + 37.6806 + 37.6454}{5} = 37.60^{\circ}\text{C} \quad (4)$$

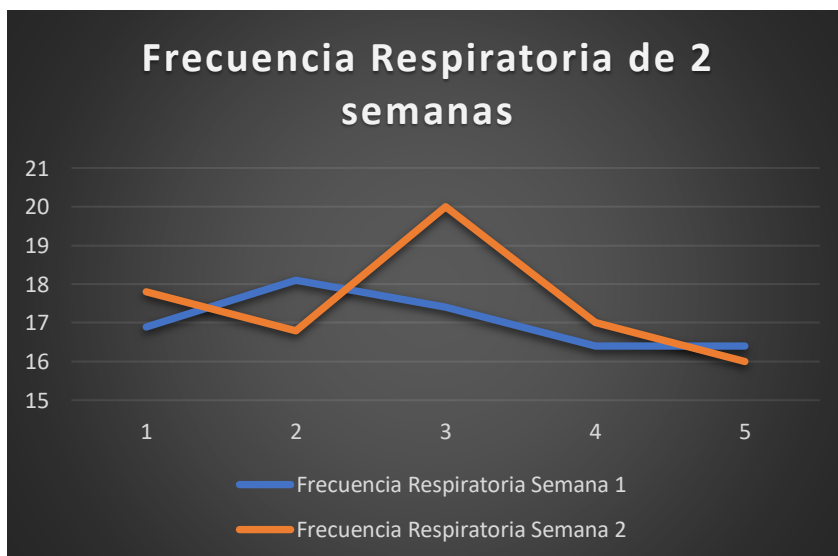
Donde:

Pr = promedio a calcular

Como se puede observar la temperatura promedio durante la semana 1 es 37.6 °C la cual está dentro del rango normal de temperatura en el bovino.

Igualmente se representa gráficamente los datos promedios por día durante 2 semanas de frecuencia respiratoria.

Figura 33. Gráfica de Frecuencia Respiratoria de las 2 semanas



El promedio de frecuencia respiratoria de la semana 1 fue:

$$P_r = \frac{16.9123 + 18.1071 + 17.4286 + 16.4138 + 16.44}{5} = 17.06 \text{ RPM} \quad (5)$$

Donde:

Pr = promedio a calcular

Como se puede observar la frecuencia respiratoria promedio durante la semana 1 es 17 RPM la cual está dentro del rango normal de temperatura en el bovino.

El promedio de frecuencia respiratoria de la semana 2 fue:

$$P_r = \frac{17.8 + 16.8491 + 20 + 17 + 16.0755}{5} = 17.54 \text{ RPM} \quad (6)$$

Donde:

Pr = promedio a calcular

Como se puede observar la frecuencia respiratoria promedio durante la semana 1 es 17 RPM la cual está dentro del rango normal de temperatura en el bovino.

Se realiza una comparación entre los datos registrados para variables de estudio durante las 2 semanas de monitoreo dando lo siguiente:

Tabla 8. Comparación de Datos Promedio de 2 Semanas

Temperatura y Frecuencia respiratoria promedio semana 1	Temperatura y Frecuencia respiratoria promedio semana 2	Diferencia de Variables
38.21°C	37.60°C	0.61°C
17 RPM	17 RPM	0 RPM

Se observa que hubo un cambio en temperatura de la semana 1 con respecto a la semana 2 la cual fue de 0.61°C.

