

Sistema automático de pesaje de ganado bovino, basado en RFID, con fines de  
trazabilidad

Andrés Felipe Delgado Melo

Heiman Yesid Rojas Botina

Universidad CESMAG

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Electrónica

San Juan de Pasto

2024

Sistema automático de pesaje de ganado bovino, basado en RFID, con fines de trazabilidad

Andrés Felipe Delgado Melo

Heiman Yesid Rojas Botina

Informe final de trabajo de grado en la modalidad de Investigación 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

2024

## **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 Rúaless Luna

---

Jurado

Francisco Javier Eraso Checa

---

## **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 gratitud y humildad, dedico este proyecto de grado a Dios, cuya guía y bendiciones han sido la luz que iluminó mi camino académico, permitiéndome concluir esta etapa con éxito.

A mis padres y a mi hermano, quienes han sido mi fuente de apoyo inquebrantable a lo largo de este viaje académico. Sus palabras de aliento, amor incondicional y sacrificios han sido el motor que me impulsó a alcanzar este logro. Sin su constante guía y motivación, este proyecto no habría sido posible.

A la Universidad CESMAG, por brindarme las herramientas, conocimientos y oportunidades que han enriquecido mi formación académica. Agradezco a cada profesor y miembro del personal que ha contribuido a mi aprendizaje y crecimiento profesional.

A mi compañero de tesis, cuya colaboración, compromiso y dedicación han sido fundamentales en el desarrollo y éxito de este proyecto. Juntos hemos enfrentado desafíos, superado obstáculos y celebrados logros, construyendo no solo un proyecto, sino también una sólida amistad y equipo de trabajo.

Este logro es el resultado de la unión de esfuerzos, sacrificios y aprendizajes compartidos. A todos ustedes, mi familia, Universidad y compañero de tesis, les dedico este proyecto como símbolo de mi profunda gratitud y reconocimiento por su invaluable contribución a mi camino académico y profesional.

*Andres Felipe Delgado Melo.*

## Dedicatoria

En primer lugar, agradecer, a Dios, a mis padres, cuyo amor incondicional y apoyo constante han sido mi mayor inspiración; su confianza en mí me ha dado el valor para seguir adelante.

A la Universidad CESMAG, por ofrecerme un espacio de aprendizaje y crecimiento. A mis profesores, por su dedicación y por compartir su sabiduría, dejándome enseñanzas que llevaré siempre conmigo. A mi asesor de tesis, por su paciencia y valiosos consejos que han sido fundamentales en este proceso. A mi compañero de tesis, por su colaboración y amistad, con quien he compartido tanto esfuerzo y logros.

En fin, a todos los que han formado parte de mi camino académico y personal, mi gratitud es infinita. Su presencia y apoyo han dado forma a este trabajo de grado y a mi desarrollo como persona y profesional.

*Heiman Yesid Rojas Botina.*

## Contenido

Introducción .....	14
1. El Problema de Investigación .....	15
1.1 Objeto o tema de investigación.....	15
1.2 Línea de investigación.....	15
1.3 Sub-línea de investigación.....	15
1.4 Descripción o planteamiento del problema .....	15
1.5 Formulación del problema (Pregunta de investigación) .....	16
1.6 Objetivos.....	16
1.6.1 Objetivo general.....	16
1.6.2 Objetivos específicos.....	16
1.7 Justificación .....	17
1.8 Delimitación .....	17
2. Tópicos del Marco Teórico .....	18
2.1 Antecedentes.....	18
2.1.1 Sistema de pesaje electrónico para bovinos en la empresa ML Simbrah .....	18
2.1.2 Propuesta de mejora en el manejo de inventarios en el centro comercial san Vicente plaza usando la aplicación de RFID .....	20
2.1.3 Diseño e implementación de una tarjeta electrónica para el registro y supervisión de ganado bovino.....	22
2.1.4 Prototipo de sistema de vigilancia para fincas ganaderas como prevención al abigeato	23
2.1.5 Contribución al estudio de sistemas de identificación en bovinos basados en identificación electrónica y ADN para su aplicación a la trazabilidad y a la gestión de sistemas ganaderos .....	25

2.2	Enunciados de los supuestos teóricos.....	29
2.2.1	Sistema de identificación por radio frecuencia .....	29
2.2.2	Tipo de Báscula ganadera .....	31
2.2.3	Celdas de carga .....	32
2.2.4	Convertidores analógico digital .....	33
2.2.5	Plataformas para el desarrollo del software.....	34
2.2.6	Trazabilidad .....	35
2.3	Definición de conceptos .....	35
2.3.1	Definición nominal de conceptos.....	35
2.3.2	Definición operativa de conceptos.....	36
2.4	Parámetros para medir con cinta-métrica .....	37
2.5	Hipótesis .....	37
2.5.1	Hipótesis de investigación (Hi).....	38
2.5.2	Hipótesis nula (Ho) .....	38
2.5.3	Hipótesis alternativa (Ha).....	38
3.	Metodología.....	39
3.1	Enfoque.....	39
3.2	Paradigma .....	39
3.3	Método.....	39
3.4	Tipo de diseño.....	39
3.5	Diseño de investigación.....	39
3.6	Universo .....	40
3.7	Muestra .....	40
3.8	Técnicas de recolección de información .....	40
3.8.1	Validez de la técnica.....	41



3.8.2	Confiabilidad de la técnica .....	41
3.9	Instrumentos de recolección de información .....	41
4.	Resultados .....	42
4.1	Experimentación preliminar .....	42
4.2.	Calibración e implementación del circuito del sistema.....	44
4.2.1.	Barras ganaderas portátil .....	44
4.2.2.	Lector RFID.....	45
4.2.3.	Conexión lectora RFID.....	47
4.2.4.	Diagrama de flujo para recolección de información en script. ....	50
4.2.5.	Conexión lectora RFID, barras ganaderas con circuito y ESP 32 .....	52
4.2.6.	Resultados en script.....	54
4.3	Solución de comunicación.....	55
4.3.1	Conexión modulo LoRa.....	55
4.3.2	Conexión modulo USB.....	56
4.4.	Implementación del sistema de sistema de pesaje .....	59
4.4.1.	Diagrama de flujo Código Arduino.....	59
4.4.2.	Diseño construcción estructura metálica para el pesaje de ganado.....	61
4.4.3.	Elaboración del circuito impreso .....	63
4.4.4.	Implementación diseño 3D para circuito.....	67
4.5	Interfaz de usuario .....	69
4.5.1	Diagrama de flujo de la interfaz en Python .....	69
4.5.2	Diseño de interfaz en Python para Registro de Peso con Excel como Almacenamiento de Datos.....	71
4.6.	Implementación del sistema en campo.....	73
4.7.	Toma y registro de datos .....	76

4.8.	Resultados de peso individual.....	78
4.8.1.	Resultados obtenidos para la vaca 1.....	78
4.8.2.	Resultados obtenidos para la vaca 2.....	79
4.8.3.	Resultados obtenidos para la vaca 3.....	80
4.8.4.	Resultados obtenidos para la vaca 4.....	81
4.8.5.	Resultados obtenidos para la vaca 5.....	81
5.	Análisis de resultados .....	83
5.1.	Comparación de Pesos.....	83
5.2.	Eficacia del sistema de peso automático en movimiento y de la cinta bovino- métrica	84
5.3.	Calibración del sistema .....	86
6.	Conclusiones.....	87
7.	Recomendaciones .....	88
	Anexos .....	92

## Lista de figuras

Figura 1. Celdas de carga adaptadas a una viga metálica. ....	18
Figura 2. Circuito implementado con Arduino para la obtención de peso de las celdas de carga. ....	19
Figura 3. Interfaz de la aplicación realizada en App inventor. ....	19
Figura 4. Resultado de peso de un bovino en la aplicación móvil. ....	20
Figura 5. Funcionamiento de los identificadores RFID. ....	21
Figura 6. Rangos de frecuencia y distancia del RFID. ....	21
Figura 7. Interfaz aplicación trackvy Tools. ....	22
Figura 8. Identificación por radiofrecuencia: a) Microchip inyectable; b) Orejera electrónica tipo bandera; c) Bolo intrarruminal con chip. ....	23
Figura 9. Diagrama del diseño del sistema. ....	24
Figura 10. Diagrama modulo receptor. ....	24
Figura 11. Diagrama modulo transmisor. ....	25
Figura 12. Esquema de conexión de un sistema de identificación por radiofrecuencia. ...	27
Figura 13. Implementación de la conexión a campo abierto. ....	28
Figura 14. Animal identificado y pesado automáticamente. ....	28
Figura 15. Software con los datos de cada bovino identificado. ....	29
Figura 16. Etiqueta RFID. ....	30
Figura 17. Báscula digital marca Torrey. ....	31
Figura 18. Cinta Bovino-métrica. ....	32
Figura 19. Proceso del ADC. ....	33
Figura 20. Acople de galgas en la estructura 3D. ....	43
Figura 21. Estructura completa. ....	43
Figura 22. Barras ganaderas portátiles. ....	45
Figura 23. Lectora RFID. ....	47
Figura 24. Conexión RFID con modulo MAX232 y Arduino Mega2560. ....	48
Figura 25. Conexión circuito MAX232 con ESP32. ....	50
Figura 26. Diagrama de flujo ....	52
Figura 27. Conexión lectora RFID, barras ganaderas con circuito y ESP 32. ....	54
Figura 28. Resultados en script. ....	54

Figura 29. Modulo LoRa.....	56
Figura 30. Modulo PI2303.....	57
Figura 31. Ajustes de altura de la lectora RFID.....	58
Figura 32. Medidas distancia para las barras ganaderas.....	58
Figura 33. Diagrama de flujo código Arduino.....	60
Figura 34. Diseño construcción estructura parte superior.....	62
Figura 35. Diseño construcción estructura parte inferior.....	62
Figura 36. Diagrama esquemático en EasyEDA.....	64
Figura 37. Circuito PCB layout o circuito impreso en EasyEDA.....	65
Figura 38. Circuito Impreso, modelo 3D en EasyEDA.....	65
Figura 39. Circuito Impreso en PCB.....	66
Figura 40. Montaje circuito en PCB.....	67
Figura 41. Diseño 3D para circuito.....	68
Figura 42. Diseño 3D para módulo PI2303 conectado al módulo LoRa.....	69
Figura 43. Diagrama de flujo interfaz en Python.....	71
Figura 44. Interfaz en Python.....	73
Figura 45. Implementación estructura y barras ganaderas en campo abierto.....	74
Figura 46. Adaptación área de paso de los bovinos.....	74
Figura 47. Implementación antena RFID con circuito y monitor de pesaje.....	75
Figura 48. Montaje completo del sistema.....	76
Figura 49. Toma de datos de las tres formas de pesaje.....	77
Figura 50. Gráfico comparativo para vaca 1.....	79
Figura 51. Gráfico para vaca 2.....	80
Figura 52. Gráfico para vaca 3.....	80
Figura 53. Gráfico para vaca 4.....	81
Figura 54. Gráfico para vaca 5.....	82
Figura 55. Gráfico error relativo.....	84

### Lista de tablas

Tabla 1. Características positivas y negativas de métodos de identificación utilizados en bovinos .....	26
Tabla 2. Técnicas de recolección de información .....	40
Tabla 3. Comparación de datos vaca 1 .....	78
Tabla 4. Comparación de datos vaca 2 .....	79
Tabla 5. Comparación de datos vaca 3 .....	80
Tabla 6. Comparación de datos vaca 4 .....	81
Tabla 7. Comparación de datos vaca 5 .....	81
Tabla 8. Comparación de pesos de los diferentes métodos de pesaje. ....	83
Tabla 9. Promedio error relativo de todos los animales en los dos sistemas de toma de peso .....	85
Tabla 10. Tabla Eficacia de los dos sistemas de peso .....	85

## Introducción

La tecnificación en el sector ganadero está aumentando significativamente en la actualidad, con la implementación de diversas tecnologías, como las básculas ganaderas, que permiten conocer el peso real del bovino. Esto facilita una mejor toma de decisiones para el ganadero promedio, optimizando la gestión del ganado y mejorando la eficiencia en la producción. El pesaje de ganado es la base de información para la toma de decisiones en diferentes sectores ganaderos como son lecheros y cárnicos, para el seguimiento animal como el engorde y crianza de animales para reproducción, ya que el registro continuo o diario del peso del ganado de manera automática que se hace mediante el sistema de pesaje automático le permite al ganadero tomar decisiones más acertadas con respecto a la dosificación adecuada de medicamentos, como también tener el control de su rendimiento en cuanto a un alza o baja de peso y así determinar una buena trazabilidad en el bovino (SAGAN, 2021).

Los principales sistemas de pesaje que se manejan convencionalmente, tienen muchas falencias debido que aún se sigue llevando el peso y registro de manera convencional en pesas eléctricas, cinta bovino métrica y registro manual en computador o papel, lo que causa pérdida de tiempo y posibles errores humanos (como pérdida de datos o posible manipulación), debido a que en algunas fincas los métodos usados por los ganaderos para la toma de peso del ganado no son muy eficientes, ya que por una parte consume tiempo y por otra no lo hacen constantemente debido a que esto les implica inversión en logística y genera estrés en el ganado (Botia Barragán & Moya Porras, 2021).

La presente investigación busca hacer un aporte en el área de la ganadería de precisión orientado al trabajo particular de la automatización del proceso de pesaje de una finca en el sector ganadero de la región, el sistema de pesaje automático se realiza mediante la implementación de la identificación por radiofrecuencia RFID para la identificación del bovino y una báscula electrónica cuyo dato se asocia a la identificación del animal para luego ser guardado en una base de datos para un posterior análisis del ganadero con fines de trazabilidad y tomar decisiones más adecuadas (Gonzalez & Pérez, 2015).

## **1. El Problema de Investigación**

### **1.1 Objeto o tema de investigación**

Sistema automático de pesaje de ganado bovino

### **1.2 Línea de investigación**

Sistemas de automatización y control: El área de sistemas de automatización y control de la Institución Universitaria 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 de investigación**

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 (Programa de Ingeniería Electrónica, 2015)

### **1.4 Descripción o planteamiento del problema**

Según Sagan (2021), el departamento de Nariño cuenta con fincas ganaderas en los diferentes sectores de ganadería como son lechero, cárnico y bufalino, que en su totalidad cuenta con 425.328 cabezas de ganado, categorizados por sexo y edad. Según Fedegan (2020), en Nariño hasta el primer semestre del año 2020 se contaban 1.452 predios con certificación en Buenas Prácticas Ganaderas (BPG), de los cuales 1.043 corresponden a fincas de producción bovina.

En algunas fincas, el seguimiento de peso del ganado bovino no se hace con una frecuencia alta si no que se realiza una vez al mes y su registro tradicionalmente es llevado en papel por la persona, lo cual está sujeto a errores humanos, y pérdida de tiempo debido a que el ganadero suele contar con varias cabezas de ganado y en el proceso de encerrar al animal individualmente se pierde mucho tiempo y estresa al animal, por lo cual el sistema usado por el

ganadero promedio no es muy eficaz y tampoco ayuda a optimizar tiempo al momento de pesar y registrar el peso del ganado (Ganadero).

Normalmente, las fincas que no cuentan con certificación pertenecen a pequeños ganaderos que cuentan con pocos bovinos, y la toma peso la hacen en jaulas y con otros sistemas de medición de peso como son las cintas bovino-métricas, que no son muy frecuentes, lo que conlleva a no tener un seguimiento diario y un control del animal. Estos métodos pueden llegar a tener muchas falencias a la hora de corroborar el peso adquirido, lo que dificulta la toma de decisiones del ganadero al momento de aplicar medicina o la cantidad adecuada de alimento que determina una buena trazabilidad.

El presente proyecto desarrolló un sistema de pesaje automático de ganado con identificación RFID, mediante una estructura no estresante y que se adapta al diario vivir del animal en la finca, lo que permita llevar una trazabilidad de su peso que puede ser utilizado por el ganadero para la toma de decisiones, pero se desconoce la eficacia de dicho sistema, si esto no se desarrolla, no se podrá evaluar como el uso de esta tecnología afecta la toma de decisiones en el sector ganadero.

## **1.5 Formulación del problema (Pregunta de investigación)**

¿Qué tan eficaz es el sistema de pesaje automático de ganado bovino basado en identificación RFID con fines de trazabilidad?

## **1.6 Objetivos**

### ***1.6.1 Objetivo general***

Analizar la eficacia de un sistema electrónico prototipo de pesaje de ganado bovino automático basado en RFID con fines de trazabilidad.

### ***1.6.2 Objetivos específicos***

- Diseñar el sistema de pesaje automático de ganado bovino orientado a procesos de trazabilidad.
- Diseñar la interfaz de registro de peso e interacción con el usuario.
- Implementar el sistema de pesaje automático de ganado bovino.
- Evaluar la eficacia del sistema.



## **1.7 Justificación**

El pesaje de animales permite controlar la salud de los animales, seleccionar animales para la venta o el sacrificio en función del peso corporal, evaluar el rendimiento reproductivo para la selección genética, medir y registrar el peso al destete, medir el volumen de alimentación para maximizar los beneficios (SAGAN).

El proyecto busca ser una ayuda esencial para el ganadero, para sus distintas tareas como el engorde y crianza de animales para reproducción, ya que con la toma de peso de cada bovino y su pertinente registro automático almacenado en una base datos, el ganadero podrá tomar decisiones más acertadas tener control del monitoreo y registro continuo del peso del bovino, prevenir enfermedades, baja de peso o mejorar la dosificación y manejo de la alimentación.

De igual manera, el sistema busca tener una estructura amigable con el ganado para que no presente cierto tipo de estrés o que dificulte su toma de peso y su respectivo registro, ya que se lo estaría ubicando en una zona a campo abierto en la cual el animal no se sienta afectado, como también el ganadero ya que no tendría que trasladar el ganado hasta donde este ubicada la báscula.

Por otra parte, con la identificación individual de cada animal con tecnología RFID se logra tener un control más acertado y preciso al momento del monitoreo de la ganancia de peso de igual manera logrando tener un ahorro de tiempo, una buena trazabilidad individual de cada bovino y la buena integración con otros sistemas de control, lo que facilita al ganadero llevar su respectivo control individual, la eficiencia a la hora de tomar de datos y la fácil accesibilidad a los datos mediante computador o dispositivo móvil.

## **1.8 Delimitación**

La implementación del sistema automático de pesaje de ganado bovino se llevó a cabo con una muestra de cinco vacas en campo abierto, en la finca Botanilla. Este sistema emplea tecnologías avanzadas, como sensores RFID y módulos de transmisión LoRa, para registrar el peso de los animales con alta precisión y en tiempo real, facilitando el pesaje continuo y eficiente.

## 2. Tópicos del Marco Teórico

### 2.1 Antecedentes

#### 2.1.1 Sistema de pesaje electrónico para bovinos en la empresa ML Simbrah

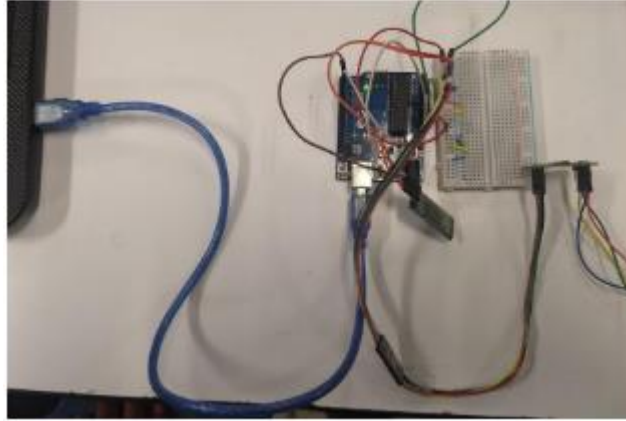
Este antecedente realizado por Carlos Raúl Muñoz Rodríguez (2019), da una muestra clara de la implementación de un sistema de pesaje electrónico usando sensores como bluetooth y tarjetas RFID, de igual manera herramientas electrónicas como Arduino y un display de cristal líquido, también se evidencia el uso de tecnologías de software para su desarrollo. En este antecedente se hace la conexión vía remota desde una aplicación móvil diseñada en app Inventor la cual permite conectar el sensor bluetooth y recibir el peso tomado en la báscula que está diseñada por celdas de carga adaptadas a una viga metálica la cual es capaz de aguantar 1.5 toneladas que es la capacidad de las celdas de carga seleccionadas como se muestra en la *Figura 1*.



