

PROTOTIPO INDUSTRIAL PARA EL SUMINISTRO DE ALIMENTOS EN LA PRODUCCIÓN PORCINA EN PIE

Autor(es)

Jose Libardo Mendoza Sanabria

Universidad de Cundinamarca

Ingeniería electrónica

Facultad de ingeniería

Fusagasugá, Colombia

2019

PROTOTIPO INDUSTRIAL PARA EL SUMINISTRO DE ALIMENTOS EN LA PRODUCCIÓN PORCINA EN PIE

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de
ingeniero electrónico

Autor(es)

Jose Libardo Mendoza Sanabria

Director:

Edgar Eduardo Roa Guerrero

Co-director:

Edgar Hernando Criollo Velásquez

Línea de investigación:

Software, sistemas emergentes y nuevas tecnologías

Universidad de Cundinamarca

Ingeniería electrónica

Facultad de ingeniería

Fusagasugá, Colombia

2019

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Fusagasugá ____ de _____ del _____

Agradecimientos

En primera instancia, agradezco a Dios por permitirme llegar hasta este punto y las bendiciones que me ha dado.

Agradezco a mis padres porque gracias a su apoyo y su orientación hicieron que pudiera llegar hasta este punto y lograra cumplir una meta tan importante como es obtener este título.

Igualmente agradezco a los ingenieros Edgar Roa y Edgar Criollo, por brindarme sus conocimientos y apoyo para que lograra culminar este trabajo de grado el cual no fue nada fácil.

A Brayan, amigo durante el transcurso de la carrera y además compañero en este trabajo de grado, porque con su ayuda y esfuerzo logramos terminar esta meta.

Agradezco a María por su compañía, consejos y ayuda en cada momento que ha estado en mi vida.

Finalmente agradezco a la señora Nidia, porque sin la ayuda que me brindo en la mayor parte de la carrera, culminarla habría sido mucho más complicado.

Resumen

El proyecto pretende generar una solución mediante la automatización del suministro de alimentos para producción porcina en pie. La metodología consta de 4 fases, en la primera fase se desarrolla el análisis y requerimientos del sistema, en la segunda fase se realiza el diseño, en la tercera fase la implementación y, por último, en la cuarta fase se valida mediante pruebas de funcionamiento. Teniendo en cuenta este escenario, el proyecto busca el desarrollo de un sistema de suministro de alimentos para la producción porcina en pie con el fin de mejorar su proceso productivo.

Grupo de desarrollo

Jose Libardo Mendoza Sanabria: suministro de alimento.

Brayan Ferney Otalora Bueno: redes de sensores.

A pesar de tener actividades diferentes todos los integrantes trabajaron por cumplir el objetivo principal del proyecto y cada una de sus actividades tenían un carácter fundamental en el respectivo desarrollo, dado esto, se presenta un documento común para todos los integrantes ya que reportar las actividades por separado generaría una idea de un proyecto incompleto.

Contenido

Agradecimientos.....	5
Resumen.....	6
Grupo de desarrollo	6
1. Capítulo 1. Contexto.....	11
2. Capítulo 2. Objetivos.....	12
2.1. Objetivo general.....	12
2.2. Objetivos específicos.....	12
3. Capítulo 3. Marco de referencia.....	13
3.1. Estado del arte	13
3.2. Fundamentos teóricos	14
3.2.1. Etapas de producción porcina	14
3.2.2. Placas de desarrollo	15
3.2.3. Procesamiento de imágenes	15
4. Capítulo 4. Metodología.....	16
4.1. Levantamiento de los requisitos del sistema.....	16
4.1.1. Requerimientos Funcionales	16
4.1.2. Requerimientos No Funcionales	18
4.2. Descripción general del prototipo	19
4.2.1. Dispositivos utilizados	19
4.2.2. Descripción del escenario	20
4.2.3. Funcionamiento del prototipo	23
4.3. Modelos físicos y circuitales	25
4.3.1. Módulo de peso	25
4.3.2. Módulo de altura	26
4.3.3. Módulo de alimentación	27
4.3.4. Módulo de identificación	29
4.3.5. Módulo de envío de datos	30
4.4. Pruebas funcionales	30

4.4.1.	Módulo de peso	30
4.4.2.	Módulo de altura	34
4.4.3.	Módulo de alimentación	36
4.4.4.	Módulo de identificación	38
4.4.5.	Módulo de envío de datos	40
5.	Capítulo 5. Plan de trabajo y Análisis de resultados	43
5.1.	Plan de trabajo	43
5.2.	Resultados.....	44
6.	Capítulo 6. Problemas y Trabajos futuros	48
7.	Capítulo 7. Conclusiones	50
8.	Capítulo 8. Socialización.....	51
9.	Referencias.....	52
	Anexos	55

Índice de figuras

<i>Figura 1. Consumo per cápita de carne de cerdo en Colombia, tomado de [5].....</i>	13
<i>Figura 2. Estructura del prototipo. Elaboración propia. Software SketchUp.....</i>	20
<i>Figura 3. Dispositivo dispensador de alimento. Elaboración propia. Software SketchUp.</i>	21
<i>Figura 4. Sensor entrada. Elaboración propia. Software SketchUp.....</i>	21
<i>Figura 5. Cámara USB encargada de capturar la imagen. Elaboración propia. Software SketchUp.</i>	22
<i>Figura 6. Sensor altura. Elaboración propia mediante el software SketchUp.....</i>	22
<i>Figura 7. Balanza. Elaboración propia. Software SketchUp.</i>	23
<i>Figura 8. Diagrama de flujo del sistema. Elaboración propia.....</i>	24
<i>Figura 9. Conexiones entre todos los dispositivos. Tomada y modificada de [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22]</i>	25
<i>Figura 10. Conexiones entre balanza, HX711 y Arduino. Tomada de [16].....</i>	25
<i>Figura 11. Conexiones entre el Arduino y el sensor SHARP. Tomado de [17].....</i>	26
<i>Figura 12. Estructura módulo alimentación. Almacenamiento del alimento. Elaboración propia.</i>	27
<i>Figura 13. Mecanismo control y suministro alimento. Elaboración propia.....</i>	27
<i>Figura 14. Estructura completa del dispensador de alimento. Elaboración propia.</i>	28
<i>Figura 15. Arduino, driver y motor. Tomado y modificado de [18], [19] y [20].....</i>	28
<i>Figura 16. Sensor infrarrojo a Raspberry. Tomado y modificado de [21] y [22].....</i>	29
<i>Figura 17. Arduino y placa NodeMcu, Raspberry y placa NodeMcu. Tomado y modificado de [18] y [21].</i>	30
<i>Figura 18. Flujo caracterización de la báscula. Elaboración propia.</i>	31
<i>Figura 19. Flujo proceso de pesado. Elaboración propia.</i>	32
<i>Figura 20. Flujo adquisición de la altura. Elaboración propia.</i>	34
<i>Figura 21. Flujo dispensario de alimento. Elaboración propia.</i>	38
<i>Figura 22. Flujo para la identificación. Elaboración propia.....</i>	39
<i>Figura 23. A. Imagen capturada. B. Imagen segmentada. Elaboración propia.....</i>	39
<i>Figura 24. Segmentación inadecuada. Elaboración propia.....</i>	40
<i>Figura 25. Flujo para el envío de datos. Elaboración propia.....</i>	41
<i>Figura 26. Envío de los datos al sistema de información. Elaboración propia.</i>	42
<i>Figura 27. Estructura física del prototipo. Elaboración propia.</i>	44
<i>Figura 28. Dispositivo físico dispensador de alimento. Elaboración propia.....</i>	45
<i>Figura 29. Dispositivo físico sensor de entrada. Elaboración propia.</i>	45
<i>Figura 30. Dispositivos físicos sensor de altura y cámara USB. Elaboración propia.</i>	46
<i>Figura 31. Dispositivo físico báscula. Elaboración propia.</i>	46
<i>Figura 32. A. Imagen capturada sistema implementado con escena adecuada. B. Segmentación correcta. Elaboración propia.....</i>	47
<i>Figura 33. A. Imagen capturada sistema implementado con escena incorrecta. B. Segmentación fallida. Elaboración propia.....</i>	47

Índice de tablas

Tabla 1. Consumo de comida por peso y etapa de los cerdos. Tomado de [11].	15
Tabla 2. Dispositivos utilizados en los diferentes módulos. <i>Elaboración propia.</i>	19
Tabla 3. Rango de las componentes RGB. <i>Elaboración propia.</i>	29
Tabla 4. Comparación entre Display de la balanza y Serial de Arduino. <i>Elaboración propia.</i>	32
Tabla 5. Lectura obtenida en el serial de Arduino. <i>Elaboración propia.</i>	35
Tabla 6. Pruebas de funcionamiento del motor. <i>Elaboración propia.</i>	36
Tabla 7. Actividades de investigación. <i>Elaboración propia.</i>	43

Índice de graficas

Grafica 1. Diferencia entre el valor real y serial de Arduino. Módulo de peso. <i>Elaboración propia.</i>	33
Grafica 2. Diferencia entre distancia real y serial de Arduino. Modulo de Altura. <i>Elaboración propia.</i>	35
Grafica 3. Diferencia entre vueltas con carga homogénea y vueltas con carga heterogénea. <i>Elaboración propia.</i>	36

1. Capítulo 1. Contexto

Una de las problemáticas de los pequeños porcicultores de la región del Sumapaz es la falta de la gestión y control de los procesos de producción, los cuales se realizan de forma manual y empírica. En esta cadena productiva uno de los aspectos más importantes es la alimentación de los cerdos especialmente en cuanto a la cantidad y frecuencia. Los porcicultores tienen escaso control de la información del proceso productivo, un bajo nivel tecnológico y poco apoyo al desarrollo e incorporación de estos procesos, debido principalmente a la baja transferencia de información, de tecnología y la falta de interés de los propietarios, adicional al crecimiento de las barreras comerciales que se presentan para llegar al consumidor final. Para los porcicultores contar con un prototipo industrial que permita el suministro de alimentos de forma automatizada, contribuirá a la optimización de la producción porcina.

La producción de carne porcina en Colombia es uno de los sectores productivos de mayor crecimiento en los últimos seis años, especialmente en el año 2016 en un 15%. Actualmente se presenta un consumo de diez kilos per cápita al año [1] debido a diferentes factores, uno de los más relevantes es la promoción y publicidad masiva al consumo de carne de cerdo y por el aumento de precios de la carne de res [2]. Adicionalmente se destaca la entrada en vigencia del Decreto 1500 de 2007, que reglamentó la cadena de producción de carnes dando tranquilidad y formalismo a la producción porcina, beneficiando así al consumidor actual, al porcicultor y a los comerciantes.

Hoy en día la producción en la región del Sumapaz se promueve el autoconsumo y la comercialización regional. Se debe aprovechar las contingencias nacionales el bajo precio de la carne de cerdo comparado con el incremento de precios en la producción de carne de res y de pollo, así como también el incremento de precio de la carne de cerdo en Estados Unidos y la Unión Europea [3] para promover la exportación porcina desde Colombia.

Con la puesta en marcha de este prototipo de automatización para la alimentación de cerdos, se busca reducir costos, tiempos y gastos, con una alimentación adecuada y en los tiempos recomendados para cada una de las etapas de crecimiento, obteniendo finalmente una excelente calidad en la producción porcina que permitirá ser reconocida a nivel nacional e internacional.

2. Capítulo 2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Desarrollar un prototipo industrial para el suministro automatizado de alimentos en la producción porcina en pie.

2.2. Objetivos específicos

- Analizar e identificar los requerimientos y restricciones del sistema de suministro de alimentos automatizado.
- Diseñar el sistema de alimentación porcina diferenciando cada uno de los módulos que lo componen.
- Implementar el sistema integrando cada uno de los módulos.
- Validar el sistema mediante pruebas de funcionamiento.