Conclusiones

- Se concluye que los promedios de los errores relativos porcentuales obtenidos en las pruebas realizadas para las variables de estudio son cercanos a cero. Esto indica que el sistema de monitoreo presenta un alto grado de fiabilidad, ya que las mediciones registradas son consistentes y comparables con las obtenidas mediante instrumentos de medición tradicionales.
- La autonomía del sistema de monitoreo resultó limitada, ya que las baterías de litio utilizadas no ofrecían una duración prolongada. Esto se debió a que, por razones de costo, se optó por celdas de baja capacidad de carga, lo que restringió el tiempo de funcionamiento continuo del sistema.
- Los transceptores LoRa RYLR998 utilizados ofrecieron un alcance de entre 150 y 200 metros en condiciones de línea de visión directa. Sin embargo, al superar esta distancia, se presentaban pérdidas de información o interrupciones en la comunicación.
- El arnés implementado presentó algunos inconvenientes durante el traslado de los bovinos entre lotes, ya que las zonas contaban con abundante vegetación, incluyendo árboles y ramas. Esto provocaba que el arnés perdiera parcialmente su orientación original.
- Durante el monitoreo realizado por dos semanas, se evidenció un incremento de 0.6°C en la temperatura corporal durante la primera semana en comparación con la segunda. Este aumento coincide con el periodo de inseminación artificial, durante el cual las vacas experimentan el celo. En esta fase, es común que presenten cambios fisiológicos como elevación de la temperatura corporal, mayor actividad física y alteraciones hormonales, lo que explica la variación observada en los datos registrados por el sistema de monitoreo.
- El monitoreo de la temperatura corporal y la frecuencia respiratoria es una herramienta útil para identificar estados fisiológicos relevantes en bovinos, como el celo, y optimizar los momentos de inseminación. Durante las pruebas, que se realizaron en la semana en que el bovino fue inseminado y presentó celo, se observaron cambios en estas variables; sin embargo, esto fue circunstancial y no está relacionado con la detección de enfermedades.
- El cambio de la temperatura corporal incrementado sugiere una respuesta metabólica o hormonal relacionada con la inseminación.

Recomendaciones

- Se recomienda utilizar baterías de mayor capacidad para la alimentación del sistema de monitoreo, con el objetivo de prolongar la autonomía y reducir la frecuencia de recargas o reemplazos. Esto permitirá un monitoreo continuo y confiable de las variables fisiológicas sin interrumpir la recolección de datos, optimizando el manejo y reduciendo la intervención directa sobre el animal.
- Se recomienda mejorar el diseño del arnés incorporando materiales más ergonómicos y flexibles, preferiblemente cuero natural o sus derivados, que permitan una mejor adaptación al contorno del animal, reduciendo puntos de presión y evitando rozaduras. Además, se sugiere incluir superficies transpirables o perforadas para favorecer la ventilación y disminuir la acumulación de humedad.
- Para el diseño y uso del arnés, se recomienda la utilización de cuero natural o materiales derivados de alta calidad que permitan una mejor transpiración y eviten la acumulación de humedad, reduciendo así el riesgo de infecciones cutáneas por hongos y favoreciendo una mayor comodidad y bienestar del animal.
- Se recomienda para reducir costos de herramientas de software para el análisis de datos una base convencional como MySQL o PostgreSQL para realizar consultas en el tiempo y obtener mayor información debido que ThingSpeak cuenta con un límite de datos por día de 8200 mensajes utilizando un máximo de 4 canales ya que es una versión gratuita y para uso de escala mayor no sería conveniente.
- Se recomienda utilizar software libre como Python en lugar de MATLAB, ya que este último requiere una licencia de pago y depende de recursos técnicos de cómputo más avanzados para funcionar correctamente. Dado que la mayoría de los ganaderos no cuentan con equipos de alto rendimiento, Python representa una alternativa más accesible y ligera, lo que facilita su implementación y reduce la carga de trabajo.

Referencias

- Agencia de Noticias UN. (2021, octubre 11). *Frío extremo disminuiría producción de vacas Holstein*. <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/frio-extremo-disminuiria-produccion-de-vacas-holstein>
- Bernal, L. (2025, enero 3). *Internet rural en Colombia: Precios, empresas y cobertura en el país*. <https://impactotic.co/innovacion/internet-en-zonas-rurales-en-colombia/>
- Bonilla, M., Gutierrez, A., Serrano, L., Ramos, S., & Peña, E. (2018, octubre 19). *Diseño, desarrollo y evaluación preliminar de un novedoso monitor de signos vitales llevable para vacunos*. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rivep/v30n1/a08v30n1.pdf>
- Caicedo, L., Correa, O., Galvis, I., & Vargas, L. (2021). *Diseño de un sistema de monitoreo para ganado bovino utilizando tecnología LPWAN* [Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/59130/3590.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Consejo Privado de Competitividad. (s/f). *INFORME NACIONAL DE COMPETITIVIDAD 2023 - 2024*. Informe Nacional de Competitividad 2023 - 2024. Recuperado el 13 de mayo de 2025, de https://compite.com.co/wp-content/uploads/2023/08/INC_COMPLETO_PAG-INDIVIDUAL.pdf
- CONtextoganadero. (2022, octubre 12). *Conozca la prevalencia y factores de riesgo del complejo respiratorio bovino*. <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/conozca-la-prevalencia-y-factores-de-riesgo-del-complejo-respiratorio-bovino>
- CONtextoGanadero. (2023, enero 2). *Indicadores y pérdida de calor en bovinos por estrés calórico*. <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/indicadores-y-perdida-de-calor-en-bovinos-por-estres-calorico>
- CONtextoganadero. (2023a, enero 2). *Plan sanitario, un factor clave que no debe faltar en ninguna finca ganadera*. <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/plan-sanitario-un-factor-clave-que-no-debe-faltar-en-ninguna-finca-ganadera>
- CONtextoganadero. (2023b, marzo 1). *Ganadería de precisión: clave para optimizar la eficiencia productiva*. <https://www.contextoganadero.com/internacional/ganaderia-de-precision-clave-para-optimizar-la-eficiencia-productiva>

