



Diseño de sistema automático de monitoreo alimenticio de bajo costo para productores ganaderos de reses estabuladas en proceso de ceba

Luis Felipe Guevara Gómez

Director: Dr. Eugenio Tamura Morimitsu

Pontificia Universidad Javeriana Cali
Facultad de Ingeniería y Ciencias.
Ingeniería Electrónica.
Santiago de Cali.
31 de agosto de 2019

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi director Dr. Eugenio Tamura, por su guía, conocimiento, paciencia y apoyo en la finalización de este proyecto. También agradecer al equipo del Centro de Automatización de Procesos (CAP) por su apoyo, experticia y ayuda en la fabricación del prototipo. A mis familiares y amigos por su presencia y apoyo moral.

Y sobre todo, especial dedicatoria a mis padres, hermanos y abuelos, por inspirarme, alentarme, apoyarme y siempre darme ánimos y fuerza para seguir adelante en la búsqueda de mis sueños y mi futuro.

Nomenclatura

(Pendiente): Esta pagina se plantea en caso que sea necesario dejar una lista de acronimos, abreviaciones o notaciones que lo requieran. n caso que no se requiera se eliminara del documento final.

Resumen

En los últimos años, el sector agropecuario ha tomado gran importancia en Latinoamericana y el mundo, especialmente porque el incremento poblacional ha aumentando el consumo de alimentos de forma cuantitativa y cualitativa. Aunque Colombia posee un gran potencial productivo y altamente competitivo en este sector, aún son muchos los productores que desempeñan la mayoría de las labores de manera manual, sin la ayuda de la tecnología como herramienta de apoyo en sus actividades del día a día. La toma, registro, manipulación y representación de datos de forma manual significa un gran desgaste en cuestión de recursos humanos, económicos, material de trabajo y tiempo, por lo que se propone una herramienta de ayuda en el monitoreo y análisis de datos particularmente en el sector productivo de la ganadería de la carne.

El sistema realizado para este proyecto se denomina EndlessID, diseñado para fincas ganaderas del municipio de Sotara-Cauca pero adaptable para otros sectores ganaderos del país. Esta compuesto por el trabajo interconectado de diferentes dispositivos electrónicos y electromecánicos que trabajan de forma conjunta para que el sistema esté en la capacidad de registrar datos de manera automática en bases de datos físicas o en la nube, que sirvan para monitorear el proceso alimenticio de reses pertenecientes al ganado estabulado que se encuentre en la etapa de engorde en el ciclo productivo de la carne, en una finca de un productor ganadero.

La obtención de estos datos se logra mediante un proceso complementario de dosificación y sensado que inicia desde la verificación de alimento suficiente para abastecer las necesidades del ganado estabulado, seguido de la identificación de las cabezas de ganado mediante un dispositivo de identificación por radio frecuencia asociado a cada animal, con los que se podrá llevar un registro y monitoreo de datos de manera independiente, procedido de la dosificación del alimento desde el tanque de almacenamiento hasta el plato de comida para posteriormente pesar el animal y registrar los datos obtenidos de manera inmediata, reduciendo así, falencias humanas por registro y manipulación de datos erróneos.

Palabras y Conceptos Clave: Almacenamiento en Nube, Bases de Datos, Ciclo productivo de cebado, Comunicación remota, Dosificación, Estabulación, Ganadería de Carne, Tasa de pesaje y crecimiento, Lector RFID, Jáquima RFID, SIM800L.

Abstract

In recent years, the agricultural sector has taken great importance in Latin America and the rest of the world, especially because the world's population increase has caused high consumption of food quantitatively and qualitatively. Although Colombia has a great productive and highly competitive potential in this sector, there are still many producers who perform most of their tasks manually, without the help of technology as a support tool in their daily activities. The taking, recording, manipulating and representating data manually means a great waste in terms of human, economic resources, work material and time, for which a helping tool is proposed in the monitoring and analysis of data particularly in the productive sector of beef cattle.

The system developed for this project is called EndlessID, designed for livestock farms in the municipality of Sotara-Cauca but adaptable for other livestock sectors in the country. It is composed of the interconnected work of different electronic and electromechanical devices that work together so that the system is able to record data automatically in physical databases or in cloud, which serve to monitor the feeding process of cattle, belonging to the stabled cattle that is in the stage of fattening in the productive cycle of the meat, in a farm of a livestock producer.

The obtaining of this data is achieved through a complementary process of dosing and sensing that starts from the verification of enough food to supply the needs of the stabled cattle, followed by the identification of the heads of cattle through a radiofrequency identification device associated with each animal, with which it will be possible to keep a recording and monitoring of data independently, proceeding from the dosage of the food from the storage tank to the food plate then later weigh the animal and record the data obtained immediately, reducing thus, human faults by registration and erroneous manipulation of data.

Keywords: Cloud Storage, Databases, Ceba productive cycle, Wireless communication, Dosage, Stabling, Meat cattle raising, Weight and growth rate, RFID reader, Jaquima RFID, SIM800L.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del Problema	2
2. Objetivos	5
2.1. Objetivo General	5
2.2. Objetivos Específicos	5
3. Visión global del contexto ganadero de cárnicos	7
3.1. Generalidades agropecuarias	7
3.1.1. Caracteres zootécnicos del ganado vacuno	8
3.1.2. Ciclo productivo de la carne	11
3.2. Sistemas de explotación del ganado vacuno	13
3.2.1. Alimento	14
3.2.2. Identificación de ganado	17
3.3. Dosificación	20
3.3.1. Almacenamiento	20
3.3.2. Dosificadores	21
3.3.3. Leyes y Normatividad	28
3.3.4. Conceptos adicionales	29
4. Electrónica en el sector agropecuario	33
5. Análisis y diseño	35
5.1. Iteración diaria del proceso de engorde	35
5.2. Subsistema ID	37
5.3. Subsistema Hardware	43
6. Resultados	45
7. Conclusiones y trabajos futuros	47
Bibliografía	49

Índice de figuras

3.1. Mecanismo de Compuerta Rotativa.	8
3.2. Aptitud lechera.	9
3.3. Aptitud de tipo carne.	9
3.4. Aptitud de doble propósito.	10
3.5. Ganadería de carne.	11
3.6. En la primer fila de izquierda a derecha se observan ejemplares de las razas Charolais, Hereford; seguido de las razas Angus y Criolla en la fila inferior.	13
3.7. Sistema de explotación estabulada.	13
3.8. Sistema de explotación silvopastoril.	14
3.9. Hidratación del ganado.	15
3.10. Suplementos energéticos.	15
3.11. Suplementos proteínicos.	16
3.12. Forraje y leguminosas.	16
3.13. Marca de hierro en ganado.	17
3.14. Anillo nasal o Nariguera.	18
3.15. Arete o Crotal.	18
3.16. Collar / Jáquima de color o función.	19
3.17. Chip subcutáneo.	19
3.18. Collar con imán.	20
3.19. Clasificación de Dosificadores	21
3.20. Dosificador Volumétrico.	22
3.21. Dosificador de líquidos.	22
3.22. Dosificador de bomba.	23
3.23. Coeficiente de relleno según el tipo de carga	25
3.24. Coeficiente de disminución de flujo de material (<i>i</i>)	26
3.25. Coeficiente de resistencia del tipo de material	26
3.26. Mecanismo de vasos telescópicos	27
3.27. Mecanismo de Compuerta Rotativa.	27
3.28. Mecanismo de Compuerta Deslizante. Tomada de [21]	28
3.29. Almacenamiento en nube.	30
3.30. Base de datos.	30
3.31. Ganadería de carne.	31
3.32. Sistemas RFID.	32
5.1. Diagrama de Bloques general.	36
5.2. Matriz de selección por peso ponderado para el subsistema ID.	37
5.3. Etiqueta ó “Tag” RFID.	38

5.4. Separación de ganado en el comedero.	38
5.5. Primer modelo 3D del compartimento RFID.	39
5.6. Fisionomía de razas comunes en el ciclo productivo de la Carne.	39
5.7. Argolla de conexión.	40
5.8. Prototipo de accesorio RFID para la Jaquima.	41
5.9. Diagrama radial de las modalidades de identificación bovina.	42
5.10. Jáquima ID.	42
5.11. Matriz de selección por peso ponderado para el mecanismo dosificador.	43
5.12. Matriz de selección por peso ponderado para el motor	44

Índice de cuadros

Capítulo 1

Introducción

En los últimos años, el sector agropecuario ha ido retomando gran importancia en Latinoamérica y el mundo, debido a múltiples factores entre los cuales se puede resaltar el crecimiento poblacional que lleva consigo el incremento del consumo de alimentos. Esto representa una necesidad que puede y debe ser resuelta con el crecimiento de la producción agropecuaria de hasta un 70 % para satisfacer la demanda alimenticia a nivel mundial. Para ello es de vital importancia que los países en desarrollo como Colombia, entren a formar parte del mercado altamente productivo y competitivo haciendo uso de las fuentes que le aportan una ventaja comparativa en la región que radican, siendo estas la abundancia de recursos hidráticos y terrestres [10].

Actualmente, Brasil es el segundo mayor proveedor de alimentos y productos agropecuarios a nivel mundial y cuenta con mejoras continuas en los procesos de producción, que respaldan el rápido crecimiento de las exportaciones. La investigación agropecuaria ha sido uno de los factores clave para el incremento de la productividad en la región durante las últimas décadas con el fin de monitorear los resultados y el desempeño de los sistemas de investigación y desarrollo agropecuario. Estos datos son una herramienta indispensable cuando se trata de evaluar el aporte de la I+D agropecuaria y de manera más general el crecimiento económico del país.

En América Latina y más precisamente en Colombia, sobresale la formación de 55 Comités de Investigación Agrícola elegidos Localmente (CIAL), estos están constituidos por agricultores experimentados que administran y conducen investigación y desarrollo en beneficio de toda la comunidad [17]; así pues se representa la alta participación colombiana en este ámbito de desarrollo.