*Figura 1. Celdas de carga adaptadas a una viga metálica.*

*Fuente:(Muñoz rodríguez, 2019)*

Para la adquisición del peso de las celdas de carga se muestra una conexión de la placa Arduino con el módulo bluetooth HC-05 y un convertidor analógico a digital HX711 el cual permite obtener el peso. *En la Figura 2* se muestra la conexión.



*Figura 2. Circuito implementado con Arduino para la obtención de peso de las celdas de carga.*

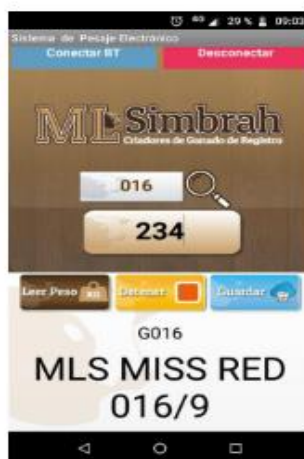
*Fuente:(Muñoz rodríguez, 2019)*

La interfaz desarrollada en App Inventor está conectada al sensor bluetooth y a una base de datos denominada SISGAN la cual recibe todos los datos de peso adquiridos por la báscula y permite al usuario tener un seguimiento de peso individual del animal desde su teléfono celular como se muestra en la *Figura 3 Y Figura 4*.



*Figura 3. Interfaz de la aplicación realizada en App inventor.*

*Fuente:(Muñoz rodríguez, 2019)*



*Figura 4. Resultado de peso de un bovino en la aplicación móvil.*

*Fuente: (Muñoz rodríguez, 2019)*

Este antecedente muestra una forma correcta del monitoreo de peso de ganado bovino mediante celdas de carga y la unión de las redes inalámbricas que gracias a ello permiten la toma de datos de dispositivos externos y llevarlos a una base de datos con su respectiva interfaz para el registro continuo del peso de los animales.

### ***2.1.2 Propuesta de mejora en el manejo de inventarios en el centro comercial san Vicente plaza usando la aplicación de RFID***

Este antecedente realizado por Julián Leonardo Alarcón Agudelo (2020), da a conocer la gran ventaja a la hora de una implementación de los identificadores por radio frecuencia RFID los cuales brindan una gran ayuda a la hora de tener datos en tiempo real. En este antecedente se muestra cómo se conecta el identificador RFID en un sistema el cual permite identificar artículos que poseen una tarjeta emisora el cual contiene la información, un lector que es el que recibe la información que se encuentra en la tarjeta emisora y un computador o receptor que es el que muestra la información la cual se almacena y puede ser actualizada como se muestra en la *Figura 5*.

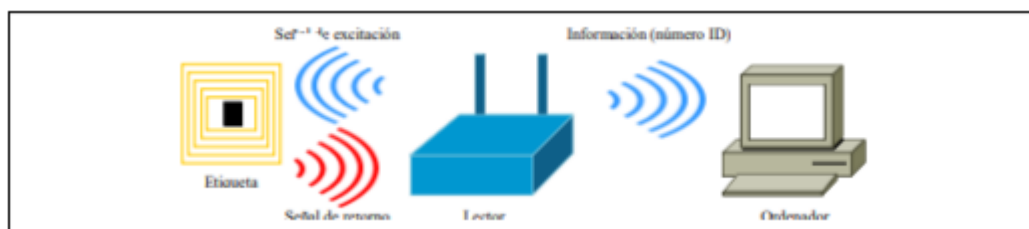


Figura 5. Funcionamiento de los identificadores RFID.

Fuente:(Alarcón-agudelo, 2020)

Los identificadores RFID incorporan una antena y un microchip que le permite enviar la información sin necesidad de contacto directo con el lector. Estas tarjetas transmiten la información por medio de frecuencias las cuáles son cuatro frecuencias: baja, alta, ultra alta y microondas. En la *Figura 6* se muestra los distintos rangos de frecuencia y el rango de distancia en metros.

Banda de Frecuencias	Descripción	Rango (metros)
125 y 134 kHz	LF (Baja Frecuencia)	Hasta 0,5
13,56 MHz	HF (Alta Frecuencia)	De 1 a 3
433 y 860-960 MHz	UHF (Ultra Alta Frecuencia)	De 3 a 10
2,45-5,8 GHz	Microondas	Más de 10

Figura 6. Rangos de frecuencia y distancia del RFID.

Fuente:(Alarcón-Agudelo, 2020)

La aplicación utilizada en este antecedente se llama Trackvy Tools, esta aplicación permite administrar la trazabilidad de un ítem con el fin de conocer la ubicación y permite almacenar información, la gran ventaja que tiene esta aplicación es que se la puede encontrar para teléfono móvil, para escritorio y también desde la nube, la cual se puede controlar la información desde cualquier lugar. Se observa en la *Figura 7* la interfaz del software Trackvy Tools.



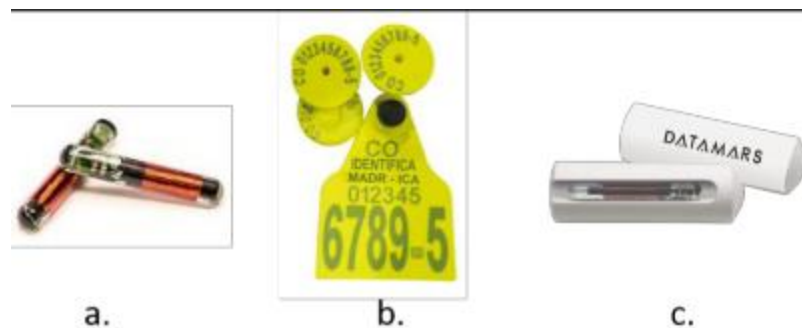
Figura 7. Interfaz aplicación trackvy Tools.

Fuente (Alarcón-agudelo, 2020)

Este antecedente muestra la forma correcta de conectar los identificadores RFID que permiten identificar la ubicación y la toma de datos en tiempo real, como también el almacenamiento de datos.

### 2.1.3 *Diseño e implementación de una tarjeta electrónica para el registro y supervisión de ganado bovino*

Este antecedente realizado por Erika Valentina Moya Porras y Carol Tatiana Botia Barragán (2021) muestra las distintas formas de implementar el sensor RFID, en este caso intercambiar información que se tomó directamente del animal y visualizarla en una aplicación de dispositivo móvil. la identificación RFID en el ganado la establecen basándose en el uso de orejeras en el ganado ya que son favorables y de bajo costo y su función es almacenar e identificar la información del animal. En la *Figura 8* se muestra el microchip inyectable, la orejera electrónica y el bolo intraluminal, son elementos pasivos, que se activan por medio de un lector de radiofrecuencia, con el cual se puede grabar como también borrar información de los distintos instrumentos.



*Figura 8. Identificación por radiofrecuencia: a) Microchip inyectable; b) Orejera electrónica tipo bandera; c) Bolo intrarruminal con chip.*

*Fuente (Botia barragán & Moya porras, 2021)*

Este antecedente permite conocer los métodos de adaptar los sensores RFID en el ganado para así tener opciones al momento de escoger algún método.

#### ***2.1.4 Prototipo de sistema de vigilancia para fincas ganaderas como prevención al abigeato***

En este antecedente realizado por Robinson Andrés Jiménez Toledo, Iván Argote Puetaman y Carolina meza Báez (2014), se presenta otra forma de recolectar información por medio de conexión inalámbrica en este caso usa dispositivos XBEE transmisor y receptor el cual es usado para monitorear variables biológicas y de georreferencias en los bovinos. El diseño que proponen en cuanto a hardware es un sistema computarizado capaz de monitorear al animal mediante componentes electrónicos basados en tecnologías de radiofrecuencias los cuales se comunican con el software que decodifica la señal emitida del dispositivo electrónico situado en el cuello del animal, que informa si el animal está dentro del área asignada. En la *Figura 9* se observa el diseño planteado.

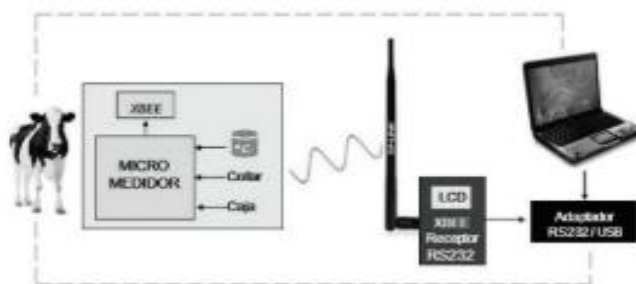


Figura 9. Diagrama del diseño del sistema.

Fuente (Jiménez et al., 2014)

Por otra parte, también muestra su respectiva conexión del módulo receptor y transmisor XBEE. Módulo receptor: El diagrama de bloques receptor visualizado en la *Figura 10* ilustra la manera de transmisión de la información a través de los dispositivos, el voltaje de entrada del circuito y los reguladores que necesitan el módulo XBEE y el microcontrolador. El receptor requiere de una fuente de alimentación que provea de 5 voltios.

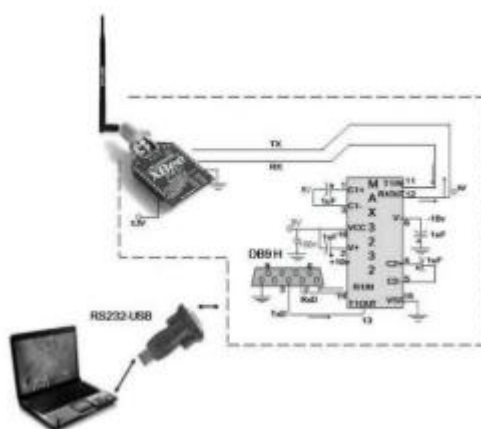


Figura 10. Diagrama modulo receptor.

Fuente (Jiménez et al., 2014)

Módulo transmisor: Como se muestra en la *Figura 11*, el sistema emisor cuenta con un sensor de temperatura LM35 y un sensor CNY70 que se basa en la capacidad de reflexión del objeto (el cuello de la vaca), y con ayuda de un PIC12F75 se gestiona la información y genera



los comandos necesarios para que el módulo XBEE Proserie2 transmita los datos hasta el receptor.

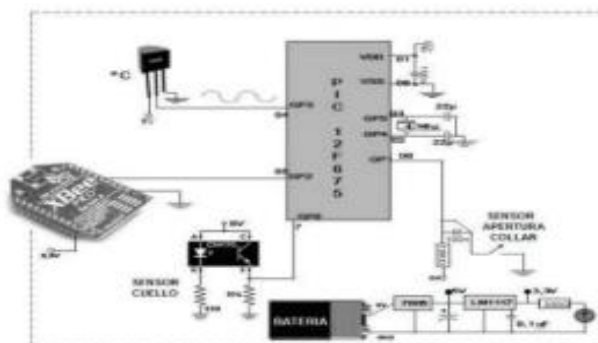


Figura 11. Diagrama modulo transmisor.

Fuente (Jiménez et al., 2014)

Este antecedente permite conocer otro método de conexión inalámbrica diferente al bluetooth que permiten la recolección de información y toma de datos.

### ***2.1.5 Contribución al estudio de sistemas de identificación en bovinos basados en identificación electrónica y ADN para su aplicación a la trazabilidad y a la gestión de sistemas ganaderos***

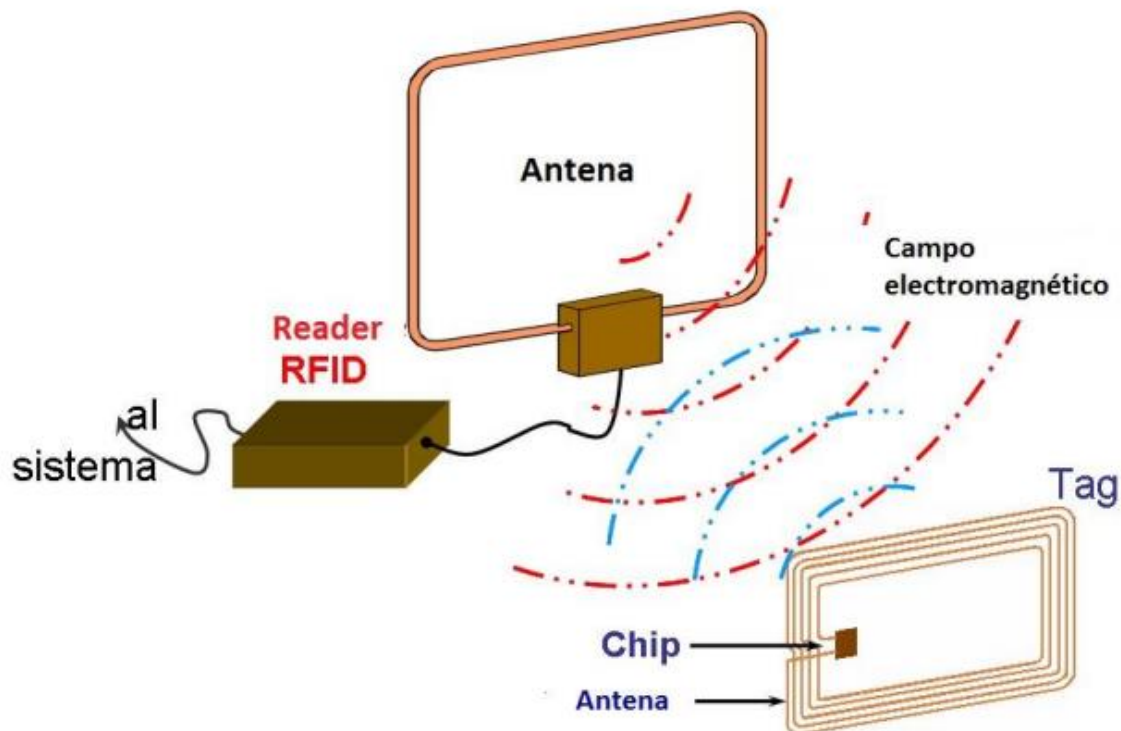
En este antecedente realizado por Enrique Jorge Pofcher (2017), se muestran las conexiones de identificador por radio frecuencia (RFID) fijo para determinar el posicionamiento óptico de la antena para maximizar la eficacia en la toma de lecturas de los distintos identificadores; que permiten ser utilizados en condiciones de trabajo extensivos, lo que brinda un mejor control del proceso de identificación de ganado bovino. Por otro parte, también desarrolla un software que tiene conexión directa con los identificadores, lectores y los diferentes instrumentos de trabajo que generan información para la administración del sistema productivo y los registros vitales del animal libres en campo para la trazabilidad. En la *Tabla 1* se muestran las características positivas y negativas de los métodos de identificación en bovinos usados en este antecedente.

*Tabla 1. Características positivas y negativas de métodos de identificación utilizados en bovinos*

<b>Método identificador</b>	<b>Aspecto positivo</b>	<b>Aspecto negativo</b>
MARCAS A FUEGO	Fácil realización	Poco visible con pelo largo Arruina cuero de la zona No cumple con normas de bienestar animal
	Fácilmente visible	
	Permanente	
	Económico	
	Difícil fraude	
MARCAS FRIAS	Fácil realización	No factible en animales claros
	Fácilmente visible	Fraude posible
	Permanente	Caro
	No arruina el cuero	
	Cumple con bienestar	
SEÑALES AURICULARES	Fácil realización	No cumple normas de bienestar animal
	Económicas	Es posible el fraude
TATUAJES	Económico	A veces difícil lectura
	Permanente	Sin bienestar animal
		Incompatible con aplicación de caravanas
CARAVANAS AURICULARES	Económicas	Fraude
	Cumplen con bienestar animal	
	Fácil lectura y aplicación	

*Fuente: (Pofcher, 2017)*

La conexión para la recolección de información transmitida directamente desde el tag del lector del RFID, para que se pueda almacenar fuera de este y hacer su respectivo análisis se muestra en la *Figura 12*.



*Figura 12. Esquema de conexión de un sistema de identificación por radiofrecuencia.*

*Fuente: (Pofcher, 2017)*

En la *Figura 13* y *Figura 14* se muestra la implementación de esta conexión a campo abierto y con los bovinos.



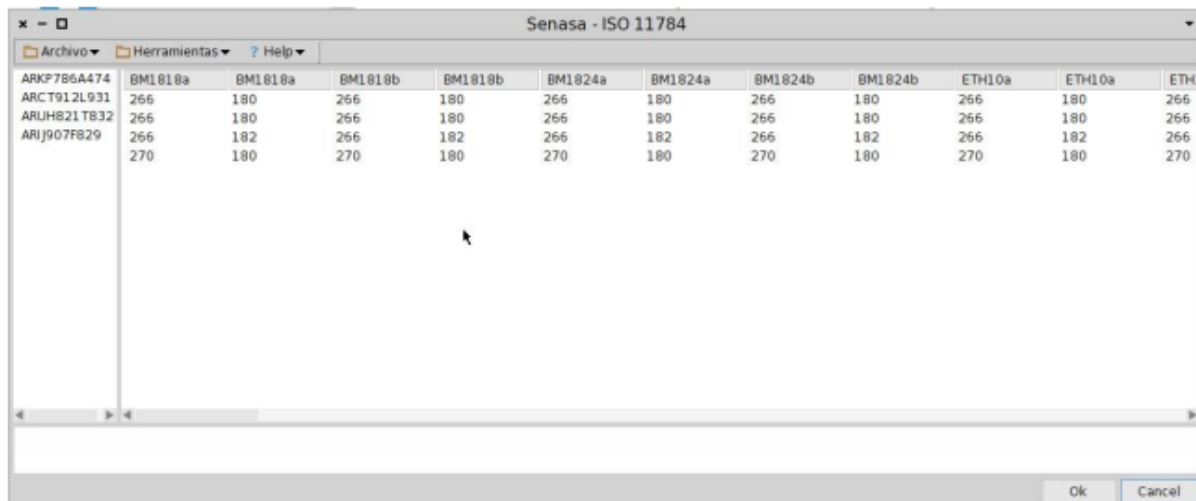
*Figura 13. Implementación de la conexión a campo abierto.*



*Figura 14. Animal identificado y pesado automáticamente.*

*Fuente: (Pofcher, 2017)*

En la *Figura 15* se muestra el software desarrollado para la lectura de los sensores e identificadores para el registro y análisis de la información recolectada.



	BM1818a	BM1818a	BM1818b	BM1818b	BM1824a	BM1824a	BM1824b	BM1824b	ETH10a	ETH10a	ETH10b
ARKP786A474											
ARCT912L931	266	180	266	180	266	180	266	180	266	180	266
ARUHB21TB32	266	180	266	180	266	180	266	180	266	180	266
ARIJ907F829	266	182	266	182	266	182	266	182	266	182	266
	270	180	270	180	270	180	270	180	270	180	270

Figura 15. Software con los datos de cada bovino identificado.

Fuente: (Pofcher, 2017)

Este antecedente muestra otra forma de conexión con RFID, en este caso con una antena fija, la cual actúa como retransmisor para el registro de información adquirida desde los sensores o TAG implantados en el bovino.

## 2.2 Enunciados de los supuestos teóricos

### 2.2.1 Sistema de identificación por radio frecuencia

La tecnología de identificación por radio frecuencia (RFID) tiene como objetivo identificar objetos de forma rápida, con poca transmisión de información y en un entorno cercano. Su principal aplicación ha sido similar a la de código de barras, es decir, la identificación de productos, como por ejemplo los objetos en un almacén. Sin embargo, el RFID, tiene ventajas que distinguen el uno del otro, como manejar un volumen razonable de datos a mayor distancia, se deteriora menos, no tiene por qué ser visible, se puede aplicar en casi todos los medios, es barato y se puede usar en más aplicaciones como la identificación de animales y personas. Es similar al código de barras en cuanto al producto se le añade una etiqueta y se utiliza un lector conectado a un computador para obtener la información de identificación automáticamente. La diferencia tanto la etiqueta como el lector son totalmente distintos lo que hace alejar el RFID del tradicional código de barras. Su principal funcionamiento es que el lector emite una señal electromagnética que al ser recibida por la etiqueta hace que esta responda

mediante otra señal en la que se envía codificada la información contenida en la etiqueta. Una etiqueta RFID se compone de la siguiente manera, una antena, circuito integrado y elemento almacenador de energía (Muñoz rodríguez, 2019).