FEDEGAN. (2021a). *Primeros Auxilios en Ganadería: Manual Práctico*.

<https://www.fedegan.org.co/primeros-auxilios-en-ganaderia-manual-practico>

FEDEGAN. (2021b). *Salud y Bienestar Animal*. <https://www.fedegan.org.co/programas/sanidad-animal>

Federación Colombiana de Ganaderos - Fedegán. (s/f). *Buenas Prácticas Ganaderas*.

<https://www.fedegan.org.co/programas/buenas-practicas-ganaderas>

Federación Colombiana de Ganaderos - Fedegán. (2020). *El enorme aporte de la ganadería a la economía de Colombia*. <https://agriculturadelasamericas.com/pecuaria/productores-ganaderos-y-seguridad-alimentaria-mundial/#:~:text=Algunas cifras relevantes acerca de la ganadería colombiana%3A&text=– La ganadería aporta el 24,del producto interno bruto agropecuario.>

GMS instruments. (2023, diciembre 29). *¿Qué es un sensor de temperatura?* <https://gms-instruments.com/es/blog/what-is-a-temperature-sensor/>

Guzmán, G. (2021). *Sistema basado en internet de las cosas para el monitoreo de ganado vacuno usando una red LORAWAN*.

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/61871/413-attachment-1649277921.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

industriasGSL. (2021). *¿Qué es la instrumentación y control?*

<https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/instrumentacion-y-control>

Mayo Clinic. (2021). *Brucelosis*. <https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/brucellosis/symptoms-causes/syc-20351738>

Mejía, L. G., Hernández, R. A., Rosero, C. Y., & Solarte, C. E. (2015). Análisis de la diversidad genética de ganado bovino lechero del trópico alto de Nariño mediante marcadores moleculares heterólogos de tipo microsatélite. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 62(3), 18–33. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v62n3.54938>

Ministerio de Agricultura. (2019). *LEUCOSIS ENZOOTICA BOVINA*.

https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/f_tecnica_leucosis_enzootica_bovina-2019_0.pdf

Muñoz, O. Q. (2019). *Internet de las cosas (IoT)*.

https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang_es&id=vnnEDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT2&dq=IOT&ots=oRtzS0irUq&sig=1UXuiZSY9rck15hHAX4DephYtvc#v=onepage&q=IOT&f=false

Lithium ION. (2022, julio 4). *Giroscopio MPU6050 con Arduino*.

<https://www.electronicadiy.com/blogs/tutoriales-y-blog/giroscopio-mpu6050-con-arduino>

NCyTU. (2021). *Eficiencia en los procesos*.

https://foroconsultivo.org.mx/INCYTU/documentos/Completa/INCYTU_18-023.pdf

Nogoy, K. M. C., Chon, S. Il, Park, J. H., Sivamani, S., Lee, D. H., & Choi, S. H. (2022). High Precision Classification of Resting and Eating Behaviors of Cattle by Using a Collar-Fitted Triaxial Accelerometer Sensor. *sensor*, 22(16), 1–16. <https://doi.org/10.3390/s22165961>

Odeón, M., & Romera, A. (2017). *Estrés en ganado: causas y consecuencias*.

https://www.produccion-animal.com.ar/etologia_y_bienestar/bienestar_en_general/91-estres_en_ganado.pdf

Personal de Maker.io. (2024, junio 17). *Cómo Comenzar Con ESP-NOW*.

