



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CONTROL UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA  
ARDUINO PARA LA ALIMENTACIÓN, EN LA GRANJA EXPERIMENTAL PORCINA DE LA  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA, DE LA UNIVERSIDAD SAN  
CARLOS DE GUATEMALA**

**Jimmy Adolfo Cosme Godínez**

Asesorado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz

Guatemala, septiembre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CONTROL UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA ARDUINO PARA LA ALIMENTACIÓN, EN LA GRANJA EXPERIMENTAL PORCINA DE LA FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA, DE LA UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JIMMY ADOLFO COSME GODÍNEZ**

ASESORADO POR EL ING. KENNETH ISSUR ESTRADA RUIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Durán Córdova
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CONTROL UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA ARDUINO PARA LA ALIMENTACIÓN, EN LA GRANJA EXPERIMENTAL PORCINA DE LA FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA, DE LA UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 25 de octubre de 2019.

  
**Jimmy Adolfo Cosme Godínez**

Guatemala, 19 de noviembre de 2021

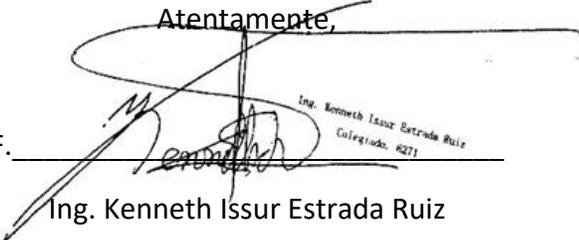
Ingeniero  
Armando Alonso Rivera Carrillo  
Director  
Escuela de Ingenieria Mecanica Electrica  
Facultad de Ingenieria  
Presente.

Ingeniero Carrillo director de Escuela:

Por medio de la presente me permito informarle que he revisado completamente el Trabajo de Graduacion "**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CONTROL UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA ARDUINO PARA LA ALIMENTACIÓN, EN LA GRANJA EXPERIMENTAL PORCINA DE LA FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA, DE LA UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA**", Desarrollado por el estudiante Universitario **JIMMY ADOLFO COSME GODÍNEZ** Carnet 2007-14739 de la carrera de Ingenieria Electrónica.

Puedo concluir que dicho trabajo, cumple con los objetivos propuestos en el protocolo del trabajo de graduación, para lo cual me complace dar la aprobacion respectiva e indicarle que el autor y mi persona somos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Atentamente,



F. \_\_\_\_\_  
Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz  
Colegiado. #271

Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz

Asesor



Guatemala, 25 de noviembre de 2021

**Señor director**  
**Armando Alonso Rivera Carrillo**  
**Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica**  
**Facultad de Ingeniería, USAC**

Estimado Señor director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CONTROL UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA ARDUINO PARA LA ALIMENTACIÓN, EN LA GRANJA EXPERIMENTAL PORCINA DE LA FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA, DE LA UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante **Jimmy Adolfo Cosme Godínez**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

**Ing. Julio César Solares Peñate**  
**Coordinador de Electrónica**

REF. EIME 42.2021.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante Jimmy Adolfo Cosme Godínez: DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CONTROL UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA ARDUINO PARA LA ALIMENTACIÓN, EN LA GRANJA EXPERIMENTAL PORCINA DE LA FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA, DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, procede a la autorización del mismo.



Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo

Guatemala, 29 de noviembre de 2021.

LNG.DECANATO.OI.652.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CONTROL UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA ARDUINO PARA LA ALIMENTACIÓN, EN LA GRANJA EXPERIMENTAL PORCINA DE LA FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA, DE LA UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por: **Jimmy Adolfo Cosme Godínez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, septiembre de 2022

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Una luz que siempre ilumina mi camino y guía cada uno de mis pasos en esta vida, a él sea toda la gloria, el poder y la honra.
- Mi esposa** Karla Quevedo Garzona, por estar a mi lado en las buenas, en las malas y en las peores, por todo su amor, apoyo y comprensión.
- Mis hijas** Adriana y Mariana Cosme Quevedo, quienes son mi mayor fuente de inspiración para superar las metas.
- Mis padres** Gustavo Cosme Corzo y Leslie Godínez Ruano, por el amor y apoyo incondicional que siempre encuentro en ellos y por el esfuerzo para que yo pudiera lograr este triunfo, sea mi graduación el mayor agradecimiento a ellos.
- Mi hermano** Gustavo Cosme Godínez, por su comprensión, ánimo y apoyo en todo momento, por cuidar de mí y guiarme por el buen camino.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	A la gloriosa Tricentenaria, por ser mi casa de estudios y permitir mi formación académica como profesional, de la cual estoy orgulloso de egresar.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por todo el conocimiento y sabiduría adquirido en sus aulas durante de mis años de estudio.
<b>Mis amigos</b>	Por el apoyo que me brindaron en los momentos más difíciles de esta carrera y las experiencias compartidas en todo momento.
<b>Mi asesor</b>	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz, por su tiempo, apoyo, asesoría y experiencia para la elaboración del presente trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. ANTECEDENTES .....	1
1.1. Historia Facultad de Medicina veterinaria y zootecnia.....	1
1.2. Generalidades de la Granja Experimental .....	1
1.3. Misión .....	2
1.4. Visión.....	3
1.5. Objetivos.....	3
1.6. Problemática de la alimentación.....	3
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Dispositivos Arduino .....	7
2.2. Tipos de placas Arduino .....	8
2.2.1. Arduino UNO .....	8
2.2.2. Arduino DUE.....	9
2.2.3. Arduino Leonardo .....	9
2.2.4. Arduino Mega 2560 .....	10
2.2.5. Arduino Mega ADK .....	11
2.2.6. Arduino Micro.....	11
2.2.7. Arduino Nano.....	12
2.2.8. Arduino YUN.....	13

2.2.9.	Arduino FIO .....	13
2.3.	Programación de la placa Arduino .....	14
2.3.1.	Funciones.....	14
2.3.2.	<i>Setup</i> ().....	16
2.3.3.	Loop ().....	16
2.3.4.	Llaves {}.....	17
2.3.5.	Punto y coma .....	17
2.3.6.	Bloque de comentarios /*...*/.....	18
2.3.7.	Línea de comentarios //.....	18
2.4.	Sensores .....	19
2.4.1.	Sensores de proximidad.....	20
2.4.2.	Sensores de peso (celda de carga).....	21
2.4.3.	Sensores de posición .....	21
2.4.4.	Sensores de llenado.....	21
2.5.	Motores .....	22
2.5.1.	Motor paso a paso.....	22
2.5.2.	Motor DC.....	22
2.5.3.	Servo motor.....	23
2.6.	Alimento .....	23
2.6.1.	Nutriente.....	23
2.6.1.1.	Grasa .....	23
2.6.1.2.	Proteína.....	23
2.6.1.3.	Carbohidrato.....	24
2.6.1.4.	Vitaminas.....	24
2.6.1.5.	Minerales.....	24
2.7.	Almacenaje de alimentos .....	24
2.7.1.	Tipo de almacenamiento .....	24
2.7.2.	Silos .....	27
2.7.2.1.	Tipos de silos .....	28

3.	MARCO METODOLÓGICO .....	29
3.1.	Localización .....	29
3.2.	Delimitación del campo de estudio .....	30
3.3.	Recursos humanos disponibles .....	30
3.4.	Tipo de dispositivos a utilizar .....	30
3.4.1.	Placa Arduino .....	30
3.4.2.	Sensores .....	31
3.4.2.1.	Sensor de peso módulo HX711 .....	31
3.4.2.2.	sensor de altura tipo SHARP .....	32
3.4.3.	Modulo SD Card .....	33
3.4.4.	Motor de corriente continua .....	34
3.5.	Diseño de estructura .....	35
3.6.	Diseño de un sistema electrónico .....	35
3.7.	Diseño un sistema de almacenaje .....	35
3.8.	Realizar un circuito prototipo adaptable de un controlador de motor con graduación de velocidad .....	35
3.9.	Diagrama de automatización (bloques) .....	36
3.10.	Diseño teórico de Tornillo sin fin .....	36
3.11.	Diseño teórico de un silo para almacenaje y suministro de alimentos .....	36
4.	DISEÑO PROPUESTO .....	39
4.1.	Diseño propuesto .....	39
4.2.	Esquema de funcionamiento .....	54
4.3.	Arquitectura del control automatizado .....	55
4.4.	<i>Hardware</i> utilizado .....	56
4.5.	Diagrama de sensores y modulo SD .....	58
4.6.	Código de programación .....	60

5.	ANÁLISIS FINANCIERO.....	71
5.1.	Factibilidad económica.....	71
5.2.	<i>Hardware</i> adicional necesario para la implementación .....	72
6.	MANUAL DE MANTENIMIENTO .....	73
6.1.	Limpieza de módulo electromecánico .....	73
6.2.	Revisión de conectores .....	73
6.3.	Mantenimiento <i>Software</i> .....	74
6.4.	Programa de mantenimiento .....	74
	CONCLUSIONES.....	77
	RECOMENDACIONES.....	79
	BIBLIOGRAFIA.....	81

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Ubicación geográfica Granja Experimental Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia .....	2
2.	Proceso de alimentación en la Granja productora de Lechones .....	4
3.	Proceso de alimentación en la Granja Engordadora .....	5
4.	Placa Arduino .....	7
5.	Arduino Uno .....	8
6.	Arduino DUE .....	9
7.	Arduino Leonardo .....	10
8.	Arduino Mega 2560 .....	10
9.	Arduino Mega ADK .....	11
10.	Arduino Micro .....	12
11.	Arduino Nano .....	12
12.	Arduino YUN .....	13
13.	Arduino FIO .....	14
14.	Medición de nivel por ultrasonido .....	22
15.	Tipos de silos .....	28
16.	Granja Experimental Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia ....	29
17.	Sensor de peso módulo HX711 .....	32
18.	Sensor de altura tipo Sharp .....	33
19.	Modulo SD card .....	34
20.	Motor de corriente continua .....	34
21.	Flujo de diseño teórico analógico .....	37

22.	Bosquejo de la tolva y subdivisiones de sus volúmenes para facilitar el cálculo.....	39
23.	Concentrado de cerdo .....	40
24.	Ecuación de volumen del cono truncado .....	42
25.	Ángulo de reposo es muy parecido al ángulo de fricción interna efectivo.....	46
26.	Medida con transportador y regla del ángulo de reposo del concentrado .....	47
27.	Radio hidráulico de un cono truncado.....	50
28.	Medidas internas de la tolva sin tener en cuenta el espesor. Cotas en mm .....	52
29.	Esquema de funcionamiento .....	55
30.	Celda de carga H X711.....	56
31.	Especificaciones Celda de carga H X711 .....	57
32.	El transmisor de celda de carga HX711.....	58
33.	Diagrama de bloques.....	58
34.	Diagrama de sensores.....	59
35.	Diagrama Conexión modulo SD.....	59
36.	hoja de texto para leer modulo SD Card.....	66

## TABLAS

I.	Comparación de métodos de almacenamiento desde el punto de vista del manejo .....	25
II.	Comparación de métodos de almacenamiento desde el punto de vista de calidad .....	26
III.	Comparación de silos de pequeña y gran capacidad .....	27
IV.	Requerimientos nutricionales para porcinos .....	38
V.	Prueba y error para diferentes diámetros reemplazados en la .....	45