*Figura 16. Etiqueta RFID.*

*Fuente: (Muñoz rodríguez, 2019)*

En la *Figura 16*, se observa que consta de dos elementos como son, la antena que permite realizar la comunicación entre la etiqueta y el lector. Su tamaño limita la distancia máxima a la que puede realizarse la lectura. Microchip, es un circuito mixto analógico-digital. La parte analógica se encarga de controlar la alimentación y la comunicación por radiofrecuencia. Por otro lado, la parte digital gestiona la información almacenada en la etiqueta. Elemento almacenador de energía, en función del elemento para cargar el circuito usado existen dos tipos de etiquetas: activas y pasivas; en la primera se usa una batería para alimentar el circuito, la principal ventaja es que tiene un mayor rango de lectura al poder emitir información con mayor potencia, pero debido al uso de la batería aumenta el tamaño de la etiqueta lo que la hace más costosa y visible. Las pasivas, el elemento almacenador de energía es un condensador, el cual se carga con la energía emitida por el lector y luego utiliza dicha energía para responder, pero su potencia de emisión está limitada, por lo que la distancia entre el lector y la etiqueta no puede ser muy elevada. El RFID tiene un uso potencial ilimitado para sectores de la industria, comercio y servicios donde se requiera la adquisición de datos (Muñoz rodríguez, 2019).

## 2.2.2 Tipo de Báscula ganadera

### 2.2.2.1 Báscula ganadera portátil

La báscula ganadera digital es una herramienta ampliamente utilizada en la industria ganadera para la medición precisa del peso vivo del ganado. Como se observa en la Figura 17, estas básculas, fabricadas en acero con recubrimiento anticorrosivo, cuentan con dos puertas para el acceso y salida del ganado, y son de fácil instalación. Este método es preferido por su precisión y capacidad de manejo de grandes volúmenes de animales, aunque implica un mayor costo inicial comparado con métodos más simples. Estudios recientes han demostrado que la precisión de las básculas ganaderas digitales es superior a la de otros métodos de estimación del peso, lo que las hace una opción ideal para la gestión eficiente del ganado (Muñoz rodríguez, 2019).



*Figura 17. Báscula digital marca Torrey.*

*Fuente:(Muñoz rodríguez, 2019)*

### 2.2.2.2 Cinta bovino-métrica

La cinta bovino-métrica es una herramienta ampliamente utilizada en la industria ganadera para la estimación del peso vivo del ganado a través de medidas morfométricas, específicamente el perímetro torácico. Como se observa en la *Figura 18* Este método es preferido por su simplicidad, bajo costo y no requiere equipos sofisticados. Estudios recientes han demostrado que la precisión de las cintas bovino-métricas es comparable a la de otros

métodos de estimación del peso, aunque puede variar según la raza y la condición corporal del animal (de Moraes Weber et al., 2020; Ruchay et al., 2022)



*Figura 18. Cinta Bovino-métrica*

*Fuente: (de Moraes Weber et al., 2020)*

En la práctica, la cinta se coloca alrededor del tórax del animal, y se lee el peso correspondiente en una escala impresa en la propia cinta. Este método es menos estresante para los animales en comparación con el pesaje directo, que puede resultar en una disminución temporal del peso debido al estrés (Ruchay et al., 2022) Además, la cinta bovino-métrica ha demostrado ser útil en programas de mejoramiento genético y manejo de la salud del ganado, proporcionando datos valiosos para la toma de decisiones (de Moraes Weber et al., 2020)

Con el avance de la tecnología, se han desarrollado nuevas herramientas que combinan las mediciones tradicionales con métodos de visión por computadora, lo que permite una estimación más precisa y menos invasiva del peso vivo del ganado (Ruchay et al., 2022). Estas innovaciones están revolucionando el manejo del ganado, mejorando la precisión y eficiencia de las estimaciones de peso sin el uso de equipos costosos.

### **2.2.3 Celdas de carga**

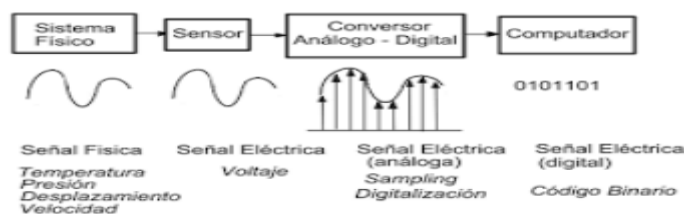
Una célula de carga (o celda de carga) es un transductor que convierte la fuerza aplicada sobre ella en una señal eléctrica medible. A pesar de existir varios tipos de sensores, las células de carga son el sensor de fuerza más común del mercado. Los diseños de células de carga se



pueden distinguir de acuerdo con el tipo de señal de salida generada ya sea neumático, hidráulico, eléctrico o de acuerdo con la forma en que detecta el peso como son flexión, compresión, tensión, etc. (Muñoz rodríguez, 2019).

#### 2.2.4 Convertidores analógico digital

Como el mundo real es análogo, una forma de enlazar las variables analógicas con los procesos digitales es a través de los sistemas llamados conversores de analógico - digital (ADC) y conversores digitales – analógico (DAC). El objetivo básico de un ADC es transformar una señal eléctrica análoga en un número digital equivalente. De la misma forma, un DAC transforma un número digital en una señal eléctrica análoga. En la *Figura 19*, se muestra el proceso de conversión analógico digital (Muñoz rodríguez, 2019).



*Figura 19. Proceso del ADC.*

*Fuente: (Muñoz rodríguez, 2019)*

Un claro ejemplo para la conversión ADC es el módulo HX711 es un transmisor entre las celdas de carga y un microcontrolador como Arduino, permitiendo leer el peso en la celda de manera sencilla. Es compatible con las celdas de carga de diferentes capacidades y utilizado en sistemas de medición automatizada y procesos industriales. El chip HX711 posee internamente la electrónica para la lectura del puente de Wheatstone formado por la celda de carga y también un conversor ADC de 24 bits. Se comunica con el microcontrolador por medio de un protocolo de tipo serial mediante dos terminales que son clock y data (Muñoz rodríguez, 2019).

## **2.2.5 Plataformas para el desarrollo del software**

### **2.2.5.1 Uso de Python para Crear Interfaces Gráficas con Tkinter y PySerial**

En el desarrollo de interfaces gráficas para sistemas embebidos, Python es una opción popular debido a su simplicidad y la amplia disponibilidad de bibliotecas como Tkinter y PySerial. Tkinter se utiliza para crear interfaces gráficas de usuario (GUI), mientras que PySerial permite la comunicación con dispositivos a través del puerto serial.

Un estudio significativo realizado por Al-Sarayreh, (2018) mostró cómo se puede utilizar Tkinter junto con PySerial para crear aplicaciones que gestionan la adquisición de datos en tiempo real. La integración de estas bibliotecas permite el desarrollo rápido de interfaces interactivas que pueden recibir, procesar y visualizar datos en tiempo real.

Otro ejemplo es el trabajo de Yadav, A., Singh, (2019), que detalla la creación de una GUI para el monitoreo y control de sistemas embebidos. Utilizaron Tkinter para la creación de la interfaz y PySerial para la comunicación con el hardware. Este enfoque demostró ser efectivo para aplicaciones donde se requiere una interacción constante entre el usuario y el sistema embebido.

### **2.2.5.2 Uso de Excel para Almacenar Datos Recibidos por el Puerto Serial**

La combinación de Python con bibliotecas como OpenPyXL y pandas facilita el manejo y almacenamiento de grandes volúmenes de datos en Excel, especialmente los datos adquiridos a través del puerto serial. Estas bibliotecas permiten la automatización de tareas en Excel, como la creación de hojas de cálculo, la escritura de datos, y la aplicación de fórmulas y formatos.

Un artículo de Kumar, (2020) explica cómo utilizar pandas y OpenPyXL para automatizar la captura y almacenamiento de datos en Excel. El estudio muestra cómo estos datos pueden ser manipulados y analizados de manera eficiente, lo que es crucial para proyectos de monitoreo en tiempo real.

Por otro lado, el estudio de Wallace, (2015) sobre la automatización de Excel con Python detalla el uso de OpenPyXL para la creación y modificación de archivos Excel, lo cual es fundamental para almacenar y organizar datos de manera estructurada y accesible.

## **2.2.6 Trazabilidad**

El término trazabilidad Según el comité de seguridad alimentaria de AECOC define trazabilidad como el conjunto de aquellos procedimientos preestablecidos y autosuficientes que permiten conocer el histórico, la ubicación y la trayectoria de un producto o lote de productos a lo largo de la cadena de suministros en un momento dado, a través de unas herramientas determinadas. Si el sistema de trazabilidad esta reforzado con tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) puede generar mayor eficiencia en la logística y el aumento de la productividad (González & Pérez, 2015).

## **2.3 Definición de conceptos**

### **2.3.1 Definición nominal de conceptos**

#### **2.3.1.1 Peso**

El peso de un determinado cuerpo se calcula como la multiplicación de su masa y la aceleración de la gravedad. La unidad en la que se expresa el peso en el Sistema Internacional de Unidades es el Newton, comúnmente abreviada con la letra N (*Peso - Concepto, Acepciones y Diferencias Con La Masa*)

En cuanto al ganado El peso vivo puede ser medido de forma directa usando balanzas o puede estimarse a partir del perímetro torácico (medida de una vuelta completa al pecho de la vaca) con una cinta de medición bovino-métrica (*Estimar El Peso de Vacas Lecheras Con Una Cinta Métrica: Tambero - Cattle Software, 2016*).

#### **2.3.1.2 Error relativo**

El error relativo se calcula dividiendo el error absoluto entre el valor real. Este cálculo determina el error cometido por unidad de medida, permitiendo así la comparación entre diferentes mediciones (Jiménez-Talamantes et al., 2017)

El error relativo se calcula dividiendo el error absoluto entre el valor real. Este cálculo determina el error cometido por unidad de medida, permitiendo así la comparación entre diferentes mediciones (Jiménez-Talamantes et al., 2017).

#### **2.3.1.3 Eficacia**

Se refiere a la capacidad de producir un efecto deseado o un resultado esperado bajo condiciones ideales. En términos más específicos, la eficacia mide el grado en que una acción,

procedimiento, tratamiento o intervención logra su objetivo en condiciones controladas. Se refiere a su capacidad para minimizar el error relativo y proporcionar mediciones precisas y consistentes (Trujillo et al., 2012).

### 2.3.2 Definición operativa de conceptos

#### 2.3.2.1 Formula peso

La ecuación para la obtención de peso se calcula como el producto de la masa por la aceleración de la gravedad.

$$p = m * g \quad (1)$$

*p: pes*

*m: masa*

*g: Aceleracion de la gravedad*

#### 2.3.2.2 Formula error relativo

El error relativo es una medida de la precisión de una medición aproximada con el valor real, se calcula con la siguiente formula:

$$Er = \frac{|(\text{Valor aproximado} - \text{Valor Real})|}{\text{Valor Real}} * 100\% \quad (2)$$

*Valor aproximado = Valor de peso del animal con cinta o en movimiento*

*Valor Real: Valor de peso cuando el animal esta quieto*

#### 2.3.2.3 Formula peso promedio

Para calcular el peso de un animal utilizando una cinta bovino-métrica, que proporciona valores por rangos, se utiliza la media aritmética de los extremos del rango. Este método estima el peso del animal de manera aproximada. La fórmula para esta estimación es la siguiente:

$$Peso_{Promedio} = \frac{\text{Limite Superior} + \text{Limite Inferior}}{2} \quad (3)$$

*Limite superior: Rango Mayor del extremo de la cinta*

*Limite Inferior: Rango menor del extremo de la cinta*

### 2.3.2.4 *Formula Desviación estándar*

Se tomo en cuenta esta fórmula para determinar qué tan dispersos están los datos de peso tomados con la báscula con el animal en movimiento y con la cinta, alrededor de un valor de peso real tomando como referencia el peso del animal inmóvil en la bascula

$$DE = \sqrt{\frac{\sum |x - \mu|^2}{N}} \quad (4)$$

*X: Valor Error relativo*

*μ: Promedio de los datos de Error relativo*

*N: Numero de Datos*

### 2.3.2.5 *Formula eficacia para comparación de sistemas de peso*

La eficacia individual de cada sistema se evalúa considerando el error relativo de los dos métodos de pesaje (animal en movimiento y cinta bovino-métrica). Esto se debe a que el peso registrado tanto por el método del animal en movimiento como por el de la cinta puede estar por encima o por debajo del peso real del animal

$$Eficacia = -100 * Error\ relativo + 100 \quad (5)$$

## 2.4 **Parámetros para medir con cinta-métrica**

Los resultados obtenidos con la balanza digital y la cinta-métrica muestran que estos métodos no son concordantes para los datos del peso de terneros. Las medidas presentan diferencias significativas que imposibilitan que estos métodos sean intercambiables. El cálculo del peso mediante la cinta-métrica proporciona medidas que pueden llevar a conclusiones erróneas, como se observa en estudios donde se reporta una diferencia promedio de 13.8 kg en animales de un peso bajo y variaciones máximas reportadas de hasta 40 kg en animales de mayor peso (Martínez Jiménez et al., 2019)

## 2.5 **Hipótesis**

¿Cuál es el porcentaje de eficacia y error que tiene un sistema de pesaje automático de ganado bovino?

**2.5.1 Hipótesis de investigación ( $H_i$ )**

Con la implementación del sistema de pesaje automático el porcentaje es del 90% eficiencia y un 10% error

**2.5.2 Hipótesis nula ( $H_0$ )**

Con la implementación del sistema de pesaje automático no tiene un porcentaje del 90% eficacia y un 10% error

**2.5.3 Hipótesis alternativa ( $H_a$ )**

Con la implementación del sistema de pesaje automático el porcentaje puede estar entre 70% y 90% eficacia y 30% y 10% error

### 3. Metodología

#### 3.1 Enfoque

El enfoque de la investigación es cuantitativo, dado que las variables asociadas al objeto de investigación se miden numéricamente, entonces los resultados obtenidos permitirán determinar cuál es la precisión y eficiencia del pesaje de ganado con un identificador RFID para el almacenamiento e identificación del ganado.

#### 3.2 Paradigma

Esta investigación se encuentra dentro del paradigma neopositivista, ya que se aplica conocimiento científico con el fin de que los resultados sean útiles, precisos y óptimos.

#### 3.3 Método

Ya que esta investigación es cuantitativa, el método que se utilizara es científico o también conocido como método empírico analítico (Quijano, 2009), ya que busca encontrar la precisión en el pesaje y la identificación de un identificador RFID para el almacenamiento e identificación, con lo cual se quiere comprobar la hipótesis y resolver el problema de investigación.

#### 3.4 Tipo de diseño

La investigación es de tipo descriptivo, dado que la finalidad es determinar con exactitud el peso y para lograrlo es necesario observar y recolectar datos, usando una báscula y un identificador RFID, para interpretar y argumentar cual es la precisión porcentual a la hora de que la vaca pase por la báscula y se registre su peso.

#### 3.5 Diseño de investigación

El diseño de esta investigación (**RG X O**), se define como experimento experimental puro, ya que se pretende implementar un sistema de pesaje automático con fines de trazabilidad la cual se aplican las técnicas de identificación RFID manipulando variables de peso. Por lo tanto, se obtienen el siguiente grupo experimental.

**RG1 X1 O1**

**RG2 X2 O2**

Donde:

**RG1 = RG2:** Animal con dispositivo RFID.

**X1:** sistema automático de pesaje de ganado.

**X2:** sistema de pesaje cinta métrica.

**O1:** Medida en peso con el sistema automático de pesaje

**O2:** Medida en peso con el sistema convencional de pesaje

### 3.6 Universo

El universo corresponde al ganado bovino.

### 3.7 Muestra

la muestra corresponde a la implementado en diez vacas en la finca botanilla, y se usarán las técnicas de identificación y pesaje automático mediante mediciones físicas.

### 3.8 Técnicas de recolección de información

Observación directa: la información a recolectar del ganado bovino se obtuvo a partir de una báscula electrónica del prototipo, báscula convencional y cinta bovino-métrica que determinará su peso y calcular el error relativo con los datos registrados en la base de datos. En la siguiente *Tabla 2* se muestra la relación de las variables con los instrumentos de recolección de información.

*Tabla 2. Técnicas de recolección de información*

<b>Variables</b>	<b>Instrumento de recolección de información</b>
Peso	Báscula Electrónica del prototipo: con este instrumento se toma el registro de peso del bovino de manera diaria.
Peso	Cinta bovino-métrica: con este instrumento se toma el registro de peso del bovino cada semana.
Error relativo	Se mide mediante el cálculo de datos almacenados en un archivo Excel.



### **3.8.1 *Validez de la técnica***

La técnica de recolección de información es válida, porque la báscula ayuda a determinar el peso aproximado del animal.

### **3.8.2 *Confiabilidad de la técnica***

La técnica es confiable, aunque se pueden presentar ciertas anomalías al momento de recolectar información, debido a la influencia de factores como el terreno, posición del animal y calibración de la báscula electrónica. Aun así, se realizó el menor error al momento de adquirir el peso del ganado bovino.

## **3.9 Instrumentos de recolección de información**

Se identifico cada animal mediante tarjetas RFID, se tomó el peso mediante una báscula electrónica, y esta información se registrará de forma inalámbrica en un sistema de computador en el cual se encontrará el sistema de recolección de los datos del puerto serial usando la interfaz diseñada en Python y para el almacenamiento de los datos se usa un archivo Excel, el cual tendrá filtrada la información para que sea fácil el monitoreo de los datos recibidos.

## 4. Resultados

### 4.1 Experimentación preliminar

Inicialmente, se elaboró una estructura a escala que facilitó la ubicación de las barras ganaderas y el diseño de un planchón adecuado para la distribución que representan el sistema de pesaje real. La escala se utilizó para observar la mejor posición de las barras ganaderas y determinar si debían colocarse en posición vertical u horizontal. También se utilizó para determinar la posición en la que se ubicaron en el planchón, asegurando una distribución óptima del peso y una adecuada estabilidad estructural. Se diseñó un prototipo en 3D utilizando la plataforma Tinkercad, se realizó tomando como referencia las barras ganaderas, lo que permitió crear una representación visual detallada de la estructura y su disposición. Este proceso involucró la modelación de cada componente de las barras ganaderas, incluyendo su tamaño, forma y ubicación relativa en la estructura general.

En cuanto a los componentes seleccionados, se optó por el módulo HX711, es un componente electrónico que se utiliza para amplificar y convertir las señales de sensores de peso, como las galgas de 5 kg, en señales digitales que pueden ser procesadas por un microcontrolador para obtener mediciones precisas del peso. Este módulo está funcionando como un amplificador de instrumentación y convertidor analógico-digital de alta precisión.

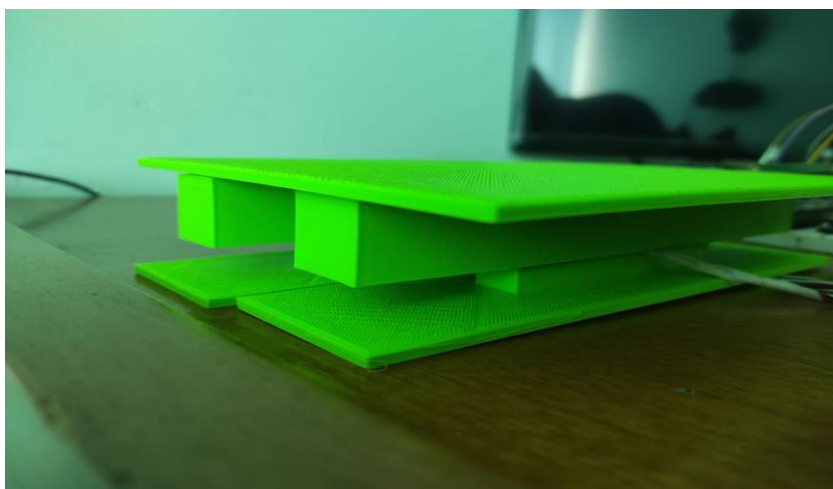
Para el control y procesamiento eficiente de los datos obtenidos, se integró el microcontrolador Arduino. Su capacidad para proporcionar una interfaz sencilla de programación y control de dispositivos lo convirtió en una opción para el sistema.