En Colombia también se han incorporado nuevas entidades que aportan al desarrollo investigativo, productivo y competitivo como la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSIVA), que de mano con la expedición de la Ley 1876 de 2017 donde se crea el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA); buscan integrar la ciencia, y el desarrollo tecnológico del sector junto con la formación y prestación del servicio de extensión agropecuaria. En este sentido, la ciencia permite lograr avances en términos productivos, de innovación y de competitividad [9].

En el Cauca, de acuerdo con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, los suelos del departamento presentan casi todos los pisos térmicos de variadas fertilidades y profundidades y con diversas vocaciones para su uso [5]. Por otra parte, aunque comúnmente pueda considerarse un sector primitivo o de poca inversión tecnológica, el sector agropecuario cuenta con el mayor potencial tecnológico y es uno de los más tecnificados. Esto debido a la inclusión de nuevas tecnologías, no solo para la ejecución de procesos, sino también para la gestión de la información y las comunicaciones, impulsando

el trabajo de campesino y promoviendo su producción a nivel mundial.

No obstante, la inclusión de las actuales tecnologías puede significar una gran inversión económica para pequeños y medianos productores y cultivadores. Los altos costos significan un impedimento a la participación competitiva en el mercado ganadero y de cultivos varios, con lo que el mejoramiento de pequeñas partes del sistema total puede manifestarse en mejoras significativas en el día a día de los nuevos emprendedores ganaderos. Estos costos se pueden taxonomizar en costos de producción, mantenimiento, transporte, control, toma, manipulación y representación de datos; que diariamente aportan al consumo de recursos limitados como los económicos, personales y tiempo. Para ello se requiere de nuevas alternativas que permitan mejorar algunas de las condiciones de trabajo de los cultivadores agrícolas promoviendo de igual forma, la integración científica, innovadora y competitiva.

Con base en todo lo anterior, se considera viable la inclusión de tecnologías re-programables de bajo costo como los microprocesadores y microcontroladores que mediante la programación de algoritmos computacionales, pueden manipular dispositivos electrónicos y electromecánicos que a pesar de ser a menor escala, pueden ayudar a abarcar algunas tareas de la producción ganadera.

1.1. Planteamiento del Problema

El sector ganadero abarca diferentes especies de ganado tales como, los bovinos, los ovinos, los porcinos, entre otros. En Colombia se tiene una alta presencia de producción de estos tipos especialmente en el ganado bovino y ovino. De igual forma, estos tipos de ganado tienen diferentes modalidades, entre las cuales se pueden mencionar el ganado para crianza, para producción de leches y sus derivados y ganadería de la carne. En Colombia y el mundo se presentan constantes inversiones en materia tecnológica para mejorar la forma en cómo el ganado es productivo y puede participar de forma competitiva en un mercado de consumo de calidad.

Debido a que el ciclo productivo de la carne consta de diferentes etapas con diferentes requerimientos, necesidades y cantidad de áreas verdes, se considera aportar el diseño de un sistema que pueda simplificar tareas de obtención de datos y gastos por mano de obra en cultivos de reses destinados al engorde, los cuales pueden desempeñarse en espacios cerrados como establos, dando paso al monitoreo por condiciones de estabulación, en donde se garantiza el suministro de forraje verde, minerales, vitaminas y dietas específicas para el ganado y adaptándose a espacios cercanos a la casa matriz de administración de los productores [22]. En el Cauca, aunque se cuente con bastas hectáreas de diferentes fertilidades y condiciones térmicas apropiadas para el cultivo y desarrollo de la ganadería, se presentan muchas falencias en materia tecnológica y económica, en donde los movimientos migratorios de campesinos desplazados y los efectos colaterales del conflicto armado que se ha presentado en el país, son las principales causas de estas falencias. Sin embargo, el emprendimiento de los pequeños y medianos productores da paso a nuevas oportunidades de intervención por parte de la Ingeniería electrónica y el manejo aplicativo de nuevas tecnologías que permitan tener un contacto más cercano con la población campesina.

El manejo de software sofisticado y maquinaria industrial puede presuponer brechas para con los usuarios campesinos por la falta de capacitación técnica o por la complejidad de uso de los programas para el manejo de datos. Sin embargo, el desarrollo de nuevas tecnologías ha dado paso a una era digital con la que se espera lograr avances significativos. Como se menciona en [9], [17] y [10] la inclusión de las ciencias y la formación de entidades de apoyo al sector agrario pueden aportar significativamente al desempeño de los cultivos ganaderos. Como medio para facilitar al usuario la inclusión de software y herramientas tecnológicas más amigables se plantea el manejo de una HMI para que por medio de ésta, el usuario ganadero pueda añadir o eliminar uno o mas reses, establecer los valores dietarios, asignar los RFID a nuevos novillos, visualizar (en caso que se presente) avisos o alarmas y encender o apagar el sistema.

Lo anterior se diseña, y se plantea acorde con el manual de Buenas Prácticas de Ganadería (BPG) y con las legislaciones pertinentes al manejo de alimentos para el consumo humano establecidas por la ley colombiana mencionados en la sección 3.3.3.

Objetivos

2.1. Objetivo General

Diseñar un sistema para ayudar al monitoreo alimenticio de ganado estabulado en proceso de ceba.

2.2. Objetivos Específicos

- Investigar, clasificar y seleccionar los dispositivos y herramientas que serán usadas para el sensado de la deformación.
- Comprobar la existencia de cantidad suficiente de alimento almacenado.
- Suministrar la porción de alimento respectiva a cada bovino mediante la cantidad especificada por su referencia de identificación.
- Entregar la ración de alimento mediante un actuador de dosificación.
- Identificar a la res mediante su referencia de identificación y corroborar si ya se le ha suministrado (o no) su respectiva porción de alimento en una franja horaria determinada.
- Corroborar que la res ha ingerido su porción de alimento
- Monitorear el crecimiento de peso de cada res y compararlo con el crecimiento ideal o deseado.
- Conocer el peso de cada cabeza de ganado diariamente.
- Notificar al personal encargado la insuficiencia de alimento almacenado.
- Registrar la información sensada en una unidad de almacenamiento en la nube.
- Realizar el registro de datos de forma automática.
- Permitir al usuario acceder a los datos almacenados.
- Representar los datos almacenados de manera gráfica.
- Realizar un plan de pruebas.

Visión global del contexto ganadero de cárnicos

En este capítulo se describe parte del contexto ganadero actual de cárnicos en Colombia y el Cauca y algunas de las características principales relacionadas al proceso de ceba en ganado vacuno. Estos temas sirven como base conceptual para comprender el análisis y diseño empleados en este proyecto.

3.1. Generalidades agropecuarias

La fortaleza principal del sector primario colombiano radica en la producción de recursos de la naturaleza. Esto se refiere a las actividades económicas en relación a los procesos de producción en el sector agropecuario. Este sector abarca el conjunto de técnicas y las acciones que permiten trabajar y cultivar la tierra para producir materias primas así como también la producción de recursos de la ganadería.

Por su parte, El sector ganadero alude a los diferentes tipos de ganado de una zona y a las actividades que se emplean para criar y comercializar a estos animales y a los productos derivados de estos. En Colombia se práctica diferentes modalidades de ganadería con base en el tipo de ganado de enfoque tales como:

- Bovinos ó Vacunos
- Equinos
- Mulares y asnales
- Ovinos
- Porcinos

De igual forma, estos tipos de ganado son trabajados con diferentes designaciones, entre las cuales se pueden mencionar:

- Crianza y material reproductivo: Tiene como objetivo la reproducción de ganado mediante el cruce de individuos con las mejores características biológicas para mejorar así la genética de los individuos. Los mejores ejemplares son comercializados como material reproductivo y producción de leche dependiendo de su sexo (macho y hembra respectivamente), y los demás ejemplares pasan a ser parte de la ganadería de la carne.
 - Producción de leche y derivados: Como su nombre lo indica, es el ganado designado para ordeño
 - Producción de carne: Encaminado a la producción cuantitativa y cualitativa de carne.

3.1.1. Caracteres zootécnicos del ganado vacuno

La destinación del ganado vacuno para producción de leche, material reproductivo o engorde depende de algunos factores fisionómicos y biológicos. Por ello se hace mención de estos atributos a continuación:

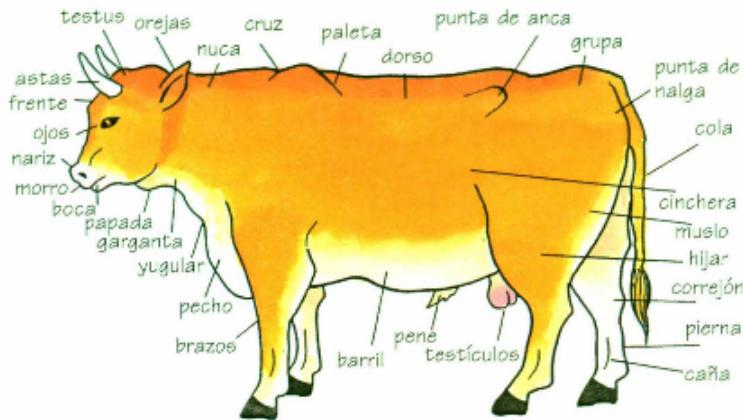


Figura 3.1: Mecanismo de Compuerta Rotativa.

3.1.1.1. Clasificación vacuna por aptitud productiva

- **Lechero:** (Cabe resaltar que un requerimiento o propiedad fisionómica básica es que posean ubre, esto quiere decir solo las hembras pueden hacer parte de esta aptitud productiva). Poseen formación triangular, cuentan con cuerpo y extremidades largas y delgadas con poca voluminosidad cárnea



Figura 3.2: Aptitud lechera.

- **Carne:** Poseen una contextura rectangular. Además de poseer un cuerpo ancho con sus extremidades bien dotadas de carne.



Figura 3.3: Aptitud de tipo carne.

- **Doble propósito:** Cuentan con propiedades mixtas de los 2 tipos ya mencionados, por lo tanto su contextura, como volumen carníco, ubre y extremidades son medianas. Este tipo de animales poseen una mayor facilidad en la adaptación del clima, alimentación y manejo.