VI.	Parámetros para calcular Pv (Presión en el fondo de la tolva).....	48
VII.	Peso de la tolva en Newton.....	54
VIII.	Cuantificación de costos del diseño de control propuesto.....	71
IX.	Cuantificación de costos del <i>hardware</i> adicional necesario para la implementación .....	72
X.	Programa de mantenimiento .....	75
XI.	Cambio de artefactos electricos y electronicos .....	75
XII.	Propuesta para sistema básico de mantenimiento.....	76



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>AH</b>	Amperios hora
<b>I2C</b>	Circuito inter-integrado
<b>ADC</b>	Convertidor analógico a digital
<b>CA</b>	Corriente alterna
<b>DC</b>	Corriente directa
<b>E/S</b>	Entrada/salida
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>Hz</b>	Hertz
<b>KH</b>	Kilo-Hertz
<b>kHz</b>	Kilohertz
<b>KΩ</b>	Kilo-Ohmios
<b>μF</b>	Micro-Faradios
<b>mA</b>	miliamperios
<b>PWM</b>	Modulación por ancho de pulsos
<b>nF</b>	Nano-Faradios
<b>NA</b>	Normalmente abierto
<b>NC</b>	Normalmente cerrado
<b>Ω</b>	Ohmios
<b>LCD</b>	Pantalla de cristal liquido
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>UMA</b>	Unidad manejadora de aire
<b>V</b>	Voltios
<b>W</b>	Watt



## GLOSARIO

<b>Conmutador</b>	Es referido a un componente eléctrico con la capacidad de cambiar el estado de una línea de corriente en abierto a cerrado o viceversa.
<b>DB15 plug</b>	Conector de 15 contactos utilizados comúnmente en aplicaciones de video (Conector de VGA).
<b>Domótica</b>	Conjunto de técnicas y accesorios utilizados en la automatización de los edificios.
<b>Electroválvula</b>	Válvula electromecánica utilizada para control de paso de fluidos accionada por electricidad.
<b>I2C</b>	Protocolo de comunicación sincrónico que implementa una señal de reloj y una de datos en la transferencia de información.
<b>Neumática</b>	Mecanismo en el cual basa su funcionamiento en el uso de la presión de aire.
<b>Presostato</b>	Tipo de interruptor accionado por presión.
<b>Puente H</b>	Circuito electrónico utilizado por su característica de cambio de giro en los motores de corriente directa.



## **RESUMEN**

En la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado se realizó un diagnóstico en las instalaciones de la granja experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y zootecnia y se detectó que en el proceso de alimentación de los porcinos no era óptimo, por lo que en este informe se realizó el diseño de la automatización del proceso de suministro de alimentación para la producción porcina en pie. Se desarrolló un inventario de porcinos por área y la cantidad de alimentación por peso de animal vivo que se debía suministrar. Con los datos recolectados se diseñó y cuantificó la puesta en operación del proceso de automatización del suministro de alimento en la granja experimental.

Finalmente se presentaron conclusiones debidamente fundamentadas que explican la forma en que actualmente opera la granja experimental y los beneficios que tendría al implementar este proyecto tal modo que los mismos sean rentables y recuperables en el tiempo.



# OBJETIVOS

## General

Diseñar un sistema automatizado de control utilizando la tecnología Arduino para la alimentación, en la granja experimental porcina de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia,

## Específicos

1. Realizar una evaluación completa de las instalaciones eléctricas del edificio.
2. Identificar las mezclas de alimentos para realizar el concentrado y la porción de alimento para cada cerdo según su peso.
3. Cuantificar costos para implementar la automatización de la alimentación en la granja experimental porcina.



## INTRODUCCIÓN

La industria porcina es uno de los sectores más importantes de la agricultura y se desarrolla en las modalidades Granja Productora, Granja Productora de Lechones, Granja de Ciclo Completo y Granja Engordadora con las cuales cuenta la granja experimental.

Uno de los problemas que se encuentran es el control de alimentación ya que se realiza de forma manual en la granja experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por este motivo es importante el proceso de automatización tomando en consideración la cantidad y frecuencia del suministro de alimento según la etapa de vida del ejemplar logrando así mejorar el proceso de producción y reducir costos en el mismo.

En el presente informe se realiza el diseño de un sistema automatizado de control utilizando la tecnología Arduino para la alimentación.

Para la automatización del proceso de alimentación de los cerdos en la granja experimental se consideró el uso de sensores de humedad, presión, motores, tornillos sin fin, entre otros. Y se cuantifico la puesta en operación del diseño propuesto.



# 1. ANTECEDENTES

## 1.1. Historia Facultad de Medicina veterinaria y zootecnia

En el año de 1957 se fundó la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, en los años 1958 y 1959 la facultad realizo actividades académicas en casas particulares alquiladas (en la 5ª calle y 2ª avenida de la zona 9 primero, la vía 4 y 7ª avenida de la zona 4) y en la biblioteca del Jardín Botánico de la USAC en calle Mariscal Cruz y Avenida de la Reforma (zona 4). En 1960 se instalado provisionalmente en los edificios prefabricados en el Paraninfo Universitario Traslándose luego al campus universitario en la parte suroccidental, el 27 de septiembre de 1974, a los nuevos edificios modulares inaugurados en dicha fecha, junto con el Hospital Médico Veterinario.<sup>1</sup>

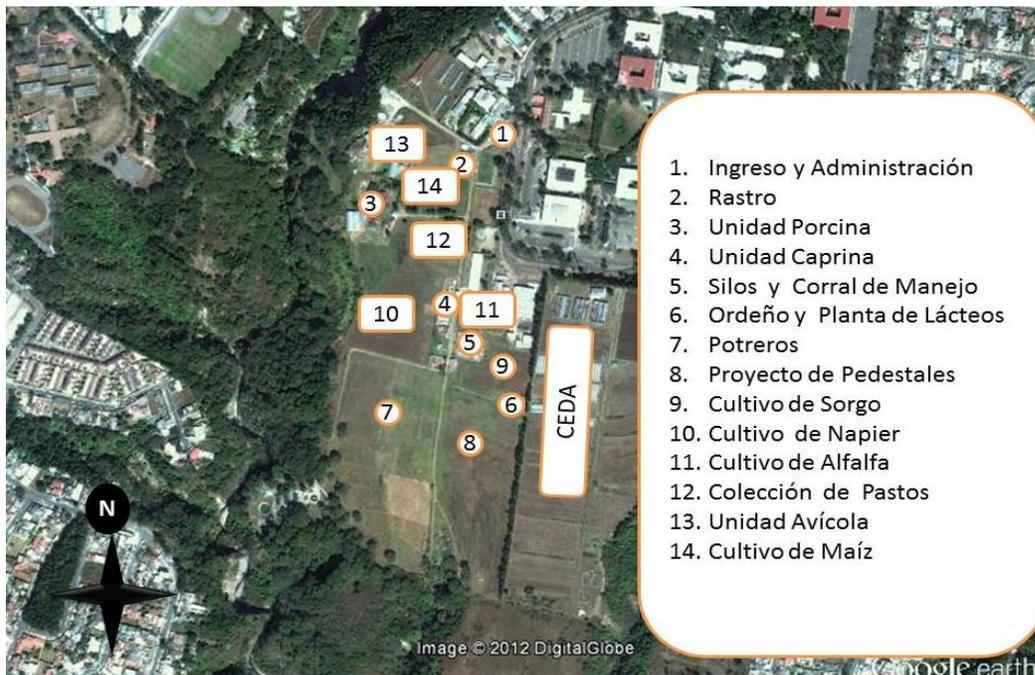
## 1.2. Generalidades de la Granja Experimental

La Granja Experimental se encuentra ubicada en la Ciudad Universitaria zona 12, en las instalaciones de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

---

<sup>1</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. *Reseña histórica*. <http://portal.fmvz.usac.edu.gt/index.php/resena-historica/>. Consulta: 10 de febrero de 2020.

Figura 1. **Ubicación geográfica Granja Experimental Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia**



Fuente: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. *Ubicación geográfica Granja Experimental*. [http://www.fmvz.usac.edu.gt/index.php/2016-06-28-06-20-37/2016-06-28-06-23-47/granja\\_experimental](http://www.fmvz.usac.edu.gt/index.php/2016-06-28-06-20-37/2016-06-28-06-23-47/granja_experimental). Consulta: 10 de febrero de 2020.

### 1.3. Misión

Contribuir con la aplicación práctica de los cursos impartidos en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, brindando apoyo mediante la facilitación de insumos y recursos biológicos requeridos para las prácticas de los mismos. Facilitar el desarrollo de puntos de investigación que contribuyan como alternativas aplicables al sector productivo del país. (Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. *Quiénes somos*. <http://portal.fmvz.usac.edu.gt/index.php/quienes-somos/>. Consulta: 10 de agosto 2020.

#### **1.4. Visión**

Fortalecer la capacidad de los estudiantes de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia mejorando sus habilidades y conocimientos mediante la práctica de actividades cotidianas de manejo. Planificación, implementación y ejecución de los puntos de investigación que surgen de estudiantes, docentes y profesionales para el desarrollo de nuevas alternativas para obtener mejoras en la productividad del sector pecuario. Garantizar una producción constante a lo largo de un periodo que permita generar ingresos para mejora de las instalaciones de la Granja Experimental.<sup>3</sup>

#### **1.5. Objetivos**

- Incidir en los alumnos de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia para que promuevan las buenas prácticas de manejo, obteniendo así una mejora en la productividad del sector pecuario.
- Promover que los estudiantes conozcan la importancia de su participación en puntos de investigación, así como la disponibilidad y facilidad para realizar la misma en dicha unidad piloto.
- Proporcionar el espacio para el desarrollo de prácticas docentes impartidas en los diversos ciclos de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
- Desarrollar en el estudiante de Medicina Veterinaria y Zootecnia las aptitudes para la práctica de investigación, mediante la aplicación de métodos y técnicas aplicables en las diferentes unidades de animales domésticos en el campo de la salud y la nutrición animal.
- Alcanzar la formación integral del estudiante mediante el proceso de enseñanza - aprendizaje, confrontando la teoría de la clase magistral con la práctica de trabajo de campo de cada una de las unidades funcionales de la granja.
- Lograr proyectarse a pequeños y medianos productores con aptitudes ligadas a la acción social, mediante la capacitación en curado y crianza de animales, mejoramiento de razas y de la producción.<sup>4</sup>

#### **1.6. Problemática de la alimentación**

En la granja Experimental en las modalidades Granja Productora, Granja Productora de Lechones, Granja de Ciclo Completo y Granja Engordadora no se cuenta con una alimentación eficiente de los cerdos y es uno de los procesos más importantes de una granja porcina, ya que de ello depende el rendimiento

---

<sup>3</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. *Quienes somos*. <http://portal.fmvz.usac.edu.gt/index.php/quienes-somos/>. Consulta: 10 de agosto 2020.

<sup>4</sup> *Ibíd.*

productivo de los cerdos y mejora la rentabilidad de la granja. La alimentación representa entre un 80 a un 85 % de los costos totales de producción de los cerdos por esta razón es importante la automatización del mismo y así lograr mejores resultados en los costos-beneficios de la granja experimental

Figura 2. **Proceso de alimentación en la Granja productora de Lechones**



Fuente: elaboración propia, Granja Experimental USAC.

Figura 3. **Proceso de alimentación en la Granja Engordadora**



Fuente: elaboración propia, Granja Experimental USAC.