La *Figura 20* muestra el acople de las galgas de 5 kg en la estructura 3D. Este proceso de integración, realizado con precisión, fue fundamental para obtener mediciones que permitieran entender la distribución de peso.



*Figura 20. Acople de galgas en la estructura 3D.*

En la *Figura 21* se aprecia la estructura completa del sistema, incluyendo las galgas de 5 kg, el planchón para colocar el peso y la disposición estratégica de las galgas de pesaje. Esta visualización integral permite comprender la distribución de peso y la configuración general del sistema antes de su implementación práctica.



*Figura 21. Estructura completa.*

El diseño y construcción de una estructura a escala, con la colocación estratégica de las barras ganaderas y un diseño meticuloso del planchón para la recolección de peso. La visualización detallada y la planificación previa utilizando un prototipo en 3D a través de Tinkercad garantizaron una ejecución óptima en la fase experimental, lo que nos permitió seleccionar la mejor opción al adquirir las barras ganaderas para nuestro sistema.

En cuanto a los detalles planimétricos, las medidas específicas de la estructura a escala fueron cuidadosamente calculadas y representadas en el diseño en 3D. Las medidas a escala del planchón fueron de 19 cm de largo y 10 cm de ancho, representando las medidas reales de 1.90 m de largo y 1 m de ancho. Esto aseguró una representación precisa y proporcional de la estructura en el diseño.

## **4.2. Calibración e implementación del circuito del sistema**

### **4.2.1. Barras ganaderas portátil**

Una vez realizada la experimentación preliminar para este proyecto, se tomó la decisión de adquirir las Barras Ganaderas Móviles de la marca JCM. Estos dispositivos están diseñados para simplificar la manipulación y control del ganado en entornos agrícolas y ganaderos, ofreciendo una solución práctica y versátil para gestionar, alimentar, cargar el ganado de forma eficiente y segura.

Las barras ganaderas de la marca JCM presentan características específicas que las hacen ideales para este proyecto. Con una capacidad de 2000 kg, estas barras superan ampliamente el peso promedio que se encuentra alrededor de los 850 kg. Esto asegura una capacidad robusta y confiable para las necesidades de pesaje.

Además, las barras ganaderas JCM están equipadas con cuatro sensores *sher beam* fabricados en acero inoxidable, lo que garantiza una precisión y durabilidad óptima en la medición del peso del ganado. El indicador JCM, es un dispositivo electrónico que muestra el peso de forma precisa en aplicaciones industriales y ganaderas. Este indicador cuenta con un conector DB9 macho que permitió la conexión con el puerto RS232, necesario para la transmisión de datos desde la celda de carga al sistema de control.

Este indicador JCM ofrece diversos modos de configuración y operación, como el modo de transmisión serial que permite configurar tres modos de operación distintos. Esto incluye el modo continuo, continuo en sentido inverso y modo impresión, adaptándose así a las diferentes necesidades de manejo y control del sistema.

Durante la implementación, se utilizó el modo continuo para enviar los datos de peso desde las barras ganaderas al sistema de control a través del puerto RS232 conectado al

MAX232. Esto permitió la recepción y visualización de los datos de peso en la ESP32 mediante el programa Arduino, proporcionando una interfaz clara y eficiente para monitorear el peso del ganado en tiempo real. La *Figura 23*, muestra las barras ganaderas portátiles que se utilizaron en el Sistema Automático de Pesaje de Ganado Bovino basado en RFID.



*Figura 22. Barras ganaderas portátiles.*

#### **4.2.2. Lector RFID**

El lector RFID PRO-6RF-ACCESSPRO fue seleccionado para la implementación en el sistema debido a que se distingue por su rendimiento superior en la lectura de etiquetas RFID, su versatilidad al ser compatible con diversos protocolos de comunicación y etiquetas, su capacidad avanzada de gestión de datos, y su fiabilidad y durabilidad en diferentes entornos, haciendo que sea la elección adecuada para este proyecto.

Entre las características destacadas del lector RFID PRO-6RF-ACCESSPRO se encuentra su alcance de seis metros, lo que permite una detección y lectura eficientes incluso a distancias significativas. Además, opera en la frecuencia UHF 902-928MHz, lo que asegura su compatibilidad con estándares globales y su capacidad para funcionar de manera efectiva en diferentes ubicaciones y configuraciones.

Un aspecto fundamental de su diseño es su robustez para resistir condiciones ambientales adversas, una cualidad especialmente relevante en entornos al aire libre donde las condiciones pueden variar considerablemente. Esto garantiza la fiabilidad y durabilidad del dispositivo,

elementos esenciales para su integración en nuestro sistema que estará instalado en campo abierto.

El lector RFID PRO-6RF-ACCESSPRO también se distingue por su capacidad para gestionar múltiples identificaciones simultáneas, lo que lo hace eficiente en escenarios donde se requiere el seguimiento de varios activos de manera simultánea. Su interfaz intuitiva y su fácil integración con otros sistemas de control y gestión lo convierten en una herramienta versátil y adaptable a diversas necesidades operativas.

En cuanto a su calibración, el lector RFID PRO-6RF-ACCESSPRO ofrece la posibilidad de ajustar la potencia de transmisión y la sensibilidad de recepción para optimizar la distancia de lectura y la precisión en la identificación de etiquetas RFID. Esto se realiza a través del software de control del lector, donde se pueden configurar parámetros específicos para adaptarse a las condiciones y requisitos del entorno de operación.

En cuanto a las salidas del lector, este dispositivo proporciona diversas opciones para la gestión de datos y la integración con otros sistemas. Entre estas salidas se encuentran las salidas digitales, como relés para controlar dispositivos externos, y las salidas de datos en diferentes formatos, como ASCII o binario, para la transmisión de información capturada por las etiquetas RFID. Para utilizar estas salidas, se realiza la conexión física mediante el cable RS232, conectando el conector DB9 macho del lector al puerto RS232 del dispositivo receptor que se conecta con el sistema de control. La configuración de la salida RS232 se realiza a través del software de gestión del lector, donde se definen los parámetros de transmisión de datos, la velocidad de transmisión (baud rate) y otros ajustes según los requisitos del sistema receptor.

La *Figura 24*, se observa la antena RFID que se utilizó en el Sistema. Esta antena desempeña un papel importante en la captura y lectura de las etiquetas RFID colocadas en los animales, permitiendo así la identificación precisa y eficiente en el sistema.



*Figura 23. Lectora RFID.*

### **4.2.3. Conexión lectora RFID**

#### **4.2.3.1 Conexión lectora RFID con Arduino Mega2560**

La conexión inicial con el Arduino Mega2560 se realizó con el objetivo de pruebas y calibraciones locales del lector RFID en el contexto de nuestro sistema. Esta etapa fue esencial para garantizar la correcta configuración y funcionamiento del lector antes de su integración final en el sistema completo.

Para establecer una comunicación efectiva entre el lector RFID y el Arduino Mega2560, se empleó el módulo MAX232 como adaptador de nivel lógico. Este módulo es necesario ya que la lectora RFID opera con niveles de voltaje diferentes a los del Arduino. El MAX232 actúa como un puente que adapta estos niveles de voltaje para asegurar una transmisión de datos estable y segura entre ambos dispositivos.

El proceso de conexión comenzó con la disposición física en un protoboard del módulo MAX232, el cual está conectado con condensadores de 1  $\mu$ F (microfaradios) a 50 V (voltios). Estos condensadores se interconectan de manera específica para garantizar la estabilidad y la adecuada adaptación de niveles de voltaje entre el lector RFID y el Arduino Mega2560. Además, se emplearon cables para la conexión del módulo RS232 adecuados para la conexión, siendo uno

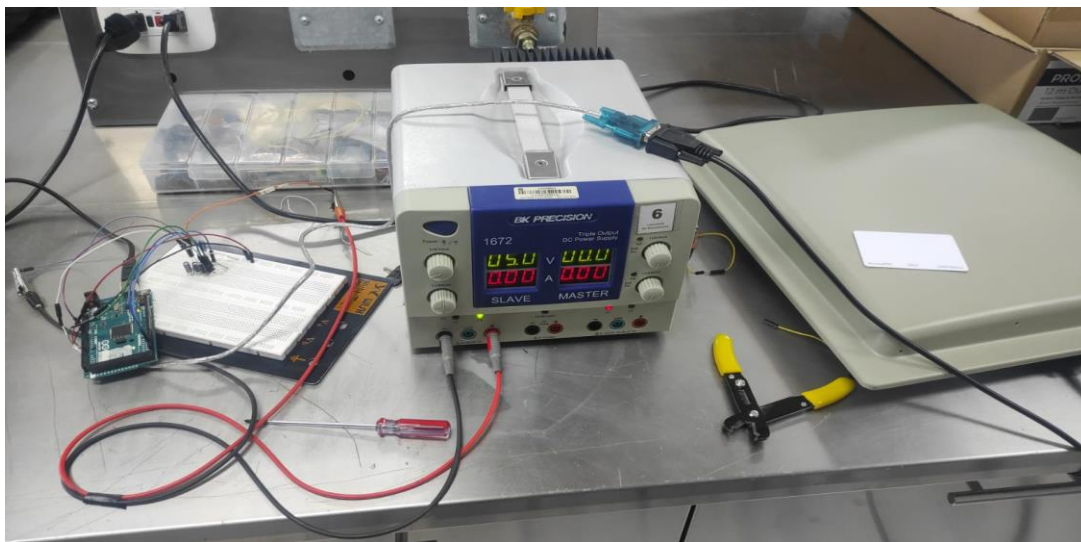
de ellos conectado al pin 13 del Arduino y otro a tierra común, cumpliendo así la función de convertir al MAX232 en un adaptador de nivel lógico.

Posteriormente, se estableció la conexión física entre el MAX232 y el Arduino Mega2560 utilizando los pines seriales, especialmente los pines TX (transmisión) y RX (recepción). Concretamente, los pines TX y RX del Arduino se conectaron a los pines 9 y 12 del MAX232, respectivamente. Esta configuración permite la comunicación serial bidireccional entre el lector RFID y el Arduino, siendo crucial para la transferencia de datos entre ambos dispositivos.

Una vez completada la conexión física, se procedió a la programación del Arduino Mega2560 para configurar el puerto serie y establecer la comunicación con la lectora RFID. Esto implicó definir los parámetros de comunicación, como la velocidad de transmisión (baud rate) de 15200 baudios y los protocolos de comunicación serial adecuados para la correcta recepción y procesamiento de datos provenientes del lector RFID.

Cuando la lectora RFID envía datos al Arduino Mega2560, estos se reciben en forma de cadenas de caracteres. El Arduino interpreta estos datos mediante el programa específico desarrollado para el sistema. Esta interpretación y procesamiento de datos son fundamentales para la captura y el análisis de información relevante para el funcionamiento óptimo del sistema.

La *Figura 25*, se observa cómo se realiza la conexión entre la lectora RFID, el módulo MAX232 y el Arduino Mega2560.



*Figura 24. Conexión RFID con módulo MAX232 y Arduino Mega2560.*



#### **4.2.3.2 Conexión lectora RFID con ESP32**

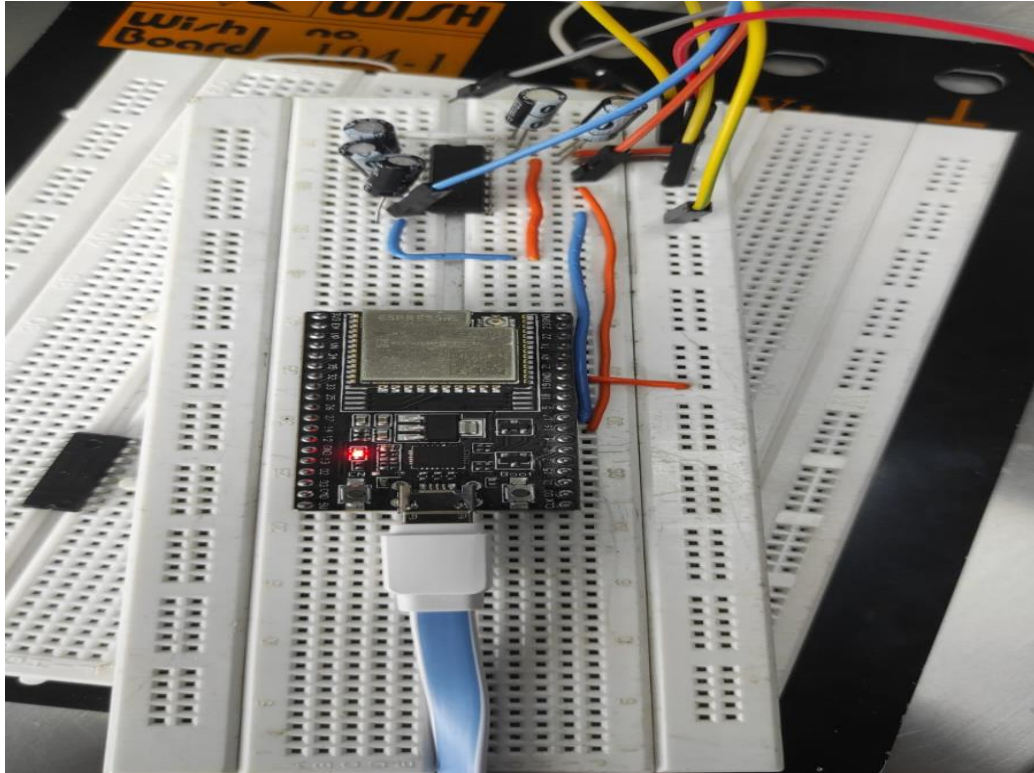
Se optó finalmente por establecer una conexión entre el módulo MAX232 y el ESP32 debido a la reducción de espacio que esto ofrece para el circuito, lo cual es importante a la hora de su implementación en campo para mantener la eficiencia y la integridad de nuestro sistema.

Para lograr esta conexión, se utilizó el ESP32 con sus pines UART 1 (RX en el pin 16) y UART 2 (TX en el pin 17), los cuales se emplearon para establecer la comunicación con el módulo MAX232 y, por ende, con la lectora RFID y el monitor de peso.

La conexión física se realizó utilizando cables que estaban conectados a los módulos RS232 adecuados para la transmisión de datos. Uno de los cables se conectó al pin 13 del MAX232 para la comunicación con la antena RFID, mientras que otro cable se conectó al pin 8 del MAX232 para la comunicación con el monitor que envía los datos de peso. Ambas conexiones están ancladas a tierra común para garantizar la integridad de la comunicación y la estabilidad del sistema.

Los pines RX (recepción) de UART 1 y UART 2 del ESP32 se emplearon para recibir los datos enviados por la lectora RFID y el monitor de peso a través del módulo MAX232. Estos datos son esenciales para obtener información detallada tanto del lector RFID como del peso. En el caso del peso, se toman 15 valores que son promediados cada milisegundo para obtener una medición precisa, la cual se visualiza junto a su respectiva identificación en el script del programa de Arduino desarrollado específicamente para este propósito.

En la *Figura 26*, se observa esta conexión. Este proceso de conexión es crucial para el funcionamiento adecuado y la integración exitosa de la lectora RFID y el monitor de peso en el sistema.



*Figura 25. Conexión circuito MAX232 con ESP32.*

#### ***4.2.4. Diagrama de flujo para recolección de información en script.***

Una vez terminadas las conexiones, se crea el código desarrollado en Arduino, que tiene como función principal recibir datos a través de comunicación serial, procesarlos y enviar la información procesada a un dispositivo externo o mostrarla en el Monitor Serial de Arduino.

El programa está diseñado para recibir datos en forma de cadenas de caracteres a través de la comunicación serial. Estas cadenas pueden contener información como códigos RFID, valores decimales u otros datos relevantes para el sistema.

En cuanto al formato de los datos, el programa puede recibir cadenas de caracteres que representan números enteros o decimales, dependiendo de la naturaleza de los datos a procesar. El programa realiza la conversión de estas cadenas de caracteres a valores numéricos, ya sea enteros o decimales, para su posterior manipulación y cálculos.

El programa tiene la capacidad de calcular el promedio de forma continua cada milisegundo, acumulando valores de peso hasta obtener 15 lecturas completas. Una vez que se han recolectado los 15 valores, el programa suma estos valores y luego divide la suma entre 15 para obtener el promedio de los datos.

La información procesada puede ser enviada a un dispositivo externo a través de la comunicación serial, como un módulo Bluetooth, o mostrada en el Monitor Serial de Arduino para su visualización y seguimiento durante el funcionamiento del programa.

La variable "stringRecibido" se utiliza para almacenar los caracteres recibidos de otro dispositivo a través de la comunicación serie. Por otro lado, "stringCompleto" actúa como una bandera que indica si se ha recibido un conjunto completo de datos. Además, la variable "stringDecimal" se emplea para almacenar valores decimales provenientes de otro dispositivo, los cuales pueden ser relevantes para ciertas operaciones.

Una parte esencial del programa es la lista predefinida de identificadores llamada "lista IDs". Esta lista es fundamental para relacionar un código RFID específico con un identificador particular, lo que facilita la identificación y clasificación de la información recibida.

Durante la configuración inicial del programa, se establecen las conexiones de comunicación serie a velocidades específicas. También se define una función llamada "invertirString", la cual se utiliza para invertir el orden de los caracteres en una cadena cuando sea necesario, lo que puede ser útil para ciertos procesos de manipulación de datos.

En el bucle principal del programa, se lee constantemente la información que llega a través de un puerto serial. Se implementan condiciones para detectar ciertos caracteres específicos que indican la recepción de un conjunto completo de datos. Una vez que se determina que se ha recibido un conjunto completo, se procede a procesar la información de acuerdo con las necesidades del sistema.

Además de la recepción de datos de caracteres, el programa también lee valores decimales de otro puerto serial. Estos valores decimales son procesados mediante operaciones específicas que forman parte de la interacción con dispositivos externos, ampliando así la funcionalidad del sistema.

Cuando se recibe y procesa un conjunto completo de datos, se utiliza la función "obtener IDs Asociado" para relacionar el identificador específico de un dispositivo con el código RFID recibido. Esta asociación permite identificar y etiquetar correctamente la información recibida. Finalmente, esta información procesada se imprime en el Monitor Serial, proporcionando una salida visual que facilita la comprensión y el seguimiento del flujo de datos en el sistema.

La *Figura 26*, se observa gráficamente cómo se establecen las conexiones para la comunicación en serie, cómo se procesan los datos recibidos y cómo se relacionan los

identificadores con los códigos RFID en el programa, brindando así una representación visual clara del proceso de recolección y procesamiento de información en el script.