Figura 3.4: Aptitud de doble propósito.

A modo general y para el desarrollo de este trabajo desde este punto en adelante, se decide describir mas a fondo el ganado vacuno y enfocarse en describir de manera mas profunda la ganaderia de la Carne.

Debido a que el ciclo productivo de la carne consta de diferentes etapas con diferentes requerimientos, necesidades y cantidad de áreas verdes, se considera aportar el diseño de un sistema que pueda simplificar tareas de obtención de datos y gastos por mano de obra en cultivos de reses destinados al engorde, los cuales pueden desempeñarse en espacios cerrados como establos, dando paso al monitoreo por condiciones de estabulación, en donde se garantiza el suministro de forraje verde, minerales, vitaminas y dietas específicas para el ganado y adaptándose a espacios cercanos a la casa matriz de administración de los productores [22].

En el Cauca, aunque se cuente con bastas hectáreas de diferentes fertilidades y condiciones térmicas apropiadas para el cultivo y desarrollo de la ganadería, se presentan muchas falencias en materia tecnológica y económica, en donde los movimientos migratorios de campesinos desplazados y los efectos colaterales del conflicto armado que se ha presentado en el país, son las principales causas de estas falencias. Sin embargo, el emprendimiento de los pequeños y medianos productores da paso a nuevas oportunidades de intervención por parte de la Ingeniería electrónica y el manejo aplicativo de nuevas tecnologías que permitan tener un contacto más cercano con la población cam-

pesina.

Lo anterior se diseña y se plantea acorde con el manual de Buenas Prácticas de Ganadería (BPG) y con las legislaciones pertinentes al manejo de alimentos para el consumo humano establecidas por la ley colombiana mencionados en la sección 3.3.3.

3.1.2. Ciclo productivo de la carne



Figura 3.5: Ganadería de carne.

El ciclo productivo de la carne (Ver Figura 3.31) de un ganado destinado para tal fin consta de 3 etapas principales que abarcan desde el nacimiento de la cría, su desarrollo y crecimiento y finalizando con su comercialización en el momento en que alcanza las condiciones apropiadas para ser transformado en carne para consumo humano [20]. Estas etapas son brevemente descritas a continuación:

- **Ganadería de Cría:** Es la etapa de producción temprana en donde el animal (generalmente crías macho llamadas bovinos) es alimentado y criado desde su nacimiento hasta los primeros seis (6) meses de edad.
 - En esta etapa se requiere de grandes extensiones de tierra para producir crías
 - No requiere de estaciones climatológicas específicas y se puede dar en todo el año.
 - Los elementos principales en la dieta de estas criaturas son los nutrientes provenientes del Calostro y la leche materna.
- **Ganadería de Levante:** Es la etapa inmediatamente siguiente a la etapa de crianza, en donde el bovino se desarrollara entre los siete (7) y diez y ocho (18) meses de edad.

- En esta etapa se estima que el peso del animal puede alcanzar un mínimo de 230[kg] de peso en adelante.
- Es considerada como la etapa mas rentable debido a las pocas exigencias en materia de calidad alimenticia.
- El objetivo de esta etapa es que el sujeto en cuestión alcance el peso estimado peso deseado en el menor tiempo posible con el menor esfuerzo posible
- El alimento se basa en pasturas de calidad, provenientes de las extensiones de tierra donde comen las reses y se crían.
- El animal gana mayor peso debido a su etapa de crecimiento, por lo que entre mejor sea su alimentación se obtendrán mejores resultados.
- Es de vital importancia que el animal se encuentre en la capacidad de alimentarse Ad Líbitum, es decir a placer y a voluntad.

- **Ganadería de engorde o Ceba:** Es la etapa final que abarca desde los 19 meses de edad hasta los 24 o 36 meses, dependiendo de su crecimiento y otros factores como el interés del productor, la demanda del mercado, entre otras. En sus características principales se pueden mencionar:
 - El límite se define por los intereses del productor, la demanda del mercado y en general por el peso ideal del animal que es aproximadamente mayor o igual a los 450[kg].
 - Para la alimentación se requieren de buenas, grandes y controladas cantidades con el fin de mejorar la carne. Para esto se utilizan dietas que requieren pasturas y concentrados dietarios.
 - Se debe monitorear la alimentación tomando registro en la ganancia de gramaje diaria de cada uno de los animales.

3.1.2.1. Razas

Debido a la gran variedad de especies, condiciones ambientales, y al proceso evolutivo del ganado, históricamente se ha podido clasificar y seleccionar las razas más representativas para este tipo de explotación ganadera. Más precisamente se puede hacer mención de las siguientes:

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ Beefmaster ■ Charolais ■ Simmental ■ Angus ■ Brangus | <ul style="list-style-type: none"> ■ Santa Gertrudis ■ Hereford ■ Limousin ■ Cebú ■ Belgina Blue |
|--|---|

Éstas son seleccionadas principalmente por la contextura voluminosa pero factores como la calidad de la carne pueden sobrepasar los criterios cuantitativos. A continuación se muestran algunas de las razas mas usadas para este propósito:



Figura 3.6: En la primer fila de izquierda a derecha se observan ejemplares de las razas Charolais, Hereford; seguido de las razas Angus y Criolla en la fila inferior.

3.2. Sistemas de explotación del ganado vacuno

Indiferentemente de su aptitud productiva; el ganado vacuno debe situarse en una infraestructura o ambiente apropiado para su desarrollo. Sin embargo, por cuestiones geográficas, geológicas y/o climatológicas, los animales son criados mediante métodos de explotación como el estabulado, semiestabulado y el silvopastoril:



Figura 3.7: Sistema de explotación estabulada.

El sistema “Estabulado” (Ver figura 3.7) es una forma de crianza de ganado en la cual los

animales pasan la mayor parte del tiempo en establos donde realizan sus actividades diarias. En estos establos se recrea la vida del ganado con la diferencia que el mismo se encuentra protegido bajo techo sin tener exposición directa al sol y a las condiciones medio ambientales. En este sistema se pretende una mayor producción y mejor calidad de la carne en el menor tiempo posible [30]. Por su parte el sistema “Silvopastoril” (Ver figura 3.8)’ es una forma de cultivo agropecuario que involucra la presencia de árboles interactuando con gramíneas y los animales sometidos a un manejo determinado para incrementar la productividad y el beneficio neto de la explotación a mediano y corto plazo [27].



Figura 3.8: Sistema de explotación silvopastoril.

Finalmente, en el sistema semiestabulado se combinan los 2 sistemas mencionados. En este sistema mixto, los animales ingieren sus raciones de alimento principal en áreas extensas de pastos y forrajes vegetales, mientras que el cuidado y el suministro especializado de vitaminas y proteínas se realiza bajo techo.

3.2.1. Alimento

3.2.1.1. Alimentación

La alimentación de un cultivo de ganado requiere de una dieta o ración con diferentes componentes básicos o nutrientes que deben ser suministrados día a día de forma balanceada para lograr un crecimiento óptimo y que los animales puedan expresar su potencial genético [29]. Los componentes principales que conforman la dieta alimenticia del ganado son:

- **Balance de raciones y dietas especializadas** Estas dietas son suministradas por personal técnico calificado que prepara un dieta acorde a la cantidad de nutrientes de cada animal de forma particular e independiente, considerando su peso actual, su velocidad de crecimiento y estado fisiológico.
- **Componentes básicos de la dieta**

- **Agua:** Componente principal de la alimentación. Esta debe ser suministrada en cantidad y calidad para ser aprovechada por cada animal llegando a ocupar mas del 50 % de la masa corporal de un ejemplar adulto y hasta un 90 % de un recién nacido.



Figura 3.9: Hidratación del ganado.

- **Energía:** Este componente se suministra mediante azúcares, almidones, celulosa, entre otros, los cuales aportan grandes cantidades de energía mas no de proteína, razón por la cual se deben suministrar de forma complementaria.



Figura 3.10: Suplementos energéticos.

- **Proteínas:** Estos nutrientes son fundamentales especialmente durante los periodos de sequía, por consiguiente, se optan por fuentes altas en proteína como leguminosas forrajeras, el Maní, Leucaena y el más común, los pastos de forraje verde.



Figura 3.11: Suplementos proteínicos.

- **Minerales:** Son indispensables en la ganancia de peso de los novillos durante la etapa de Cría y Levante. Este complemento alimenticio debe estar siempre a la disposición para que el ganado pueda abastecer sus necesidades. Estos minerales se suelen proporcionar mediante mezclas de macrominerales y microminerales que se ofrecen de libre consumo al ganado.
- **Vitaminas:** Suministradas en cantidades pequeñas aplicadas comúnmente en animales cuya alimentación se basa en forrajes secos, o en animales enfermos convalecientes, desnutridos o durante épocas de sequía prolongada.



Figura 3.12: Forraje y leguminosas.

3.2.2. Identificación de ganado

La identificación de ganado se ha realizado en diferentes modalidades con el paso del tiempo y depende de diversos factores tanto culturales como comerciales, entre otros. Entre las modalidades mas comunes de clasificación ganadera que se practican en Colombia y el mundo se pueden establecer:

- **Identificación por Marcado :** Esa es una de las maneras de identificación de ganado mas antiguas, aunque sigue siendo utilizada en distintas partes del mundo como Norte America, Europa y Latinoamerica. Estas marcas son hechas mediante la presión de hierro caliente al rojo vivo sobre la piel gruesa del animal dejando una marca sobre éste tal y como se puede apreciar en la figura 3.13, dando paso a que pueda ser clasificado o identificado en ranchos compartidos [12]. Las marcas pueden representar la finca a la que pertenecen así como también el número de lote o cabeza de ganado comercializada.



Figura 3.13: Marca de hierro en ganado.

- **Anillo nasal o nariguera:** Como su nombre lo dice, son anillos puestos en la nariz de los semovientes, especialmente para aquellos que presentan comportamientos agresivos que pueden significar grandes riesgos para el personal ganadero (Ver Figura 3.14). De acuerdo con el medico veterinario de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales y especialista en grandes animales, Jorge Torres Vanegas, estos anillos son puestos en el tabique nasal del animal, alrededor de una pulgada de la punta de la nariz; su ubicación en esta área se da debido a la alta sensibilidad de esta zona en las reses, lo que significa una medida de prevención y manejo del hato garantizando control del animal y seguridad para productores y mayordomos [13].