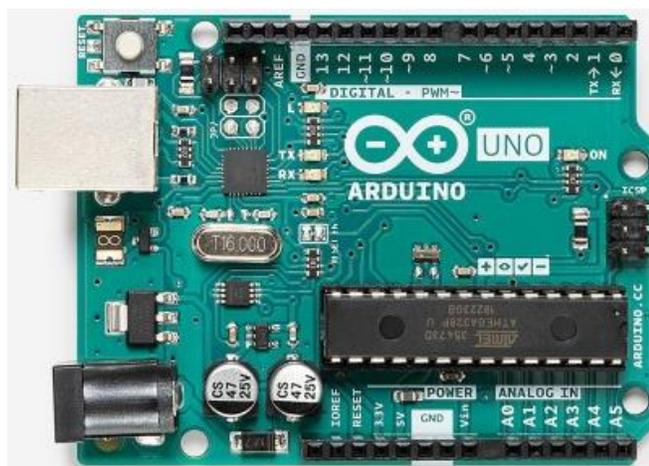
## 2. MARCO TEÓRICO.

### 2.1. Dispositivos Arduino

Los dispositivos Arduino son placas open *hardware* en otras palabras su diseño, distribución y utilización es libre que nos permite construirlos a nosotros mismos. Su *software* de programación propio se transfiere a través de un cable USB.

De lo cual podemos concluir que Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en *hardware* y *software* fáciles de usar. Y su aplicación es muy amplia, así como sus accesorios lo cual nos da un abanico de opciones para su utilización.

Figura 4. Placa Arduino



Fuente: Arduino.cc. *Arduino Uno Rev3*. <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>. Consultado el 10 de agosto de 2020.

## 2.2. Tipos de placas Arduino

Dentro del *hardware* Arduino podemos mencionar: Arduino uno, Arduino DUE, Arduino Leonardo, Arduino mega 2560.

### 2.2.1. Arduino UNO

Arduino de gama básica, todas las *shields* están diseñadas para usarse sobre esta placa. Cuenta 14 pines entrada/salida digitales de las cuales 6 se pueden usar como PWM, además cuenta con 6 entradas analógicas, además cuenta con I2C, SPI, además de un módulo UART.

Figura 5. **Arduino Uno**

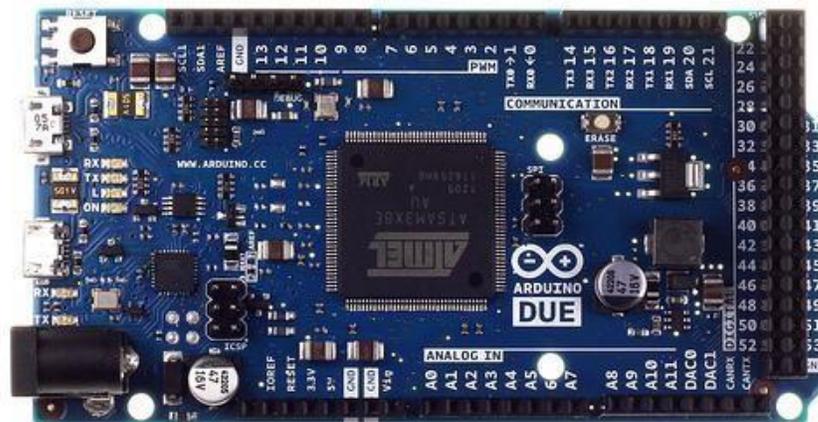


Fuente: Arduino.cc. *Arduino Uno Rev3*. <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>. Consultado el 10 de agosto de 2020.

### 2.2.2. Arduino DUE

Arduino basado en un microcontrolador de 32 Bits, Tiene 54 entradas/salidas digitales y 12 entradas analógicas, 2 buses TWI, SPI y 4 UARTs. Funcionan todos los módulos basados en 3,3V, no soporta 5V ya que puede dañar la placa. Posee adicionalmente interno dos puertos USB para poder controlar periféricos.

Figura 6. Arduino DUE



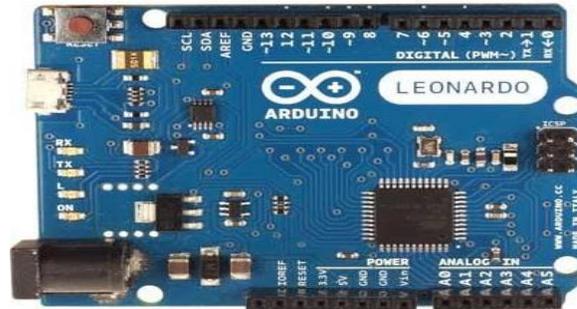
Fuente: Arduino.cc. *Arduino DUE*. <https://arduino.cc>. Consulta: 10 de agosto de 2020.

### 2.2.3. Arduino Leonardo

Arduino básico, Con características similares al Arduino, sin embargo, tiene 12 entradas analógicas y 20 entrada salidas digitales. A diferencias del resto de Arduinos con el microcontrolador ATmega32u4 en que no posee un controlador adicional para controlar el USB. Además, tiene más pines de interrupciones externas. Tiene comunicación TWI, SPI y dos UART.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Guellcom Acceso. *Tipos de Arduino*. <https://rayte.com/blog/post/5-tipos-de-arduino>. Consulta: 10 de agosto de 2020.

Figura 7. **Arduino Leonardo**

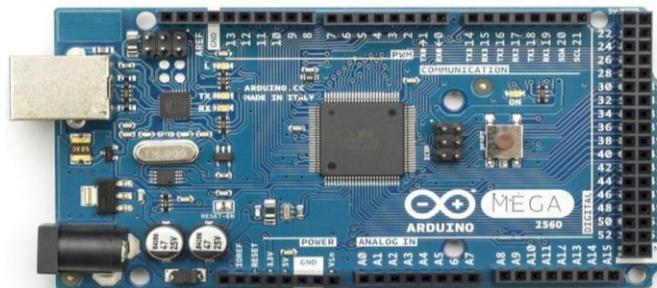


Fuente: Arduino.cc. *Arduino hardware*. <https://www.arduino.cc/en/hardware#boards>. Consulta: 10 de agosto de 2020.

#### 2.2.4. **Arduino Mega 2560**

Arduino basado en un microcontrolador ATmega2560. Tiene 54 entradas/salidas digitales, 16 de ellos pueden usarse como PWM, 16 entradas analógicas y 4 UART además dos modos PWI y uno SPI. Tiene 6 interrupciones externas. Y es compatible con todos los *shields* de Arduino.<sup>6</sup>

Figura 8. **Arduino Mega 2560**



Fuente: Arduino.cc. *Arduino hardware*. <https://www.arduino.cc/en/hardware#boards>. Consulta: 10 de agosto de 2020.

<sup>6</sup> Guellcom Acceso. *Tipos de Arduino*. <https://rayte.com/blog/post/5-tipos-de-arduino>. Consulta: 10 de agosto de 2020.

### 2.2.5. Arduino Mega ADK

“Exactamente igual que el Mega 2 560 pero con la diferencia de que en este caso se tiene la posibilidad de USB Host”<sup>7</sup>.

Figura 9. Arduino Mega ADK



Fuente: Arduino.cc. *Arduino hardware*. <https://www.arduino.cc/en/hardware#boards>. Consulta: 10 de agosto de 2020.

### 2.2.6. Arduino Micro

Es completamente similar al Leonardo, la única diferencia es el tamaño con el que fue construido. Es compatible con las Shields de Arduino, sin embargo, se debe instalar de forma externa, es decir, cableándolo, aunque en el caso de que se construya nuestra propia shield no es ningún problema.<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Guellcom Acceso. *Tipos de Arduino*. <https://rayte.com/blog/post/5-tipos-de-arduino>. Consulta: 10 de agosto de 2020.

<sup>8</sup> Ibid.

Figura 10. **Arduino Micro**



Fuente: Arduino.cc. *Arduino hardware*. <https://www.arduino.cc/en/hardware#boards>. Consulta: 10 de agosto de 2020.

### 2.2.7. **Arduino Nano**

Arduino basado en un microcontrolador ATmega328. Es similar en cuanto a características al Arduino uno. Las diferencias son tanto el tamaño como la forma de conectarlo al ordenador para programarlo. Es compatible con la mayoría de shield, aunque de la misma forma que el Arduino Micro.<sup>9</sup>

Figura 11. **Arduino Nano**



Fuente: Arduino.cc. *Arduino hardware*. <https://www.arduino.cc/en/hardware#boards>. Consulta: 10 de agosto de 2020.

---

<sup>9</sup> Guellcom Acceso. *Tipos de Arduino*. <https://rayte.com/blog/post/5-tipos-de-arduino>. Consulta: 10 de agosto de 2020.

### 2.2.8. Arduino YUN

El Arduino YUN se trata de un conjunto que trabaja por separado de forma complementaria, por un lado, se tiene la versatilidad de un Arduino normal. En este caso un ATmega 32u48 a 16 MHz, y por otro lado de un dispositivo con microprocesador Atheros AR9331. El cual funciona con Lilino (Linux basado en OperWrt (OperWrt-Yun)) a 400 MHz. Las características del Arduino son similares a la placa Leonardo. Tiene Ethernet, slot SD y WiFi incluidos, controlados por Lilino.. Es compatible con todas las Shields y es capaz de trabajar por separado.<sup>10</sup>

Figura 12. Arduino YUN



Fuente: Arduino.cc. *Arduino hardware*. <https://www.arduino.cc/en/hardware#boards>. Consulta: 10 de agosto de 2020.

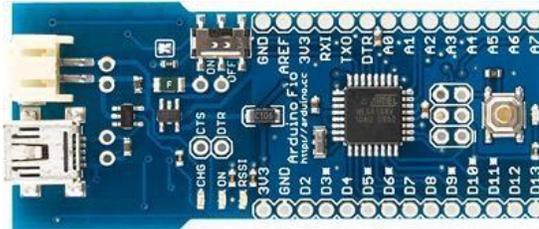
### 2.2.9. Arduino FIO

Arduino basado en un microcontrolador ATmega328p. Trabaja a 8 MHz y 3,3V tiene 14 pines de entrada/salida digitales (6 PWM), 8 pines de entrada analógicas e integra tanto un conector para la batería y su correspondiente módulo de carga, como un slot para poder instalar un módulo de comunicaciones xBee. Tiene UART TTL e interrupciones lo que nos permite también ponerlo en modo Sleep, permite también poner el XBEE en modo Sleep, reduciendo el consumo total. Además, posee tanto TWI (I2C) como SPI. Unas ventajas importantes de este dispositivo son el bajo consumo en Sleep y el poder programarlo mediante XBEE, sin necesidad conectarlo físicamente al ordenador.<sup>11</sup>

<sup>10</sup> Guellcom Acceso. *Tipos de Arduino*. <https://rayte.com/blog/post/5-tipos-de-arduino>. Consulta: 10 de agosto de 2020.

<sup>11</sup> Ibíd.

Figura 13. **Arduino FIO**



Fuente: Arduino.cc. *Arduino hardware*. <https://www.arduino.cc/en/hardware#boards>. Consulta: 10 de agosto de 2020.

## 2.3. Programación de la placa Arduino

La estructura de un programa en Arduino puede llegar a ser muy diferente en función de la complejidad de la aplicación que queremos crear, pero como en la mayoría de los lenguajes de programación esta estructura está formada por funciones, sentencias, bucles y otros elementos que conforman la estructura de programa

### 2.3.1. Funciones

Una función es un bloque de código con un nombre y un conjunto de estamentos que son ejecutados cuando se llama a dicha función. Las funciones de usuario se crean para realizar tareas repetitivas reduciendo de esa manera el tamaño del programa.