<https://www.digikey.com/en/maker/tutorials/2024/how-to-get-started-with-esp-now>

Prada, A. (s/f). *Manejo de la Leucosis Enzoótica Bovina (LEB)*. Recuperado el 14 de mayo de 2025, de <https://vecol.com.co/wp-content/uploads/2020/09/MANUAL-MANEJO-LEUCOSIS-BOVINA.pdf>

Programa de Ingeniería Electrónica. (2015). *Grupo de Investigación Rampa*.

<https://www.unicesmag.edu.co/grupos-investigacion/rampa/>

repuestosfuster. (2020a). *¿Qué es la ganadería de precisión?*

<https://www.repuestosfuster.com/blog/ganaderia-de-precision-que-es/>

repuestosfuster. (2020b). *¿Qué es la ganadería de precisión?*

<https://www.repuestosfuster.com/blog/ganaderia-de-precision-que-es/>

REYAX. (2022, junio 7). *REYAX nuevo LoRa® Antenna Transceiver Module RYLR998*. 2022.

https://reyax.com/news_d.php?nw=3

Rodríguez, D. (2024, marzo 4). *Ganadería ¿Por qué la mastitis bovina sigue siendo una enfermedad muy difícil de controlar?* <https://www.agronegocios.co/finca/por-que-la-mastitis-bovina-sigue-siendo-una-enfermedad-muy-dificil-de-controlar-3814062>

Servicio Agrícola y Ganadero. (s/f). *Brucelosis bovina (BB)*. Recuperado el 14 de mayo de 2025, de <https://www.sag.gob.cl/ambitos-de-accion/brucelosis-bovina-bb>

Silva, C. (2018). *prototipo de collar de monitoreo para ganado usando tecnología LPWAN* [FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DEL NORTE].

<https://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/8501/GRUPO2 IEN INFORMEFINAL.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

SparkFun. (s/f). *Sensor de Temperatura Digital - TMP102*. Recuperado el 13 de mayo de 2025, de <https://techmake.com/products/sentem00164>

UPRA. (2024, agosto 22). *El sector agropecuario impulsa el crecimiento del PIB en el segundo trimestre de 2024*. <https://upra.gov.co/es-co/saladeprensa/Paginas/El-sector-agropecuario-impulsa-el-crecimiento-del-PIB-en-el-segundo-trimestre-de-2024.aspx>

Lista de Figuras

Figura 1. Módulo de frecuencia respiratoria	31
Figura 2. Módulo de sensor temperatura y comunicación LORA	31
Figura 3. Sistema de comunicación LORA	32
Figura 4. Sistema de monitoreo de temperatura y frecuencia respiratoria para bovinos..	32
Figura 5. Lectura del sensor de temperatura MLX90614	39
Figura 6. Diagrama de código general en módulo de sensor de temperatura corporal	40
Figura 7. Lectura del sensor acelerómetro MPU6050	41
Figura 8. Diagrama de código del módulo sensor frecuencia respiratoria	41
Figura 9. PCB del sensor acelerómetro	42
Figura 10. PCB del sensor de temperatura y transmisor Lora	42
Figura 11. Lectura del transmisor ESP-NOW.....	44
Figura 12. Lectura de receptor ESP-NOW	44
Figura 13. Cadena enviada por el transmisor LoRa	45
Figura 14. Estructura del mensaje enviado del transmisor LoRa.....	46
Figura 15. Orden del mensaje de recepción LoRa	46
Figura 16. Distancia de prueba de alcance de transmisión y recepción del sistema de monitoreo.....	47
Figura 17. Diseño de collar para el sistema de monitoreo para ganado bovino.....	48
Figura 18. Implementación del sistema de monitoreo en el bovino	48
Figura 19. Instrumentos tradicionales de medición para temperatura y frecuencia respiratoria	49
Figura 20. Visualizaciones variables en ThingSpeak	51
Figura 21. Gráficas de variables medidas	51
Figura 22. Tabla de comparación de datos registrados por sistema vs instrumentos tradicionales	52
Figura 23. Implementación de sistema de monitoreo en campo	55
Figura 24. Gráfica de Datos de Frecuencia Respiratoria Semana 1 de 2 Días	56
Figura 25. Gráfica de Datos de Frecuencia Respiratoria Semana 1 de 3 Días.....	56
Figura 26. Gráfica de Datos de Temperatura Semana 1 de 2 Días	56
Figura 27. Gráfica de Datos de Temperatura Semana 1 de 3 Días	57