3. Capítulo 3. Marco de referencia

3.1. Estado del arte

A continuación, se pretende mostrar una parte del estado del arte, el documento completo se encuentra en anexos:/Anexos/Estadodelarte.

En los últimos años la carne de cerdo ha tenido una mejor aceptación en el mercado y de una manera considerable pese a los altos costos, el consumo se ha incrementado de forma exponencial según un boletín publicado por porkcolombia [4], en él se estima un consumo aparente (producción + importaciones) de 15 mil toneladas de las cuales el 86% lo aportó la producción nacional [5], así como el consumo de carne de cerdo promedio por persona ascendió a 8,6 kilogramos.

En la Figura 1 se presenta un diagrama de barras el cual muestra el consumo de carne de cerdo desde el año 2004 hasta el 2016 en kilogramos.

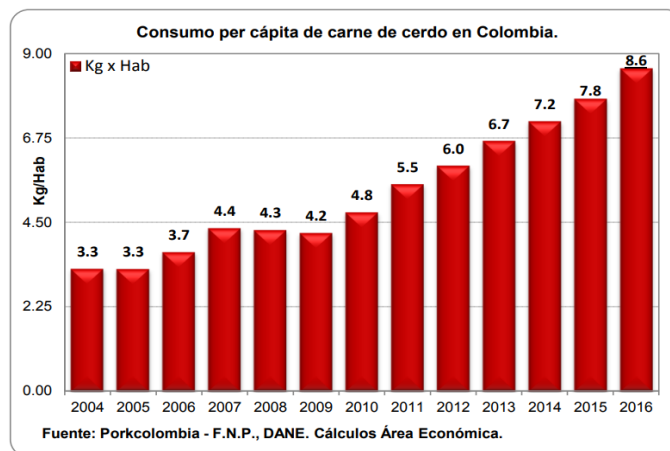


Figura 1. Consumo per cápita de carne de cerdo en Colombia, tomado de [5]

Para mejorar los índices de exportación y consumo de carne de cerdo los productores buscan modernizar las practicas sanitarias, de alimentación, tener animales de buena genética y proporcionarle al cerdo un ambiente adecuado durante el ciclo de vida del animal [6], la aplicación de la ingeniería permite la modernización de algunos de factores antes nombrados utilizando procesos de automatización y tecnología RFID.

Actualmente, en Colombia se ha incrementado el consumo de la carne de cerdo ya que es primordial en todas las etapas de la vida del ser humano porque aporta nutrientes que el cuerpo necesita dado que contiene grandes proteínas de alto valor biológico y aporta diversos minerales como potasio, fósforo, zinc y hierro, además que

es fuente de vitaminas del grupo B [7], para aprovechar los beneficios nombrados anteriormente se requiere que la carne de cerdo sea de buena calidad, el mercado de la carne de cerdo está demandando un producto exigido por el consumidor que reúna una serie de características o combinación de factores, como son: comestible, nutritivo y saludable, para que estas características se reúnan es necesario que el animal presente buenas condiciones de salud, hay diferentes tipos de enfermedades que afectan las condiciones de salud del cerdo en [8] hace énfasis en la enfermedad hereditaria llamada síndrome de estrés porcino que impide una buena la calidad de la carne de cerdo (“ Efecto del gen halotano sobre la calidad de carne porcina”), durante muchos años la carne de cerdo ha sido considerada como un alimento pesado, una carne grasosa, con un contenido muy alto de calorías y aun un alimento peligroso por su posible asociación con enfermedades y parásitos, por ello el afán del porcicultor y de la industria cárnica ha sido la de obtener un producto que minimice los riesgos para el consumidor haciendo énfasis en factores tales como la raza, la alimentación, edad.

En esta revisión de estado del arte se exponen los avances más recientes en técnicas para la alimentación saludable, manejo de estrés en cerdos y prácticas sanitarias eficientes que permitan el mejoramiento de la calidad de la carne, haciendo énfasis en documentos científicos novedosos en el tema. Los resultados encontrados muestran la importancia de desarrollar sistemas de control para el monitoreo de los índices de estrés, grasa entre otros, que permitan realizar una mejor conversión de carne con calidad. Estos desafíos se encaran con el desarrollo de herramientas computacionales, a partir de sistemas de control automático con el fin de mejorar la calidad de la carne de cerdo.

3.2. Fundamentos teóricos

3.2.1. Etapas de producción porcina

La alimentación eficiente de los cerdos es una de las prácticas más importantes en la producción porcina, ya que de ella depende no solo los rendimientos productivos de los cerdos, sino también la rentabilidad de la granja. La alimentación representa entre 80 a 85% de los costos totales de producción [9], Por esta razón es importante que el porcicultor conozca las etapas de producción (etapa de pre-cebo, etapa de levante, etapa de engorde y etapa de finalización), de esta manera permitir que el plan de alimentación se lleve a cabo eficientemente.

El objetivo principal es que los cerdos crezcan a un ritmo promedio 800 gramos por día, consuman en total un promedio de 223 Kg de alimento para que alcancen un peso promedio de venta de 103 Kg [10].

La cantidad de alimento necesaria en cada etapa de crecimiento (Consumo/etapa) durante el ciclo útil de cada cerdo, la ganancia de peso por día (GPD), el consumo de

alimento diario (Consumo/día) y el tiempo de duración de cada etapa (Días/etapa) se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Consumo de comida por peso y etapa de los cerdos. Tomado de [11].

Peso Kg	GPD	Consumo/día	Porción	Días/etapa	Consumo/etapa
12 – 25	520 g	1,2 kg	400 g	25	30 kg
26 – 50	600 g	1,8 kg	600 g	42	76 kg
51 – 75	750 g	2,6 kg	866 g	33	85 kg
76 – 100	800 g	3,0 kg	1000 g	31	93 kg

3.2.2. Placas de desarrollo

Una placa de desarrollo es un circuito impreso que contiene un microprocesador o microcontrolador, en el cual se posee la mínima lógica de soporte, esto para tener la capacidad de familiarizarse con la placa y cómo se programa. Hay muchos tipos de placas de desarrollo, estas difieren entre si a partir de su potencial y función principal [12]. En el caso de la placa *NodeMcu Lua v1.0*, que está orientada para el IoT (Internet of Things), permite la interconexión de objetos físicos (cosas) que llevan sensores integrados, software y otras tecnologías con el fin de conectar e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet [13].

3.2.3. Procesamiento de imágenes

Para procesar una imagen esta se puede considerar como un conjunto de puntos de colores, es decir, una sucesión coherente de puntos que conforman una matriz de información para el uso digital [14]. La información de esta matriz representa una función bidimensional $f(x, y)$ donde x e y son las coordenadas espaciales, y el valor de f en cualquier par de coordenadas (x, y) es la intensidad de la imagen en dicho punto [15]. Este tipo de matrices puede variar según el tipo de imagen con la que se cuenta, siendo entre las más populares el modelo de imagen RGB, la cual está compuesta por una matriz tridimensional de $[N \times M]$ posiciones, según la resolución de la imagen, y tomando valores entre 0 y 255.

La segmentación en procesamiento de imágenes consiste en alterar la información visual, para obtener mejores resultados o para aislar características particulares de la imagen, este está presente en aplicaciones industriales, ciencias médicas, biometría e identificación, agricultura, ganadería, como en otras tareas de distinta índole en la sociedad.

4. Capítulo 4. Metodología

4.1. Levantamiento de los requisitos del sistema

Identificación y documentación de los requerimientos de un sistema, a partir de los usuarios, clientes o interesados. Una descripción completa de requerimientos del sistema basada en el estándar ERS IEEE 830 se encuentra en los anexos: /Anexos/Requerimientos/.

4.1.1. Requerimientos Funcionales

Identificación del requerimiento:	RF01
Nombre del Requerimiento:	Registro de Usuario.
Características:	Los usuarios deben estar registrados para acceder a cualquier servicio del sistema.
Descripción del requerimiento:	El prototipo debe contar con una interfaz que permita registrar a los diferentes usuarios. El prototipo podrá ser utilizado por cualquier usuario dependiendo de los roles asignados a cada tipo de usuario.
Requerimiento NO funcional:	
Prioridad del requerimiento:	Alta

Identificación del requerimiento:	RF02
Nombre del Requerimiento:	Identificación.
Características:	Identificación de los usuarios clientes del prototipo.
Descripción del requerimiento:	La identificación debe realizarse por medio del procesamiento de imágenes. El sistema debe obtener los datos del color y consultar el requerimiento frecuencia de alimentación para proceder al requerimiento de control de peso, gestión de alimentación y control de talla.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none">• RNF01• RNF02
Prioridad del requerimiento:	

Alta

Identificación del requerimiento:	RF03
Nombre del Requerimiento:	Control de peso
Características:	Obtener el peso de los usuarios clientes de prototipo.
Descripción del requerimiento:	El peso debe obtenerse por medio de una báscula digital. El sistema debe obtener el peso y almacenarlo como un nuevo registro en la base de datos. El peso debe estar relacionado con el resultado de la identificación.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none">• RNF01• RNF02
Prioridad del requerimiento:	Alta

Identificación del requerimiento:	RF04
Nombre del Requerimiento:	Control de Altura.
Características:	Obtener la altura de los usuarios clientes de prototipo.
Descripción del requerimiento:	La altura debe obtenerse por medio de sensores electrónicos. El sistema debe obtener la altura y almacenarla como un nuevo registro en la base de datos. La altura debe estar relacionado con el resultado de la identificación.
Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none">• RNF01• RNF02
Prioridad del requerimiento:	Alta

Identificación del requerimiento:	RF05
Nombre del Requerimiento:	Gestión de Alimentación.
Características:	Suministro automatizado del alimento para los usuarios cliente del prototipo.
Descripción del requerimiento:	Proporciona automáticamente el alimento de forma racionada. Usuario Sistema.

Requerimiento NO funcional:	<ul style="list-style-type: none"> • RNF01 • RNF02 • RNF03
Prioridad del requerimiento: Alta	

Identificación del requerimiento:	RF06
Nombre del Requerimiento:	Almacenamiento de datos.
Características:	Contiene las variables definidas como requisito.
Descripción del requerimiento:	Permite a los usuarios sistema almacenar, consultar y actualizar en la base de datos la información de cada usuario cliente.
Requerimiento NO funcional:	
Prioridad del requerimiento: Alta	

4.1.2. Requerimientos No Funcionales

Identificación del requerimiento:	RNF01
Nombre del Requerimiento:	Verificación
Características:	Revisar el funcionamiento del prototipo.
Descripción del requerimiento:	El usuario administrador finca al hacer seguimiento del prototipo o al consultar la base de datos y detectar algo inusual puede manipular el prototipo para que tenga un correcto funcionamiento.
Prioridad del requerimiento: Alta	

Identificación del requerimiento:	RNF02
Nombre del Requerimiento:	Gestión del sistema
Características:	Realizar mantenimiento del prototipo cuando este lo requiera
Descripción del requerimiento:	El usuario administrador del sistema es el encargado del mantenimiento del hardware y software del prototipo y corregir alguna anomalía que presente en el sistema.

Prioridad del requerimiento: Alta

Identificación del requerimiento:	RNF03
Nombre del Requerimiento:	Suministro de alimento a tolvas.
Características:	Almacenamiento de alimento en tolva.
Descripción del requerimiento:	El usuario administrador finca es el encargado de llenar la tolva de almacenamiento con el alimento necesario, ya que si no hay el sistema no funcionara.
Prioridad del requerimiento: Alta	

4.2. Descripción general del prototipo

En el proyecto descrito a continuación se desarrolla un prototipo industrial para el suministro automatizado de alimentos en la producción porcina en pie de la región del Sumapaz.

4.2.1. Dispositivos utilizados

El desarrollo del prototipo incluye el uso de diferentes dispositivos que se listan a continuación. Una descripción más detallada de los mismos se hará en secciones posteriores.

Tabla 2. Dispositivos utilizados en los diferentes módulos. Elaboración propia.