Las funciones están asociadas a un tipo de valor "type", este es el valor que devolverá la función una vez termine su ejecución.

```
type nombreFunción (parámetros)
{
    Estamentos o instrucciones;
}
```

Si la función no devuelve ningún valor, se le asignará el tipo *void* o función vacía. No es obligatorio pasarle parámetros a la función, se pueden crear funciones independientes que obtengan sus propios parámetros para trabajar.

Ejemplo de función:

```
/* Define la función "multiplicar" a la que se le pasarán los 2 números que
se deseen multiplicar devolviendo un valor entero (int). */
```

```
int multiplicar (int x, int y) //función multiplicar
{
    int resultado; //declara la variable donde se almacena el resultado
    resultado = x * y; //ejecuta la operación de multiplicar
    return resultado; //devuelve el resultado de la multiplicación
}
```

Para hacer uso de la función anterior, tan solo habrá que llamarla desde cualquier parte del programa. Esta llamada a la función se realiza de la siguiente manera:

```
void loop()
{
    int i =2
    int j =3;
```

```
int k;  
    k = multiplicación (i, j); //llama a la función multiplicación  
pasándole los  
    //parámetros "i" y "j"  
}
```

### **2.3.2. Setup ()**

La función *setup ()* se invoca una sola vez al comienzo del programa. Esta función se usa para realizar la configuración inicial, dentro de esta configuración podemos establecer el modo de trabajo de los pines o inicializar la comunicación serie entre otras cosas.

```
void setup ()  
{  
    Estamentos o instrucciones;  
}
```

### **2.3.3. Loop ()**

La función *loop()* es la función principal dentro del programa. Esta función se va a ejecutar continuamente de manera cíclica, ejecutando todas las instrucciones que se encuentren en su interior.

```
void loop()  
{  
    Estamentos o instrucciones;  
}
```

Además de las funciones principales, existen otros elementos de la estructura de programa que ayudan a definir, delimitar, estructurar y a hacer más claro el contenido del programa.

#### **2.3.4. Llaves {}**

Las llaves definen el principio y el final de un bloque de instrucciones. Se usan para delimitar el inicio y fin de funciones como `setup()` o para delimitar el alcance de los bucles y condicionales del programa.

```
funcion()  
{  
    Estamentos o instrucciones;  
}
```

#### **2.3.5. Punto y coma**

El punto y coma ";" se utiliza para definir el final de una instrucción y separarla de la siguiente. Si no colocamos punto y coma, el programa va a interpretar mal las instrucciones y se va a producir un error de compilación.

```
digitalWrite (10, HIGH);
```

El error más común a la hora de programar suele ser olvidar poner punto y coma al final de la instrucción.

### **2.3.6. Bloque de comentarios /\*...\*/**

Los bloques de comentarios son áreas de texto que nos ayudan a describir o comentar un programa, estos bloques serán ignorados a la hora de compilar el programa en nuestro Arduino.

```
/*El bloque de comentario ayuda  
al programador a describir el programa  
*/
```

Se pueden introducir todas las líneas de texto que se deseen siempre que se encuentren entre los caracteres /\*...\*/.

Se recomienda el uso de bloques de comentarios siempre que se pueda, ya que ayudan a la comprensión del programa a personas ajenas al mismo, además, estos comentarios no van a ocupar espacio de programa, ya que son ignorados a la hora de compilar.

### **2.3.7. Línea de comentarios //**

La línea de comentarios tiene la misma función que los bloques de comentarios, la única diferencia es que las líneas de comentarios suelen usarse para comentar instrucciones ya que solo afectan a una línea.

```
int x = 10; //declara la variable 'x' como tipo entero de valor 13
```

## 2.4. Sensores

Los sensores son dispositivos capaces de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica, voltaje eléctrico o una corriente eléctrica. Podemos considerar dos tipos de sensores análogos y digitales.

- Descriptores estáticos de un sensor: los descriptores estáticos detallan el comportamiento permanente del sensor:
  - Rango: valores máximos y mínimos para las variables de entrada y salida de un sensor.
  - Exactitud: es la desviación de la lectura de un sistema de medida respecto a una entrada conocida. El mayor error esperado entre las señales ideal versus la señal medida.
  - Repetitividad: la lectura tiene que ser medida con una precisión dada.
  - Reproducibilidad: tiene el mismo sentido que la repetitividad excepto que se utiliza cuando se toman medidas distintas bajo condiciones diferentes.
  - Resolución: es la cantidad de medida más corto que se pueda detectar.
  - Error: es la diferencia entre el valor medido y el valor real.
  - No linealidades: la desviación de la medida de su valor real, supuesto que la respuesta del sensor es lineal.
  - No-linealidades típicas: saturación, zona muerta e histéresis.
  - Sensibilidad: es la razón de cambio de la salida frente a cambios en la entrada:  $s = \partial V / \partial x$ .

- Excitación: es la cantidad de corriente o voltaje requerida para el funcionamiento del sensor.
- Estabilidad: es la capacidad de que la medida del sensor pueda mostrar la misma salida en un rango en que la entrada permanece constante.
- Descriptores dinámicos de un sensor
  - Tiempo de retardo;  $t_d$ : es el tiempo que tarda la salida del sensor en alcanzar el 50 % de su valor final.
  - Tiempo de subida;  $t_r$ : es el tiempo que tarda la salida del sensor hasta alcanzar su valor final. => velocidad del sensor, es decir, lo rápido que responde ante una entrada.
  - Tiempo de pico;  $t_p$ : el tiempo que tarda la salida del sensor en alcanzar el pico máximo de su sobre oscilación.
  - Pico de sobre oscilación;  $M_p$ : expresa cuanto se eleva la evolución temporal de la salida del sensor respecto a su valor inicial.
  - Tiempo de establecimiento;  $t_s$ : el tiempo que tarda la salida del sensor en entrar en la banda del 5 % alrededor del valor final y ya no vuelve a salir de ella.

#### **2.4.1. Sensores de proximidad**

Para la elección del sensor de proximidad adecuado para el diseño se debe de considerar los siguientes factores:

- Condiciones del entorno
- Elementos a detectar
- Formas geométricas y tamaño
- Distancia de detección

- Velocidad de paso del objeto
- Frecuencia de detección

#### **2.4.2. Sensores de peso (celda de carga)**

Una celda de carga es un transductor que transforma fuerza a la variable eléctrica de voltaje. El voltaje de la celda de carga varía proporcionalmente con la carga. Las celdas de carga se pueden dividir en celda de carga de tensión, celda de carga de compresión, celda de carga de alternancia y celda de carga de flexión.

#### **2.4.3. Sensores de posición**

Al estudiar los sensores de posición encontramos un rango y gamas, de los cuales pueden ser analógicos o digitales

- Analógicos: potenciómetros, resolvers, LVDT, rotativo SMD
- Digitales: encoders (absolutos e incrementales)

#### **2.4.4. Sensores de llenado**

El principio de funcionamiento de este sensor es a través de un pulso ultrasónico que se refleja en la superficie del elemento que se desea medir en función del tiempo de retorno de la señal que nos dará la altura del producto se le resta la altura total del tanque así nos dará el nivel del producto.

Figura 14. **Medición de nivel por ultrasonido**



Fuente: CREUS, Antonio. *Neumática e hidráulica*. p. 26

## 2.5. Motores

Son máquinas que convierten energía eléctrica en mecánica, provocando un movimiento rotatorio esto debido a la acción de un campo magnético.

### 2.5.1. Motor paso a paso

El motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, también se le conoce como Stepper.

### 2.5.2. Motor DC

El motor DC es una máquina que transforma la energía eléctrica en mecánica, provocando un movimiento rotatorio en el cual le brinda movilidad al servo. Cuando se aplica energía a sus dos terminales, este motor gira en un sentido a su velocidad máxima y la orientación de giro también se invierte si el voltaje aplicado en sus dos terminales es inverso.

### **2.5.3. Servo motor**

Un servomotor es un actuador rotativo o motor que permite un control preciso en términos de posición angular, aceleración y velocidad, capacidades que un motor normal no tiene.

## **2.6. Alimento**

Es todo material (sólido o líquido) por medio del cual el ser vivo satisface sus requerimientos nutricionales.

### **2.6.1. Nutriente**

Son los constituyentes que conforman un alimento como las grasas, proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales.

#### **2.6.1.1. Grasa**

La grasa es una sustancia que se disuelve en un diluyente orgánico, pero es insoluble en agua y es el nutriente que tiene 2,25 veces más energía que las proteínas y carbohidratos

#### **2.6.1.2. Proteína**

La proteína es un compuesto que contiene nitrógeno, el principal componente del músculo y la sangre, son las sustancias más importantes para el organismo.

### **2.6.1.3. Carbohidrato**

Los carbohidratos son sustancias importantes que se consumen como energía, se encuentran en los músculos en forma de glucógeno

### **2.6.1.4. Vitaminas**

Las vitaminas son sustancias presentes en los alimentos en pequeñas cantidades que son indispensables para el correcto funcionamiento del organismo.

### **2.6.1.5. Minerales**

Los minerales son elementos químicos que son los componentes principales en la formación de los huesos y dientes, Además una porción mineral es un constituyente del cuerpo y también es responsable de la regulación del metabolismo y el mantenimiento funcional del mismo.

## **2.7. Almacenaje de alimentos**

El almacenamiento de alimentos consiste en la acumulación provisional de reservas de material líquido o sólido.

### **2.7.1. Tipo de almacenamiento**

En el almacenamiento a granel o sacos de alimentos se pueden considerar dos puntos de vista:

- Desde el punto de vista del manejo
- Desde el punto de vista de la calidad
- Desde el punto de vista del manejo

Tabla I. **Comparación de métodos de almacenamiento desde el punto de vista del manejo**

<b>Aspecto</b>	<b>Granel</b>	<b>Sacos</b>
<b>Costo</b>	Mayor costo de capital para construir almacenes especiales e instalar máquinas de maniobras. Costos de maniobras más bajos por tonelada en grandes cantidades. No se necesitan costales	Menor capital para un cobertizo. Mayores costos de funcionamiento exceptuando pequeñas cantidades. Los mayores costos son de mano de obra y en costales.
<b>Uso de espacio o volumen</b>	Muy eficiente	Utiliza solo cerca de $\frac{3}{4}$ del volumen del cobertizo, y aún menos en cobertizos pequeños
<b>Diferentes productos, grados de calidad o lotes</b>	Menos versátil. Necesita unidades separadas. Difícil ajustar el tamaño de las unidades de almacenamiento a los variables de los lotes.	Más versátil. Fácil para mantener lotes separados.
<b>Uso de mano de obra</b>	No hay uso intenso de mano de obra. Necesita responsables de maquinaria. Es posible una alta eficiencia.	Uso intenso de mano de obra. Puede ser ineficiente a menos de que la mano de obra sea bien dirigida.
<b>Supervisión y dirección</b>	Necesita buena experiencia técnica y entrenamiento. Aspectos elementales necesitan menos atención.	Aspectos elementales necesitan constante atención, especialmente la higiene y limpieza.
<b>Integración con funciones asociadas</b>	Muy conveniente para transferencias rápidas y fáciles. La mayoría del comercio internacional es a granel.	Los costales deben vaciarse para realizarse otras operaciones.

Fuente: WILLIAM, David; GRACEY, Alfred. *Mantenimiento y funcionamiento de silos*. p. 1.