Figura 28. Gráfica de Datos de Frecuencia Respiratoria Semana 2 de 2 Días	57
Figura 29. Gráfica de Datos de Frecuencia Respiratoria Semana 2 de 3 Días.....	57
Figura 30. Gráfica de Datos de Temperatura Semana 2 de 2 Días	58
Figura 31. Gráfica de Datos de Temperatura Semana 2 de 3 Días	58
Figura 32. Gráfica de Temperatura Corporal de las 2 semanas	58
Figura 33. Gráfica de Frecuencia Respiratoria de las 2 semanas	59

Lista de Tablas

Tabla 1. Requerimientos del sistema de monitoreo.....	33
Tabla 2. Consumo del primer escenario del sistema de monitoreo	34
Tabla 3. Consumo de segundo escenario del sistema de monitoreo.....	35
Tabla 4. Consumo de dispositivos del tercer escenario	35
Tabla 5. Autonomía del sistema de monitoreo para ganado bovino.....	36
Tabla 6. Comandos AT para configuración de transceptores Lora	45
Tabla 7. Errores relativos porcentuales en pruebas	53
Tabla 8. Comparación de Datos Promedio de 2 Semanas	60

 UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN	CARTA DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO O TRABAJO DE APLICACIÓN – ASESOR(A)	CÓDIGO: AAC-BL-FR-032 VERSIÓN: 1 FECHA: 09/JUN/2022
---	---	---

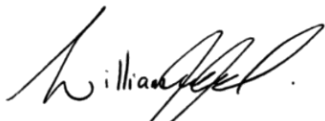
San Juan de Pasto, 04 de septiembre de 2025

Biblioteca
REMIGIO FIORE FORTEZZA OFM. CAP.
Universidad CESMAG
Pasto

Saludo de paz y bien.

Por medio de la presente se hace entrega del Trabajo de Grado / Trabajo de Aplicación denominado desarrollo de un sistema de monitoreo de temperatura corporal y frecuencia respiratoria para ganado bovino, presentado por el (los) autor(es) Andrés Felipe Tello Díaz y Luis Jairo Guzmán López del Programa Académico ingeniería electrónica al correo electrónico biblioteca.trabajosdegrado@unicesmag.edu.co. Manifiesto como asesor(a), que su contenido, resumen, anexos y formato PDF cumple con las especificaciones de calidad, guía de presentación de Trabajos de Grado o de Aplicación, establecidos por la Universidad CESMAG, por lo tanto, se solicita el paz y salvo respectivo.

Atentamente,



William Andrés Arévalo Terán
1085254372
Ingeniería electrónica
3173008497
waarevalo@unicesmag.edu.co

 UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

INFORMACIÓN DEL (LOS) AUTOR(ES)	
Nombres y apellidos del autor: Andrés Felipe Tello Díaz	Documento de identidad: 1004134313
Correo electrónico: Andres07td@gmail.com	Número de contacto: 3118811033
Nombres y apellidos del autor: Luis Jairo Guzmán López	Documento de identidad: 1193397081
Correo electrónico: Jairoxguzman19@gmail.com	Número de contacto: 3022403621
Nombres y apellidos del autor:	Documento de identidad:
Correo electrónico:	Número de contacto:
Nombres y apellidos del autor:	Documento de identidad:
Correo electrónico:	Número de contacto:
Nombres y apellidos del asesor: William Andrés Arévalo Terán	Documento de identidad: 1085254372
Correo electrónico: waarevalo@unicesmag.edu.co	Número de contacto: 3173008497
Título del trabajo de grado: Desarrollo de un sistema de monitoreo de temperatura corporal y frecuencia respiratoria para ganado bovino	
Facultad y Programa Académico: Ingeniería electrónica	