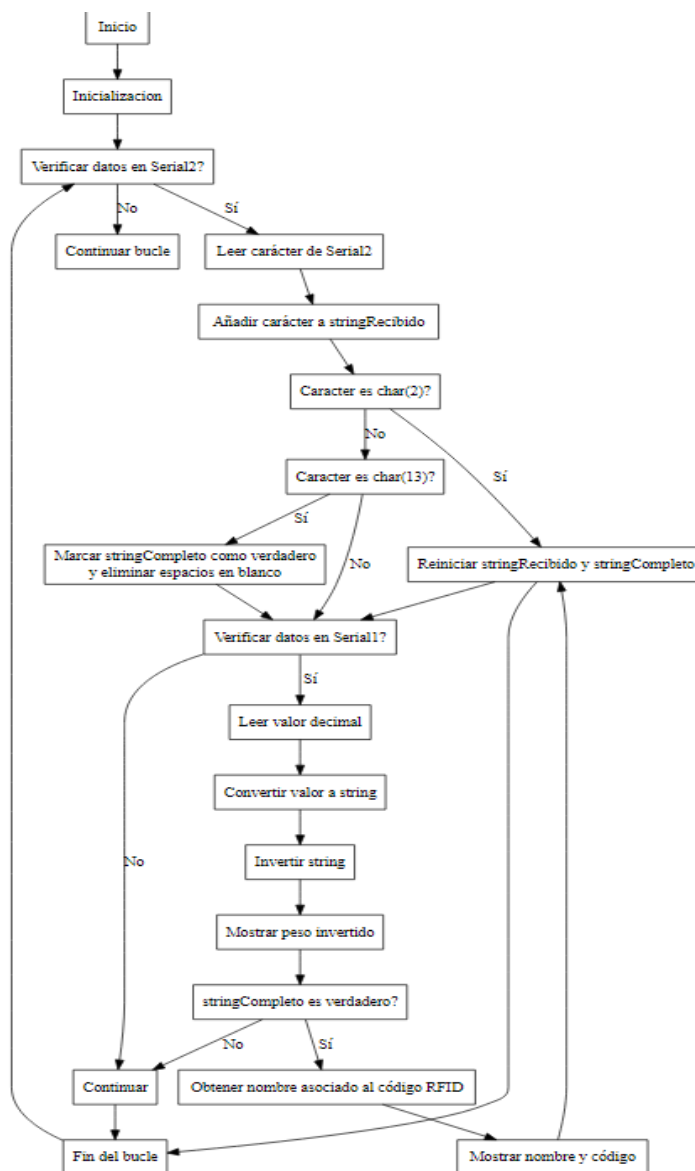


Figura 26. Diagrama de flujo

#### 4.2.5. Conexión lectora RFID, barras ganaderas con circuito y ESP 32

La interconexión entre la lectora de RFID, las barras ganaderas y el circuito con el ESP32 es fundamental para recibir datos simultáneamente y realizar un monitoreo completo y coordinado en el sistema.

Para lograr esta conexión, se utilizan módulos RS232, uno conectado a la lectora de RFID y otro al monitor de peso de las barras ganaderas. Estos módulos están enlazados mediante el uso del módulo MAX232, el cual actúa como un intermediario para capturar los datos enviados por la lectora de RFID, permitiendo así la identificación de la tarjeta registrada. Al mismo tiempo, el ESP32 recibe de manera constante los datos de peso provenientes de las barras ganaderas.

Es importante destacar que la báscula se puede conectar a una distancia de hasta 2 metros, que es la longitud del cable de conexión entre las barras de pesaje y el indicador. Esta flexibilidad en la conexión permite una ubicación conveniente de la báscula y el indicador, facilitando su uso en diferentes configuraciones de trabajo.

Esta configuración posibilita la observación en tiempo real de la información de la tarjeta registrada en la lectora de RFID, al mismo tiempo que se monitorea de forma continua el peso enviado por las barras ganaderas. Al recibir y procesar datos de ambas fuentes simultáneamente, se logra mostrar una información completa y coordinada que incluye el nombre asignado a cada tarjeta y su correspondiente peso promediado.

La *Figura 27*, se observa detallada esta conexión, mostrando cómo se integran la lectora de RFID, las barras ganaderas, el módulo MAX232 y el ESP32 en el circuito. Además, se presentan los pasos necesarios para recibir y procesar datos simultáneamente, lo cual es esencial para el correcto funcionamiento y la coordinación efectiva de todos los componentes en el sistema.



Figura 27. Conexión lectora RFID, barras ganaderas con circuito y ESP 32.

#### 4.2.6. Resultados en script

Se observa que al deslizar la tarjeta en la lectora RFID, esta detecta la tarjeta de manera efectiva. Además, la lectora registra los pesos correspondientes al animal asociado y calcula automáticamente su promedio. Este proceso proporciona de forma precisa el nombre del animal y su peso, lo que facilita un registro detallado y eficiente de la información. En la *Figura 28*, se observa cómo se realiza la detección de la tarjeta, la captura de los valores de peso por la lectora RFID y el cálculo automático del promedio de peso asociado a cada tarjeta.

```

16:19:48.181 -> Valor decimal recibido (invertido): 55.2
16:19:48.181 -> Valor decimal recibido (invertido): 55.0
16:19:48.181 -> Valor decimal recibido (invertido): 55.2
16:19:48.181 -> Valor decimal recibido (invertido): 55.2
16:19:48.181 -> Valor decimal recibido (invertido): 55.2
16:19:48.181 -> Valor decimal recibido (invertido): 55.2
16:19:48.181 -> Valor decimal recibido (invertido): 55.2
16:19:48.230 -> Valor decimal recibido (invertido): 55.0
16:19:48.230 -> Valor decimal recibido (invertido): 55.2
16:19:48.230 -> Valor decimal recibido (invertido): 55.0
16:19:48.230 -> Valor decimal recibido (invertido): 54.8
16:19:48.230 -> Valor decimal recibido (invertido): 55.0
16:19:48.230 -> Valor decimal recibido (invertido): 55.0
16:19:48.230 -> Valor decimal recibido (invertido): 55.0
16:19:48.230 -> ID Asociado: Nairo2, Código RFID: C80400A31872CF
16:19:48.252 -> Valor decimal recibido (invertido): 55.0

```

Figura 28. Resultados en script.

Una vez establecidas todas las conexiones necesarias y recopilados los datos mediante el script, el siguiente paso es implementar la solución para la transmisión de estos datos. Esta fase implicó elegir el mejor módulo de transmisión que permita un largo alcance, además de establecer los protocolos de comunicación para garantizar la transferencia eficiente y segura de la información recopilada

### **4.3 Solución de comunicación**

#### **4.3.1 Conexión modulo LoRa**

Se eligió el módulo LoRa RYLR998 para ser una parte integral del Sistema. Este módulo permitió habilitar una comunicación inalámbrica eficiente y de largo alcance en la banda de 433 MHz, con un consumo de energía optimizado.

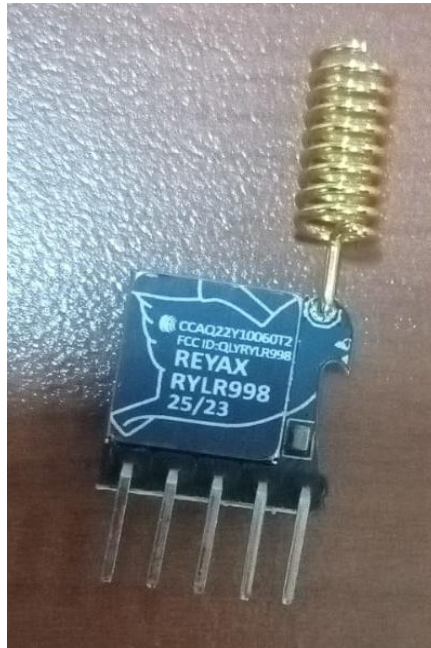
El módulo LoRa RYLR998 se conecta de manera amigable con el microcontrolador como el ESP32 a través de interfaces seriales, aprovechando los pines RX y TX de la ESP32, además de la alimentación de 3 voltios y la conexión a tierra. Esta configuración facilita la transmisión de datos del sistema central.

Durante el diseño y desarrollo del sistema, se ha prestado especial atención a la configuración adecuada del módulo LoRa RYLR998. Esta configuración se realiza en el programa Arduino mediante los comandos AT, donde se configura un módulo que será el emisor y otro el receptor como también se configura otras características como son la ID, la dirección, las bandas y los parámetros. Esta meticulosa configuración asegura una comunicación sólida, confiable y de alto rendimiento entre los componentes del sistema.

El código de Arduino comienza con la función `setup()` que se encarga de la configuración inicial del programa. Esto incluye iniciar la comunicación serial a una velocidad específica y enviar comandos al módulo LoRa mediante la comunicación serial para configurar su modo de operación, la banda de frecuencia y la potencia de transmisión.

En la función `loop()`, que es el bucle principal del programa, se monitorea constantemente si hay datos disponibles en la comunicación serial. Cuando se detecta que hay datos disponibles, se leen esos datos y se almacenan en una variable. Luego, estos datos pueden ser procesados según sea necesario y transmitidos a través del módulo LoRa utilizando la comunicación serial para su envío.

La *Figura 29*, se observa el módulo LoRa RYLR998 utilizado en el sistema.



*Figura 29. Módulo LoRa.*

#### **4.3.2 Conexión modulo USB**

Para la recepción de la información que transmite el módulo LoRa se utilizó el módulo USB PI2303 desempeña una función esencial al facilitar la conexión del ordenador al receptor LoRa para la observación de datos transmitidos por una ESP32, que a su vez está conectada al emisor LoRa. Esta configuración posibilita una supervisión y análisis eficientes de los datos en una red LoRa.

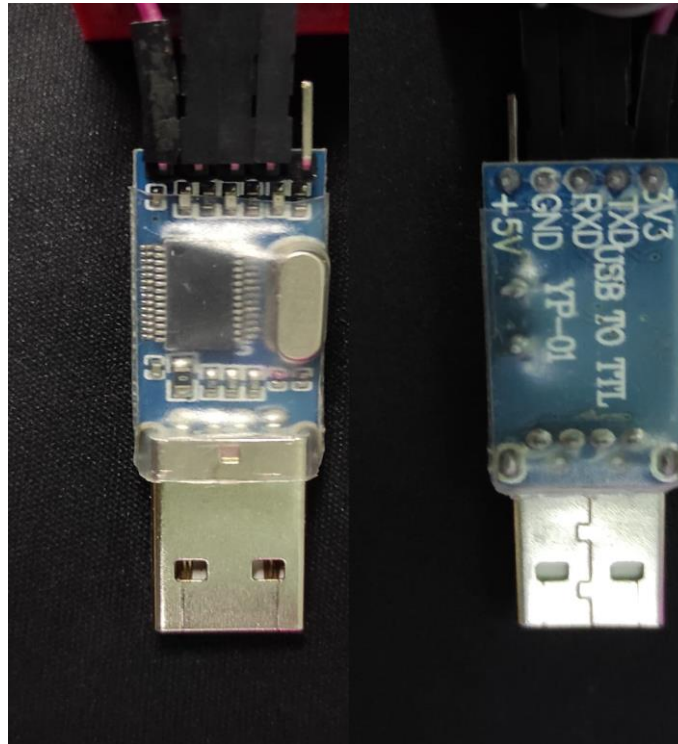
El PI2303 simplifica la conexión al ordenador a través de su interfaz USB, estableciendo una comunicación directa para la transferencia de datos. Además, se conecta a los pines pertinentes del receptor LoRa mediante sus interfaces GPIO y UART, permitiendo así la recepción de datos entre la red LoRa y el ordenador.

Al estar enlazado con el ordenador, el PI2303 posibilita la visualización en tiempo real de los datos transmitidos por la ESP32 a través del emisor LoRa. Esto se convierte en una herramienta efectiva para supervisar y analizar datos en diversas aplicaciones, donde la comunicación inalámbrica de largo alcance juega un papel fundamental.

Para implementar esta aplicación, se configura el PI2303 para la comunicación con el ordenador utilizando el controlador correspondiente y la configuración de los puertos seriales.



La *Figura 30*, se observa el módulo PI2303 utilizado en el sistema.



*Figura 30. Modulo PI2303.*

Una vez que el sistema se encuentra en funcionamiento, se realizó una visita a campo en la finca botanilla, para evaluar diversos factores y la ubicación del sistema. Esta visita permitió obtener información de primera mano sobre el entorno real en el que opera el sistema. Durante esta visita, se analizaron aspectos como la topografía del terreno, las condiciones ambientales, la distancia entre las barras ganaderas y la antena RFID, así como la posición y orientación de los componentes del sistema.

Además, se toma en cuenta factores como la exposición a condiciones climáticas extremas, la disponibilidad de energía eléctrica o la necesidad de implementar soluciones para proteger el sistema contra elementos externos como agua, polvo o impactos.

Las *Figuras 31* y *32*, se observa la toma de medidas durante la visita al campo, incluyendo la distancia entre las barras ganaderas y la ubicación estratégica de la lectora RFID para una lectura efectiva.



*Figura 31. Ajustes de altura de la lectora RFID.*



*Figura 32. Medidas distancia para las barras ganaderas.*

Durante esta visita a campo, se recolectó información valiosa para obtener medidas precisas que sirven de base para el diseño y fabricación de la estructura que albergará el sistema. Esto permitió concluir que es fundamental que las barras ganaderas queden al mismo nivel del suelo para asegurar una distribución uniforme del peso y evitar posibles desviaciones en las

mediciones. Esto implica tomar en cuenta la topografía del terreno y realizar ajustes necesarios en la instalación para lograr una alineación adecuada con el suelo.

Además, durante la visita se evaluaron otros aspectos como la orientación de la estructura para maximizar la captación de la señal RFID y la disponibilidad de recursos como energía eléctrica para el funcionamiento continuo del sistema.

Toda esta información recopilada durante la visita a campo es fundamental para garantizar la eficiencia, precisión y fiabilidad de nuestro sistema en su entorno real de aplicación.

#### **4.4. Implementación del sistema de sistema de pesaje**

##### **4.4.1. Diagrama de flujo Código Arduino**

El proceso de ejecución del código para el sistema de pesaje automático de ganado bovino basado en RFID y LoRa comienza con la fase de espera. Durante este período, el programa espera la llegada de los datos del lector RFID. Cuando los datos llegan, el sistema verifica la integridad y completitud del conjunto de información para garantizar la confiabilidad de los datos antes de continuar con las siguientes etapas del proceso.

Si el conjunto de datos se confirma como completo, el sistema avanza a la fase de obtención del nombre asociado al RFID. Este paso es fundamental para identificar de manera única al animal dentro del sistema de trazabilidad.

Con el nombre del animal obtenido, el sistema pasa a la fase de lectura de los datos de peso. Estos datos son cruciales porque permiten registrar con precisión el peso de cada animal identificado por RFID.

Una vez que se han recopilado los datos de peso de manera satisfactoria, el sistema verifica la validez de estos datos.

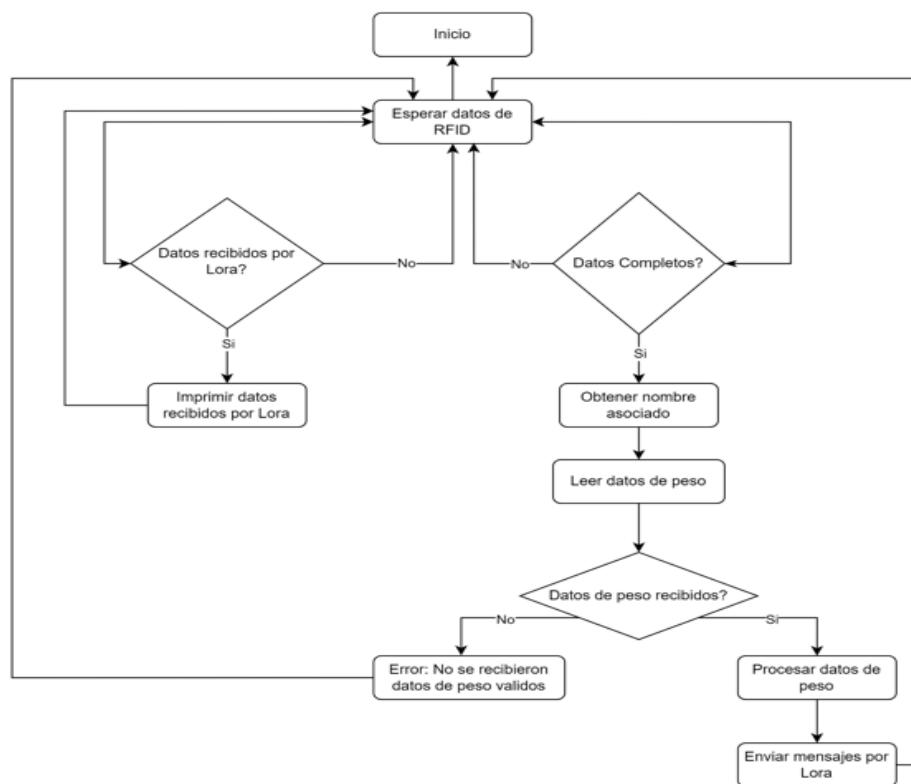
Se comienzan por analizar los rangos esperados, descartando cualquier posible error o valor atípico en los datos de peso. Si se consideran válidos, se procede al procesamiento de estos, lo cual puede incluir cálculos adicionales o la aplicación de algoritmos específicos según el sistema y los objetivos de la aplicación.

Luego, el sistema se prepara para transmitir la información procesada a través de LoRa, asegurando la integridad y coherencia de los datos para una correcta interpretación por parte del receptor.

Una vez enviado el mensaje por LoRa, el sistema entra en una fase de espera activa, verificando la recepción de datos por parte del sistema LoRa y su integridad y correlación con el mensaje enviado.

Si se detecta la recepción de datos por parte del sistema LoRa, el sistema los imprime para su registro y seguimiento, incluyendo información detallada sobre el animal pesado, su peso y cualquier otra información relevante para el contexto de trazabilidad y control ganadero.

El proceso se reinicia una vez que el flujo de trabajo retorna a su fase de espera original, en la que el sistema se mantiene alerta ante la llegada de información adicional del lector RFID. Este patrón de espera, recepción, procesamiento y transmisión se repite sin cesar para asegurar una operación fluida y eficaz en el sistema automático de pesaje de ganado bovino. Este ciclo continuo puede visualizarse de manera esquemática en la *Figura 33*, donde se representa la secuencia de espera, recepción, procesamiento y transmisión de datos en el sistema.



*Figura 33. Diagrama de flujo código Arduino*

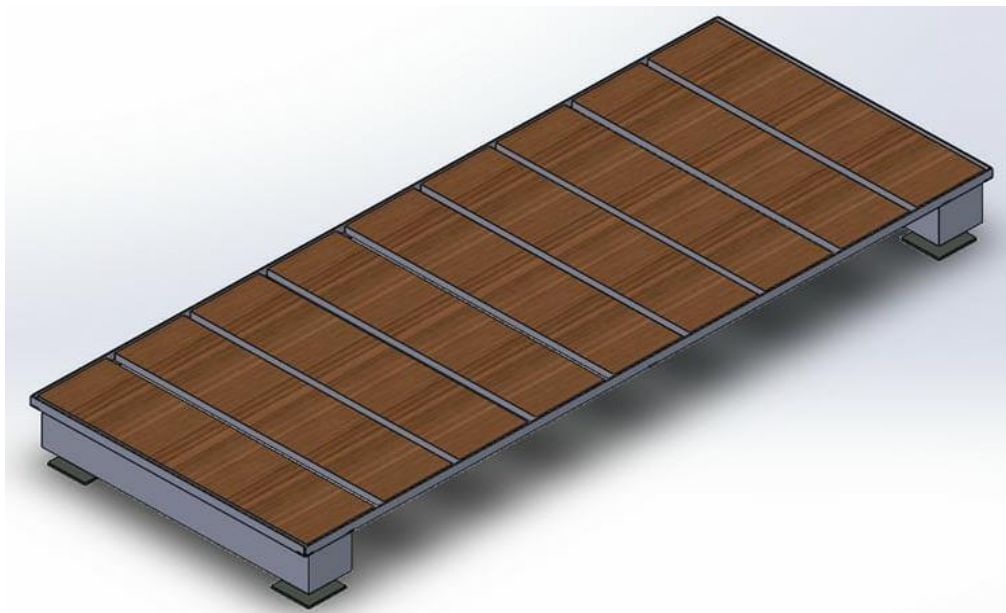
#### ***4.4.2. Diseño construcción estructura metálica para el pesaje de ganado***

El diseño de la estructura metálica para el paso de los animales en el sistema se realizó considerando cuidadosamente las medidas obtenidas durante la visita de campo. Estas medidas fueron cruciales para diseñar un espacio adecuado que permitiera la instalación de las barras ganaderas, así como determinar el largo y ancho de la estructura, asegurando así la funcionalidad y seguridad necesarias para su operación. Las medidas de la estructura son de 1.90 m de largo y 1 m de ancho, y cada barra ganadera se ubicó a 20 cm de cada punta de la estructura.