Estos anillos pueden ser de diferentes materiales y diferentes tamaños lo que facilita la clasificación de los animales por su nivel de agresividad para con el personal de trabajo en la finca de explotación ganadera.



Figura 3.14: Anillo nasal o Nariguera.

- **Arete o Crotal:** Es un colgante plástico donde se registra un número asociado e irrpeticible de varios dígitos (Ver Figura 3.15). En Chile, este proceso permite identificar oficialmente un animal mediante el Dispositivo de Identificación Individual Oficial (DIIO) [31]. El DIIO permanece con el animal durante toda su vida y no puede ser alterado, adulterado, copiado ni falsificado. Esta modalidad de reconocimiento animal requiere de 2 partes, en primer lugar, de un accesorio visual tipo doble paleta y en segundo lugar, un accesorio visual tipo botón, con igual número de identificación que el de doble paleta y en algunos casos puede incorporar un Chip de radiofrecuencia RFID. Este tipo de reconocimiento permite conocer la condición trazable de cualquier animal, además de identificar mediante un número asociado una res en particular.



Figura 3.15: Arete o Crotal.

- **Collar / Jáquima de color o función:** En esta modalidad, se utilizan collares de diferentes colores, los cuales están referenciados a diferentes aspectos del ganado tales como el tipo de ganadería (Lechera, Carne, Reproducción o Crianza), raza, edad, género, entre otros (Ver

Figura 3.16). Adicionalmente, los avances tecnológicos de los últimos años han dado paso a nuevas aplicaciones tales como collares de monitoreo del comportamiento posicional del animal permitiendo saber cuánto come, camina y descansa; collares de detección de enfermedades, collares de detección de celo, entre otros [7].



Figura 3.16: Collar / Jáquima de color o función.

- **Identificación Electrónica o Chip Subcutáneo:** Es una pequeña cápsula de cristal especial que tiene un tamaño pequeño de aproximadamente un grano de arroz y que contiene un transpondedor con un UID que permite la identificación de animales. Este dispositivo es usado en diferentes tipos de ganado especialmente en equinos (Ver Figura 3.17). En Colombia, el Instituto Colombiano Agropecuario ICA, mediante la Libreta Sanitaria Equina LSE y mediante la resolución 20174 de 2016, establece que este dispositivo es de uso obligatorio para transportar y establecer trazabilidad del equino. Por otra parte, los animales que utilicen este tipo de identificador electrónico no pueden ser destinados a consumo [15].



Figura 3.17: Chip subcutáneo.

Estas modalidades junto con la aplicación de nuevas tecnologías y adicionando la constante necesidad de ayudar a mejorar las actividades agropecuarias en Colombia y el mundo, han dado paso

al desarrollo de variantes como lo podemos apreciar en el trabajo realizado por los médicos veterinarios Hernan Agüero y Carlos Pedraza del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile (INIA), en el que usan collares equipados con imanes asociados al animal [14] como se puede ver en la figura 3.18 y esto sirve también para la dosificación de alimento del mismo, como se explica mas adelante en la sección ??.



Figura 3.18: Collar con imán.

3.3. Dosificación

En esta sección se hace una recopilación de conceptos, mecanismos, características, propiedades, dispositivos, material de diseño mecánico y material a dosificar; elementos necesarios para comprender analizar y familiarizarse con el contenido de este proyecto.

3.3.1. Almacenamiento

El alimento almacenado cae por gravedad al mecanismo de dosificación y este debe ser adaptado a su tamaño, densidad y peso [23]. Aparte del mecanismo, se debe tener en cuenta el material de construcción, entre los materiales de fabricación mas comunes se encuentran el Poliestireno, Vidrio y Céramica, Acero Inoxidable, Plástico, entre otros. Estos deben garantizar resistencia y que cumpla con los requerimientos generales de almacenamiento de alimentos [11]:

- El material de fabricación no debe modificar la composición, color, sabor, ni olor del producto contenido y no puede ceder componentes al medio interno ni externo que constituyan un riesgo para la salud.
- Fabricación con polímeros y aditivos que están incluidos en las listas positivas de las regulaciones alimentarias.
- Cumplir con los requisitos específicos de migración total en casos de compuestos químicos y componentes en el material plástico.

3.3.2. Dosificadores

Es una herramienta de suministro de producto en porciones y tiempo determinados por las necesidades de producción. La forma física del ensamblaje final de estas herramientas varía de acuerdo con factores como el producto a dosificar, la cantidad de material, peso y volumen del mismo y la precisión de cantidad dosificada. Pese a esto, a modo general poseen de 3 partes indispensables:

- **Tolva de almacenamiento:** Como su nombre lo indica, en la tolva de almacenamiento se suministra el producto en cuestión, ya sea mediante una banda transportadora en aplicaciones industriales, o mediante un transportador encargado de descargar el alimento de forma manual. La tolva es la encargada de mantener el producto en su interior para ser dosificado.
- **Sistema dosificador:** Esta es la parte más importante del dosificador ensamblado, ésta se encarga de determinar y medir la cantidad de sustancia que se extrae de la tolva para pasar a la siguiente estación. Dependiendo de la precisión o exigencias del productor, la medición se puede realizar según el peso o según el volumen.
- **Boquilla de descarga:** También denominadas como tubos de descarga, son los encargados de impedir que el producto sea dosificado incorrectamente, evitando desperdicios por riego o un mal direccionamiento. Además, evita riesgos al operario por cuestiones de manipulación o inhalación del producto.

El suministro de los alimentos del ganado se realiza mediante dispositivos electrónicos, mecánicos, electromecánicos y manuales. A modo general, están compuestos por servomotores, motores eléctricos, cilindros neumáticos y/o reguladores electrónicos y mecánicos [23]. Debido a la gran variedad de productos que pueden ser dosificados y a la variedad de aplicaciones de estas herramientas, se puede representar una clasificación de los tipos de dosificadores como la que se observa en la figura 3.26

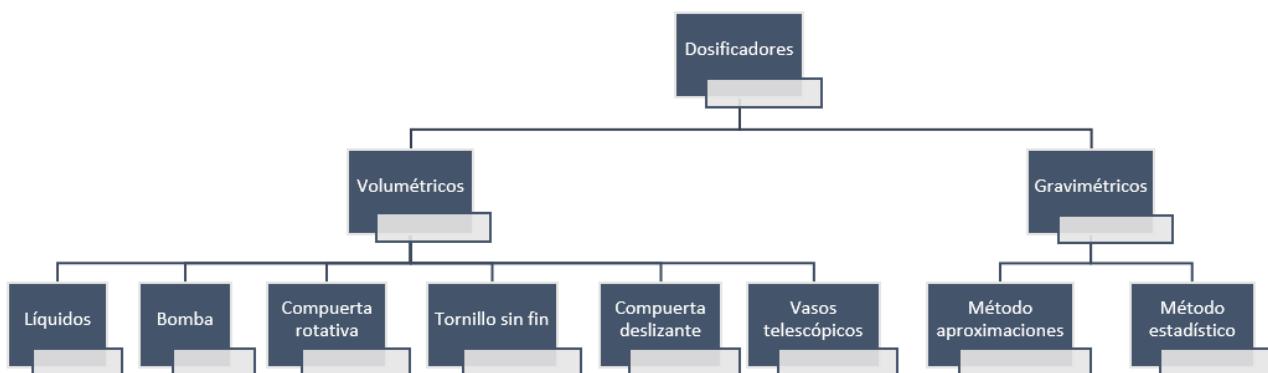


Figura 3.19: Clasificación de Dosificadores

3.3.2.1. Volumétricos

Su principal uso es la dosificación de sustancias con propiedades físicas homogéneas como la forma, el tamaño y peso como por ejemplo los líquidos viscosos, polvos, cereales, granos y alimentos semigranulados.



Figura 3.20: Dosificador Volumétrico.

3.3.2.2. Líquidos

Constituidos principalmente por una válvula y una bomba dosificadora. Son usadas mas que todo para sustancias fluidas como el agua, lácteos, jugos, y productos similares.



Figura 3.21: Dosificador de líquidos.

3.3.2.3. Bomba

Usados para sustancias viscosas y pastosas; son conducidas por tubos y ductos, y son usadas para grasas ceras, mieles, salsas, entre otros.



Figura 3.22: Dosificador de bomba.

3.3.2.4. Tornillo sin fin

Este mecanismo dosificador, basado en el principio de funcionamiento del tornillo de Arquímedes, es usado para transportar y manipular sustancias semigranuladas y polvorrientas. En este caso, los productos son evacuados de la tolva en cantidad y tiempos deseados con respecto a la velocidad de giro del tornillo, es decir, a las revoluciones por minuto (rpm) del mismo.

- **Estructura general:** Básicamente, un transportador de tornillo esta constituido por un eje de giro suspendido en un canal en forma de “U” denominado “Canalón”, un motor reductor a un extremo del tornillo encargado de girar la(s) hélice(s) que arrastran el producto a dosificar. La versatilidad de este sistema de dosificación le permite ser aplicado como transportador, mezclados, o agitador otorgando ventajas y desventajas para su uso práctico como se puede observar en la siguiente figura: (Fotico al lado con unas viñetas al lado como en una pptx).

Dependiendo de la forma del diseño del tornillo, su aplicación, paletas de transporte y número de hélices el tornillo puede clasificarse en:

- Tornillo sin fin de helice helicoidal
- Tornillo sin fin de paletas cortadas
- Tornillo sin fin de helice seccional
- Tornillo sin fin de paletas tipo cinta

- Tornillo sin fin con palas
 - Tornillo sin fin de paletas plegadas y cortadas
 - Tornillo sin fin de diámetro variable
 - Tornillo sin fin de paso escalonado
- **Componentes y requisitos:** Para el manejo de materiales, la hélice debe tener un grosor entre 3 a 4 [mm] de espesor. El diámetro externo de la hélice debe ser menor al diámetro del canalón para evitar rozas al momento del giro del tornillo (Poner una foto/plano de la vista frontal del tornillo o un dibujito con el tornillo y señalado el D y P=1/2D).