En mi (nuestra) calidad de autor(es) y/o titular (es) del derecho de autor del Trabajo de Grado o de Aplicación señalado en el encabezado, confiero (conferimos) a la Universidad CESMAG una licencia no exclusiva, limitada y gratuita, para la inclusión del trabajo de grado en el repositorio institucional. Por consiguiente, el alcance de la licencia que se otorga a través del presente documento, abarca las siguientes características:

- La autorización se otorga desde la fecha de suscripción del presente documento y durante todo el término en el que el (los) firmante(s) del presente documento conserve (mos) la titularidad de los derechos patrimoniales de autor. En el evento en el que deje (mos) de tener la titularidad de los derechos patrimoniales sobre el Trabajo de Grado o de Aplicación, me (nos) comprometo (comprometemos) a informar de manera inmediata sobre dicha situación a la Universidad CESMAG. Por consiguiente, hasta que no exista comunicación escrita de mi(nuestra) parte informando sobre dicha situación, la Universidad CESMAG se encontrará debidamente habilitada para continuar con la publicación del Trabajo de Grado o de Aplicación dentro del repositorio institucional. Conozco(conocemos) que esta autorización podrá revocarse en cualquier momento, siempre y cuando se eleve la solicitud por escrito para dicho fin ante la Universidad CESMAG. En estos eventos, la Universidad CESMAG cuenta con el plazo de un mes después de recibida la petición, para desmarcar la visualización del Trabajo de Grado o de Aplicación del repositorio institucional.

 UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

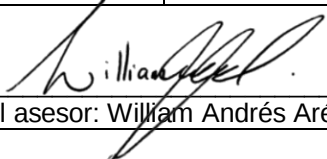
- b) Se autoriza a la Universidad CESMAG para publicar el Trabajo de Grado o de Aplicación en formato digital y teniendo en cuenta que uno de los medios de publicación del repositorio institucional es el internet, acepto(amos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación circulará con un alcance mundial.
- c) Acepto (aceptamos) que la autorización que se otorga a través del presente documento se realiza a título gratuito, por lo tanto, renuncio(amos) a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y/o cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente autorización y de la licencia o programa a través del cual sea publicado el Trabajo de grado o de Aplicación.
- d) Manifiesto (manifestamos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación es original realizado sin violar o usurpar derechos de autor de terceros y que ostento(amos) los derechos patrimoniales de autor sobre la misma. Por consiguiente, asumo(asumimos) toda la responsabilidad sobre su contenido ante la Universidad CESMAG y frente a terceros, manteniéndose indemne de cualquier reclamación que surja en virtud de la misma. En todo caso, la Universidad CESMAG se compromete a indicar siempre la autoría del escrito incluyendo nombre de(los) autor(es) y la fecha de publicación.
- e) Autorizo(autorizamos) a la Universidad CESMAG para incluir el Trabajo de Grado o de Aplicación en los índices y buscadores que se estimen necesarios para promover su difusión. Así mismo autorizo (autorizamos) a la Universidad CESMAG para que pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

NOTA: En los eventos en los que el trabajo de grado o de aplicación haya sido trabajado con el apoyo o patrocinio de una agencia, organización o cualquier otra entidad diferente a la Universidad CESMAG. Como autor(es) garantizo(amos) que he(hemos) cumplido con los derechos y obligaciones asumidos con dicha entidad y como consecuencia de ello dejo(dejamos) constancia que la autorización que se concede a través del presente escrito no interfiere ni transgrede derechos de terceros.

Como consecuencia de lo anterior, autorizo(autorizamos) la publicación, difusión, consulta y uso del Trabajo de Grado o de Aplicación por parte de la Universidad CESMAG y sus usuarios así:

- Permito(permitimos) que mi(nuestro) Trabajo de Grado o de Aplicación haga parte del catálogo de colección del repositorio digital de la Universidad CESMAG por lo tanto, su contenido será de acceso abierto donde podrá ser consultado, descargado y compartido con otras personas, siempre que se reconozca su autoría o reconocimiento con fines no comerciales.

En señal de conformidad, se suscribe este documento en San Juan de Pasto a los 04 días del mes de 09 del año 2025.

 Firma del autor	 Firma del autor
Nombre del autor: Andrés Felipe Tello Díaz	Nombre del autor: Luis Jairo Guzmán López
Firma del autor	Firma del autor
Nombre del autor:	Nombre del autor:
 Nombre del asesor: William Andrés Arévalo Terán	