Módulo	Dispositivo	Descripción
Identificación	Sensor de proximidad infrarrojo E18-D80NK	Detecta el ingreso de un cerdo al comedero. Llamado de ahora en adelante sensor de entrada.
	Cámara USB de alta resolución	Captura la imagen del cerdo.
	Raspberry pi 3B+	Realiza el procesamiento de la imagen y la identificación. Llamada de ahora en adelante Raspberry.
Alimentación	Placa de desarrollo Arduino Mega ADK	Procesa los datos y determina la cantidad de comida que debe ser suministrada. Llamado de ahora en adelante Arduino.
	Driver puente H	Controla y alimenta el motor.

	Motor DC 24 V y 83 RPM	Utilizado para controlar el giro del tornillo sin fin.
	Tornillo sin fin	Encargado de hacer que la comida llegue hasta el comedero de los cerdos.
Peso	Bascula de 300kg	Utilizada para capturar el peso del cerdo.
	Modulo conversor A/D HX711.	Realiza la comunicación entre la báscula y el Arduino.
	Arduino	Recibe y procesa el dato del peso obtenido de la báscula.
Medición	Sensor infrarrojo SHARP GP2Y0A21	Obtiene el valor análogo de la altura. Llamado de ahora en adelante sensor de altura.
	Arduino	Recibe y procesa el valor análogo del sensor de altura.
Envío de datos	Placa NodeMcu Lua v1.0 basada en el chip Wi-Fi Esp8286.	Se conecta a internet mediante Wi-Fi para realizar una comunicación con el sistema de información. Llamada de ahora en adelante placa NodeMcu.

4.2.2. Descripción del escenario

El escenario de implementación del prototipo es un corral adaptado con un armazón como se observa en la Figura 2. La estructura permite al cerdo el ingreso a la zona de alimentación. A continuación, se pretende identificar en el escenario la ubicación de los principales componentes del prototipo.



Figura 2. Estructura del prototipo. Elaboración propia. Software SketchUp.

En la Figura 3 se presenta el dispositivo encargado de transportar y dispensar la cantidad de alimento necesario. Una mayor descripción del dispositivo se encuentra en la sección **4.2.3**.

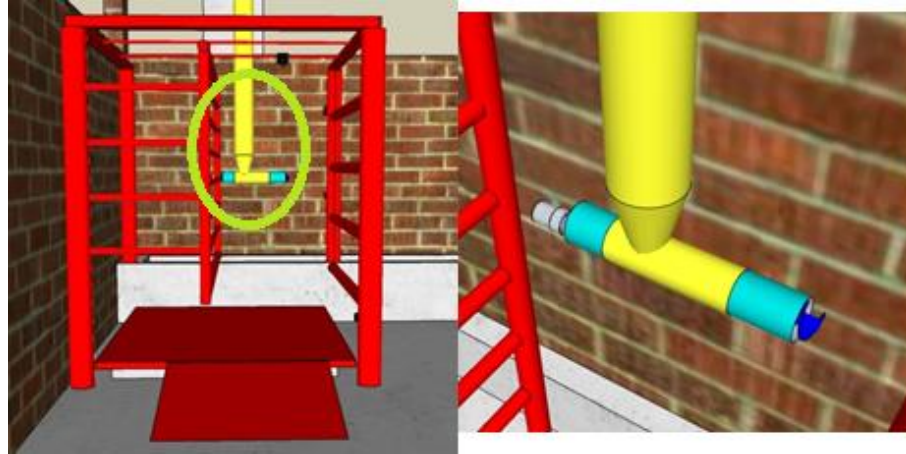


Figura 3. Dispositivo dispensador de alimento. Elaboración propia. Software SketchUp.

En la Figura 4 se presenta el sensor de entrada, encargado de mantener el sistema en espera hasta el momento en que un cerdo ingrese a la zona de alimentación y sea detectado por el sistema. Una mayor descripción del dispositivo se encuentra en la sección **4.2.4**.

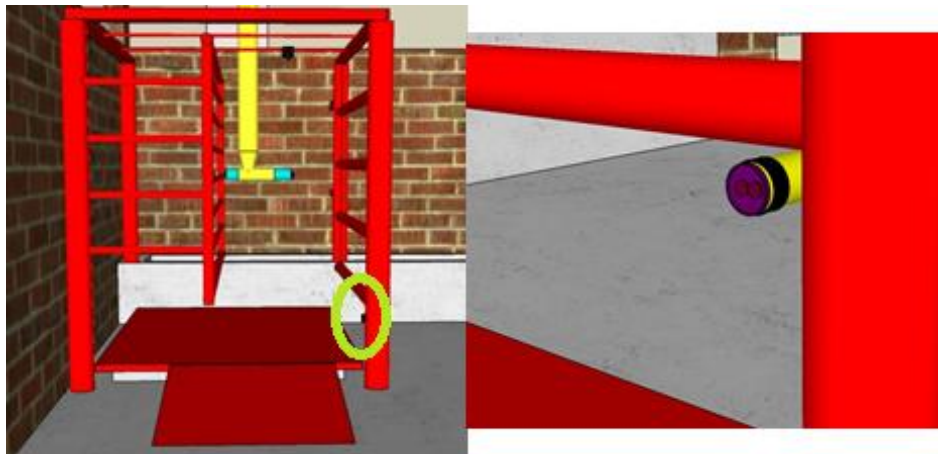


Figura 4. Sensor entrada. Elaboración propia. Software SketchUp.

La Figura 5 presenta el dispositivo de identificación, encargado de capturar la imagen y enviarla al sistema de procesamiento. Una mayor descripción del dispositivo se encuentra en la sección **4.2.4**.

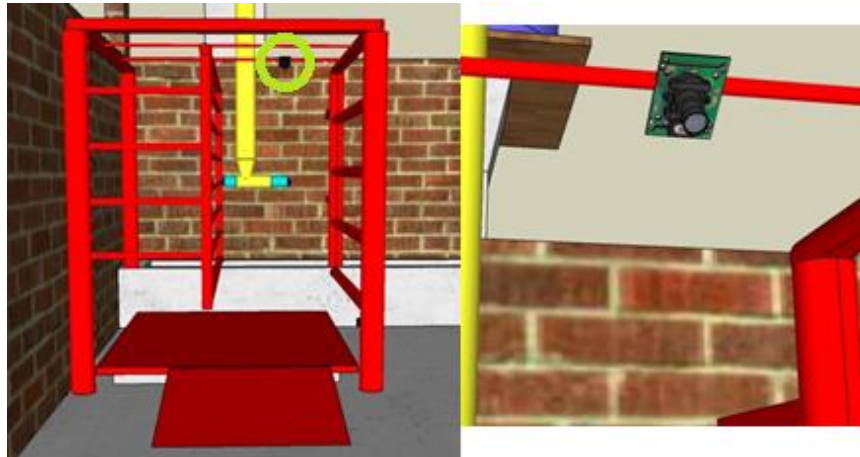


Figura 5. Cámara USB encargada de capturar la imagen. Elaboración propia. Software SketchUp.

La Figura 6 presenta el sensor de altura encargado de realizar la medición en el lomo del cerdo y de esta forma obtener su talla actual. Una mayor descripción del dispositivo se encuentra en la sección **4.2.2**.

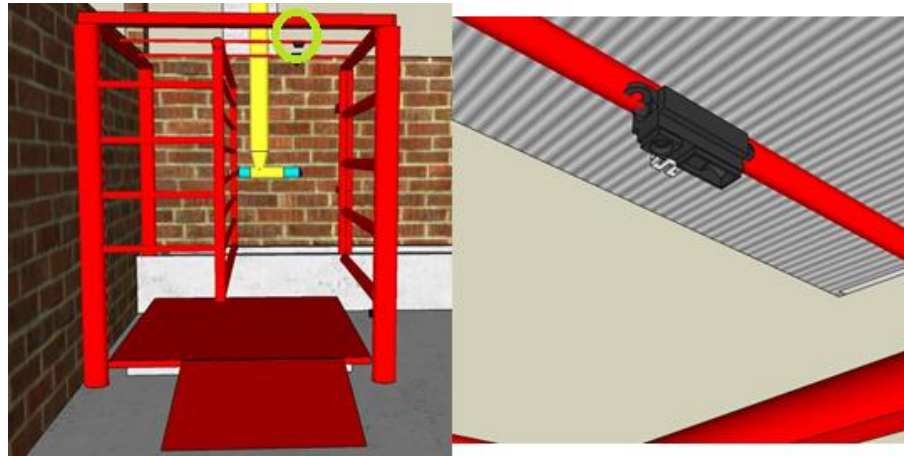


Figura 6. Sensor altura. Elaboración propia mediante el software SketchUp.

Por último, se encuentra la báscula adaptada a una plataforma como se observa en la Figura 7, esto con el propósito de hacer que el cerdo apoye todo su peso uniformemente y que la medición sea correcta. Una mayor descripción del dispositivo se encuentra en la sección **4.2.1**.

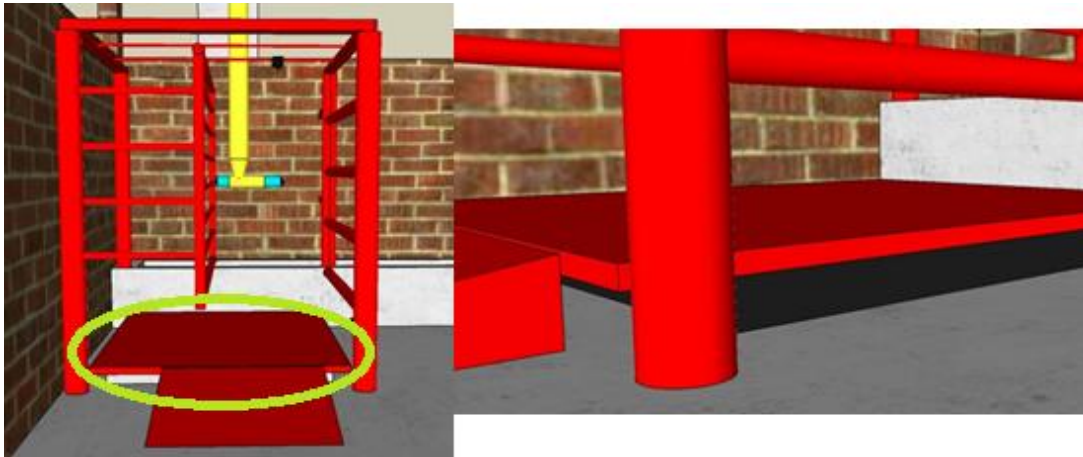


Figura 7. Báscula. Elaboración propia. Software SketchUp.

4.2.3. Funcionamiento del prototipo

Un diagrama de flujo del sistema se presenta en la Figura 8, el esquema hace referencia al funcionamiento general del prototipo. Cuando el sistema se enciende, se configuran todos los dispositivos; la placa NodeMcu se conecta a la red Wi-Fi, en la báscula se realiza el cálculo del peso inicial y se toma como peso de referencia (tara). En los demás dispositivos se asignan los parámetros necesarios para su funcionamiento, al finalizar la configuración, el sistema queda en estado de reposo, esperando ser activado por el ingreso de un cerdo a la zona de alimentación.

Si el sistema es activado, se realiza la identificación para determinar qué cerdo ingreso y saber si cumple las condiciones necesarias para poder suministrarle el alimento, si es así, se obtiene la altura, el peso y se determina qué cantidad de comida se debe suministrar; los datos mencionados anteriormente son enviados en conjunto a un sistema de información para ser procesados y expuestos desde una interfaz Web. Es necesario aclarar que el sistema de información hace parte de otra actividad dentro del desarrollo del prototipo, es por este motivo que en el presente trabajo no se detallan por menores al respecto.