Para evitar flexiones del eje en tornillos de gran longitud se hace necesario el uso de soportes intermedios para poyar el eje y ayudar a que mantenga su eje suspendido. Para que el tornillo pueda recibir y transmitir el torque generado por el motor de manera eficiente, es necesario utilizar elementos de acoplamiento mecánico.

- **Relación de selección entre la hélice y el material:** Para el transporte de materiales sólidos
- **Carcasa:** La unión de las paredes que recubren el transportador, retienen el material y separan al tornillo del ambiente exterior se le llama Carcasa. Estas superficies suelen tener entre 3 y 6 [mm] de espesor y en casos de transporte de alimentos o elementos altamente abrasivos, se construye el armazón en acero inoxidable para garantizar durabilidad en la carcasa. Además, la carcasa posee una boca de carga por donde entra el alimento y una boca de descarga por donde éste sale.
- **Velocidad de giro ():** Esta depende principalmente de la naturaleza del material transportado. Como los materiales pueden variar en formas, pesos y tamaños, no es posible determinar una velocidad teórica exacta pero estadísticamente puede establecerse que:
 - En materiales pesados $\eta \approx 50$ [rpm]
 - En materiales ligeros $\eta < 150$ [rpm]

A modo general, estas consideraciones se obtienen al notar que la velocidad de giro es inversamente proporcional al peso [g] y abrasividad del material transportado, y del diámetro del tornillo.

Mediante la siguiente tabla se puede observar una aproximación de las velocidades de giro con respecto a diferentes tipos de material:

- **Paso (P) y Diámetro (D):** Por definición, el paso de tornillo o paso de hélice es la distancia existente entre hélices consecutivas de la dirección del eje del tornillo. La dimensión del paso suele estar comprendida entre 0,5 y 1 veces la medida del diámetro del mismo y es mayor a medida que el peso del material sea menor. En lo que respecta al diámetro, éste es mayor mientras que la velocidad de giro sea baja y viceversa.
- **Capacidad de transporte:** Para determinar la capacidad de transporte de un tornillo primero es necesario tener en cuenta:
 - Área de relleno del canalón (S):

Es el área que ocupa el material que se mueve en el transportador y se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$S = \lambda \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} \right) \quad (3.1)$$

Donde S se mide en $[m^2]$, D es el diámetro del canalón del transportador, en $[m]$, λ es el coeficiente de relleno de la sección.

Este deberá ser menor a la unidad para evitar así amontonamiento del material e interrupciones en el flujo a través del canalón. Este a su vez debe ser seleccionado con base en el tipo de carga tal y como se observa a continuación:

Tipo de carga	Coeficiente de relleno
Pesada y abrasiva	0.125
Pesada y poco abrasiva	0.25
Ligera y poco abrasiva	0.32
Ligera y no abrasiva	0.4

Figura 3.23: Coeficiente de relleno según el tipo de carga

- **Velocidad de desplazamiento (ν):**
Velocidad translacional del material en la dirección longitudinal del eje del tornillo. Depende del paso (P) y de la velocidad de giro (η). Su cálculo se describe mediante la ecuación $\nu = \frac{P\eta}{60}$, donde ν se mide en $[\frac{m}{s}]$, P se mide en $[m]$ y η se mide en $[rpm]$.

Ahora bien, la capacidad de transporte se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q[\frac{t}{h}] = 3600 \cdot S \cdot \nu \cdot \rho \cdot i \quad (3.2)$$

Donde Q es el flujo del material transportado $[\frac{t}{h}]$, ρ es la densidad del material transportado medido en $[\frac{t}{m^3}]$ e i es el coeficiente de disminución del flujo de material debido a la inclinación del transportador, este coeficiente indica la reducción de capacidad de transporte debida a la inclinación del canalón y para escoger este valor se considera la

siguiente relación:

Inclinación del Transportador en grados°	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°
Coeficiente de disminución de flujo de material (i)	1	0.9	0.8	0.7	0.65	0.42	0.3	0.2

Figura 3.24: Coeficiente de disminución de flujo de material (i)

Sustituyendo las expresiones de S y ν se obtiene la siguiente expresión:

$$Q\left[\frac{t}{h}\right] = 3600 \cdot \lambda \cdot \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4}\right) \cdot \left(\frac{P \cdot \eta}{60}\right) \cdot \rho \cdot i \quad (3.3)$$

- **Potencia total [kW]:** Es la potencia requerida para el accionamiento del transportador junto con la carga a transportar. Esta potencia se obtiene al sumar la potencia realizada en desplazamiento horizontal P_h , la potencia de accionamiento del tornillo en vacío P_n y la potencia de inclinación P_i (sí aplica).

- Potencia de desplazamiento horizontal:

$$P_h = c_0 \left(\frac{Q * L}{367}\right)$$

En donde L , es la longitud del transportador en [m] y c_0 es el coeficiente de resistencia del material transportado: este valor se puede conocer al emplear la siguiente tabla semi empírica:

Tipo de material	Valor de c_0
Harina, serrín, productos granulosos	1,2
Turba, sosa, polvo de carbón	1,6
Antracita, carbón, sal de roca	2,5
Yeso, arcilla seca, tierra fina, cemento, cal, arena	4

Figura 3.25: Coeficiente de resistencia del tipo de material

- Potencia en vacío:

$$P_N = \frac{D * L}{20}$$

- Potencia de inclinación:

$$P_i = \left(\frac{Q \cdot \rho \cdot H}{2000000}\right) \cdot 745,7 \cdot 1000$$

De donde H es la diferencia de altura entre las bocas de entrada y salida del canalón.

3.3.2.5. Vasos telescópicos

Este tipo de dosificadores básicamente están constituidos por una tolva de almacenamiento, agitadores, un motor reductor y un embudo de caída [25]. Estos dosificadores solo están en la capacidad de dosificar productos granulados. Un claro ejemplo del uso de este mecanismo puede observarse en el trabajo de grado realizado por los ingenieros Carlos Pinto y Hernán Sánchez egresados de la universidad de la Salle [23].

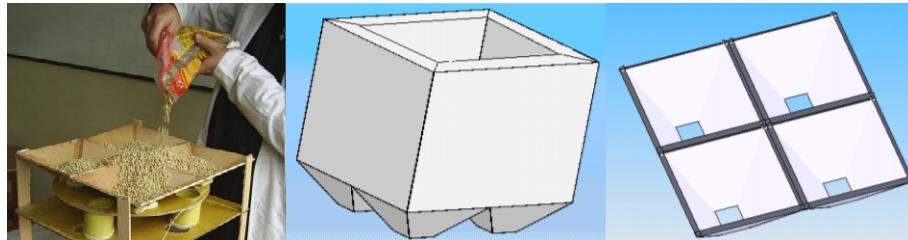


Figura 3.26: Mecanismo de vasos telescópicos

3.3.2.6. Dosificadores de Compuerta Rotativa

En este caso se tiene una compuerta rotativa como elemento principal de dosificación, permite una construcción simple y robusta, aunque presenta menor precisión que el mecanismo de tornillo sin fin. Una representación de este tipo de mecanismo se puede ver en la Figura 3.27.

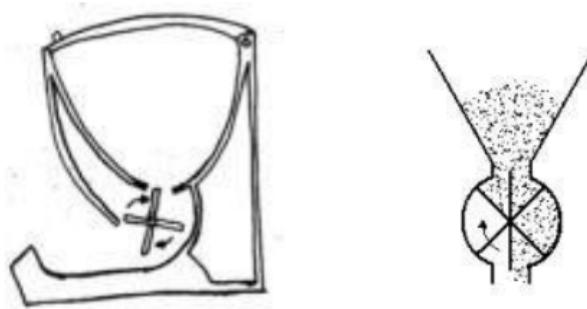


Figura 3.27: Mecanismo de Compuerta Rotativa.

3.3.2.7. Dosificadores de Compuerta deslizante

Son compuertas deslizantes usadas para descargar material de tolvas, transportadores o compartimientos. La compuerta deslizante consta de un marco rígido con una lámina deslizante ubicada en el interior que se abre y se cierra contra el flujo de material (Ver Figura 3.28). La

placa deslizante puede ser accionada por medios manuales, neumáticos, eléctricos o hidráulicos. La lámina puede ser implementada de diferentes maneras y puede estar apoyada por rodamientos en 2 de sus extremos para facilitar la transición reduciendo así la fricción con las paredes del marco.

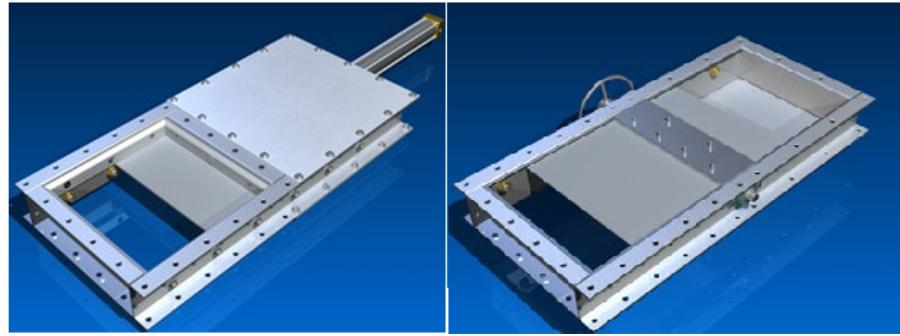


Figura 3.28: Mecanismo de Compuerta Deslizante. Tomada de [21]

3.3.2.8. Gravimétricos

Usados especialmente cuando las sustancias o productos que carecen de una forma homogénea. Poseen un porcentaje de error menor que los volumétricos debido a que manejan porciones dosificadas de menor tamaño y añadiendo que estas porciones son sensadas mediante sistemas electrónicos de precisión. Por otra parte, cuentan con un sistema de control que pueden estar fundamentados por métodos estadísticos o de aproximaciones.