- Desde el punto de vista de la calidad

Tabla II. **Comparación de métodos de almacenamiento desde el punto de vista de calidad**

<b>Aspecto</b>	<b>Granel</b>	<b>Sacos</b>
<b>Control de calidad</b>	Los cambios en contenidos de humedad y temperatura son fácilmente monitoreados con instrumentos adecuados.	Es difícil detectar el deterioro.
<b>Contenido de humedad</b>	Por lo general 1 % más bajo que en almacenamiento en costales. Poco cambio durante el almacenamiento, si la humedad inicial es la correcta. El secado mecánico es más fácil y barato	Los cambios durante el almacenamiento son frecuentemente extensivos. El secado en almacén es difícil. La remoción para el secado mecánico requiere mucha mano de obra y es más caro.
<b>Infestación de insectos</b>	La infestación es más fácil de prevenir. Las condiciones son desfavorables para la mayoría de las plagas.	La infestación es difícil de prevenir y ocurre con mayor rapidez. Es posible que todas las plagas de insectos sean problemáticas.
<b>Control de insectos mediante fumigación</b>	Por lo general fácil y siempre más conveniente.	Sin dificultades. Requiere mayor frecuencia. Más costosa.
<b>Infestación de roedores</b>	Los problemas son improbables.	Pueden ser serias.
<b>Control de roedores</b>	El control y la prevención son fáciles.	Más difícil, puede ser costoso.
<b>Pérdidas por derrames</b>	Bajas con buen manejo.	Más altas, especialmente con infestaciones de roedores.
<b>Mermas</b>	Pérdidas del 1 % por limpieza. Pérdidas de peso del 1 % por secados extras. Pérdidas sin importancia por plagas.	Los niveles de mermas varían mucho. Por lo menos del 2 % en almacenamientos mejor atendidos.

Fuente: WILLIAM, David; GRACEY, Alfred. *Mantenimiento y funcionamiento de silos*. p. 2.

### 2.7.2. Silos

Son contenedores con distintas formas con capacidades volumétricas pueden ser abiertos o herméticamente cerrados; se utilizan para el almacenamiento de productos o alimentos.

Tabla III. **Comparación de silos de pequeña y gran capacidad**

<b>SILOS DE PEQUEÑA CAPACIDAD PARA ALMACENAMIENTO EN LA GRANJA</b>	<b>SILOS DE GRAN CAPACIDAD</b>
Método de almacenaje en medios rurales de países en desarrollo.	Estructuras complejas para almacenamiento a nivel comercial o industrial.
Capacidad de almacenaje limitado, la mayor parte es destinada al consumo propio.	Capacidad de almacenaje de varios cientos o miles de toneladas.
Existe variedad de tipos de estructuras que se adaptan a diferentes climas.	Los silos de gran capacidad pueden ser verticales y horizontales.
Son construidos en diferentes materiales como: ladrillo, concreto armado, hormigón y metal.	Las cámaras de almacenaje pueden ser construidas redondas o poligonales, en materiales metálicos y de concreto armado.
Utilizados únicamente para mercancías secas y libres de impurezas.	Son equipados con sistemas de ventilación y control de temperatura.
Requieren control de humedad y plagas.	Poseen sistemas de atmósfera controlada, para la conservación de las mercancías.

Fuente: DE LUCIA, M.; ASSENNATO, D. *La ingeniería en el desarrollo - Manejo y tratamiento de granos poscosecha*. p. 159 – 160.

### 2.7.2.1. Tipos de silos

Los tipos de silos que se encuentran en la industria y el mercado son según su construcción, materiales y capacidad de almacenamiento son:

- Silos de torre
- Silos de bunker
- Silos de bolsa

Figura 15. Tipos de silos



Fuente: AGUIRRE, Piero. *Trabajo transporte y explotación de silos Colombia*.  
<https://grupo3silos.blogspot.com/2019/04/>. Consulta: el 10 de agosto de 2020.

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Localización

Las instalaciones que se utilizarán para el proyecto de diseño de un sistema automatizado de control de alimentos de cerdos utilizando la tecnología Arduino son las de la granja experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia donde se realizará el diagnóstico y evaluación del proyecto. La Granja Experimental se encuentra ubicada en la Ciudad Universitaria zona 12, en las instalaciones de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Figura 16. **Granja Experimental Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia**



Fuente: elaboración propia.

### **3.2. Delimitación del campo de estudio**

La delimitación del campo de estudio del proyecto se basa en el proceso de alimentación de cerdos en la granja experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y zootecnia la cual se divide en cuatro sub-granjas siendo estas: Granja Productora, Granja Productora de Lechones, Granja de Ciclo Completo y Granja Engordadora.

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

- Investigador: Jimmy Adolfo Cosme Godínez
- Asesor: Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz

### **3.4. Tipo de dispositivos a utilizar**

La selección del *hardware* para el diseño del prototipo se basará en los accesorios necesarios al utilizar una placa Arduino debido a que estas placas son de una plataforma electrónica de código abierto basada en *hardware* fácil de usar, la placa Arduino con un número determinado de pines, ya que el sistema está conformado de varios dispositivos, módulos y elementos electrónicos.

#### **3.4.1. Placa Arduino**

Dentro de la plataforma Arduino se encuentra varios modelos de PCB (*Printed Circuit Board*, Placa de Circuito Impreso) y según las características y variables para este proyecto.

### **3.4.2. Sensores**

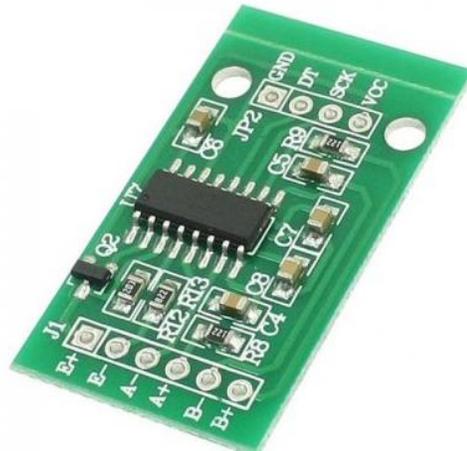
Dispositivo para medir magnitudes físicas como variaciones de luz, peso, temperatura, sonido u otras alteraciones de su entorno.

#### **3.4.2.1. Sensor de peso módulo HX711**

Tarjeta driver con HX711 para celdas de carga, con dos canales de entrada, precisión de 24 bit, comunicación TTL 232, voltaje de alimentación 5 VDC.

- Características
  - Chip: HX711
  - Voltaje de Operación: 5V DC.
  - Consumo de corriente: menor a 10mA.
  - Voltaje de entrada diferencial:  $\pm 40\text{mV}$ .
  - Resolución conversión A/D: 24 bit.
  - Frecuencia de lectura: 80 Hz.
  - Dimensiones: 38mm\*21mm\*10mm.
  - Precisión de datos: 24 bit (convertidor A/D 24 bit).
  - Dos entradas diferenciales.

Figura 17. **Sensor de peso módulo HX711**



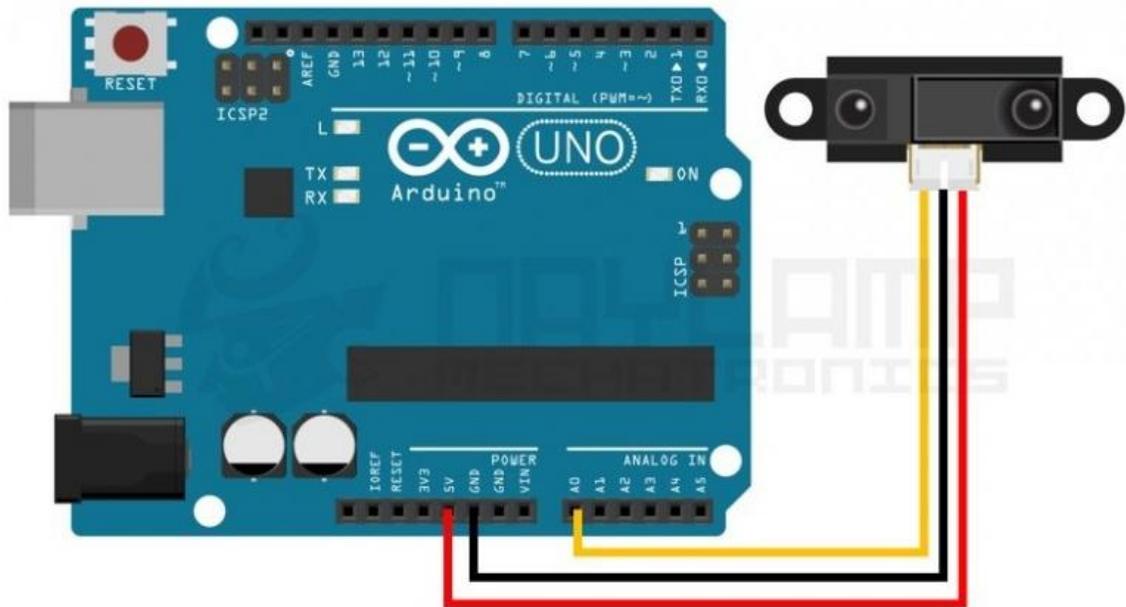
Fuente: AV electronics. *Módulo hx711 para sensor de peso.*

<https://avelectronics.cc/producto/modulo-hx711-para-sensor-de-peso/>. Consulta: 10 de agosto de 2020.

### 3.4.2.2. **sensor de altura tipo SHARP.**

El sensor SHARP es un sensor óptico capaz de medir la distancia entre él y un objeto, para esto el sensor con la ayuda de un emisor infrarrojo y un receptor miden la distancia usando triangulación.

Figura 18. **Sensor de altura tipo Sharp**



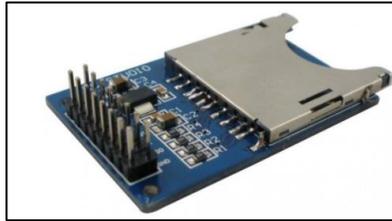
Fuente: NAYLAMP MECATRONICS. *Tutorial sensor de distancia Sharp.*  
[https://www.naylampmechatronics.com/blog/55\\_tutorial-sensor-de-distancia-sharp.html](https://www.naylampmechatronics.com/blog/55_tutorial-sensor-de-distancia-sharp.html).

Consulta: 10 de agosto de 2020.

### 3.4.3. **Módulo SD Card**

El Módulo SD Card nos permite insertar una memoria tipo SD que son de memorias más comunes en el mercado, Este módulo trae el socket grande para las memorias SD de tamaño estándar, pero usando un adaptador podemos usar también memorias microSD el módulo se puede alimentar con 3,3 V o 5 V usando los pines respectivos.

Figura 19. **Módulo SD card**

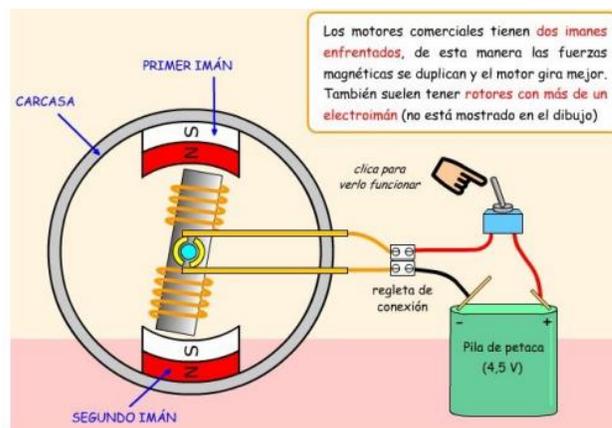


Fuente: NAYLAMP MECATRONICS. *Tutorial sensor de distancia Sharp.*  
[https://www.naylampmechatronics.com/blog/55\\_tutorial-sensor-de-distancia-sharp.html](https://www.naylampmechatronics.com/blog/55_tutorial-sensor-de-distancia-sharp.html).  
Consulta: 10 de agosto de 2020.