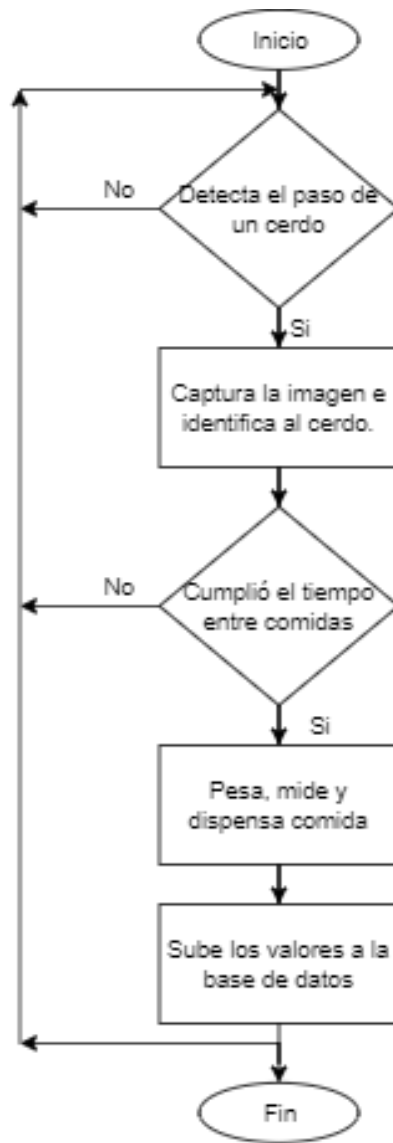


Figura 8. Diagrama de flujo del sistema. Elaboración propia.

Una vez realizado el envío de los datos, el sistema vuelve a quedar en reposo a la espera de realizar una nueva detección. La Figura 9 presenta las conexiones utilizadas entre todos los dispositivos, exceptuando la cámara USB, que va conectada a las Raspberry para poder capturar la imagen.

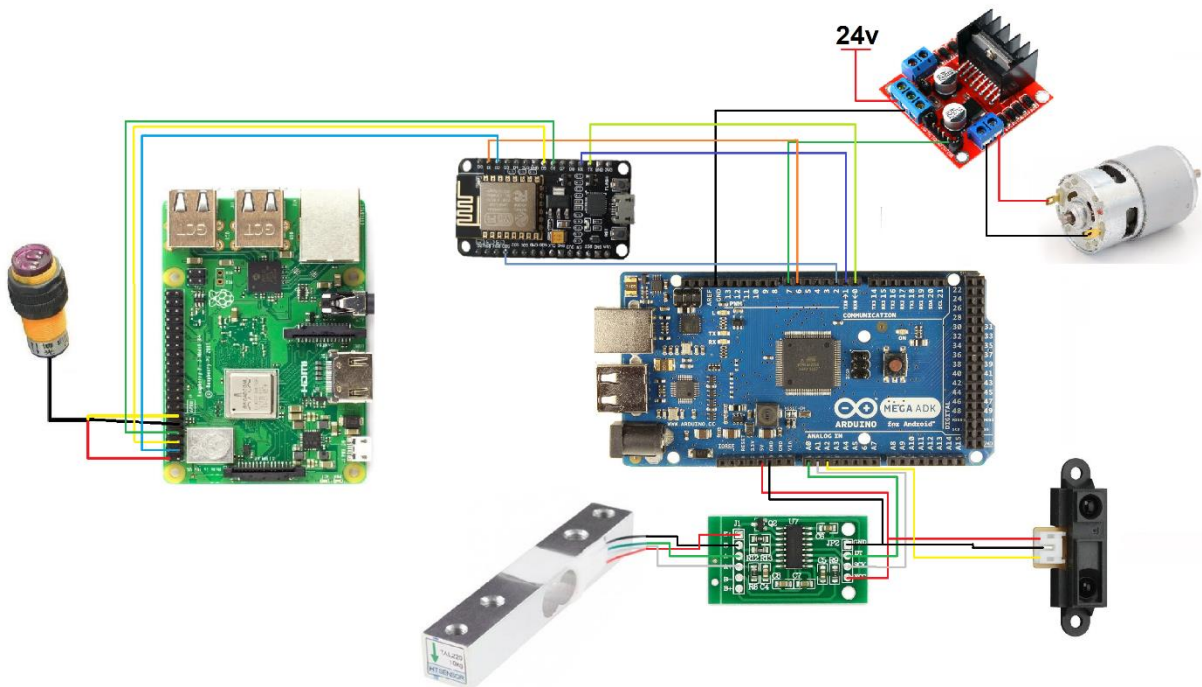


Figura 9. Conexiones entre todos los dispositivos. Tomada y modificada de [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22]

4.3. Modelos físicos y circuitales

4.3.1. Módulo de peso

Para realizar la adquisición del peso se usa una báscula electrónica con capacidad de hasta 300Kg. Este dispositivo carece de puerto para conexión, por lo tanto, fue necesario usar el módulo HX711 para adquirir los datos desde la conexión del display y así poder procesarlos mediante un Arduino. Las conexiones necesarias entre la báscula, el HX711 y el Arduino se presentan en la Figura 10.

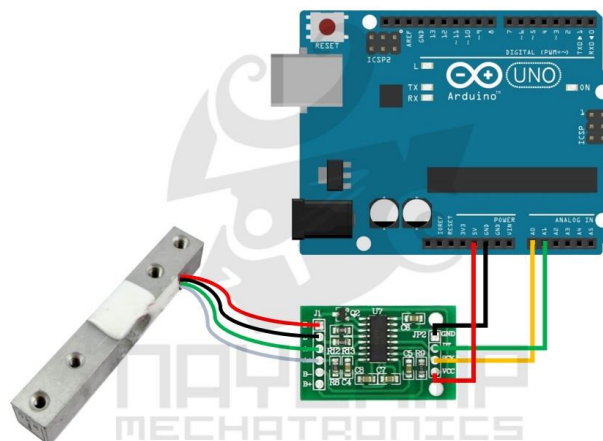


Figura 10. Conexiones entre báscula, HX711 y Arduino. Tomada de [16].

Las conexiones entre la báscula y el HX711 pueden variar dependiendo del tipo celda de carga que se use, esto debido a que no siempre estas tienen la misma configuración de colores de cables para alimentación y transmisión de datos. Para saber qué cables suponen alimentación y qué cables transmisión de datos es necesario seguir los siguientes pasos [23]:

- 1) Enumerar los cables del 1 al 4 al azar.
- 2) Se mide la resistencia existente entre el cable 1 y el resto de los cables. Por ejemplo:
 - a) Medición entre cable 1 y 2 = 288 Ω .
 - b) Medición entre cable 1 y 3 = 288 Ω .
 - c) Medición entre cable 1 y 4 = 400 Ω .
- 3) De las tres mediciones tomadas 2 serán muy similares o iguales (opción a y b) y una mayor (opción c). La medición mayor nos dice que esos dos cables son un par (cables 1 y 4 de ahora en adelante llamados par 1) y los dos cables restantes serán el otro par (cables 2 y 3 de ahora en adelante llamados par 2).
- 4) A continuación, se miden las resistencias entre los cables que componen cada par. Suponiendo que la medición del par 2 de como resultado 350 ohm, se dice que el par 1 es el par de alimentación, debido a que tiene una resistencia más alta (400 Ω) y el par 2 es el par de transmisión de datos.

4.3.2. Módulo de altura

Para lograr la medición de la altura se usó un sensor tipo SHARP que tiene un rango de medida de 10 a 80 cm aproximadamente. Dicho sensor consta de tres terminales que son Vcc o alimentación, Gnd o tierra y una señal de salida de tipo análoga que cambia dependiendo de la distancia que se mida.

Para obtener y procesar los datos del sensor de altura se usó un Arduino. Las conexiones necesarias se muestran en la Figura 11.

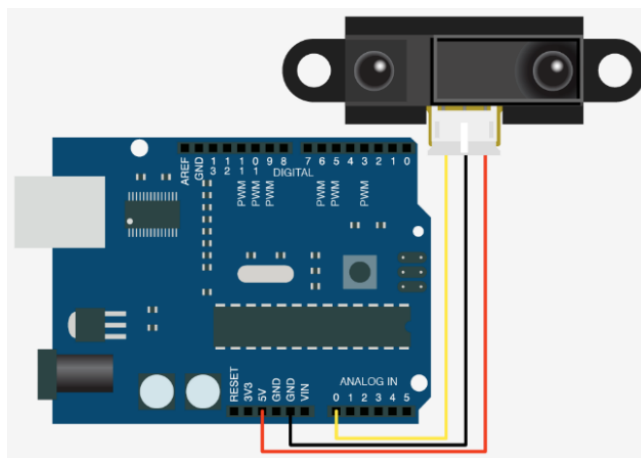


Figura 11. Conexiones entre el Arduino y el sensor SHARP. Tomado de [17].

4.3.3. Módulo de alimentación

Para realizar el suministro de alimento se construyó una estructura metálica de 3m de altura como la presentada en la Figura 12. El objetivo es ubicar allí un tanque para almacenar la comida y que descienda por gravedad dentro de un tubo de 3" hasta llegar al dispositivo encargado del control y suministro del alimento.



Figura 12. Estructura módulo alimentación. Almacenamiento del alimento. Elaboración propia.

Para el control y suministro del alimento, se construyó un mecanismo similar al presentado en la figura 13. Está compuesto por 3 elementos, un tornillo sin fin (1) unido mediante un acoplamiento elástico (2) a un motor DC de 24V (3) que trabaja a 83 RPM sin carga, su objetivo es dispensar la cantidad exacta de comida.



Figura 13. Mecanismo control y suministro alimento. Elaboración propia.

Los complementos al sistema de control y suministro del alimento se presentan en la Figura 14, se describe el mecanismo en tres secciones principales, sección 1, está compuesta por un tubo de 3" conectado al tanque que almacena el alimento. Sección 2, integra el tornillo sin fin encargado de transportar el alimento. Sección 3, dispensa el alimento al comedero del cerdo.

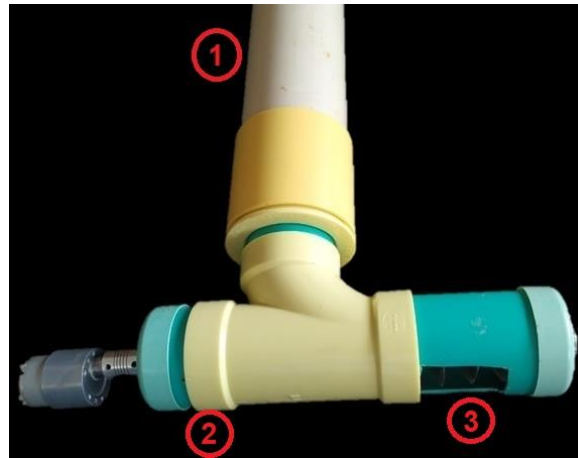


Figura 14. Estructura completa del dispensador de alimento. Elaboración propia.

Las conexiones necesarias entre el Arduino, el puente H y el motor de acople del sistema se presentan en la Figura 15. El objetivo es que el tornillo sin fin gire durante un tiempo determinado y la comida que va quedando almacenada en sus espiras se transporte hasta caer en el comedero de los cerdos.

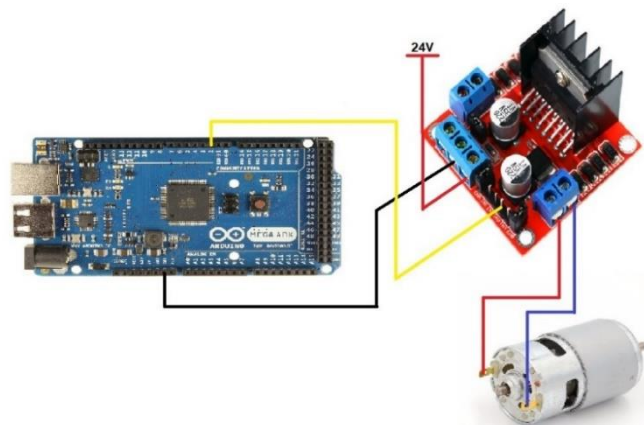


Figura 15. Arduino, driver y motor. Tomado y modificado de [18], [19] y [20].