- **Metodo de aproximaciones (MA):** Mediante un sistema de control de lazo cerrado se verifica que la discrepancia entre el peso suministrado y el peso ideal sea aproximadamente nula.
- **Metodo estadístico (ME):** En este caso, el sistema de control no se centra en la diferencia entre los pesos reales y de referencia sino sobre la cantidad de producto suministrado finalmente, por lo que el sistema de verificación es más sofisticado. Para ello se dispone de un sistema de balanzas temporizadas que entregan porciones parciales que por medio de la teoría de combinaciones determina la mejor combinación de balanzas sumadas [23].

3.3.3. Leyes y Normatividad

Requerida para que el avance ganadero se realice de manera coordinada o estandarizada basada en las buenas prácticas ganaderas en pro de mejorar la productividad y ayudarla a alcanzar niveles

de ganadería bovina del mundo [16].

- **Decreto 1500 de 2007:** Reglamento técnico a través del cual se crea el Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control de la Carne y otros productos comestibles y derivados cárnicos destinados para el consumo humano.
- **Decreto 072 de 2007:** Por el cual establece el manual de buenas prácticas de manejo para la producción de ganado bovino.
- **Decreto 2905 de 2007:** Por el cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios y de inocuidad de la carne y productos cárnicos comestibles de las especies bovina y bufalina destinados para el consumo humano.
- **Decreto 18119 de 2007:** Por el cual se reglamenta los requisitos del plan gradual de cumplimiento para las plantas de beneficio y desposte de bovino y bufalinos.
- **Decreto 2278 de 1982:** Reglamentación parcial en el título V de la ley 09 de 1979 que se refiere al sacrificio de animales de abasto público o para consumo humano y el procesamiento, transporte y comercialización de su carne.

3.3.4. Conceptos adicionales

- **Algoritmos Computacionales:** Los algoritmos son un conjunto de instrucciones o reglas predefinidas de manera ordenada que permiten llevar a cabo una actividad mediante pasos consecutivos secuenciales o paralelos de manera no ambigua para poder realizar una actividad [8]. Los algoritmos computacionales son algoritmos más sofisticados y precisos que permiten aprovechar las nuevas tecnologías y que al depender de una memoria finita deben ser lo más optimizados posible para que puedan procesar grandes cantidades de datos con limitaciones finitas y generalmente a bajo costo.
- **Almacenamiento en la nube:** La nube, también denominada como "Cloud Storage" (Ver Figura 3.29), se refiere tanto a las aplicaciones entregadas como servicios a través de internet y el software del hardware y sistemas en los centros de datos que proporcionan estos servicios [4].



Figura 3.29: Almacenamiento en nube.

- **Arduino:** Es una plataforma electrónica de código abierto basado en software y hardware de fácil uso. Las placas de Arduino están en la capacidad de leer entradas, manipular sensores y transmitir información de manera remota, entre otros. Estas placas son reprogramables mediante una serie de instrucciones al microcontrolador y se pueden programar con múltiples lenguajes de programación [3].
- **Bases de datos digitales:** Es un conjunto de datos interrelacionados y almacenados de forma ordenada y sistemática (Ver Figura 3.30) para un uso posterior[24]. Debido al desarrollo tecnológico de la informática y la electrónica, estas bases de datos suelen ser digitales y por lo general se almacenan en la nube (Cloud). Por otra parte, es considerado un modelo de almacenamiento de datos basado en redes de computadoras, donde los datos están alojados en espacios de almacenamiento virtualizados [26].



Figura 3.30: Base de datos.

- **Ciclo de Ceba:** Consiste en el engorde de ganado destinado para la producción de carne, principalmente en bovinos machos jóvenes denominados novillos [18].

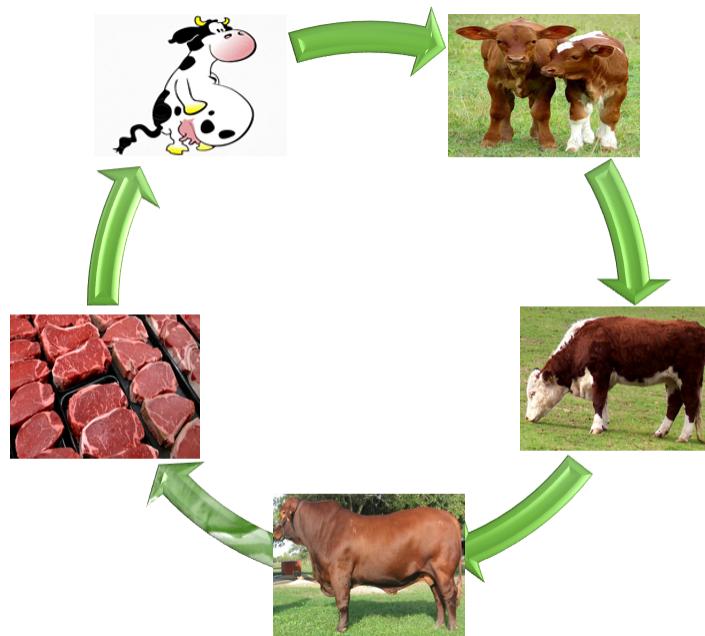


Figura 3.31: Ganadería de carne.

- **HMI:** Por sus siglas en inglés, “Human-Machine Interface”, se refiere a la interfaz de interacción entre maquinas y humanos aplicable a los sistemas de automatización de procesos [2].
- **Jáquima:** Es un freno, cabestro o cabezada usado en la ganadería principalmente equina, para identificar, amansar o manipular al animal [28].
- **RFID:** La identificación por radiofrecuencia (Ver Figura 3.32), es un sistema reprogramable de almacenamiento y recuperación de datos de manera inalámbrica mediante etiquetas, tarjetas o transpondedores en general, que pueden ser adheridas a productos, animales e incluso a personas sin necesidad de alimentación interna. Este sistema tiene una gran variedad de aplicaciones entre las cuales se pueden mencionar logísticas de distribución, servicios industriales, control de acceso, entre otros [19].



Figura 3.32: Sistemas RFID.

- **Software de Código Abierto OSS (Open Source Software):** Es un concepto relativamente reciente que abarca un modelo de desarrollo de software basado en colaboración abierta en Internet, donde un propietario de software permite a los usuarios utilizar, cambiar y redistribuir el software para cualquier propósito. [1].

Capítulo 4

Electrónica en el sector agropecuario

Analisis y diseño

Tal y como se menciona en el capitulo 2, el objetivo principal de este proyecto radica en el desarrollo de un sistema tal que ayude, permita y facilite el monitoreo alimenticio de un conjunto de novillos estabulados en proceso de engorde; para ello primero es necesario comprender las etapas que influyen en la adquisición de datos y posteriormente considerar oportunidades de intervención (OI) o mejora desde un punto de vista ingenieril.

5.1. Iteración diaria del proceso de engorde

El proceso inicia con la verificación de alimento suficiente para el o los grupos de bovinos a alimentar, seguido por la entrada de individuos al área de alimentación; los animales deben ser ingresados por grupos de tal forma que se tenga conocimiento del los individuos que ingresan y salen, y de las porciones correspondientes para que su evolución y monitoreo alimenticio sea apropiado.

- **OI:** Esto sugiere la necesidad de identificar a los novillos y tener al alcance sus porciones dietarias correspondientes.

Al tener identificado al individuo y por ende tener conocimiento de su porción dietaria correspondiente, es necesario entregar dichas porciones lo más precisas posible, descartando cualquier tipo de aproximación errónea o discrepancia por criterio humano. Por otra parte se requiere optimizar el tiempo, costo y personal requerido en la dosificación del alimento desde el tanque de almacenamiento hasta los comederos.

- **OI:** Para validar y verificar que las porciones son adecuadas y aproximadamente precisas se opta por pesar las porciones con balanzas digitales antes de ser entregadas al animal. En lo que respecta al suministro constante de alimento se reputa tener puntos fijos de dosificación continua que faciliten la distribución del alimento de manera automática. Para ello se requiere la inclusión de mecanismos de dosificación como los mencionados en la sección 3.4.

Una vez iniciada y finalizada la ingesta del alimento, el animal es llevado a una balanza para obtener su peso actual, seguido a esto se registran éste y otros datos concernientes a su proceso de alimentación tales como las veces que ha sido alimentado o si ha presentado alguna dificultad en consumir su ración diaria; posteriormente se da salida del área de alimentación.

- **OI:** Al identificar al individuo mediante una referencia única, se pueden asociar datos a esta referencia de identificación, tal y como se realiza en una institución educativa mediante el carné estudiantil. Con esto, el registro de datos se garantiza de forma tal que no se puedan asignar datos erróneos entre los novillos del ganado estabulado. Además, si el peso ha presentado algún comportamiento deseable o indeseable, el registro estadístico de los datos puede aportar en la toma de decisiones.

Nuevamente y finalmente, se debe verificar que haya alimento suficiente para un próximo grupo que ingrese al área de alimentación.

Como ayuda gráfica para comprender el sistema, se considera el siguiente diagrama de bloques general mostrado en la Figura 5.1:

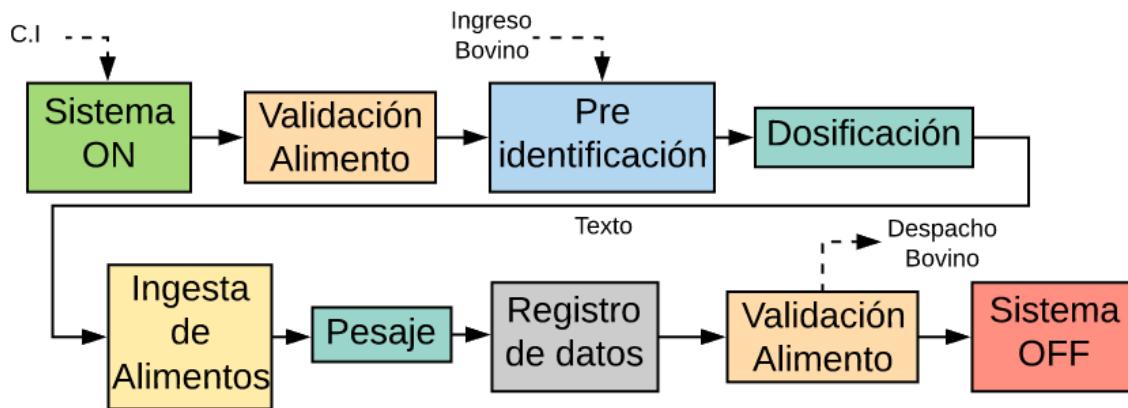


Figura 5.1: Diagrama de Bloques general.