#### 3.4.4. **Motor de corriente continua**

Se utilizará para el control del tornillo sin fin que suministra la cantidad de alimento almacenado un motor de corriente continua por su fácil control de posición, paro y velocidad.

Figura 20. **Motor de corriente continua**



Fuente: IES Villalba Hervás. *Motores de corriente continua.*  
<https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2010/01/motores-electricos-parte-i1.pdf>.  
Consulta: 10 de agosto de 2020.

### **3.5. Diseño de estructura**

En esta sección se plantea el desarrollo del diseño de la estructura del módulo de alimento en el cual se especifican los programas usados para la simulación 3D del diseño y los análisis previos para saber la ubicación y posicionamiento de este.

### **3.6. Diseño de un sistema electrónico**

El Sistema electrónico se recomienda ser instalado en placa Arduino donde los componentes serán situados de manera fija y segura, así mismo el interruptor, el elemento de Fuente de energía es conectado de tal manera que provea la energía a todo el sistema.

### **3.7. Diseño un sistema de almacenaje**

Los criterios de almacenaje de alimentos se tomarán en función de las dimensiones de la granja experimental y de la máxima cantidad de animales que podrá atender durante la producción con la finalidad de recolectar o transferir una cantidad de objetos determinados sobre una línea de fabricación.

### **3.8. Realizar un circuito prototipo adaptable de un controlador de motor con graduación de velocidad**

El modelado del circuito simple contiene la implementación de motores de corriente directa y sensores que son de fácil acople para una placa Arduino. Se realizará el cambio de giro del motor de corriente directa con circuitos de potencia ya que el suministro de alimento se hará con un tornillo sin fin en la base del silo de almacenaje.

### **3.9. Diagrama de automatización (bloques)**

El diagrama de bloques se utilizará como una herramienta a través de la cual podremos interpretar de una forma más clara el esquema eléctrico de automatización del suministro de alimento para los porcinos en la granja experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y zootecnia.

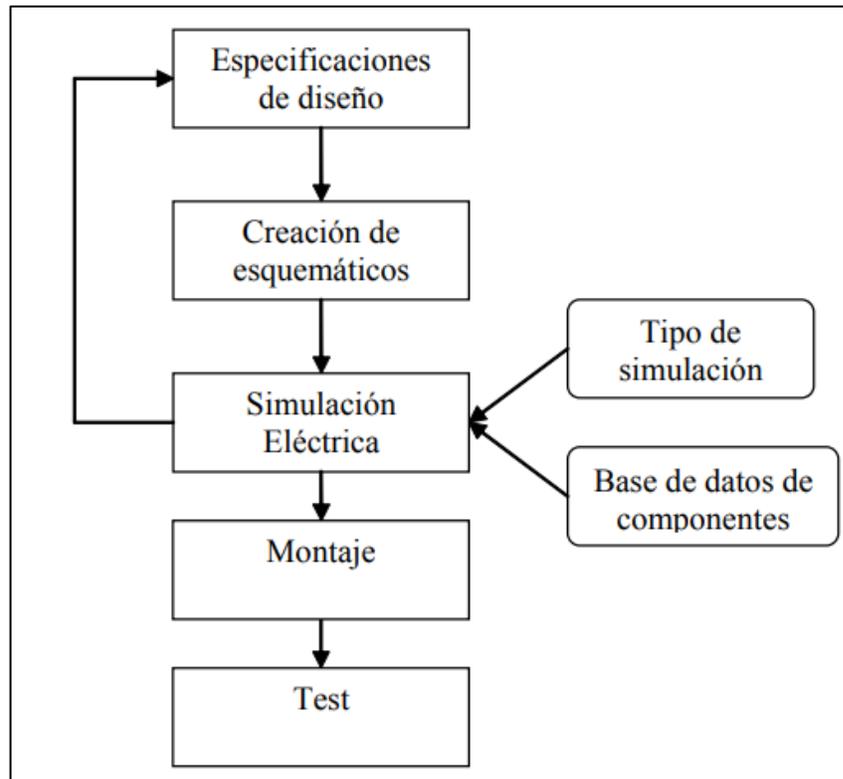
### **3.10. Diseño teórico de Tornillo sin fin**

Para realizar el diseño teórico del Tornillo sin fin de alimento se realizará Un diagrama de flujo del sistema de suministro de alimentación de los porcinos que se pretende diseñar. El esquema hará referencia al funcionamiento general del prototipo a proponer en el diseño.

### **3.11. Diseño teórico de un silo para almacenaje y suministro de alimentos**

El diseño teórico se utilizará como metodología descriptiva del diseño de circuitos electrónicos que entraran en operación al implementarse el sistema y tiene como objetivo la obtención de un circuito funcionalmente correcto, lo más sencillo y eficiente posible y en el menor plazo de tiempo. Para realizar el diseño teórico consideraremos diagrama de flujo que se presenta en la figura 21.

Figura 21. Flujo de diseño teórico analógico



Fuente: Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación. *ELECTRONIC DESIGN METHODOLOGY IN LAB EXPERIMENTS*. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/83191/1/METODOLOGIA%20DE%20DISE%C3%91O.pdf>. Consulta: 10 de agosto de 2020.

Para estimar las dimensiones del silo de almacenaje en función de la capacidad máxima de animales que puede albergar la granja experimental y la cantidad de kilogramos de alimentos de masa seca que debe de suministrar el prototipo a diseñar se tomó de referencia la siguiente tabla de requerimientos nutricionales para los porcinos.

Tabla IV. **Requerimientos nutricionales para porcinos**

Verracos		MS g/día	Composición de cada kg MS				
			ED kcal	PD g	FC g	Ca g	P g
Peso vivo 110 a 180 kg		2900	3125	127	100	7.5	5.5
Peso vivo 180 a 250 kg		3100					

Marranas en gestación		MS g/día	Composición de cada kg MS				
			ED kcal	PD g	FC g	Ca g	P g
Primeras 12 semanas		2000	3125	127	100	7.5	5.5
Últimas 4 semanas		2700					

Marranas en lactancia y cría		MS g/día	Composición de cada kg MS				
			ED kcal	PD g	FC g	Ca g	P g
Primera semana		3750	3185	160	75	9.5	7.0
Segunda semana		4500					
3ª, 4ª y 5ª, semana		5600					
Últimas 3 semanas		4500					

Cerdos de engorda		MS g/día	Composición de cada kg MS				
			ED kcal	PD g	FC g	Ca g	P g
Iniciación	PV 10 kg	600	3450	200	40	9.0	7.0
	PV 20 kg	900					
Crecimiento	PV 30 kg	1200	3265	150	60	8.0	6.0
	PV 40 kg	1500					
	PV 50 kg	1800					
Finalización	PV 60 kg	2100	3150	125	60	8.0	6.0
	PV 70 kg	2300					
	PV 80 kg	2500					
	PV 90 kg	2700					

Fuente: Instituto Nacional Tecnológico Dirección General de Formación Profesional. *Manual del protagonista*. <https://www.biopasos.com/documentos/087.pdf>. Consulta: 10 de agosto de 2020.

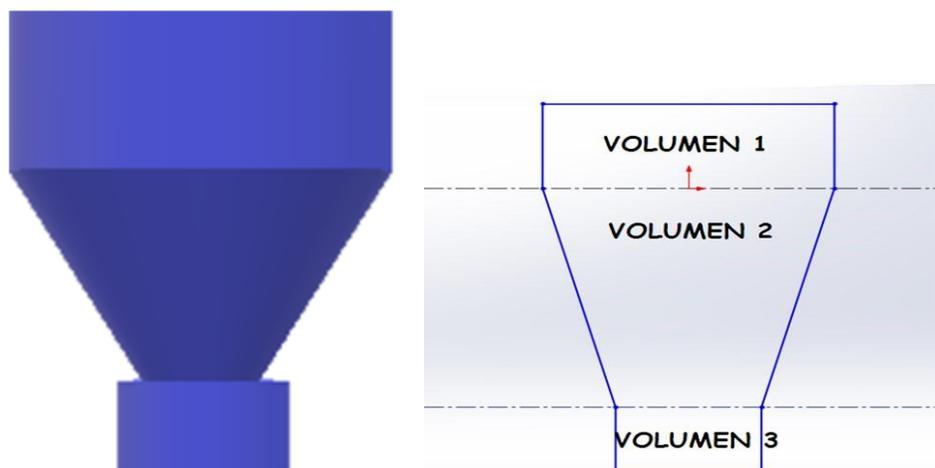
## 4. DISEÑO PROPUESTO

### 4.1. Diseño propuesto

Para el diseño propuesto se realizó un análisis del área de alimentación, los requerimientos nutricionales, grasas, proteínas, carbohidratos que deben de suministrarse a los porcinos según el peso, edad, sexo y uso. Tomando en cuantas estas consideraciones se propone el comedero que se observa en la siguiente figura.

- Diseño de la tolva

Figura 22. **Bosquejo de la tolva y subdivisiones de sus volúmenes para facilitar el cálculo**



Fuente: elaboración propia.

- Volumen o capacidad de la tolva

$$\text{Volumen total} = \text{volumen1} + \text{volumen2} + \text{volumen3}$$

Ecuación 1

- El concentrado: el alimento tiene forma cilíndrica y de diferentes longitudes, en la prueba con el prototipo existe obstrucción, el alimento no cae debido a que el diámetro de 1/2 pulgada que tiene.

Figura 23. Concentrado de cerdo



Fuente: Agro Show. *Alimento concentrado para cerdos 15% proteína.*

<https://agrotendencia.tv/agroshow/productos/porcicultura/alimento/alimento-concentrado-para-cerdos-15-proteina/>. Consulta: 15 de agosto de 2020.

Para diseñar la tolva se debe hallar el peso que se ejerce sobre esta, para esto, se determina la densidad del material como sigue a continuación:

Los siguientes datos fueron pesados en una gramera y el volumen se determina geoméricamente con un pie de rey (cilindro).

Para una masa de 14,7 gr tasada.

En un volumen de 18,4 cm<sup>3</sup>.

$$D = \frac{m}{v}$$

Donde:

D: densidad

m: masa

v: volumen

$$D = \frac{14,7 \text{ gr}}{18,4 \text{ cm}^3}$$

$$D = 0,798 \text{ gr/cm}^3$$

aproximadamente 0,8 gr/cm<sup>3</sup>

Como la densidad del material fue de 0,0008 kg/cm<sup>3</sup> y la cantidad repartida de concentrado es de 7\*0,4 kg = 2,8 kg, se puede calcular el volumen consumido:

Densidad = masa consumida/volumen consumido

$$\text{Volumen consumido} = \frac{2,8 \text{ kg}}{0,0008 \text{ kg/cm}^3}$$

$$3500 \text{ cm}^3$$

Volumen consumido= 3 500 cm<sup>3</sup>

Retomando la ecuación (1) de la tolva tenemos

Volumen total = volumen 1 + volumen 2 + volumen 3

Volumen 1= cilindro.      volumen 2 = cono truncado.      volumen 3 = cilindro.