4.3.4. Módulo de identificación

El proceso de identificación de los cerdos se realizó por medio de procesamiento de imágenes. El proceso inicia con la activación del sensor de entrada, el cual tiene una distancia de detección de 3 a 80 cm que puede ser regulada según la necesidad. Para el caso se ajustó a una distancia de 70 cm. El objetivo de este sensor es enviar un pulso cuando pasa algún cerdo por la zona de alimentación, este sensor está conectado a la Raspberry mediante uno de los pines GPIO como se observa en la Figura 16.

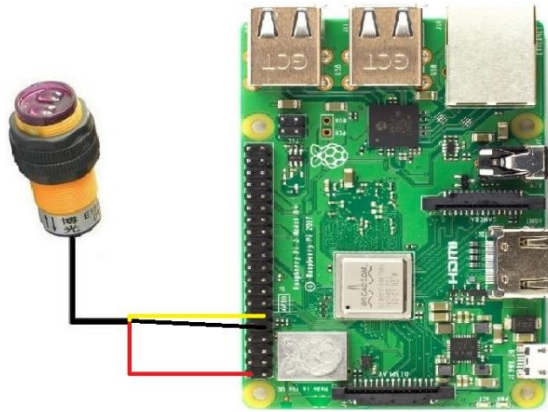


Figura 16. Sensor infrarrojo a Raspberry. Tomado y modificado de [21] y [22].

El procesamiento de la imagen se realiza en la Raspberry y se captura mediante una cámara conectada por USB al dispositivo, el cual está programado para procesar por medio de técnicas de segmentación en espacio de color RGB e identificar el objeto presente en la imagen, en este caso se utilizaron 3 objetos de diferente color (amarillo, verde, azul).

Para poder identificar el color del objeto presente en la imagen es necesario saber el valor de las componentes RGB de este, para esto se procedió a capturar la imagen en una escena similar a la que se encuentra en el lugar donde se implementará el prototipo, de esta manera se obtienen los rangos adecuados de cada componente (rojo, verde, azul) presentados en la Tabla 3.

Tabla 3. Rango de las componentes RGB. Elaboración propia.

OBJETO	RANGO DE COMPONENTES (RGB)		
	R	G	B
Amarillo	130-255	130-255	0-80
Verde	0-60	120-255	0-90
Azul	0-90	0-80	110-255

4.3.5. Módulo de envío de datos

Ya con todos los módulos descritos en funcionamiento se procede a registrar los datos en un servidor de bases de datos, para lograr esto es necesario usar un dispositivo que facilite la conexión a internet, en este caso se usa la placa NodeMcu.

El módulo de envío de datos tiene dos instancias de operación, la primera, el envío para el registro en la base de datos de las variables. Los valores adquiridos en los módulos anteriores: peso, altura, cantidad de alimento e identificación, llegan a la placa NodeMcu y esta facilita su envío al sistema de información encargado de registrarlos en la base de datos. En el caso del Arduino se usa la comunicación serial que consiste en conectar el pin Tx del Arduino con el pin Rx de la NodeMcu y viceversa y además acoplar las tierras de las dos placas. La segunda instancia es la identificación, en este proceso la Raspberry es la encargada de procesar y pasar los datos. Cuando se realiza la identificación se envía un pulso a la placa NodeMcu y, dependiendo de qué pin se active se sabe qué cerdo fue identificado, para esto, se utiliza la comunicación mediante los puertos GPIO. Las conexiones necesarias para la configuración del módulo transmisor se presentan en la Figura 17.

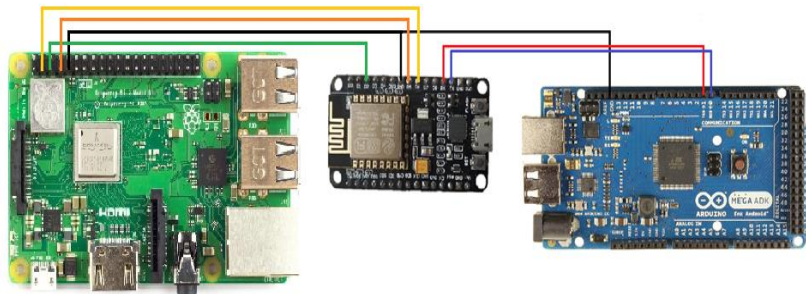


Figura 17. Arduino y placa NodeMcu, Raspberry y placa NodeMcu. Tomado y modificado de [18] y [21].

4.4. Pruebas funcionales

4.4.1. Módulo de peso

Para extraer los datos de la báscula es necesario caracterizarla ya que todas las celdas de carga son diferentes. La caracterización se realiza mediante un procedimiento descrito en el diagrama de flujo presentado en la Figura 18. Teniendo un peso de referencia comprobado “Peso real”, se procede a poner el mismo peso sobre la báscula la cual arroja un valor de “Lectura”, aplicando la ecuación (1) a los valores antes mencionados se obtiene la “Escala”.

$$Escala = \frac{Lectura}{Peso\ real} \quad (1)$$

Ecuación 1. Caracterización de la celda de carga. Tomado de [16].

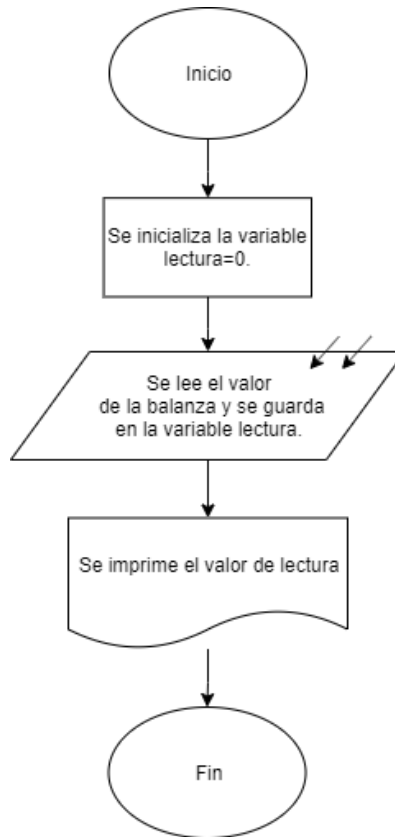


Figura 18. Flujo caracterización de la báscula. Elaboración propia.

Con el valor de “Escala” ya se puede deducir el peso final. Un diagrama de flujo del proceso se presenta en la Figura 19, la codificación del diagrama se realiza en un script de Arduino adjunto en anexos:/Anexos/Script/Peso. Para evidenciar el correcto funcionamiento del proceso se realizaron once (11) pruebas con pesos diferentes, para cada prueba se tomaron dos valores, un valor real obtenido desde el display de la balanza y un valor desde el serial del Arduino, los resultados se presentan en la Tabla 4.

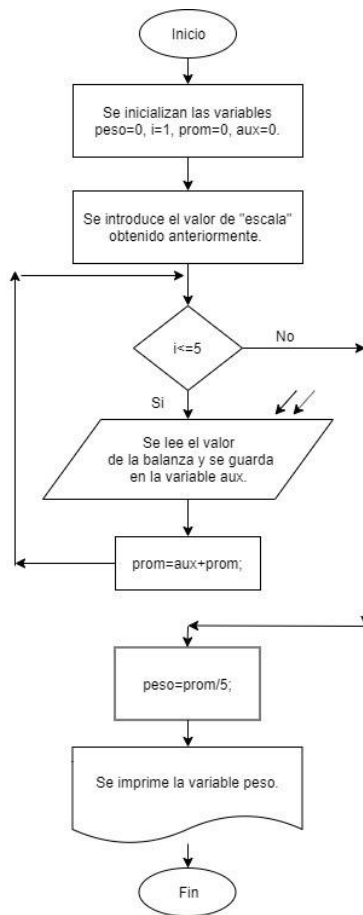
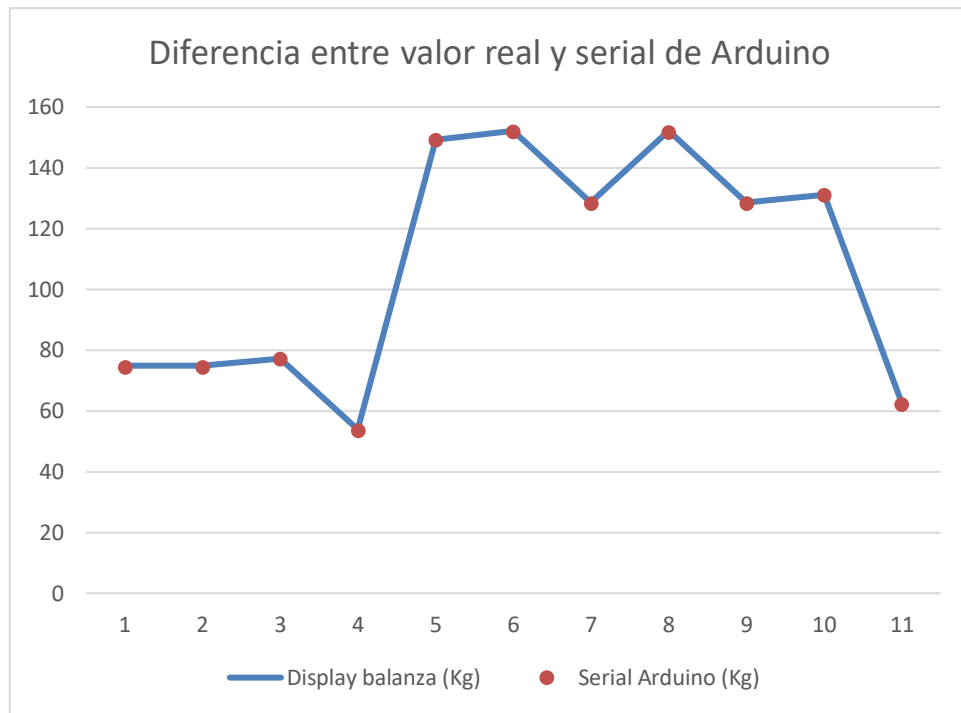


Figura 19. Flujo proceso de pesado. Elaboración propia.

Tabla 4. Comparación entre Display de la balanza y Serial de Arduino. Elaboración propia.

	Display balanza (Kg)	Serial Arduino (Kg)
1	74.8	74.38
2	74.9	74.45
3	77.3	77.11
4	53.9	53.53
5	149.30	149.07
6	152.15	151.76
7	128.5	128.21
8	152.1	151.69
9	128.55	128.18
10	131.2	130.96
11	62.6	62.11
Total	1185.3	1181.45

La Grafica 1 muestra la comparación entre el Display de la balanza el cual obtiene el valor real de peso y el valor obtenido por el sistema mediante el serial del Arduino.



Grafica 1. Diferencia entre el valor real y serial de Arduino. Módulo de peso. Elaboración propia.

De la Tabla 4 se puede obtener el porcentaje de error y la diferencia total de 11 muestras entre el valor real (Display balanza) y el valor tomado con el serial del Arduino. El porcentaje de error se obtuvo aplicando la ecuación (2) a los valores antes mencionados.

$$\%error = \frac{|Valor\ real - Valor\ aproximado|}{Valor\ real} * 100 \quad (2)$$

Ecuación 2. Porcentaje de error. Tomada de [24].

$$\%error = \frac{|1185.3 - 1181.45|}{1185.3} * 100 = 0.3248$$

Al comparar los resultados en la muestra de 11 mediciones, se obtiene un porcentaje de error del 0.3248% y una diferencia total aproximada de 3.85 Kg. A pesar de las pocas muestras se considera un valor bajo en porcentaje de error y diferencia total.