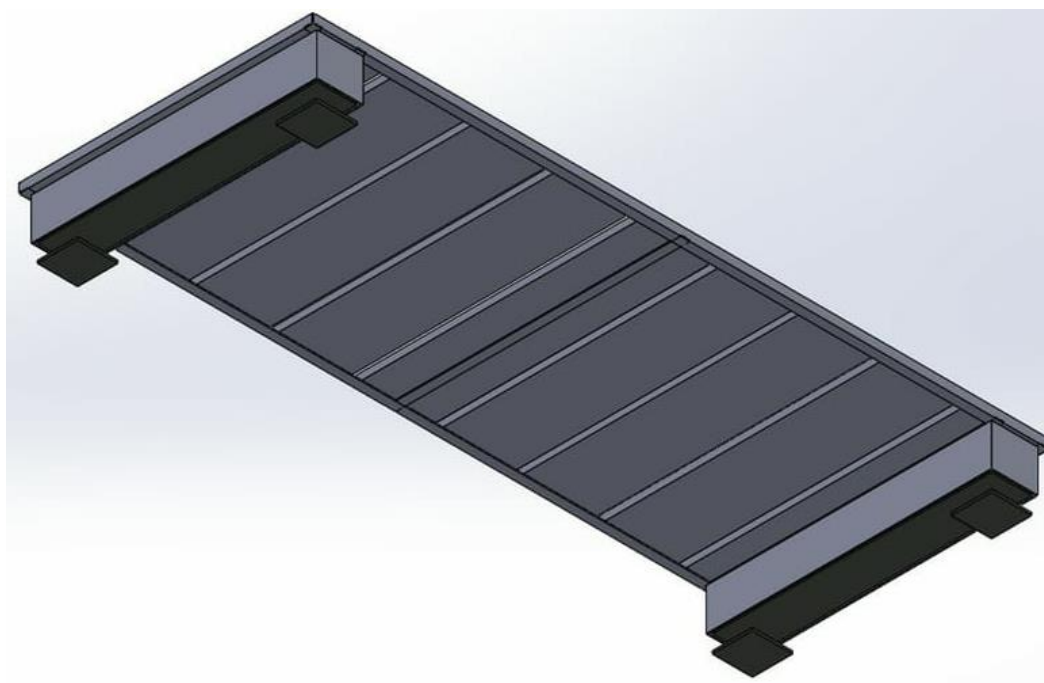
Durante este proceso de diseño, se hizo especial énfasis en la seguridad y la capacidad de la estructura para resistir tanto el peso como la presión ejercida por los animales. Fue diseñado con precisión para garantizar su resistencia y durabilidad en el tiempo, lo que contribuye a mantener la integridad estructural incluso en condiciones climáticas adversas.

Además de estas consideraciones, en el terreno destinado para la instalación se realizó una excavación de 20 cm de profundidad para la colocación de las barras ganaderas. Se implementó también un soporte en el suelo mediante listones de madera, con el objetivo de evitar que las barras se hundieran y garantizar que el planchón quedara al mismo nivel del suelo. Esta acción adicional aseguró la firmeza de la estructura y su correcto funcionamiento, proporcionando una plataforma sólida y nivelada para el pesaje preciso y seguro del ganado.

La elección de materiales también fue fundamental en este diseño. Se optó por utilizar acero galvanizado, un material reconocido por su resistencia a la corrosión y su capacidad para soportar cargas pesadas. Esta elección asegura que la estructura pueda mantener su calidad y funcionalidad a lo largo del tiempo. En la Figura 34 y 35, se observa el diseño realizado.



*Figura 34. Diseño construcción estructura parte superior.*



*Figura 35. Diseño construcción estructura parte inferior.*

#### **4.4.3. Elaboración del circuito impreso**

Con el fin de asegurar que los datos sean adquiridos de manera estable y precisa, se llevó a cabo un minucioso proceso de diseño y desarrollo del diagrama esquemático utilizando el software EasyEDA.

El circuito juega un papel crucial en el control y precisión de las mediciones, ya que actúa como un componente fundamental para garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos. Esta precisión es esencial para el correcto funcionamiento del Sistema.

Para lograr una conexión efectiva entre los componentes utilizados en el sistema, se establece una unión de tierra común, lo cual asegura que todas las partes del sistema compartan una referencia electrónica común. Esto garantiza la sincronización en términos de potencial eléctrico y facilita la comunicación y transferencia de datos sin interrupciones.

Cada componente se conecta al ESP32 mediante conexiones directas o a través de regletas con la misma cantidad de pines que requiere cada dispositivo específico. Esta disposición simplifica la conexión y desconexión de los componentes, optimizando así la eficiencia y el mantenimiento del sistema.

También se han añadido elementos como resistencias para ajustar los niveles de voltaje a las necesidades del sistema, especialmente cuando se integra energía de fuentes externas como las barras ganaderas y los dispositivos RFID.

La *Figura 36*, se observa todas las conexiones y componentes mencionados antes, dando una visión clara y completa del diseño del circuito esquemático.



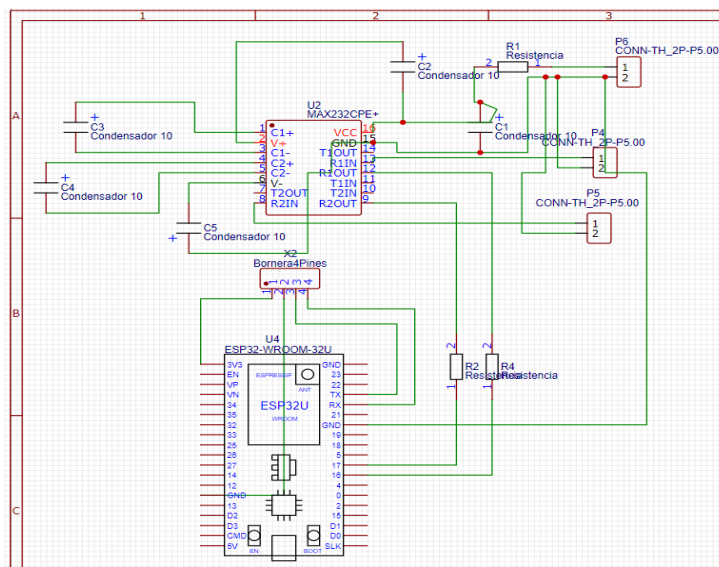


Figura 36. Diagrama esquemático en EasyEDA.

Una vez terminado el diseño del circuito esquemático con EasyEDA, se procedió a realizar el circuito impreso (PCB). Durante este proceso, se planificó la distribución del PCB, se colocaron los componentes según el diseño y se realizaron pruebas exhaustivas para asegurar su correcto funcionamiento.

La distribución del PCB se diseñó prestando especial atención a la ubicación de las pistas de conexión, la posición estratégica de los componentes y la asignación de áreas para los diferentes módulos y dispositivos. Se eligió un material que fuera conductor, duradero y compatible con los componentes del sistema.

La fabricación del PCB consistió en imprimir las capas de cobre, perforar orificios para colocar los componentes y aplicar la máscara de soldadura según el diseño. En la *Figura 37*, se observa el circuito PCB layout.



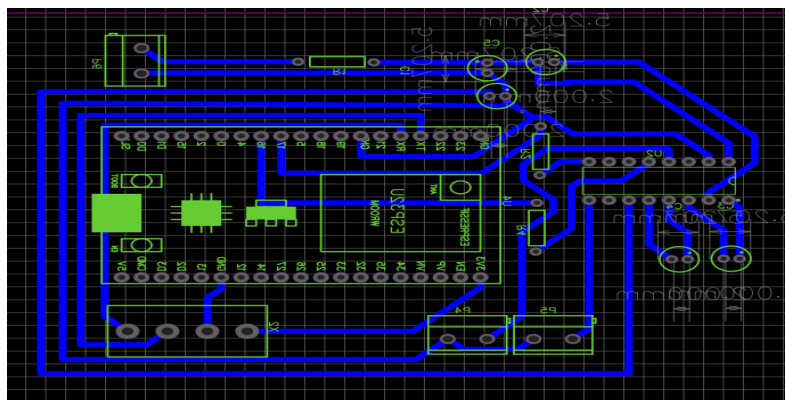


Figura 37. Circuito PCB layout o circuito impreso en EasyEDA.

A partir de la información del diseño del circuito en EasyEDA, se generó un modelo 3D que mostraba de forma visual y tridimensional cómo estaban conectados los componentes electrónicos en el sistema.

Durante la generación del modelo 3D, se consideró dónde se encontraba cada componente y cómo estaba orientado. También se detalló los agujeros para montaje, los espacios para las conexiones eléctricas y cualquier otro elemento relevante para entender y visualizar el diseño electrónico.

El resultado fue un modelo 3D detallado que reflejaba fielmente el diseño del circuito, mostrando de forma realista y funcional el sistema electrónico desarrollado para el sistema. Se puede observar en la *Figura 38 el modelo 3D*.

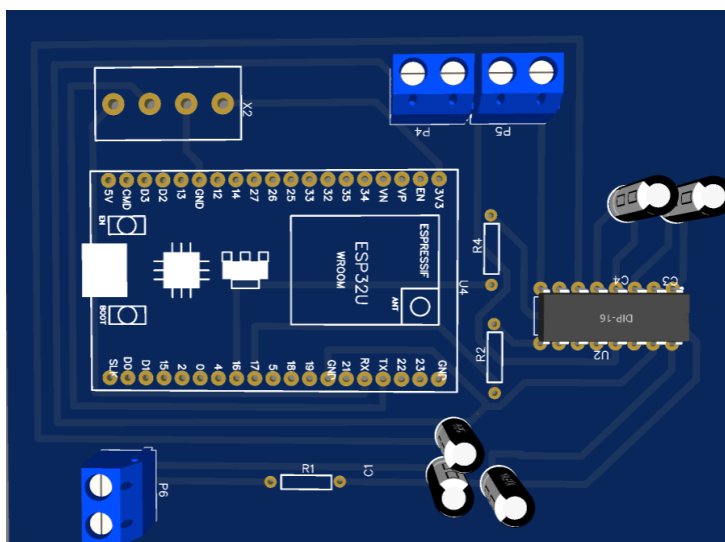


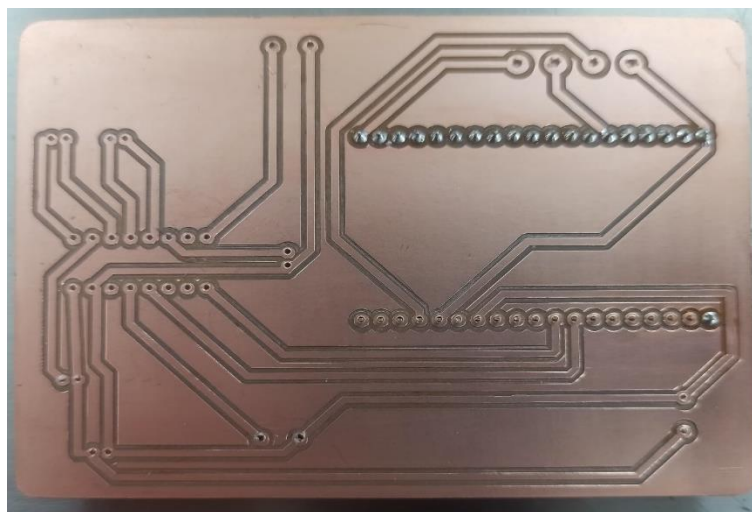
Figura 38. Circuito Impreso, modelo 3D en EasyEDA.

Una vez finalizada la etapa de diseño y creación de la placa de circuito impreso (PCB) en EasyEDA, se procedió a realizar el montaje del PCB. Durante este proceso, se generaron archivos de producción del PCB, como el archivo Gerber, el cual contiene la información necesaria para fabricar la placa de circuito impreso.

El archivo Gerber fue generado a partir del diseño del PCB en EasyEDA, incluyendo la disposición de las conexiones eléctricas, la ubicación de los componentes, los agujeros de montaje para la fabricación y montaje de la placa de circuito impreso.

Una vez generado el archivo Gerber, se utilizó una impresora especializada para producir el PCB, siguiendo las especificaciones del archivo Gerber.

En la *Figura 39*, se aprecia la precisión y exactitud en la ubicación de los componentes, así como garantizó la correcta disposición de las conexiones eléctricas para asegurar el óptimo funcionamiento del sistema.

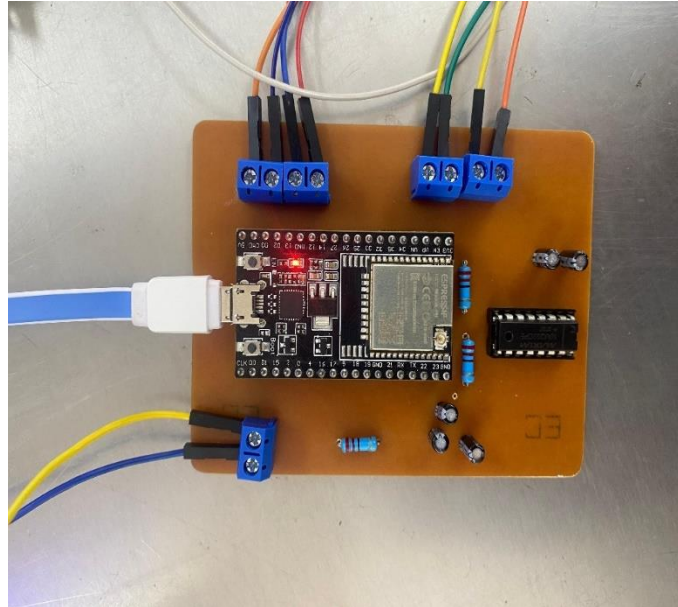


*Figura 39. Circuito Impreso en PCB.*

Finalmente, se procede al ensamblaje del circuito en PCB marca un hito importante en el desarrollo del sistema. Durante esta etapa, se llevó a cabo la soldadura y el montaje de todos los componentes electrónicos según el diseño detallado en EasyEDA.

El ensamblaje incluyó la colocación precisa de elementos como el MAX232, ESP32. Cada componente fue soldado con cuidado y siguiendo las especificaciones técnicas para asegurar conexiones eléctricas sólidas y un funcionamiento confiable.

La finalización del ensamblaje del circuito en PCB significa la creación de una estructura electrónica coherente y funcional, en la *Figura 40*, se puede observar la PCB lista para ser sometida a pruebas de desempeño y funcionamiento.



*Figura 40. Montaje circuito en PCB.*

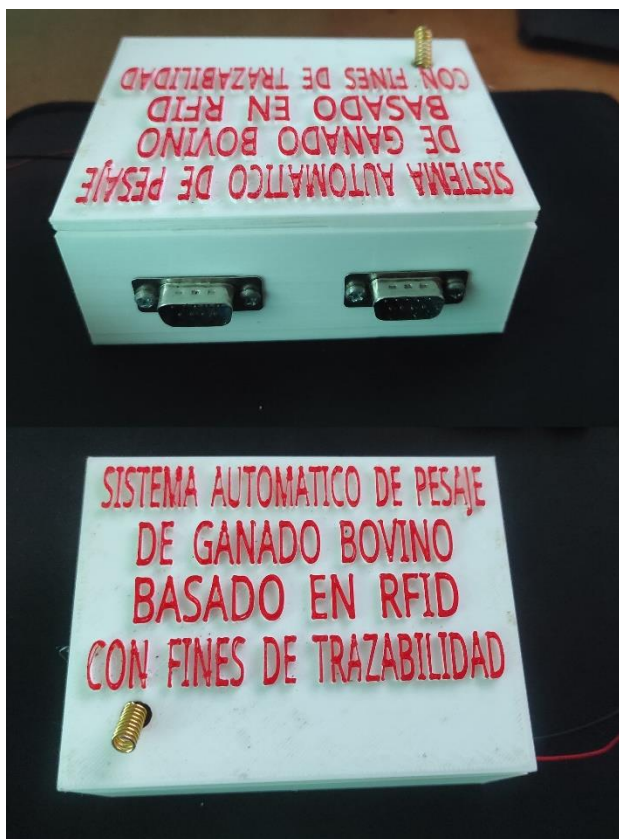
#### **4.4.4. Implementación diseño 3D para circuito**

La elaboración de una caja en 3D garantiza la seguridad del circuito electrónico y el módulo PI2303 conectado al módulo LoRa contra el agua y el polvo. Estos componentes estarán expuestos en un entorno al aire libre, por lo que es importante asegurarse de su funcionamiento y prolongar su vida útil.

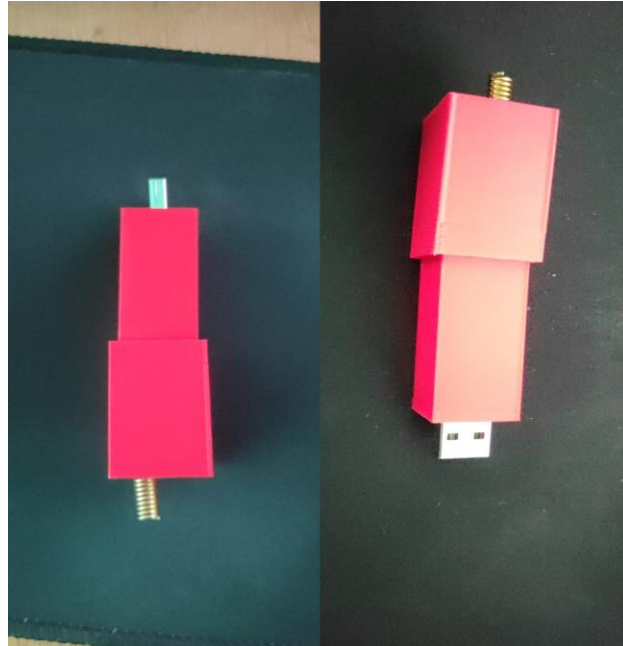
La caja se crea de forma personalizada utilizando el programa de diseño Tinkercad. Se utilizan herramientas de modelado en 3D para adaptarla al tamaño y forma específicos del circuito y el módulo PI2303. Se incluyen características como sellado y cierres herméticos para garantizar un ajuste perfecto y prevenir la entrada de elementos externos.

El diseño en Tinkercad permite visualizar la caja virtualmente antes de su fabricación, lo que facilita realizar ajustes y mejoras para optimizar su funcionalidad y eficiencia en la protección contra condiciones adversas.

En la *Figura 41*, se observa la impresión de la caja diseñada para proteger el circuito electrónico, mientras que en la *Figura 42*, se presenta la caja diseñada para resguardar el módulo PI2303 conectado al módulo LoRa, destacando sus características protección.



*Figura 41. Diseño 3D para circuito.*



*Figura 42. Diseño 3D para módulo PI2303 conectado al módulo LoRa.*

Una vez completado el hardware, se procede al diseño de la interfaz de usuario. Esta etapa busca crear una experiencia intuitiva y eficiente para el usuario, mediante la disposición visual de elementos y controles interactivos que faciliten la interacción con el sistema. El objetivo es garantizar una experiencia de usuario satisfactoria y una operación fluida del sistema.

## **4.5 Interfaz de usuario**

### ***4.5.1 Diagrama de flujo de la interfaz en Python***

El esquema detalla meticulosamente cada paso del proceso principal del programa, desde la selección del archivo Excel hasta la interrupción de la lectura de datos del puerto serial. Cada elemento del flujo de trabajo se presenta de manera clara y ordenada, lo que facilita una comprensión profunda de la lógica y el funcionamiento integral del sistema. Esta representación visual es fundamental para los usuarios, ya que les permite tener una visión completa y detallada de cómo se ejecutan las diferentes etapas del proceso.

Una de las ventajas más destacadas de este esquema es su capacidad para mostrar de manera precisa y concisa las opciones intermedias disponibles durante el proceso. Por ejemplo,

los usuarios pueden observar claramente cómo se generan gráficos basados en los datos registrados y tienen la flexibilidad de detener la lectura de datos del puerto serial en cualquier momento. Esta capacidad de control no solo mejora la facilidad de uso del programa, sino que también permite una gestión dinámica de la información según las necesidades específicas de cada usuario.