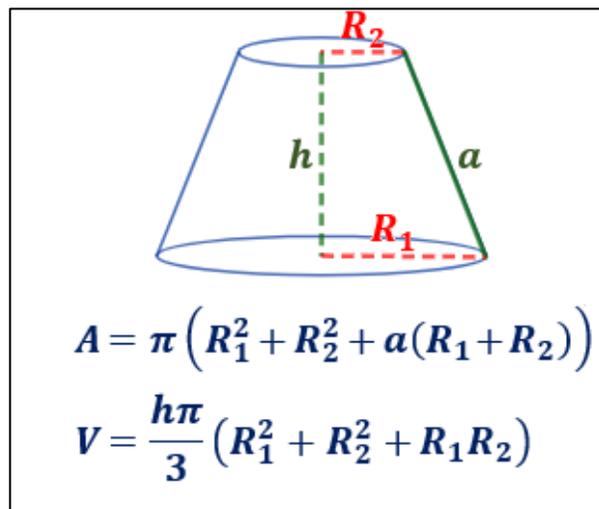
Reemplazando el volumen total:

3 500 cm<sup>3</sup> = volumen1+volumen2+volumen3

3 500 cm<sup>3</sup> =  $(\pi \cdot D_1^2/4) L_1 + (1/3)(\pi \cdot L_2)(R^2+r^2+R \cdot r) + (\pi \cdot D_3^2/4)L_3$

Ecuación (2)

Figura 24.      **Ecuación de volumen del cono truncado**



Fuente: Problemas y ecuaciones. *Calculadora del área y volumen del tronco de cono.*  
<https://www.problemasyeecuaciones.com/geometria3D/volumen/tronco/cono/calculadora-area-volumen-formula-demostracion.html>. Consulta: 25 de agosto de 2020.

Conociendo el diámetro  $D_3$  es de 50,8 mm porque ese es el diámetro óptimo para evitar obstrucciones en la salida.

$$D_3 = 50,8 \text{ mm. } r_2 = 25,4 \text{ mm}$$

Se dan parámetros de entrada para calcular el diámetro superior de entrada  $D_1$ . La longitud tres es  $L_3$ .

$$L_3 = 50,8 \text{ mm}$$

Si esta longitud es muy larga puede ocurrir obstrucción, preferimos una salida de concentrado más fluida.

La longitud  $L_2$  puede ser calculada con la relación de esbeltez de las tolvas:

Para el cálculo de la esbeltez se toma en cuenta las reglas que pone la norma UNE - EN 1991 - 4, 2011:

- Silos esbeltos, en los que  $2,0 < L_2/D_2$
- Silos de esbeltez media, en los que  $1,0 < L_2/D_2 < 2,0$
- Silos poco esbeltos, en los que  $0,4 < L_2/D_2 < 1,0$
- Silos granero, en los que el fondo es plano y  $L_2/D_2 \leq 0,4$

$$L_2/D_2 > 2$$

$$L_2 > 2 \cdot D_2$$

Conociendo que el diámetro  $D_2$  es igual al diámetro  $D_1$ , se reemplaza:

$$L_2 > 2(D_1)$$

Se toma la siguiente consideración para los cálculos:

$$L2 > 2,5*(D1)$$

Para la longitud L1 se da un valor de entrada de 101,6mm.

$$L1 = 127\text{mm}$$

Ahora se reemplazan los valores en la ecuación (2)

$$3\,500\text{ cm}^3 = (\pi*D1^2/4)L1 + (1/3)(\pi*L2)(R1^2+r2^2+R1*r2) + (\pi*D3^2/4)L3$$

$$3\,500\text{ cm}^3 = (\pi*D1^2/4)127\text{mm} + (1/3)(\pi*2,5*D1)((D1/2)^2+(25,4\text{ mm})^2+(D1/2)*(25,4\text{ mm})) + (\pi*(50,8\text{ mm})^2/4)(50,8\text{ mm})$$

$$3\,500\text{ cm}^3 = (D1^2)99,75\text{ mm} + ((2,62)D1)((D1/2)^2+(25,4\text{ mm})^2+((D1/2)*25,4\text{ mm})) + (102\,963\text{ mm}^3)$$

$$3\,500\text{ cm}^3 = (D1^2)99,75\text{ mm} + (0,655D1^3+1\,690,3D1+33,27D1^2) + 102\,963\text{ mm}^3$$

$$3\,500\text{ cm}^3 - 103\text{ cm}^3 = (99,75D1^2 + 0,1309D1^3+1\,690,3D1+33,27D1^2)$$

$$3\,397\text{ cm}^3 = 133,02D1^2+0,1309D1^3+1\,690,3D1$$

$$3\,397\,000\text{ mm}^3 = 133,02D1^2+0,1309D1^3+1\,690,3D1$$

Ecuación (3) Por el método de prueba y error

Tabla V. Prueba y error para diferentes diámetros reemplazados en la

Valores de D <sub>1</sub>	Resultado
127 mm	2 628 243 mm <sup>3</sup>
144 mm	3 392 528 mm <sup>3</sup>
153 mm	3 841 263,6 mm <sup>3</sup>

Fuente: elaboración propia.

Como se ve en la tabla el valor más cercano es el diámetro de 144 mm por una pequeña diferencia que puede despreciarse.

El diámetro de entrada de la tolva será de D<sub>1</sub>= 144 mm

Reemplazando para hallar L2

$$L2 > 2,5*(D_1)$$

$$L2 = 2,5*(144 \text{ mm})$$

$$L2 = 360 \text{ mm}$$

- Espesor de la tolva. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{P_w * r}{O'f}$$

Ecuación 4.

Donde:

P<sub>w</sub>: presión en la pared

r: radio o radio hidráulico

O'f: esfuerzo admisible del acero

La presión en la pared se calcula con la siguiente ecuación.

- Cálculo de esfuerzo en la tolva

$$P_v = \frac{p * g * D}{4 * \mu * K * g_c} * \left(1 - \exp\left(-\frac{4 * z * \mu * K}{D}\right)\right)$$

Ecuación 5.

Donde:

P<sub>v</sub>: presión en el fondo de la tolva (Pa)

p: densidad del material (Kg/m<sup>3</sup>)

z: altura de la tolva (m)

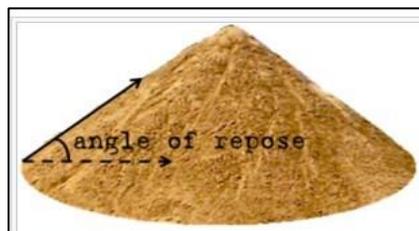
D: diámetro mayor de la tolva (m)

μ: coeficiente de fricción. g<sub>c</sub>: 1 kg\*m/N\*s<sup>2</sup>

g: gravedad (m/s<sup>2</sup>). δ: Angulo efectivo de fricción interna

- Angulo de fricción interna: El ángulo de fricción interna es una propiedad de los materiales granulares, este se mide con base en el material en reposo sobre una superficie horizontal.

Figura 25. **Ángulo de reposo es muy parecido al ángulo de fricción interna efectivo**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 365.

Figura 26. **Medida con transportador y regla del ángulo de reposo del concentrado**



Fuente: elaboración propia.

- Se procede a medir el concentrado con compas y regla.

Para un valor de fricción interno efectivo de 35 grados.

Para hallarlo se utilizan las siguientes ecuaciones y tomamos el valor máximo.

$$K = 0,4$$

$$K = \frac{1 - \text{Sin}\delta_1}{1 + \text{Sin}\delta_1}$$

$$K = \frac{1 - \text{Sin}^2\delta_1}{1 + \text{Sin}^2\delta_1}$$

Ecuación 6.

Se resuelven:

$$K = 0,4$$

$$K = 0,27$$

$$K = 0,5$$

Se elige el de mayor valor:

$$K = 0,5$$

Para hallar  $P_v$  se necesitan los datos presentados en la siguiente tabla

Tabla VI. **Parámetros para calcular  $P_v$  (Presión en el fondo de la tolva)**

<b>Factor</b>	<b>Magnitud</b>
Densidad	800 Kg/m <sup>3</sup>
Altura de la tolva	53,78 cm
Diámetro mayor	14,4c m
Coefficiente de fricción	0,12
Gravedad especifica	1 kg*m/N*s <sup>2</sup>
gravedad	10m/s <sup>2</sup>
Angulo efectivo de fricción interna	35 °

Fuente: elaboración propia.

Reemplazando en la ecuación 5:

$$P_v = \frac{p * g * D}{4 * \mu * K * g_c} * \left(1 - \exp\left(-\frac{4 * z * \mu * K}{D}\right)\right)$$

Resolviendo:

$$P_v = (1\ 016/0,24)(1-0,4114)$$

$$P_v = 2\ 491,74\ \text{Pa}$$

- Presión en la pared de la tolva.

Para hallarlo se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_w = K * P_v$$

Ecuación 7.

Siendo:

$P_w$  = presión en la pared de la tolva.

Reemplazando:

$$P_w = 0,5 (2\,491,74) \text{ Pa}$$

$$P_w = 1\,245,87 \text{ Pa}$$

- Espesor de la plancha de la tolva

$$t = \frac{P_w * R_h}{\Phi_{adm}}$$

Ecuación 8.

Donde:

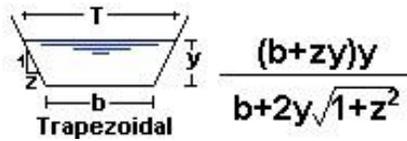
$P_w$ : presión en la pared de la tolva.

$R_h$ : radio hidráulico.

$\Phi_{adm}$ : esfuerzo admisible del material.

Para un cono truncado, el radio hidráulico está dado por la siguiente ecuación:

Figura 27. **Radio hidráulico de un cono truncado.**



Fuente: elaboración propia.

$$R_h = (50,8 \text{ mm} + (46,6 \cdot 360 \text{ mm})) (360 \text{ mm}) / 50,8 \text{ mm} + (2 \cdot 360 \text{ mm}) (1 + 46,6^2)^{1/2}$$

$$R_h = 6\,057\,648 \text{ mm}^2 / 33\,610,52 \text{ mm}$$

$$R_h = 180,23 \text{ mm}$$

$$R_h = 0,18 \text{ m}$$

- Selección de material para la tolva. El esfuerzo permisible se calcula con la siguiente ecuación:

$$\Phi_{adm} = 0,4 \cdot S_y$$

Donde:

$S_y$ : Resistencia a la fluencia Mpa.

$$\Phi_{adm} = 0,4 (S_y)$$

Seleccionamos un acero UNS G10060 del Apéndice (1).

$$\Phi_{adm} = 0,4 (170 \text{ Mpa})$$

$$\Phi_{adm} = 68 \text{ Mpa}$$

Reemplazando en la ecuación 8:

$$t = (1\,245,87 \text{ Pa} \cdot 0,18 \text{ m}) / 68 \text{ Mpa}$$

$$t = 0,00000329 \text{ m} = 0,00329 \text{ mm}$$

Esto demuestra que el acero sobredimensiona el espesor de la tolva, sin embargo, se consiguen con mayor facilidad las láminas de acero galvanizado y zinc.

Se selecciona la lámina de acero galvanizado debido que esta puede soportar los posibles golpes en la tolva.