Del diagrama se puede describir lo siguiente:

- Para la verificación y validación del alimento se pueden utilizar sensores de presencia que indiquen la existencia (o no) de alimento suficiente.
- Para la “Pre-identificación”, se puede hacer uso de los dispositivos RFID mencionados en la sección (sección donde se hable del RFID).
- Para la “Dosificación” del alimento se requiere de hardware, sensores y actuadores electrónicos y/o electromecánicos.
- Para el registro de los datos se puede hacer uso de la etapa de “Pre-identificación” y asociar bases de datos a estos dispositivos de reconocimiento para que se actualicen los datos de manera inmediata e inequívoca.

Con base en lo anterior, se puede segmentar el sistema total en 4 sub-sistemas principales: “ID”, “Sensado”, “Hardware” y “Manipulación de datos”.

5.2. Subsistema ID

En el subsistema ID se realiza la identificación de cada novillo mediante un accesorio, característica, marca, descripción, nombre o finalidad. Sin embargo, por cuestiones de recursos, facilidad de uso, utilidad descriptiva e informativa y capacidad de reutilización se requiere seleccionar una modalidad (de las mencionadas en la sección (vision global)) que cumpla con estos criterios.

Para seleccionar la modalidad mas apropiada se procede a realizar la siguiente matriz de pesos para seleccionar la alternativa mas apropiada:

Alternativas	Criterios				Valoración final de la alternativa
	30%	25%	15%	30%	
	Costo	Reutilizable	Manipulable	Informativo	
Arete	4	1	4	3	2,95
Chip Subcutáneo	3	1	4	5	3,25
Jaquima / Collar	5	4	3	1	3,25
Marcado	4	1	2	2	2,35
Nariguera	4	3	2	1	2,55

Figura 5.2: Matriz de selección por peso ponderado para el subsistema ID.

De la tabla se puede observar que de las 5 modalidades actuales más utilizadas en la ganadería, prevalece el uso de la jáquima o collar y el uso de un chip subcutáneo RFID. Desde un punto de vista de la ingeniería electrónica, la modalidad que optimiza la identificación del ganado en cuestión de tiempo y facilidad de descripción informativa es la identificación mediante el transpondedor de radiofrecuencia. Por otro lado, desde un punto de vista financiero, el uso del subcutáneo significa un elevado costo en comparación al uso de Collares que además de ser económicos pueden ser reutilizables.

No obstante, aunque ambas opciones han resultado ser convenientes, se opta por buscar alternativas que permitan aprovechar las mejores cualidades de ambas modalidades. Como resultado se opta por combinar estos atributos en una modalidad híbrida cuyo diseño se describe a continuación:

- **Diseño 1, Chaleco ó “Backband”:** En primera instancia se consideró un chaleco usable, portable Y reutilizable, que sería utilizado por cada individuo perteneciente al ganado estabulado desde su ingreso hasta su salida en la etapa de Ceba, es decir, hasta que alcance un peso adecuado para ser transformado en carne para consumo humano y una vez esto ocurriera, el chaleco sería reasignado a un próximo miembro de la etapa de engorde. Como los equinos,

bovinos y otros animales domésticos ya utilizan accesorios en su día a día, se consideró posible que el ganado usase este tipo de complemento. Por otra parte, uno de los objetivos principales de este proyecto es que se pueda identificar cada una de las reses de manera automática y eficiente, por lo que el uso de etiquetas RFID (ver Figura 5.3) fue uno de los influyentes más importantes en este diseño.



Figura 5.3: Etiqueta ó “Tag” RFID.

Ahora bien, en la infraestructura general de un comedero para ganado estabulado, se tienen algunas observaciones que por lo general son añadidas a la misma, como por ejemplo, la separación de cada cabeza mediante barras a los costados que sirven para separar a los animales entre sí evitando disputas en la manada (Ver Figura 5.4). Estas barras también rodean la nuca del animal dejando un espacio apropiado para que éste pueda ingresar su cabeza y cuello hasta el comedero.



Figura 5.4: Separación de ganado en el comedero.

Además, para que el lector RFID no dependa de un personal encargado de la lectura de cada etiqueta en los chalecos, es necesario que el lector se encuentre en una posición fija. Con esto en mente, se presupuso que el lector debería estar en un punto estratégico que facilitara la proximidad de la etiqueta RFID sin incomodar al individuo que sería alimentado; por lo tanto el lector RFID se encontraría en la barra superior que bordea la nuca del bovino ocasionando

que la etiqueta RFID del chaleco se encontrara en la nuca del novillo.

Se diseñó un primer bosquejo en 3D del compartimento del chaleco que contendría la etiqueta RFID y de la cual se colocarían las correas ajustables que bordearían el cuerpo del novillo (Ver Figura 5.5),



Figura 5.5: Primer modelo 3D del compartimento RFID.

Lastimosamente se detectó una primer falencia a este diseño, esto debido a que no todas las razas de bovinos más usados en este tipo de ganadería en Colombia son iguales en altura, contextura y fisionomía [6]. En la figura 5.6 se puede observar razas como la Cyr, Brahman y Nelore; estas poseen una especie de joroba en la nuca o tejido descolgado en la parte inferior del cuerpo, lo que complica el uso de los chalecos y de la posición de la etiqueta RFID en ellos.



Figura 5.6: Fisionomía de razas comunes en el ciclo productivo de la Carne.

- **Diseño 2, “Armband”:** Como medida reactiva y correctiva al problema del diseño anterior, se consideró que la etiqueta RFID podría ubicarse a uno de los costados de las extremidades

del individuo y por ende el lector, tendría una nueva ubicación acorde a este cambio. No obstante se presentaron otras complicaciones que evidenciaron fallas en este diseño.

La abrazadera ubicada en la extremidad dificulta el movimiento articular de la misma y como en cualquier otro caso de interacción animal que vive en grupo, se presentan ocasiones de confrontación física entre sujetos del sexo masculino; estas confrontaciones pueden suponer un daño irreparable en el compartimento portable del “Armband” dificultando la identificación del bovino en ocasiones futuras.

Para satisfacer con las tareas de diseño concernientes a la identificación de ganado planteadas en este proyecto, conservando factores característicos como la portabilidad, usabilidad, reutilización del identificador RFID y bajo costo; y recalando lo aprendido sobre las falencias de los diseños anteriores, se decide utilizar una modalidad híbrida entre la Jáquima y los 2 prototipos diseñados con la etiqueta RFID.

■ **Diseño 2, “Armband”:**

Para el diseño de este nuevo prototipo se observa que un rasgo físico común entre las razas de bovinos usadas para engorde, es que poseen un gran espacio en la parte frontal del cráneo, por encima de los ojos y que suele usarse con jáquimas comerciales, convencionales, modificables, etc.

En la figura 5.7 se observa que las Jáquimas especializadas utilizan una argolla de conexión para unir y tensionar las correas ajustables. Teniendo esto presente se puede reemplazar esta argolla con un accesorio que se conecte a las correas de la Jáquima garantizando que el accesorio siga siendo usable y reutilizable y que pueda portar una etiqueta RFID.



Figura 5.7: Argolla de conexión.

Nuevamente, el diseño 3D de este accesorio se realiza en SolidWorks. Para este caso, se requiere de 2 partes, una usada como base donde irá la etiqueta RFID y otra que servirá de tapa protectora. Es importante añadir que este accesorio permite cambiar la etiqueta RFID

si lo requiere, lo que evidencia la reutilización del prototipo para ganado en el futuro.

La base cuenta con un corte interno que sirve como almohadilla en donde se inserta la etiqueta RFID y también cuenta con 3 hendiduras para el acople de la tapa protectora. Por su parte, la tapa protectora cuenta con 3 salientes que sirven para acoplarse correctamente a la base y permitir que se conforme el accesorio en su totalidad. Una vez impresas las piezas, se obtienen resultados apreciables en la Figura 5.8:

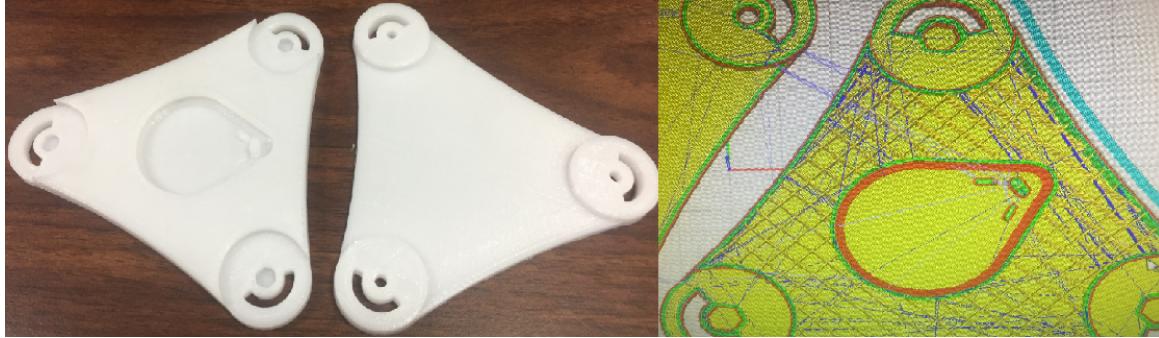


Figura 5.8: Prototipo de accesorio RFID para la Jaquima.

En la parte derecha se puede observar que para garantizar resistencia y robustez del producto impreso, es necesario considerar un relleno o “Infill” entre 15 y 20 % de tipo Linea, esto se observa gráficamente con la cuadricular formada por el relleno mencionado.