Además, el esquema destaca la generación de representaciones gráficas relevantes y fáciles de entender a partir de los datos procesados. Estas representaciones visuales son cruciales para mejorar la eficacia del sistema al proporcionar una visión clara y accesible de la información. Esto no solo facilita la interpretación de los datos, sino que también potencia la capacidad del usuario para tomar decisiones informadas basadas en datos precisos y actuales.

En la *Figura 43*, se observa una descripción al mostrar de manera gráfica cómo los datos procesados se convierten en representaciones visuales relevantes y fáciles de interpretar. Esta visualización mejora significativamente la capacidad del sistema para comunicar información de manera efectiva y facilita la toma de decisiones informadas por parte del usuario.

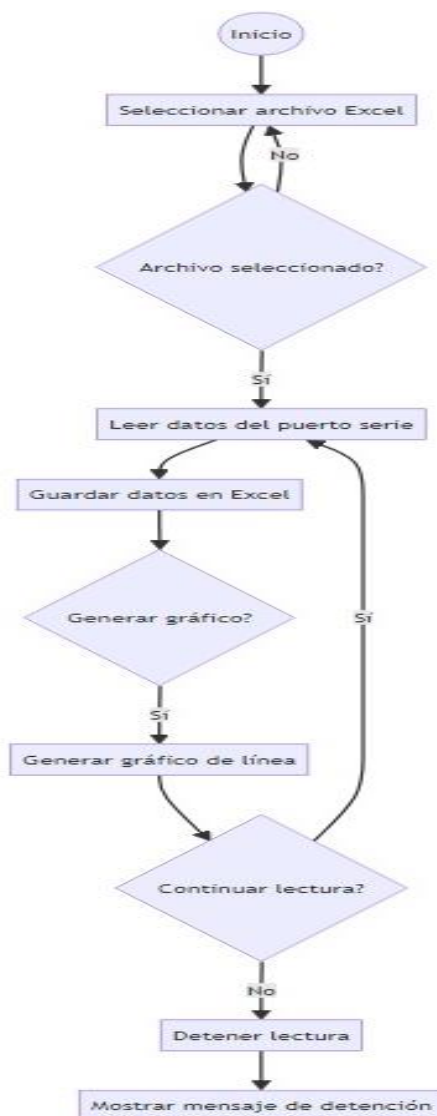


Figura 43. Diagrama de flujo interfaz en Python.

#### 4.5.2 Diseño de interfaz en Python para Registro de Peso con Excel como Almacenamiento de Datos

Se desarrolló una interfaz de usuario en Python que constituye una parte esencial del sistema, combinando las capacidades de la interfaz Tkinter y Pyserial para el registro preciso del peso del ganado bovino. Esta interfaz, diseñada meticulosamente, utiliza hojas de cálculo como su base de datos principal, asegurando la precisión y coherencia en la gestión de los datos de peso.

La estructura de la interfaz se ha diseñado de manera intuitiva y accesible para los usuarios, con una disposición clara de los campos esenciales como el número de identificación del ganado, fecha del registro y el peso en kilogramos. Además, se han integrado botones de acción estratégicos para facilitar las operaciones clave. Las instrucciones para el manejo de la plataforma son las siguientes.

Al iniciar la captura de datos de peso, el usuario debe seleccionar el puerto COM donde está conectado el módulo LoRa al computador y luego presionar el botón "Crear Hoja de Cálculo Nueva" o "Seleccionar Hoja de Cálculo Existente" según corresponda. Una vez configurado, el botón "Iniciar Lectura" activa la captura de datos de peso. Si se requiere añadir observaciones, el usuario puede seleccionar el animal en los registros, escribir la observación y guardarla mediante el botón "Guardar Observaciones". Al finalizar el registro, se utiliza el botón "Detener Lectura" para finalizar el proceso.

Para visualizar los gráficos, el usuario debe presionar el botón "Seleccionar Hoja de Cálculo Existente" una vez selecciona el archivo deseado y luego generar el gráfico, presionando en el botón "Generar Gráfico". Esto permite una visualización detallada de los datos registrados, facilitando la identificación de cada animal con sus respectivos pesos guardados.

Un aspecto destacado de esta interfaz es su capacidad de validar automáticamente los datos ingresados, minimizando errores y garantizando la integridad de la información. Una vez validados, los datos se procesan y almacenan en la hoja de cálculo designada, proporcionando una confirmación visual al usuario de que los datos se han registrado de manera segura y precisa.

La Figura 44 proporciona una representación gráfica de todo este proceso, mostrando de manera clara y detallada cómo se organiza y refleja la información en la hoja de cálculo, destacando la eficacia y fiabilidad de la interfaz en la gestión de datos de peso del ganado bovino.

Además, la báscula se puede conectar a una distancia de hasta 2 metros, que es la longitud del cable de conexión de las barras con el indicador, asegurando flexibilidad en la disposición del sistema durante la captura de datos.





*Figura 44. Interfaz en Python.*

Una vez completado el diseño de la interfaz de usuario, se pasa a la implementación del sistema en el campo. Esto implica la instalación, configuración y pruebas de todos los componentes en el entorno real. Después de verificar su funcionamiento, se capacita al personal para operar el sistema en su operación final, asegurando su correcto funcionamiento y utilidad práctica en la gestión del peso del ganado bovino.

#### **4.6. Implementación del sistema en campo**

La implementación se realizó teniendo en cuenta diversos factores para asegurar su eficacia y durabilidad en el exterior. Se elige una ubicación estratégica en un campo abierto para instalar la estructura y las barras ganaderas, considerando la accesibilidad, la estabilidad del terreno y la proximidad a las fuentes de energía y conectividad. Se asegura la fijación al suelo mediante listones de madera para garantizar la estabilidad.

En la *Figura 45*, se observa la disposición estratégica de la estructura y las barras ganaderas en un entorno de campo abierto, destacando la adaptación del área para permitir el paso del ganado uno a la vez. Como se observa en la *Figura 46*.



*Figura 45. Implementación estructura y barras ganaderas en campo abierto.*



*Figura 46. Adaptación área de paso de los bovinos.*

Una vez se implementa la estructura, se elige un lugar estratégico para la antena RFID tomando en cuenta factores como la mejor cobertura de lectura, la distancia al ganado. La instalación de la antena se realiza de tal manera que se asegure una detección precisa y confiable de los dispositivos RFID en el ganado.

El circuito electrónico se integra cuidadosamente con la antena RFID para garantizar una comunicación fluida y confiable en la detección y lectura de los dispositivos RFID. Esta integración es esencial para la exactitud en la captura de datos de identificación del ganado.

La antena RFID y el circuito se enlazan al monitor de pesaje, el cual registra y muestra los datos obtenidos durante el proceso de pesaje del ganado. Esta conexión permite una supervisión en tiempo real del peso de cada animal y facilita el registro de datos para su posterior análisis.

Una vez instalada y conectada adecuadamente la antena RFID, el circuito y el monitor de pesaje, se realizan pruebas rigurosas para calibrar el sistema y verificar su precisión en la medición de pesos.

En la *Figura 47*, se visualiza cómo se ha dispuesto la antena RFID, el circuito y el monitor de pesaje en este sistema. En la *Figura 48*, se observa el montaje completo.



*Figura 47. Implementación antena RFID con circuito y monitor de pesaje.*





*Figura 48. Montaje completo del sistema*

Una vez concluida la implementación de la estructura y la instalación de la antena RFID en el sistema, se inicia la fase de toma de datos. En esta etapa, se capturan y registran los datos de peso del ganado bovino utilizando el sistema completo en condiciones reales de campo.

#### **4.7. Toma y registro de datos**

El proceso de toma de datos se realizó con animales de edades entre 1 y 4 años. Teniendo en cuenta que el proyecto macro del cual forma parte este estudio está orientado a la identificación de enfermedades relacionadas con la producción láctea, se decidió trabajar con animales adultos y no con terneros. Esta elección se debe a que las vacas adultas son más representativas para detectar y analizar las enfermedades que afectan la producción de leche.

Para la toma de datos, se seleccionaron cuidadosamente cinco vacas representativas del ganado bovino. A cada una se le asignó un collar con un tag RFID único para identificarlas de manera individual en el sistema. Durante un periodo de siete días consecutivos, se monitoreó el peso de cada vaca en diferentes momentos, incluyendo la mañana al salir al pastoreo, así como en condiciones estáticas para obtener una referencia adicional.

Durante este proceso, se llevó a cabo una evaluación comparativa entre el pesaje en movimiento y el pesaje estático para comprender cualquier posible variación en los datos de peso y determinar el nivel de precisión asociado a cada método. Además, se utilizó una cinta bovino-métrica para obtener un peso de referencia, el cual se comparó con los datos registrados por el sistema automatizado de pesaje. Este enfoque permitió analizar la precisión y la consistencia del sistema en diferentes escenarios de pesaje.

Después de la toma de datos, se procedió a analizar y validar la información recopilada mediante el sistema automatizado de pesaje. Los resultados obtenidos proporcionaron una visión integral del rendimiento del sistema en diferentes escenarios de pesaje, permitiendo identificar posibles mejoras y ajustes para optimizar su precisión y confiabilidad en futuras implementaciones. La *Figura 49*, se observa el proceso de las tres formas de recolección de información, destacando la eficacia y la fiabilidad del sistema en la gestión de datos de peso del ganado bovino.



*Figura 49. Toma de datos de las tres formas de pesaje*

Después de recopilar los datos, se procedió analizarlos con las respectivas fórmulas y gráficos que permitan evaluar la eficiencia del sistema. Para llevar a cabo este análisis, es

necesario examinar detenidamente los datos, identificar tendencias y patrones, y realizar cálculos matemáticos para obtener métricas significativas.

#### 4.8. Resultados de peso individual.

##### 4.8.1. Resultados obtenidos para la vaca 1

La *Tabla 3*, La tabla muestra los pesos de todos los animales obtenidos mediante el método tradicional de cinta bovino-métrica, el pesaje estático y el sistema automatizado basado en RFID. Cada columna corresponde a un método de pesaje diferente y las filas representan el día. Esta tabla es fundamental para realizar una comparación directa entre los diferentes métodos de pesaje. Además, se calcula el error relativo de cada método con respecto al peso obtenido mediante el pesaje estático, que se utiliza como valor de referencia. Este cálculo del error relativo es crucial para evaluar la precisión de cada método de pesaje.

*Tabla 3. Comparación de datos vaca 1*

Tabla Registro		Peso Animal		
Fecha Registro	Nombre	Estático	Cinta	Movimiento
Jueves	VACA 1	739,6	801	714,2
Viernes	VACA 1	738,2	801	715,4
sábado	VACA 1	743,8	801	720,2
Lunes	VACA 1	748,2	811,5	722,4
Martes	VACA 1	741,6	785,5	720,6
Miércoles	VACA 1	743,8	785,5	718,4
Jueves	VACA 1	748,2	811,5	730,2

La *Figura 50*, se observa una representación gráfica de los datos presentados en la *Tabla 3*, permitiendo una comparación clara y rápida de los pesos obtenidos por cada método. En esta gráfica, se puede observar cómo los valores del sistema automatizado se aproximan al peso real comparado con el método de cinta bovino-métrica y el pesaje estático, destacando la precisión del sistema automatizado.

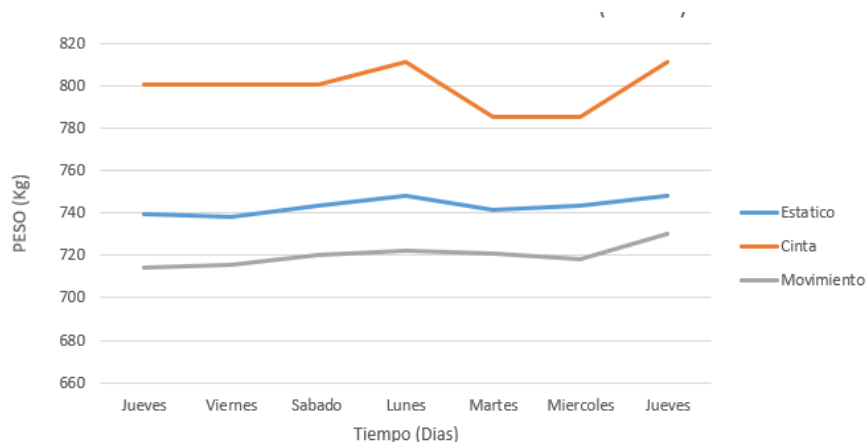


Figura 50. Gráfico comparativo para vaca 1

Una vez obtenidos y analizados los resultados para la vaca 1, se procede a realizar el mismo procedimiento para las vacas restantes. Esto incluye el registro de pesos mediante los métodos de cinta bovino-métrica, pesaje estático y el sistema automatizado basado en RFID, así como la comparación de los resultados obtenidos. De igual forma, se calculan los errores promedios y se evalúa la precisión y consistencia de cada método de pesaje a través de tablas y gráficos. Esta metodología se aplica de manera sistemática a las vacas 2, 3, 4 y 5 para asegurar una evaluación completa y coherente de todos los datos recolectados.

#### 4.8.2. Resultados obtenidos para la vaca 2

Tabla 4. Comparación de datos vaca 2

Tabla Registro		Peso Animal		
Fecha Registro	Nombre	Estático	Cinta	Movimiento
Jueves	VACA 2	420,4	460	410,6
Viernes	VACA 2	419,2	462,5	407,8
sábado	VACA 2	421,8	462,5	406,2
Lunes	VACA 2	423,8	468	416,4
Martes	VACA 2	420,2	460	408,8
Miércoles	VACA 2	422,8	460,5	405,2
Jueves	VACA 2	430,2	468	421,6

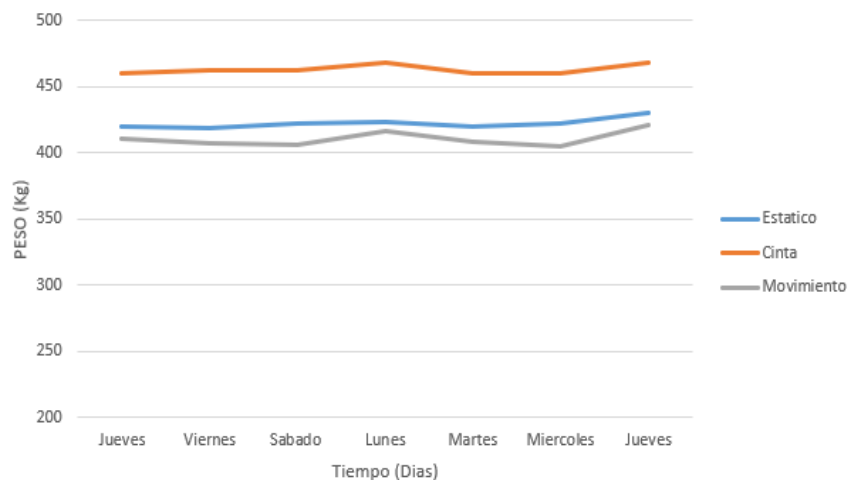


Figura 51. Gráfico para vaca 2

#### 4.8.3. Resultados obtenidos para la vaca 3

Tabla 5. Comparación de datos vaca 3

Tabla Registro		Peso Animal		
Fecha Registro	Nombre	Estático	Cinta	Movimiento
Jueves	VACA 3	430,4	483	419,6
Viernes	VACA 3	432,6	474	416,4
sábado	VACA 3	433,2	474	420,8
Lunes	VACA 3	432,8	483	418,2
Martes	VACA 3	429,2	461,5	410,6
Miércoles	VACA 3	428,8	461,5	409,8
Jueves	VACA 3	434,6	483	424,2

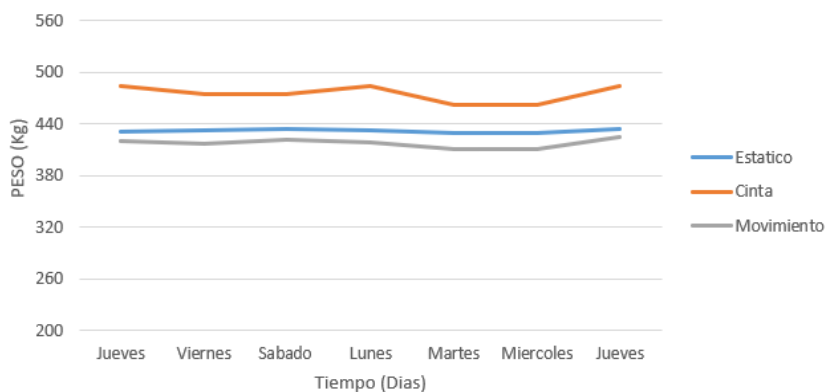


Figura 52. Gráfico para vaca 3



#### 4.8.4. Resultados obtenidos para la vaca 4

Tabla 6. Comparación de datos vaca 4

Tabla Registro		Peso Animal		
Fecha Registro	Nombre	Estático	Cinta	Movimiento
Jueves	VACA 4	515,2	559	498,4
Viernes	VACA 4	513,8	549,5	499,6
sábado	VACA 4	511,2	549,5	495,2
Lunes	VACA 4	514,6	559	500,8
Martes	VACA 4	508,2	549,5	492,2
Miércoles	VACA 4	510,8	541,5	490,6
Jueves	VACA 4	516,4	549,5	510,4

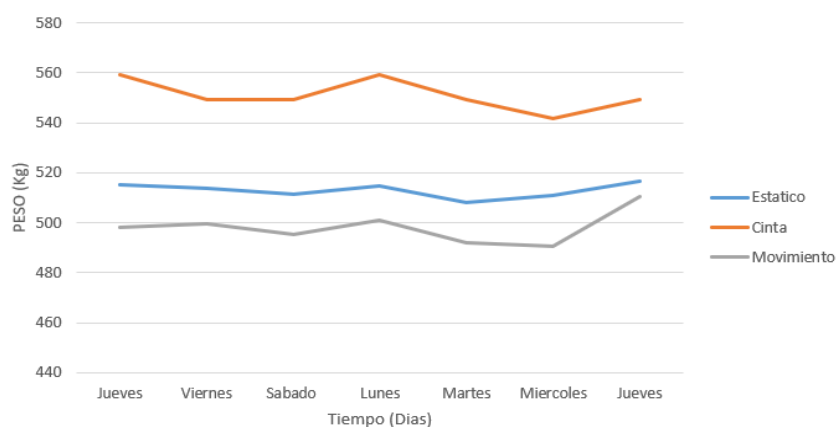
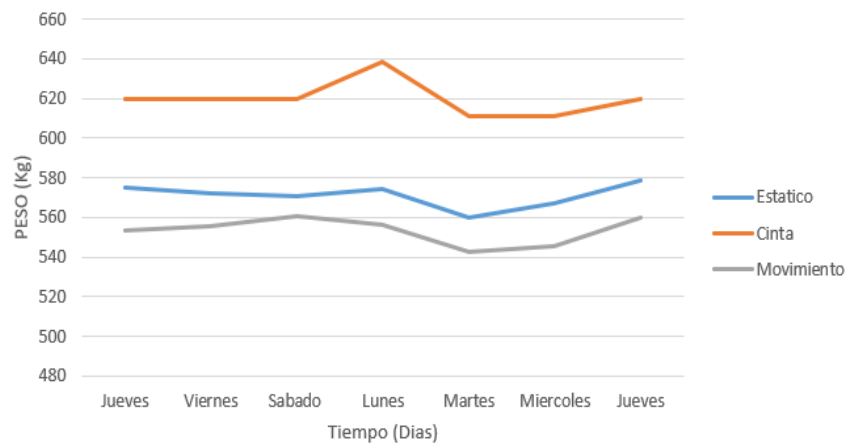


Figura 53. Gráfico para vaca 4

#### 4.8.5. Resultados obtenidos para la vaca 5

Tabla 7. Comparación de datos vaca 5

Tabla Registro		Peso Animal		
Fecha Registro	Nombre	Estático	Cinta	Movimiento
Jueves	VACA 5	575,4	620	553,2
Viernes	VACA 5	572,2	620	555,6
sábado	VACA 5	570,8	620	560,4
Lunes	VACA 5	574,6	638,5	556,2
Martes	VACA 5	560,2	611	542,8
Miércoles	VACA 5	566,8	611	545,4
Jueves	VACA 5	578,4	620	559,8



*Figura 54. Gráfico para vaca 5*

## 5. Análisis de resultados

### 5.1. Comparación de Pesos

Los resultados obtenidos a través del sistema, que es el método patrón en este caso, son presentados y analizados en detalle. Se lleva a cabo un análisis exhaustivo de los datos recolectados, comparándolos con la cinta bovino-métrica, que es el método tradicional de medición de peso utilizado como referencia. Este análisis se realiza para evaluar la eficacia y precisión del sistema implementado. El error relativo se obtiene comparando los pesos registrados por el sistema automatizado y la cinta bovino-métrica con los pesos medidos por el pesaje estático, considerado como el método de referencia. En esta evaluación, se observó que el sistema automatizado basado en RFID presentó un error relativo significativamente menor en comparación con la cinta bovino-métrica. Esta comparación es crucial para evaluar la exactitud y confiabilidad del sistema automatizado en comparación con los métodos tradicionales, destacando la mayor precisión del sistema automatizado.