4.4.2. Módulo de altura

Para obtener y procesar los datos del sensor altura se diseñó un proceso similar al diagrama de flujo presentado en la Figura 20, la codificación del diagrama se realiza en un script de Arduino adjunto en anexos:/Anexos/Script/Altura. El proceso inicia con la lectura de valores análogos para luego, aplicando la fórmula (3), convertir dichos valores a distancias en centímetros.

$$Distancia = 7569.7 * (Lectura\ an\ analoga)^{-1.2062} \quad (3)$$

Ecuación 3. Lectura en cm del sensor de altura. Tomada de [25].

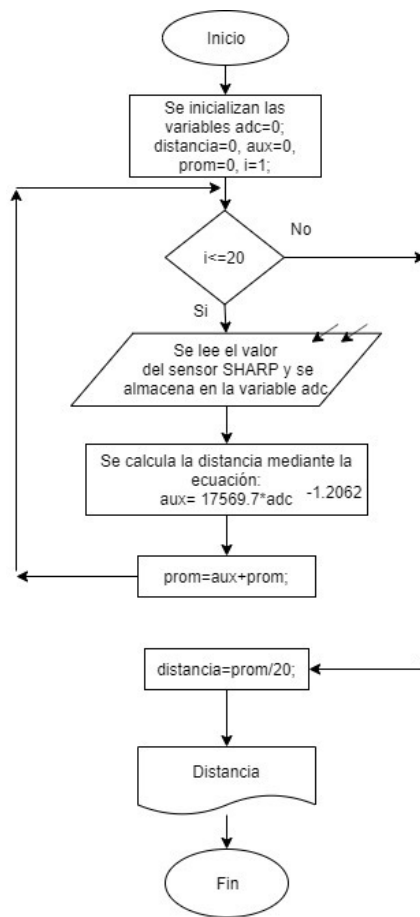


Figura 20. Flujo adquisición de la altura. Elaboración propia.

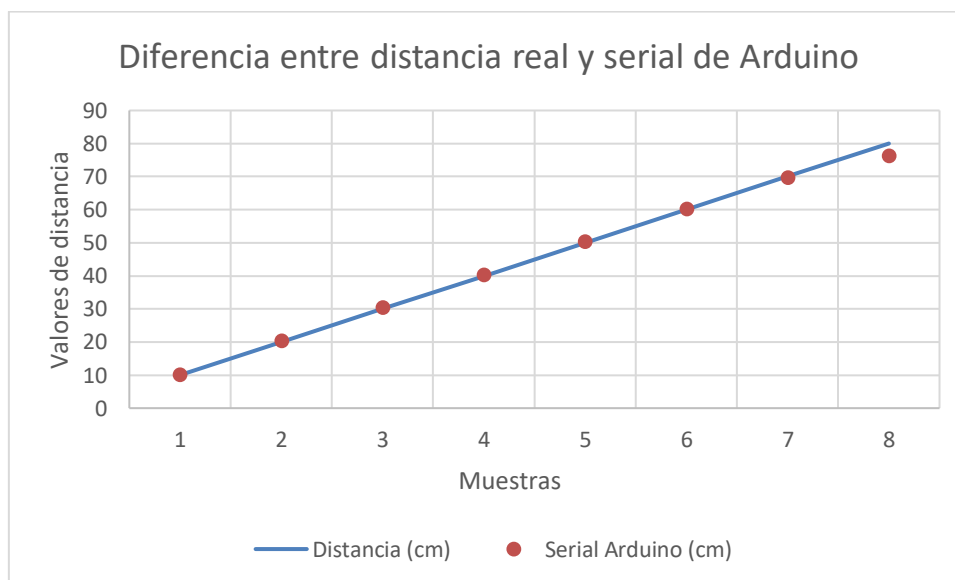
Para evidenciar el correcto funcionamiento del proceso se realizaron ocho (8) pruebas con alturas diferentes, para cada prueba se tomaron dos valores, un valor real obtenido

por medición manual y un valor desde el serial del Arduino, los resultados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Lectura obtenida en el serial de Arduino. Elaboración propia.

	Distancia (cm)	Serial Arduino (cm)	Porcentaje de error (%)
1	10	9,98	0,2
2	20	20,24	1,2
3	30	30,34	1,1333333
4	40	40,23	0,575
5	50	50,33	0,66
6	60	60,22	0,366666
7	70	69,67	0,471428571
8	80	76,23	4,7125

La Grafica 2 muestra la comparación entre los datos de distancia reales versus los datos adquiridos con el sensor de altura mediante Arduino.



Grafica 2. Diferencia entre distancia real y serial de Arduino. Modulo de Altura. Elaboración propia.

En la Tabla 5 los datos 1 y 8 representan los límites de funcionamiento del sensor [26], esto causa que la lectura sea inestable y, por lo tanto, no se tendrán en cuenta en el análisis. Además, se evidencia que la diferencia de lectura en las demás medidas es similar, no obstante, el porcentaje de error mayor está presente en el dato 2, debido a que este representa la muestra más pequeña en la prueba realizada, por esta razón

se obtiene un error máximo en el dispositivo de 1.2%, el cual va disminuyendo a medida que el tamaño de la muestra aumenta.

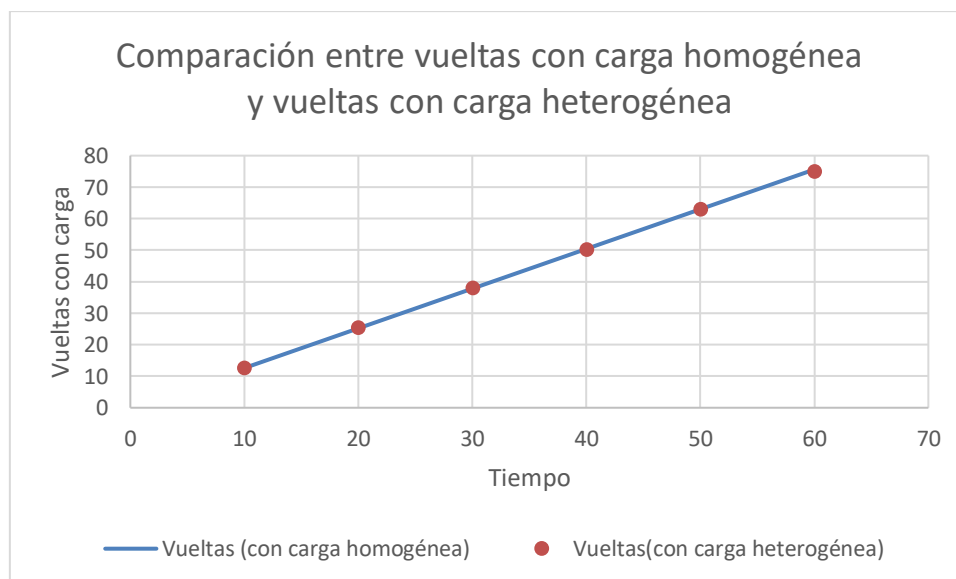
4.4.3. Módulo de alimentación

Se inicia caracterizando el funcionamiento del motor, las pruebas consistieron en variaciones del tiempo en funcionamiento con el objetivo de validar la linealidad de su operación. Los resultados de esta prueba se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Pruebas de funcionamiento del motor. Elaboración propia.

Alimentación a 24v	Tiempo(seg)	Vueltas(sin carga)	Vueltas (con carga homogénea)	Vueltas(con carga heterogénea)
83,1 RPM	10	13,85	12,6	12,6
	20	27,7	25,2	25,37
	30	41,55	37,8	38,07
	40	55,4	50,4	50,25
	50	69,25	63	62,9
	60	83,1	75,6	75
Total	210	290,85	264,6	264,19

La grafica 3 presenta los resultados de la comparación entre las vueltas que puede dar el motor con una carga homogénea versus con carga heterogénea.



Grafica 3. Diferencia entre vueltas con carga homogénea y vueltas con carga heterogénea. Elaboración propia.

La prueba está condicionada por el tiempo que dura encendido el motor; se evidencia que cuando el dispositivo está sin carga, la cantidad vueltas que puede dar aumentan en razón de 13.85 vueltas proporcionalmente con respecto al tiempo en funcionamiento. Debido a la irregularidad en el tamaño de los granos del alimento para los cerdos, cuando el dispositivo está con carga la cantidad de vueltas son menores y principalmente se pierde la proporcionalidad en consecuencia de la disminución de su velocidad y el aumento del torque para no detenerse por atascos con alimento. Debido a la pérdida de proporcionalidad se presenta un error de 0.155% entre la cantidad de vueltas totales del motor con una carga homogénea versus el caso de alimentos con volúmenes diferentes.

El cálculo del tiempo necesario para dispensar la cantidad de alimento se realizó por medio de la ecuación (4):

$$tiempo\ necesario = \frac{cantidad\ de\ alimento\ necesaria * tiempo\ calculado}{cantidad\ calculada} \quad (4)$$

Ecuación 4. Tiempo necesario para dispensar el alimento. Elaboración propia.

La variable “tiempo calculado” es el tiempo conocido que tarda el dispositivo en dejar caer una cantidad de comida determinada llamada “cantidad calculada”. La “cantidad de comida necesaria” se obtiene de la Tabla 1 y está dada por la porción que indica según el peso que tiene el cerdo.

Para el encendido del motor y el tiempo de funcionamiento necesario según sea el caso, se diseñó un proceso similar al diagrama de flujo presentado en la Figura 21, la codificación del diagrama se realiza en un script de Arduino adjunto en anexos:/Anexos/Script/Alimento. En la primera fase se obtiene el peso del cerdo mediante el módulo de peso, luego se determina la “cantidad de alimento necesaria”, en consecuencia, se calcula el “tiempo necesario” de encendido del motor mediante la ecuación 4 y por último se enciende el motor durante dicho tiempo.

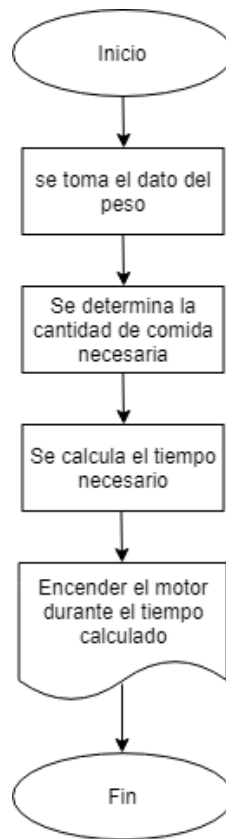


Figura 21. Flujo dispensario de alimento. Elaboración propia.

4.4.4. Módulo de identificación

Para la identificación de los cerdos se diseñó un proceso similar al diagrama de flujo presentado en la Figura 22, la codificación del diagrama se realiza en un script de NetBeans en lenguaje Java adjunto en anexos:/Anexos/Script/Identificación. El módulo inicia su funcionalidad mediante la activación del sensor de entrada y en las siguientes fases se captura la imagen y se procesa.

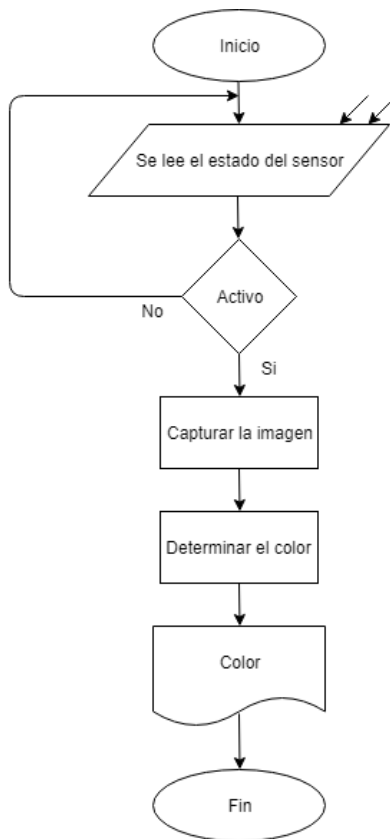


Figura 22. Flujo para la identificación. Elaboración propia.