A comparación de las modalidades mencionadas, este accesorio cuenta con las mejores características tal y como se puede apreciar en el diagrama radial mostrado en la figura 5.9.

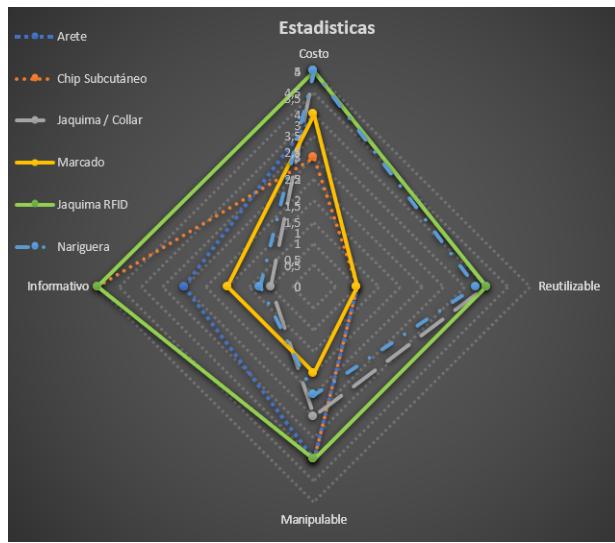


Figura 5.9: Diagrama radial de las modalidades de identificación bovina.

Finalmente, al unir el accesorio impreso junto con unas abrazaderas ajustables se finiquita el accesorio prototipo denominado como “Jáquima RFID”. Este contiene un documento de identidad único (UID) y se encuentra grabado en la memoria de la etiqueta RFID añadida al mismo.

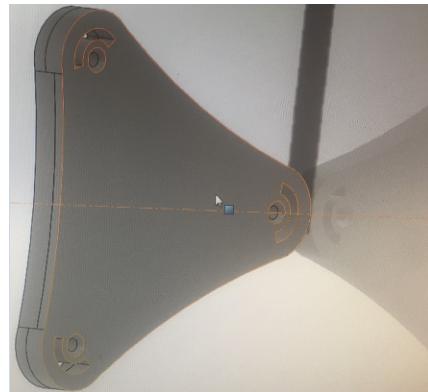


Figura 5.10: Jáquima ID.

Por su parte, para este último diseño se requiere que el lector del dispositivo RFID deba posicionarse en un lugar que esté en contacto con la parte frontal del novillo. Dado que se presentarán distintos ejemplares de diferentes tamaños y fisionomías, el punto estratégico de lectura sería la puerta de ingreso al puesto de comida. Como los animales son guiados a estos puestos con la ayuda

de personal calificado, el registro en la entrada es el punto mas apropiado para garantizar que el individuo ingresado esta (o no) identificado para su alimentación y estudio correspondiente.

Así pues, los novillos que cuenten con este accesorio podrán ser debidamente identificados a la hora de ser ingresados a los puestos de comida donde se les dosifica el alimento.

5.3. Subsistema Hardware

El subsistema de Hardware comprende la estructura física principal en donde se realiza la activación de los dispositivos encargados de dosificar el alimento desde el tanque de almacenamiento, hasta el plato de comida del novillo. Como se menciona en la sección 3.4, existen diferentes mecanismos usados para manipular alimentos tanto de consumo humano como animal. Estos poseen atributos, diseños y sistemas de funcionamiento con características especializados para su propósito; estos varían dependiendo de el tipo de alimento, la cantidad de alimento, precisión, velocidad de trabajo, entre otros criterios.

De los mecanismos estudiados y mencionados en el capítulo anterior se resaltan aplicativos tales como:

■

Para saber cual de estos mecanismos se acomoda a las necesidades, limitantes, situaciones y propiedades del entorno de trabajo de este proyecto, nuevamente es necesario la selección de el(los) mecanismo(s) más apropiado(s) para dar soluciones correspondientes a las condiciones del entorno de trabajo. Para ello se recurre a realizar una nueva matriz de selección:

Alternativas	Criterios					Valoración final de la alternativa
	25%	15%	20%	15%	25%	
	Costo	viabilidad técnica	Manipulación electrónica	Precisión de dosificación	Propósito adecuado (manejo de alimento)	
Compuerta deslizante	3	3	2	2	4	2,9
Compuerta rotativa	4	4	3	2	5	3,75
Tornillo sin fin	3	4	4	5	4	3,9

Figura 5.11: Matriz de selección por peso ponderado para el mecanismo dosificador.

En esta Matriz se puede observar que por cuestión de características del propósito, materiales de transporte, precisión de dosificación, viabilidad económica y técnica y control electrónico; el mecanismo encargado de extraer el alimento es el denominado “Tornillo sin fin”. Aunque este mecanismo es en principio mecánico, debe ser controlado por una señal de activación por pulsos (PWM) ocasionadas por la entrada de datos entregadas por los sensores del sub sistema de sensado explicadas

en la siguiente sección. Por otra parte, el tornillo debe moverse rotativa y constantemente gracias a un actuador electrónico como un motor.

Una vez más, es imperativo seleccionar el tipo de motor más adecuado para culminar esta tarea. Por lo que en esta ocasión los criterios decisivos serán la manipulación electrónica, el torque del motor y el consumo energético.

Alternativas	Criterios				Valoración final de la alternativa
	25%	35%	20%	15%	
	Costo	Torque	Manipulación electrónica	Consumo energético	
Motores paso a paso	2	5	3	3	3,3
Servomotores de giro continuo	5	3	4	4	3,7
Servomotores	3	3	4	4	3,2

Figura 5.12: Matriz de selección por peso ponderado para el motor .

Es esencial notar que aunque los motores paso a paso son ideales por su capacidad de torque, estos requieren de sistemas de alimentación de alta potencia y sistemas de manipulación complejos, motivos por los cuales, los servomotores de giro continuo representan una mejor alternativa.

También es imperativo recalcar que la extracción de alimento es verificado por una balanza digital para corroborar y validar el peso de alimento que se entrega al novillo, ocasionando que la alta precisión de “micro steps” del motor paso a paso sea reemplazada por la velocidad de giro del servomotor de giro continuo.

Ahora bien, el uso de tornillos sin fin exponen una dificultad práctica debido a su falta de disponibilidad directa en el mercado, estos se fabrican acorde a las especificaciones del cliente, por lo tanto no es posible encontrar modelos que se adapten a las condiciones de trabajo ya establecidas. Como medida adaptativa a esta situación, se utiliza nuevamente la impresión 3D como alternativa viable en el desarrollo del prototipo y la validación del diseño. Este proceso de diseño es descrito a continuación:

Capítulo 6

Resultados

Capítulo 7

Conclusiones y trabajos futuros

Bibliografía

- [1] Laurent A. Understanding Open Source and Free Software Licesing. 2008.
- [2] Christiaan A. D'H Gough, Richard Green, and Mark Billinghamurst. Accounting for user familiarity in user interfaces. volume 158, pages 137–138, 01 2006.
- [3] ARDUINO. What is arduino?, 2005.
- [4] Griffith Armbust, Fox. A view of cloud computing. ACM Communications.
- [5] Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Laboratorio nacional de suelos, 2019.
- [6] Gómez L Contexto ganadero. Informe especial: Conozca las 5 razas bovinas más representativas de colombia, 2013.
- [7] CTM. Ctm collar, 2015.
- [8] Knuth D. The Art of Computer Programming. Assison-Wesley, 1968.
- [9] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. El campo colombiano compite con innovación, 2018.
- [10] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Reforma y descentralización de servicios agrícolas: Un marco de políticas, 2002.
- [11] Castillo F. Conformado de Materiales Plásticos. Universidad Nacional Autónoma de Mexico, 2012.
- [12] Ward F. The Cowboy at work. 1958.
- [13] Contexto ganadero. Uso de narigueras facilita el manejo del ganado, 2015.
- [14] Pedraza G Hernan E. Sistemas automatizados de alimentación para vacas de alta producción de leche. Artículo publicado, 1982.
- [15] Instituto Colombiano Agropecuario ICA. Libreta sanitaria equina como documento sanitario de movilización de équidos en colombia, 2017.
- [16] INVIMA, 2007.
- [17] Ashby J. Institutionalising farmer participation in adaptive technology testing with the 'cial'. agricultural research and extension network, network paper 57., 1995.
- [18] Pinzón M Jiménez C. Factibilidad de producir y comercializar un suplemento alimenticio para el ganado bovino en ciclo de ceba en el departamento del meta, 2015.

- [19] K. Kapucu and C. Dehollain. A passive uhf rfid system with a low-power capacitive sensor interface. In 2014 IEEE RFID Technology and Applications Conference (RFID-TA), pages 301–305, Sep. 2014.
- [20] Peláez F Mahecha L, Gallego L. Situación actual de la ganadería de carne en colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad, 2002.
- [21] Conveying Knowledge Workmanship Solutions Design Engineering Manufacturing, 2019.
- [22] Fonseca P. Así funcionan los ciclos productivos de las ganaderías, 2016.
- [23] Sanchez H Pinto C. Diseño, modelamiento y simulación de máquina dosificadora de alimento granulado para animales. Universidad de La Salle, 2006.
- [24] Llanos R. Fundamentos de informática y programación. Ediciones Paraninfo, 2007.
- [25] Perry R. Manual del ingeniero químico. McGraw-Hill, 1992.
- [26] Wells C Rhea S. Maintenance-free global data storage., 2001.
- [27] Santana Rodríguez, Martha Oliva, and José Darío Valencia Real. Producción ganadera sostenible silvopastoreo. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA, 1998.
- [28] Williams S. Arte de amansar i domar caballos i mulos. The library of the university of Texas at Austin, 1861.
- [29] Díaz V. Recomendaciones sobre sistemas intensivos de producción de carne: Estabulación, semiestabulación y sumplementación estratégica en pastoreo, 2002.
- [30] Díaz V. Manual de recomendaciones sobre sistemas intensivos de producción de carne, 2010.
- [31] Servicio Agrícola y Ganadero SAG. Identificación animal oficial, 2014.