Dado que las pruebas se realizaron en un ambiente controlado, como la granja Botanilla, donde los animales están acostumbrados al manejo por parte de los cuidadores y considerando que el dispositivo queda al ras del piso (un ajuste obtenido durante el proceso de experimentación), se logra que los animales permanezcan quietos durante un tiempo determinado sobre la báscula. Esto se logró sin necesidad de utilizar ningún brete u otro medio de contención adicional, lo que destaca la facilidad y comodidad del proceso de pesaje para el ganado bovino.

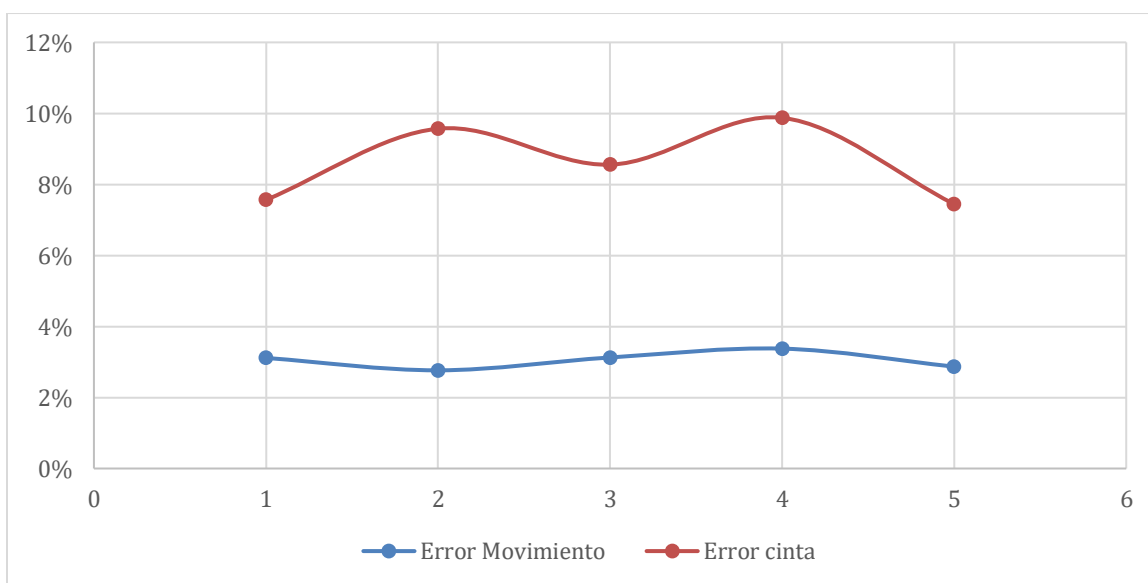
En la *Tabla 8*. Muestra los pesos de todos los animales obtenidos mediante el método tradicional de cinta bovino-métrica, el pesaje estático y el sistema automatizado basado en RFID. Cada columna corresponde a un método de pesaje diferente y las filas representan a cada animal. Esta tabla es fundamental para realizar una comparación directa entre los diferentes métodos de pesaje. Además, se incluye el error relativo tanto para la cinta bovino-métrica como para el sistema en movimiento, lo que permite evaluar la precisión de cada método.

*Tabla 8. Comparación de pesos de los diferentes métodos de pesaje.*

Nombre	Registro Peso				
	Estático	Cinta	Movimiento	Error Movimiento	Error cinta
Vaca 1	743,342857	799,571429	720,2	3%	8%

Vaca 2	422,628571	463,071429	410,942857	3%	10%
Vaca 3	571,2	620,071429	553,342857	3%	9%
Vaca 4	431,657143	474,285714	417,085714	3%	10%
Vaca 5	512,885714	551,071429	498,171429	3%	7%
PROMEDIO	536,342857	581,614286	519,948571	3%	8%

En la *Figura 55*. Se observa la distribución de los errores cometidos por cada método de pesaje. Esta representación visual ayuda a identificar la consistencia de cada método y a determinar cuál ofrece resultados más cercanos al peso real del animal. Tomando como referencia el 0 que sería el menor error y entre más se acerque a 1 el error de pesaje será más grande.



*Figura 55. Gráfico error relativo*

## 5.2. Eficacia del sistema de peso automático en movimiento y de la cinta bovino-métrica

Tomando todos los datos de peso de cada animal y sacando el promedio, se obtiene lo siguiente: El sistema de pesaje automático en movimiento presenta un promedio de error relativo menor (3%) en comparación con la cinta bovino-métrica (8%). Cabe destacar que el pesaje patrón, utilizado como referencia, se realiza con la vaca en estado quieto. Esto indica que el sistema automático es significativamente más preciso, lo que confirma la hipótesis de que este método proporciona una mayor precisión que el uso de la cinta bovino-métrica.

*Tabla 9. Promedio error relativo de todos los animales en los dos sistemas de toma de peso*

	<i>Promedio Error relativo peso movimiento</i>	<i>Promedio Error relativo cinta bovino-métrica</i>
<i>Promedio</i>	3%	8%

La eficacia del sistema de pesaje automático es del 97%, mientras que la eficacia de la cinta bovino-métrica es del 92%, como se muestra en la Tabla 19. La fórmula de eficacia utilizada es:

$$Eficacia = -100 * Error\ relativo + 100$$

Esta fórmula se deriva del concepto de error relativo, que mide la desviación porcentual de un valor medido respecto a un valor de referencia. Al multiplicar el error relativo por -100 y sumarle 100, se convierte el error en una medida de eficacia, donde un menor error relativo se traduce en una mayor eficacia. Este enfoque permitió evaluar y comparar la precisión de los dos métodos de pesaje.

Dado que el sistema automático de pesaje ha mostrado un error relativo menor que el método de cinta bovino-métrica, su eficacia calculada supera el 90% establecido en la hipótesis de investigación, confirmando que el sistema automático es más eficaz y preciso para la toma de peso del ganado.

*Tabla 10. Tabla Eficacia de los dos sistemas de peso*

	<i>Eficacia (%)</i>
Cinta	92%
Movimiento	97%

El análisis de las tablas respalda la hipótesis de investigación, mostrando que el sistema de pesaje automático no solo proporciona una mejor precisión (menor error relativo) sino también una mayor eficacia comparada con la cinta bovino-métrica. Esto confirma que la

implementación del sistema automático es una mejora significativa en términos de eficacia para la recolección de datos de peso del ganado, contribuyendo a un mejor manejo en el sector ganadero.

### **5.3 Calibración del sistema**

Para la calibración del sistema se debe considerar un plan de mantenimiento y operación del sistema que debe incluir varios aspectos clave. La calibración del sistema comienza con el uso de un peso de referencia conocido, esencial tanto para la calibración inicial como para las calibraciones periódicas. Dejar el sistema tomando datos durante un tiempo prolongado permite verificar y ajustar la calibración para mantener la exactitud.

La operación del sistema requiere que el personal esté adecuadamente capacitado para su uso y mantenimiento, lo que asegura un manejo correcto y eficiente. Mantener un registro detallado de todas las operaciones de pesaje, calibraciones y mantenimientos es útil para el seguimiento y análisis de la precisión del sistema a lo largo del tiempo. El monitoreo continuo es crucial para detectar cualquier anomalía en el funcionamiento del sistema, supervisando tanto las mediciones de pesaje como el estado de los componentes.

## 6. Conclusiones

El sistema de pesaje automático basado en RFID ha demostrado ser una herramienta eficiente para la recolección de datos sobre el peso del ganado. La automatización reduce significativamente el tiempo requerido para el pesaje y minimiza los errores humanos asociados con los métodos manuales.

Las condiciones del terreno para la implementación del sistema fueron difíciles debido a la presencia de mucho lodo. A pesar de este desafío, el apoyo del personal especializado en la finca y la adaptación de tecnologías existentes fueron fundamentales para superar estas condiciones y lograr una implementación exitosa del sistema.

Al implementar el sistema de peso automático en un ambiente de campo abierto, el sistema minimiza el estrés en los animales, al evitar el manejo manual y el uso de métodos que pueden causar molestias, los animales experimentan menos estrés, lo que puede traducirse en un mejor rendimiento y crecimiento.

La identificación individual de cada animal mediante RFID permite un seguimiento preciso y continuo del peso. Esto facilita la toma de decisiones informadas sobre la salud y manejo del ganado, contribuyendo a una mejor trazabilidad y control de la producción ganadera. De igual manera el sistema mejora la eficiencia en la gestión de información y proporciona al encargado del ganado acceso fácil y rápido a los datos a través de dispositivos de cómputo.

El sistema automático de pesaje ha mostrado una mayor precisión y menor error relativo comparado con los métodos tradicionales, como la cinta bovino-métrica. Los resultados indicaron que el error promedio relativo del sistema automático es considerablemente menor, con una eficacia del 97%, mientras que la cinta bovino-métrica tiene una eficacia del 91%. Esto confirma que el sistema propuesto supera las expectativas y es más fiable para la recolección de datos de peso del ganado.

El sistema automático ha demostrado ser más efectivo que la cinta bovino-métrica, proporcionando valores de peso más precisos tanto cuando el animal está quieto como en movimiento. Esto se traduce en datos más fiables para la toma de decisiones sobre la alimentación, dosificación de medicamentos y selección para reproducción

## 7. Recomendaciones

Se recomienda el uso de tags RFID en forma de aretes para las vacas. Este diseño es menos invasivo y más cómodo para los animales, reduciendo la probabilidad de que se los quiten. Además, asegura una identificación precisa y continua sin causar molestias al ganado.

Para evitar que los animales resbalen durante el pesaje, es crucial mejorar la tracción en la plataforma de pesaje. Se pueden utilizar superficies antideslizantes o materiales que proporcionen una mejor adherencia. Esto asegurará la seguridad del ganado y la precisión en la toma de peso.

Para optimizar el proceso de pesaje y minimizar el estrés, se recomienda diseñar el paso del corral de manera que solo pase un animal a la vez.

Es fundamental proporcionar capacitación continua al personal encargado del manejo del sistema y del ganado. Esto asegurará que el equipo esté bien preparado para operar y mantener el sistema, maximizando su eficiencia y efectividad.

Para asegurar el funcionamiento óptimo del sistema, es crucial realizar monitoreos y mantenimientos regulares. Esto incluye la revisión periódica de los componentes del sistema RFID y la plataforma de pesaje, así como la actualización del software cuando sea necesario.



## Referencias

- Alarcón-Agudelo, J. L. (2020). Propuesta de mejora en el manejo de inventarios en el centro comercial San Vicente plaza usando la aplicación de RFID. In *Alarcón-Agudelo, Julián Leonardo* (Vol. 2507, Issue 1).  
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.02.027><https://www.golder.com/insights/block-caving-a-viable-alternative/>
- Andrés, R., Toledo, J., Iván, □, Puetaman, A., & Meza Báez, C. (2014). Prototipo de sistema de vigilancia para fincas ganaderas como prevención al abigeato\*. *Revista UNIMAR*, 32(1), 67–81. <http://www.umariana.edu.co/ojs-editorial/index.php/unimar>
- Botia Barragán, C. T., & Moya Porras, E. V. (2021). *Universidad Santo Tomás Ingeniería Electrónica Bogotá D.C.*  
 (p. 77). (2012). *Error relativo*.  
[https://www.edu.xunta.gal/centros/cafi/aulavirtual/pluginfile.php/40439/mod\\_imscep/content/2/error\\_relativo.html](https://www.edu.xunta.gal/centros/cafi/aulavirtual/pluginfile.php/40439/mod_imscep/content/2/error_relativo.html)
- Cattle Software*. (2016). *Estimar el peso de vacas lecheras con una cinta métrica: tambero – Tambero.Com*. <https://www.tambero.com/posts/886-estimar-el-peso-de-vacas-lecheras>
- FEDEGAN. (2020). Alrededor del 0,2 % de predios ganaderos están certificados en BPG. *Contexto Ganadero*. <https://www.fedegan.org.co/noticias/alrededor-del-02-de-predios-ganaderos-estan-certificados-en-bpg>
- Ganadero, C. (n.d.). *Factores del presacrificio que inciden en la calidad de la carne (parte 1) | CONtexto ganadero*. Retrieved November 21, 2022, from <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/los-factores-del-presacrificio-que-incident-en-la-calidad-de-la-carne-parte-1>
- Gonzales, e. d. n., & Pérez, l. á. h. (2015). diseñar e implementar un sistema de identificación y trazabilidad de ganado bovino para la administración de la finca notecebes del departamento de córdoba. in *ekp* (vol. 13, issue 3).
- Muñoz rodríguez, C. R. (2019). “Sistema De Pesaje Electrónico Para Bovinos.” *Instituto Tecnológico de Ciudad Madero*, 01(993), 1–97.
- Peso - Concepto, acepciones y diferencias con la masa*. (n.d.). Retrieved October 21, 2022, from <https://concepto.de/peso/>
- Pofcher, E. J. (2017). *Contribución al estudio de sistemas de identificación en bovinos basados*

*en identificación electrónica y ADN para su aplicación a la trazabilidad y a la gestión de sistemas ganaderos.* 143.

Quijano, A. (2009). *Guía de Investigación Cuantitativa - PDF Descargar libre.pdf*.

SAGAN. (n.d.). *Revista Carta Fedegan - Sociedad de Agricultores y Ganaderos de Nariño*.

Retrieved October 20, 2022, from <https://sagan.com.co/revista-carta-fedegan/>

*Sociedad De Agricultores Y Ganaderos De Nariño - Sagan.* (2021). Censo 2021.

<http://www.sagan.com.co/>

Al-Sarayreh, M. (2018). *Real-time Data Acquisition Using Tkinter and PySerial. International Journal of Data Science.*

de Moraes Weber, V. A., de Lima Weber, F., da Costa Gomes, R., da Silva Oliveira, A., Menezes, G. V., de Abreu, U. G. P., de Souza Belete, N. A., & Pistori, H. (2020). Prediction of Girolando cattle weight by means of body measurements extracted from images. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 49. <https://doi.org/10.37496/RBZ4920190110>

Jiménez-Talamantes, R., Hernández, J. R., & Izquierdo, J. Q. (2017). Diferencias entre la prevalencia de obesidad y exceso de peso estimadas con datos declarados o por medición directa en adultos de la Comunidad Valenciana. *Nutricion Hospitalaria*, 34(1), 128–133. <https://doi.org/10.20960/nh.988>

Kumar, P. et al. (2020). *Data Logging and Analysis Using Pandas and OpenPyXL. Journal of Data Analytics.*

Martínez Jiménez, V., Mazucheli, J., & Picada Emanuelli, I. (2019). El riesgo en la utilización de la cinta métrica torácica como método de pesaje bovino . Análisis estadístico. The risks in the use of the thoracic tape measure as a method of bovine weighing. Statistical analysis. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 30(1), 54–60.

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1609-91172019000100006](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172019000100006)

Programa de Ingeniería Electrónica. (2015). *Líneas de Investigación Programa de Ingeniería Electrónica.*

Ruchay, A., Kober, V., Dorofeev, K., Kolpakov, V., Gladkov, A., & Guo, H. (2022). Live Weight Prediction of Cattle Based on Deep Regression of RGB-D Images. *Agriculture (Switzerland)*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/agriculture12111794>

Trujillo, M. C., Becerra, A., & Torres, R. (2012). Estudio de mercado del producto básculas para el pesaje de ganado mayor , modelo CEMA TED-1000 V producido por el Centro de

Mecanización Agropecuaria (CEMA). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(3), 84–89. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v21n3/rcta14312.pdf>

Wallace, P. (2015). *Excel Automation in Python using OpenPyXL and Pandas*. *Journal of Data Science Applications*.

Yadav, A., Singh, R. (2019). *Developing GUI for Embedded Systems Using Tkinter and PySerial*. *Journal of Computer Applications*.

## **Anexos**

### **Anexo 1.** Códigos usados para la toma y registro de peso en ganado bovino

<https://drive.google.com/drive/folders/1ih0SKWAarkZHjuzSLlOpkSfrsDVfWoQi?usp=s>  
haring

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

San Juan de Pasto, 28 08 2024

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 Sistema Automático De Pesaje De Ganado Bovino, Basado En RFID, Con Fines De Trazabilidad presentado por el (los) autor(es) Heiman Yesid Rojas Botina, y Andres Felipe Delgado Melo del Programa Académico Ingeniería Electrónica al correo electrónico [biblioteca.trabajosdegrado@unicesmag.edu.co](mailto: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,

  
(Firma del Asesor)


**William Andrés Arévalo Terán**  
cc. 1085254372  
Ingeniería Electrónica  
3173008497  
[waarevalo@unicesmag.edu.co](mailto:waarevalo@unicesmag.edu.co)

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

<b>INFORMACIÓN DEL (LOS) AUTOR(ES)</b>	
<b>Nombres y apellidos del autor:</b> Heiman Yesid Rojas Botina	<b>Documento de identidad:</b> 1004439176
<b>Correo electrónico:</b> hyesidrojasb@gmail.com	<b>Número de contacto:</b> 3135214576
<b>Nombres y apellidos del autor:</b> Andres Felipe Delgado Melo	<b>Documento de identidad:</b> 1004695104
<b>Correo electrónico:</b> pipedelgado724@gmail.com	<b>Número de contacto:</b> 3227064620
<b>Nombres y apellidos del autor:</b>	<b>Documento de identidad:</b>
<b>Correo electrónico:</b>	<b>Número de contacto:</b>
<b>Nombres y apellidos del autor:</b>	<b>Documento de identidad:</b>
<b>Correo electrónico:</b>	<b>Número de contacto:</b>
<b>Nombres y apellidos del asesor:</b> William Andrés Arévalo Terán	<b>Documento de identidad:</b> 1085254372
<b>Correo electrónico:</b> waarevalo@unicesmag.edu.co	<b>Número de contacto:</b> 3173008497
<b>Título del trabajo de grado:</b> Sistema Automático De Pesaje De Ganado Bovino, Basado En RFID, Con Fines De Trazabilidad	
<b>Facultad y Programa Académico:</b> Facultad de Ingeniería, Programa 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:

- a) La autorización se otorga desde la fecha de suscripción del presente documento y durante todo el termino 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.

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

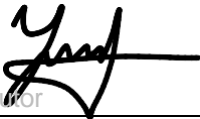



- b) Se autoriza a la Universidad CESMAG para publicar el Trabajo de Grado o de Aplicación en formato digital y teniendo en cuenta que uno de los medios de publicación del repositorio institucional es el internet, acepto(amos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación circulará con un alcance mundial.
- 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, manteniéndola 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:

- Permiso(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 28 días del mes de 08 del año 2024

 Firma del autor	 Firma del autor
Nombre del autor: Heiman Yesid Rojas Botina	Nombre del autor: Andres Felipe Delgado Melo
 Firma del asesor	 Firma del asesor
Nombre del autor:	Nombre del autor:
Nombre del asesor: William Andrés Arévalo Terán	