Para la ejecución de este proceso se ubicó un objeto a alzar, de los mencionados anteriormente, se hizo una interrupción al sensor y se capturó la imagen para ser procesada por la Raspberry, los resultados obtenidos de la segmentación se pueden observar en la Figura 23.



Figura 23. A. Imagen capturada. B. Imagen segmentada. Elaboración propia.

En este caso la identificación fue correcta, esto gracias a que anteriormente se obtuvo el rango correcto de las componentes de cada objeto. Se observó que cuando la iluminación de la escena disminuye notoriamente los valores de las componentes RGB presentes en la imagen son distintas y se produce una segmentación inadecuada como se evidencia en la Figura 24, generando una identificación errónea, por esta razón es necesario adecuar la escena para que tenga unas mínimas condiciones de iluminación constante y de esta forma asegurar que los valores de las componentes RGB se encuentren siempre en los rangos obtenidos anteriormente.

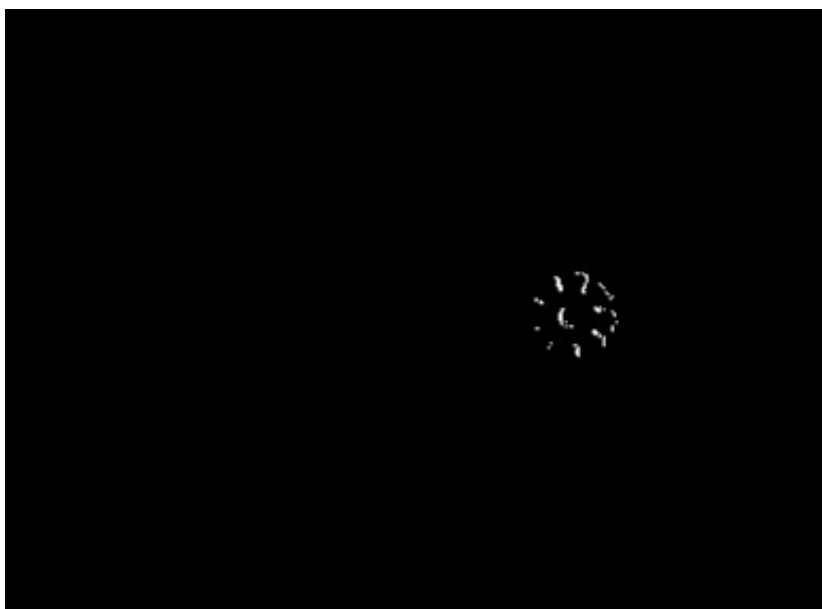


Figura 24. Segmentación inadecuada. Elaboración propia.

4.4.5. Módulo de envío de datos

El envío de los datos obtenidos en los diferentes módulos se realiza en un proceso similar al diagrama de flujo presentado en la Figura 25, la codificación del diagrama se realiza en un script de Arduino adjunto en anexos:/Anexos/Script/EnvDatos, basado en las funcionalidades de la placa NodeMcu.

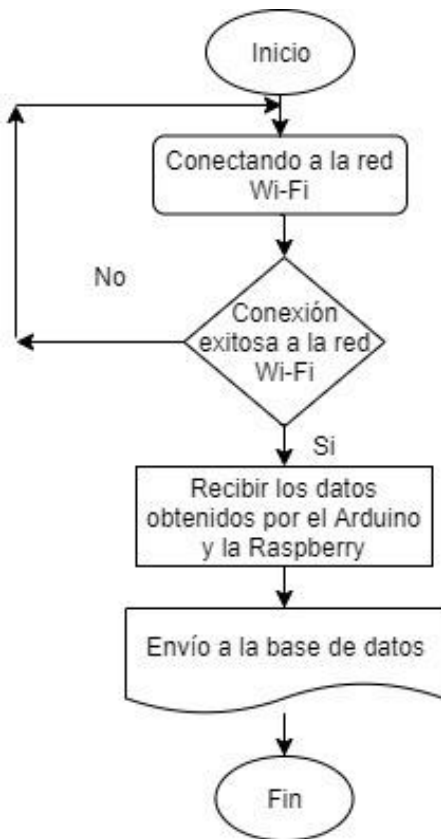


Figura 25. Flujo para el envío de datos. Elaboración propia.

La primera fase inicia conectándose a una red de tecnología Wi-Fi, para ello es necesario conocer el SSID y la contraseña de la red. En la fase siguiente, los módulos anteriormente descritos pasan todos los valores de sus respectivas variables a la placa. Para finalizar se procede a enviar por petición GET los valores al sistema de información. La información se envía en un solo paquete de datos recopilados y ya en el sistema de información se almacenan en la base de datos respectiva para que luego puedan ser visualizados por medio de una interfaz web. Mientras la NodeMcu pueda conectarse a la red y exista una conexión a internet estable, el envío de los valores a la base de datos será exitoso como se evidencia en la Figura 26.

```
.....
WiFi conectado
Dirección IP:
192.168.1.79
Conectando a projectpig2019.webcindario.com
Solicitando URL: /back.php
HTTP/1.1 200 OK
Server: nginx
Date: Thu, 03 Oct 2019 01:53:21 GMT
Content-Type: text/html; charset=UTF-8
Transfer-Encoding: chunked
Connection: close
Vary: Accept-Encoding
Set-Cookie: __muid=e4d6dal2dbbd0fffodd1853e948ccacaf91c32e1; Domain=.webcindario.com; Path=/; Expires=Tue, 19 Jan 2038 03:14:11 GMT; HttpOnly
X-Powered-By: Webcindario Hosting Service

42

id cerdo: 2
Dato peso: 65
Dato altura: 35
Dato alimento: 635

d
fue enviado.
0
```

Figura 26. Envío de los datos al sistema de información. Elaboración propia.

5. Capítulo 5. Plan de trabajo y Análisis de resultados

5.1. Plan de trabajo

De conformidad con lo aprobado por la dirección de investigaciones de la Universidad de Cundinamarca y sus modalidades de trabajo de grado definidas dentro del reglamento estudiantil, se desarrolló la presente investigación bajo la modalidad de Auxiliar de investigación, firmando bajo cumplimiento el desarrollo de las actividades a continuación estipuladas en la tabla 7.

Tabla 7. Actividades de investigación. Elaboración propia.

#	Actividad	Entregables/productos	Objetivo del proyecto relacionado	Cumplido
1	Desarrollar el análisis del estado en la automatización de los sistemas de suministro de alimentos.	Informe sobre la revisión de las técnicas utilizadas para la identificación de sistemas de suministro de alimentos.	Revisión del estado del arte	Si, se evidencia en un documento adjunto en anexos:/Anexos/Estadodelarte.
2	Realizar un estudio de campo para identificar las variables del sistema y sus restricciones.	Estudio de campo	Analizar los requerimientos y restricciones del sistema automatizado para la automatización de suministro de alimentos.	Si, se evidencia en un documento adjunto en anexos:/Anexos/Estudiodecampo
3	Identificar los requerimientos de diseño, funcionalidad, requisitos técnicos y tecnológicos.	Documento que contiene las especificaciones de los requisitos del sistema según el estándar de IEEE 830		Si, se evidencia en un documento adjunto en anexos:/Anexos/Requerimientos
4	Identificar los módulos que componen el sistema.			
5	Establecer las características de cada módulo.			
6	Diseñar el módulo de control con base a los requerimientos de usuario.	Documento que contiene el diseño físico, lógico y circuital del sistema.	Diseñar el sistema de alimentación porcina	Si, se evidencia en la sección 4.3
7	Diseñar la instrumentación y configuración del módulo control.	Documento que contiene la instrumentación y configuración de cada módulo.	diferenciando cada uno de los módulos que lo componen.	Si, se evidencia en la sección 4.4
8	Implementar el módulo de control.	Módulos implementados	Implementar el sistema integrando	Si, se evidencia en la sección 5.2

9	Realizar la implementación del sistema mediante la integración de cada uno de los módulos.	Sistema implementado con cada uno de sus módulos.	cada uno de los módulos.	
10	Realización de los informes finales del proyecto.	Informe final del auxiliar de investigación	Documentación de los resultados	Si, se evidencia con el presente documento
11	Redacción de un artículo científico para sometimiento en revistas.	Artículo científico con los resultados obtenidos en el proyecto		Con la información presentada, los investigadores encargados están redactando el artículo. Responsable Taha Ahmadi
12	Presentar una ponencia de los resultados preliminares en un evento científico	Desarrollo de una ponencia en un evento nacional	Entrega y socialización de resultados	Si, se evidencia en un documento adjunto en anexos:/Anexos/Ponencia

5.2. Resultados

El escenario real donde se implementó el prototipo se presenta en la Figura 27, este es un corral ubicado en la granja La Esperanza de la Universidad de Cundinamarca, una mayor descripción de dicha ubicación se encuentra adjunto en anexos:/Anexos/EstudioCampo. A continuación, se pretende evidenciar la implementación de cada uno de los dispositivos y su ubicación en el escenario.



Figura 27. Estructura física del prototipo. Elaboración propia.

La ubicación del dispositivo de alimentación se presenta en la Figura 28, esta es diferente a la ubicación del modelo 3D de la Figura 2 debido a diversos factores que dificultaron su instalación en el mismo lugar, por esta razón, la ubicación de los demás dispositivos también se vio afectada. Sin embargo, estos cambios no afectan el funcionamiento del prototipo.



Figura 28. Dispositivo físico dispensador de alimento. Elaboración propia.

La ubicación del sensor de entrada se presenta en la Figura 29, la posición es ideal para el correcto funcionamiento del mismo y asegura que active el sistema cuando detecte el ingreso de un cerdo a la zona de alimentación.



Figura 29. Dispositivo físico sensor de entrada. Elaboración propia.

La ubicación del sensor de altura y el dispositivo de identificación se presenta en la Figura 30, asegurando que los rangos de funcionamiento del sensor fueran correctos, de igual forma que la apertura focal de la cámara garantice la captura de una imagen adecuada para una identificación correcta.



Figura 30. Dispositivos físicos sensor de altura y cámara USB. Elaboración propia.

La ubicación de la báscula se presenta en la Figura 31. Se observa la plataforma adaptada para asegurar que el cerdo apoya su peso de forma uniforme sobre ella.



Figura 31. Dispositivo físico báscula. Elaboración propia.

Para lograr evidenciar el funcionamiento del prototipo se realizó una prueba con los diferentes módulos físicos ya implementados, del módulo de identificación se obtuvo la imagen presentada en la Figura 32.



Figura 32. A. Imagen capturada sistema implementado con escena adecuada. B. Segmentación correcta. Elaboración propia.

La imagen de la Figura 32.A presenta una captura con una iluminación óptima en la escena, en la Figura 32.B se observa que se realiza la segmentación y, por ende, la identificación correctamente.

Por otra parte, en la Figura 33 se presenta una prueba realizada con una iluminación baja en la cual no se obtiene segmentación alguna, es decir, no se identifica ningún cerdo.

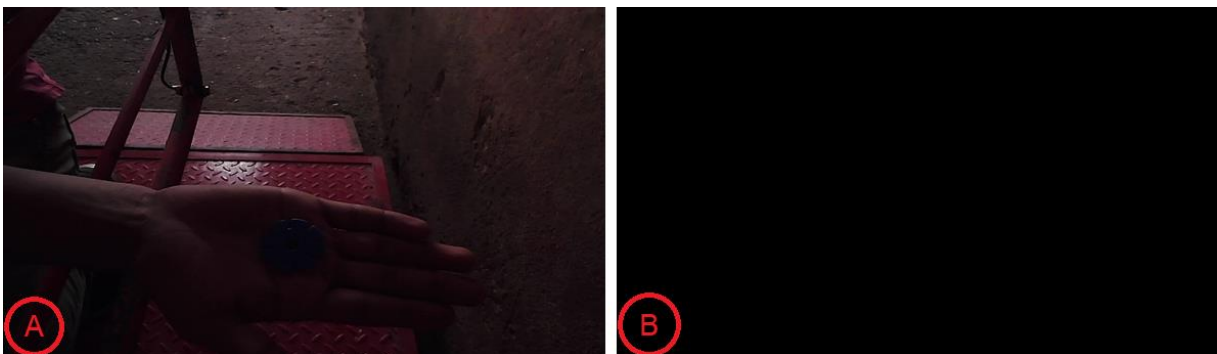


Figura 33. A. Imagen capturada sistema implementado con escena incorrecta. B. Segmentación fallida. Elaboración propia.

Una prueba más detallada del funcionamiento del sistema se presenta en el Anexo adjunto en anexos:/Anexos/Videos, donde se muestra un video con el funcionamiento y explicación del sistema.

6. Capítulo 6. Problemas y Trabajos futuros

Uno de los inconvenientes más relevantes presentados durante el desarrollo del prototipo, fue en el módulo de identificación para el que, en un principio, se pensó utilizar la tecnología RFID, pero al momento de realizar pruebas con esta tecnología se encontró que el rango de lectura entre el Tag y el lector era muy corto de 5-7 cm. Por esta razón, se optó por usar una tecnología diferente como lo es el procesamiento de imágenes, de esta forma se logró diseñar el sistema de identificación, pero al usar esta técnica se evidencio que es necesario asegurar una escena lumínicamente estable en todos los casos y así poder obtener las características necesarias de la imagen, en este caso identificar el color de la etiqueta en cada cerdo.

Es muy importante recalcar que el comportamiento de los cerdos al olfatear o escuchar algo relacionado con el alimento es totalmente frenético. En una de las pruebas realizadas al momento en que el módulo de alimentación dispensaba la comida, los cerdos de los corrales cercanos empezaron a emitir un chillido fuerte y a comportarse de manera incontrolable, debido a que esperaban que se les alimentara. Por lo anterior, es necesario para aplicación del prototipo tener en cuenta el comportamiento de los cerdos, debido a que estos suelen actuar de forma inesperada. Esto es algo que no se ha tenido en cuenta en el desarrollo del proyecto y podría generar resultados no deseados al momento de ponerlo en marcha. Una vez que se solucionen estos inconvenientes, el prototipo podrá ser evaluado con pruebas de funcionamiento y validación de los resultados obtenidos con el sistema contra métodos convencionales utilizados para alimentar a los cerdos, además, realizar análisis estadísticos, para determinar la precisión del sistema en cuanto a estrés en los cerdos mediante la medición del peso, tamaño y grasa dorsal en cada etapa de crecimiento.

Durante el proceso de implementación, se acercaron algunos expertos en la producción porcina, entre ellos el veterinario de la granja La Esperanza de la Universidad de Cundinamarca, el cual al contarle acerca del proyecto expresó su interés por el mismo y comentó que le parecía una idea muy buena para continuarla y, en un futuro, quizás implementarla también para la zona de gestación. Se evidenciaron algunos inconvenientes que acarrea el suministrar el alimento de forma manual, donde uno de los encargados de este proceso les dio un tipo de alimento incorrecto a los cerdos para la etapa en la que se encontraban y, por ello, le hicieron un llamado de atención por esta práctica errónea.

Por otra parte, el desarrollo del prototipo se llevó a cabo en las tres placas mencionadas con anterioridad, debido a que al comenzar el proyecto este se basó en

Arduino y a medida que fue avanzando se encontraron distintos inconvenientes que llevaron a la adquisición de las demás. Sin embargo, la implementación del sistema podría desarrollarse en una sola placa (raspberry) para ahorrar costos y mejorar la eficiencia del proyecto.

7. Capítulo 7. Conclusiones

La presente investigación logró cumplir el objetivo principal del proyecto el cual era desarrollar un prototipo para el suministro de alimento en la producción porcina en pie de manera automatizada, sin embargo, a medida que fue transcurriendo el proyecto se observó que es necesario tener en cuenta el comportamiento animal de los cerdos, ya que este es incierto y podría afectar el funcionamiento de todo el sistema. Se considera que es necesario adecuar la estructura del prototipo para garantizar que su funcionamiento sea el adecuado, después, ya sería viable realizar a una fase de evaluación para comparar los resultados obtenidos con el prototipo versus la forma convencional de alimentación en la producción porcina.

Una vez diseñado cada uno de los módulos que conforman el prototipo y al realizar la implementación integrando cada uno de estos, se logró validar su funcionamiento al comprobar que la detección e identificación, la obtención del peso y altura y por último el suministro de alimento fueran correctos.

El prototipo desarrollado puede ayudar a los pequeños porcicultores a tener mayor control de la producción, gracias a que este recurso cuenta con la capacidad de controlar el suministro de alimento tanto en el tipo como la frecuencia, además puede llevar la trazabilidad de toda la producción y a su vez un mejor resultado al culminar las etapas de producción.

8. Capítulo 8. Socialización

1. Octavo (8vo) congreso internacional de ingeniería. Universidad de Cundinamarca. Ponencia: Desarrollo de un prototipo industrial para el suministro de alimentos en la producción porcina en pie. Ponentes: Brayan Ferney Otalora Bueno, Jose Libardo Mendoza Sanabria. Certificado en proceso.
2. Segundo encuentro institucional de semilleros de investigación. Fundación de educación superior san jose. Ponencia: Desarrollo de un prototipo industrial para el suministro de alimentos en la producción porcina en pie. Ponente: Ricardo Arnulfo Romero Barbosa.

9. Referencias

- [1 PorkColombia, «miporkcolombia.co,» [En línea]. Available:
] <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNmY1OWE5YzctMDQwYy00M2Q1LThiY2EtYTdkMTk0YzhzZGUyYliwidCI6Ijg4ZjkyNjZkLTUwMjMtNDMyMi1iYzJhLTQ1M2Y3NDU3ZGVhMCI6ImMiOjR9>.
[Último acceso: 10 2019].
- [2 Fedegan, «Fedegan.org.co,» [En línea]. Available:
] <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/precios>. [Último acceso: 10 2019].
- [3 R. Dinero, «dinero.com,» 30 04 2019. [En línea]. Available:
] <https://www.dinero.com/internacional/articulo/precios-mundiales-del-cerdo/270181>. [Último acceso: 10 2019].
- [4 «pork colombia fondo nacional de la porcicultura,» 2017. [En línea]. Available:
] <https://asociados.porkcolombia.co/porcicultores/>.
- [5 F. n. d. l. porcicultura, «Boletín Análisis de Coyuntura del Sector porcicultor el Año 2016 y Perspectivas para 2017,» 2017.
- [6 «Solla nutricional animal,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.solla.com/node/1602>.
]
- [7 Infosalus, «Infosalus.com,» 20 02 2015. [En línea]. Available:
] <https://www.infosalus.com/nutricion/noticia-carne-cerdo-alimento-imprescindible-todas-etapas-vida-beneficios-nutricionales-20150220131640.html>.
- [8 E. Klug, Efecto del gen halotano sobre la calidad de carne porcina, 2013.
]
- [9 D. C. C. PhD., «Ministerio de agricultura y ganaderia de Costa Rica,» 2009. [En línea]. Available:
] <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L02-7847.PDF>. [Último acceso: 10 2019].
- [1 E. Castellanos, «masporcicultura.com,» 11 2017. [En línea]. Available:
0] <https://masporcicultura.com/crecimiento-cerdos-engorde/>. [Último acceso: 10 2019].
- [1 H. P. Macias, «engormix.com,» 12 2002. [En línea]. Available:
1] <https://www.engormix.com/porcicultura/foros/racion-diaria-alimento-cerdos-t371/>. [Último acceso: 10 2019].
- [1 K. Knights, «Roboperks,» [En línea]. Available: <https://www.roboperks.com/language/es/placas-2-de-desarrollo/>. [Último acceso: 10 2019].

[1 O. Colombia, «Oracle Colombia,» [En línea]. Available: [https://www.oracle.com/co/internet-of-3\] things/what-is-iot.html](https://www.oracle.com/co/internet-of-3] things/what-is-iot.html). [Último acceso: 10 2019].

[1 P. Querejeta Simbeni, «Procesamiento digital de imágenes,» 2015. [En línea]. Available: 4] <http://lcr.uns.edu.ar/fvc/notasdeaplicacion/fvc-querejetasimbenipedro.pdf>.

[1 E. E. R. Guerrero, «Introduccion al manejo de imagenes en MatLab».
5]

[1 Naylamp, «naylampmechatronics,» [En línea]. Available:
6] https://naylampmechatronics.com/blog/25_tutorial-trasmisor-de-celda-de-carga-hx711-ba.html.
[Último acceso: 05 03 2019].

[1 Vistronica, «Vistronica,» [En línea]. Available: [https://www.vistronica.com/sensores/proximidad-7\] y-distancia/sensor-de-distancia-sharp-10cm80cm-detail.html](https://www.vistronica.com/sensores/proximidad-7] y-distancia/sensor-de-distancia-sharp-10cm80cm-detail.html). [Último acceso: 02 2019].

[1 ELECTROPRO, «Mercadolibre,» [En línea]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-8\] 430696616-arduino-mega-adk-rev3-compatible-_JM?quantity=1](https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-8] 430696616-arduino-mega-adk-rev3-compatible-_JM?quantity=1). [Último acceso: 20 09 2019].

[1 Infinitronica, «infinitronica,» [En línea]. Available: [https://infinitronica.com/producto/doble-9\] puente-h-driver-l298n-motor-dc-arduino-arm-avr-l298/](https://infinitronica.com/producto/doble-9] puente-h-driver-l298n-motor-dc-arduino-arm-avr-l298/). [Último acceso: 20 09 2019].

[2 CIBERTECNOCOM, «mercadolibre,» [En línea]. Available:
0] https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-609128862-motor-dc-775-12v-36v-3500-9000rpm-_JM. [Último acceso: 9 2019].

[2 S. Macdonald, «Pimoroni,» [En línea]. Available: [https://blog.pimoroni.com/introducing-the-1\] raspberry-pi-3-b/](https://blog.pimoroni.com/introducing-the-1] raspberry-pi-3-b/). [Último acceso: 20 09 2019].

[2 Electronicastore, «electronicastore,» [En línea]. Available:
2] <https://electronicastore.net/producto/sensor-infrarrojo-e18-d80nk-sensor-de-proximidad-ajustable/>. [Último acceso: 20 09 2019].

[2 B. Poise, «basculaspoise.com,» [En línea]. Available:
3] https://www.basculaspoise.com/Soporte/Celdas_de_Carga.html. [Último acceso: 03 2019].

[2 wikihow, «Wikihow,» [En línea]. Available: [https://es.wikihow.com/calcular-el-porcentaje-de-4\] error](https://es.wikihow.com/calcular-el-porcentaje-de-4] error). [Último acceso: 20 09 2019].

[2 naylampmechatronics, «naylampmechatronics,» [En línea]. Available:
5] https://naylampmechatronics.com/blog/55_tutorial-sensor-de-distancia-sharp.html. [Último acceso: 12 03 2019].

[2 G. SHARP, «SHARP,» [En línea]. Available:
6] https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf. [Último acceso: 20 09 2019].

Anexos

1. Anexo estándar ERS IEEE830: /Anexos/Requerimientos
2. Anexo Script de peso: /Anexos/Script/Peso
3. Anexo Script de altura: /Anexos/Script/Altura
4. Anexo Script de alimento: /Anexos/Script/Alimento
5. Anexo Script de identificación: /Anexos/Script/Identificación
6. Anexo Script de envío de datos: /Anexos/Script/EnvDatos
7. Anexo documento del estudio de campo: /Anexos/Estudiodecampo
8. Anexo documento del estado del arte: /Anexos/Estadodelarte.
9. Anexo documento con las evidencias de la ponencia: /Anexos/Ponencia.
10. Anexo video que evidencia el funcionamiento del prototipo: /Anexos/Videos.