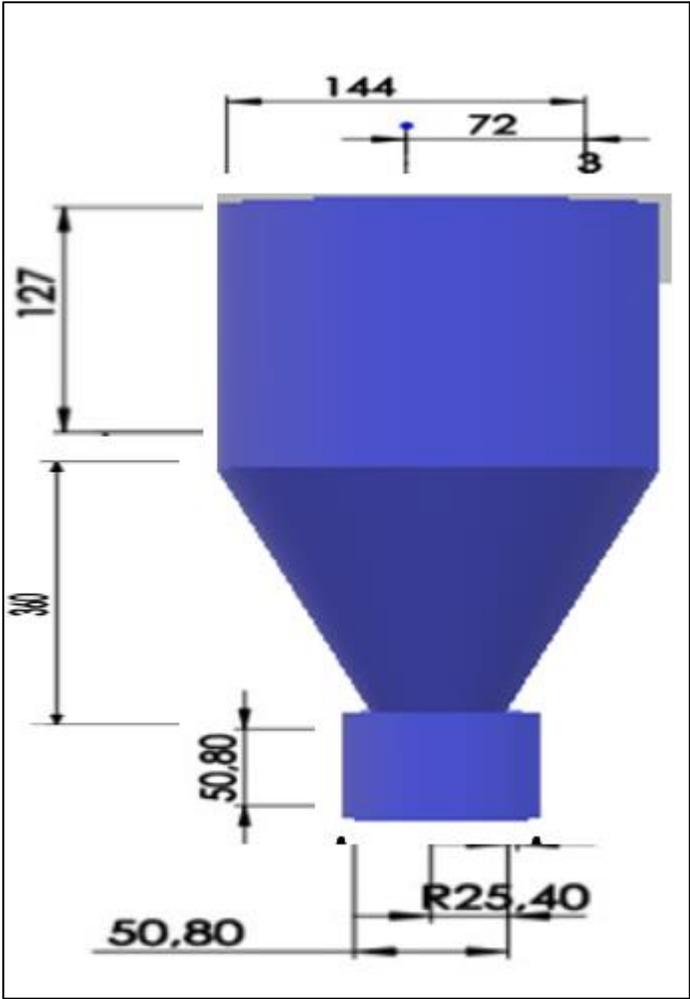
- Especificaciones de la tolva
  - Peso de la tolva. El peso de la tolva está con base en su geometría y material.

Volumen total interno 3 500 cm<sup>3</sup>

Volumen de la tolva medida desde el espesor

Retomando la ecuación (2)

Figura 28. **Medidas internas de la tolva sin tener en cuenta el espesor.**  
**Cotas en mm**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

Volumen total = volumen1+volumen2+volumen3

Volumen total =  $(\pi \cdot D_1^2 / 4) L_1 + (1/3)(\pi \cdot L_2)(R^2 + r^2 + R \cdot r) + (\pi \cdot D_3^2 / 4) L_3$

Ahora se reemplazan los valores en la ecuación:

$$\text{Volumen total} = \left( \pi * \frac{(144 \text{ mm})^2}{4} \right) (127 \text{ mm}) + \left( \frac{1}{3} \right) (\pi * 360 \text{ mm})(72 \text{ mm}^2 + 25,4 \text{ mm}^2 + 72 \text{ mm} * 25,4 \text{ mm}) + \left( \pi * \frac{50,8 \text{ mm}^2}{4} \right) 50,8 \text{ mm}$$

$$\text{Volumen total} = 2\,068\,324,07 \text{ mm}^3 + 2\,886\,982,90 \text{ mm}^3 + 102\,962,96 \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen total} = 5\,058\,269,93 \text{ mm}^3$$

Debido a que la tolva es hueca, ese valor de 5 058 269,93mm<sup>3</sup> representa el interior hueco, ahora hallamos el volumen sumado al espesor de la tolva y operamos la resta para hallar el volumen exacto.

$$V_s = (\pi * D_1^2 / 4) L_1 + (1/3)(\pi * L_2)(R^2 + r^2 + R * r) + (\pi * D_3^2 / 4) L_3$$

Donde:

V<sub>s</sub>: volumen con espesor de la tolva

$$V_s = \left( \pi * 150 \frac{\text{mm}^2}{4} \right) 127 \text{ mm} + (1/3)(\pi * 360 \text{ mm})((75 \text{ mm})^2 + (28,4 \text{ mm})^2 + 75 \text{ mm} * 28,4 \text{ mm}) + (\pi * (56,80 \text{ mm})^2 / 4) 50,80 \text{ mm}$$

$$V_s = 2\,244\,275,25 \text{ mm}^3 + 3\,227\,632,08 \text{ mm}^3 + 128\,721,25 \text{ mm}^3$$

$$V_s = 5\,600\,628,58 \text{ mm}^3$$

Volumen total de la tolva = V<sub>s</sub> - Volumen total

$$\text{Volumen total de la tolva} = 5\,600\,628,58 \text{ mm}^3 - 5\,058\,269,93 \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen total de la tolva} = 542\,358,65 \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen total de la tolva} = 542\,358,65 \text{ mm}^3$$

Volumen total de la tolva = 0,00054235865 m<sup>3</sup>

La densidad del acero galvanizado es 7 850 kg/m<sup>3</sup>

Densidad = masa/volumen

Masa= densidad \* volumen

Masa= 7 850 Kg/m<sup>3</sup> \* 0,00054235865 m<sup>3</sup>

Masa= 4,2575 Kg

Wtolva = Masa\*g

Donde:

Wtolva: peso real de la tolva

g: gravedad (10 m/s<sup>2</sup>)

Wtolva = 4,2575 Kg \* 10 m/s<sup>2</sup>

Wtolva= 42,57 N

Tabla VII. **Peso de la tolva en Newton**

<b>Factor</b>	<b>Magnitud</b>
Wtolva	42,57N

Fuente: elaboración propia.

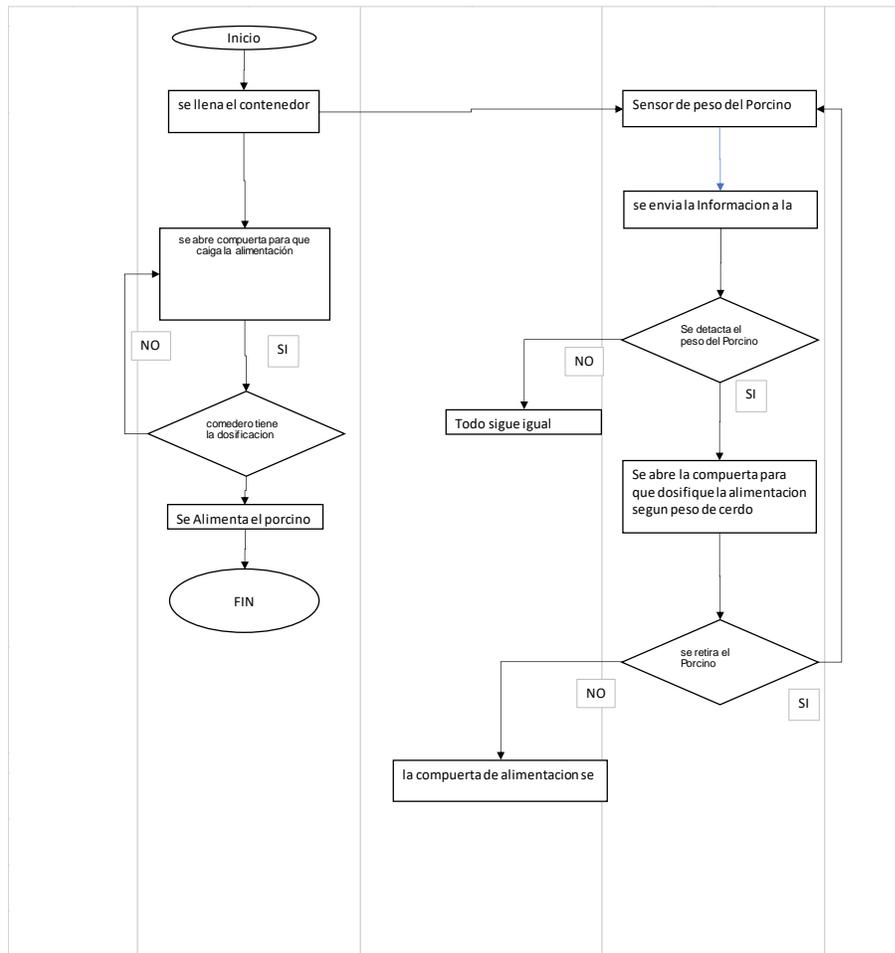
La tolva está diseñada con base en su salida que es de 50,8 mm. Y su entrada de 144 mm. Debe tener un volumen máximo 3 397cm<sup>3</sup> y un espesor de 3 mm (1/8 pulg). Altura total de la tolva es de 53,78 cm.

#### **4.2. Esquema de funcionamiento**

El esquema de funcionamiento se utilizará como una herramienta a través de la cual podremos interpretar de una forma más clara el funcionamiento del

sistema de automatización del alimento para los porcinos en la granja experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y zootecnia

Figura 29. Esquema de funcionamiento



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2019.

### 4.3. Arquitectura del control automatizado

En la Arquitectura de control automatizado de la alimentación que se propone en este trabajo de graduación es una representación gráfica detallada

de los equipos a interconectar entre los cuales podemos mencionar la placa de Arduino, celda de carga HX711, transmisor de celda de carga HX711 entre otros.

#### 4.4. **Hardware utilizado**

Una celda de carga es un transductor capaz de convertir una fuerza en una señal eléctrica. La celda de carga a utilizar es celda de carga Aihasd 100 kg/200 kg celda de carga electrónica cocina báscula peso Sensor para HX711 AD módulo para Arduino.

Figura 30. **Celda de carga H X711**



Fuente: AliExpress. UYU 901.12. <https://es.aliexpress.com/i/4000067428027.html>. Consulta: 10 de septiembre de 2020.

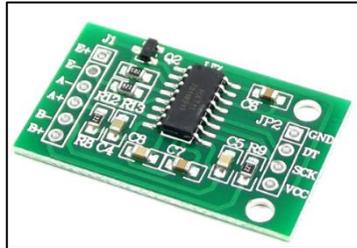
Figura 31. Especificaciones Celda de carga H X711

Application		Price computing scales	
Model		YZC-1B	YZC-1
Capacity	kg	3,5,6,8,10,15,20,25,30,40,50,80,100,120,200	5, 6, 8, 20, 40, 50
Rated output	mV/V	2.0±0.15	2.0±0.15
Accuracy class		C3	C3
Maximum number of verification intervals	n max	2000	3000
Minimum load cell verification intervals	V min	E max/5000	E max/7500
Combined erro	%RO	< ±0.030	< ±0.020
Creep	%RO / 30min	0.03	0.0167
Temperature effect on sensitivity	%RO / °C	0.0016	
Temperature effect on zero	%RO / °C	0.003	0.002
Zero balance	%RO	±1.0	
Input resistance	Ω	402±6	1066±10
Output resistance	Ω	350±3	1000±10
Insulation resistance	MΩ(50V)	5000	
Recommended excitation voltage	V	10 ~ 15	
Compensated temperature range	°C	-10 ~ +40	
Operating temperature range	°C	-35 ~ +80	
Safe overload	%RO	150	
ultimate overload	%RO	200	
Load cell material		aluminium	
Platform size		350×350	
Connecting cable		ø 4.2×350mm	
Method of connecting wire		Red input (+) black input (-) green input (+) white input (-)	

Fuente: AliExpress. UYU 901.12. <https://es.aliexpress.com/i/4000067428027.html>. Consulta: 10 de septiembre de 2020.

El transmisor de celda de carga HX711 es un módulo de interface entre las celdas de carga y el microcontrolador, permitiendo poder leer el peso de manera sencilla. Internamente se encarga de la lectura del puente wheatstone formado por la celda de carga, convirtiendo la lectura analógica a digital con su conversor A/D interno de 24 bits.

Figura 32. **El transmisor de celda de carga HX711**

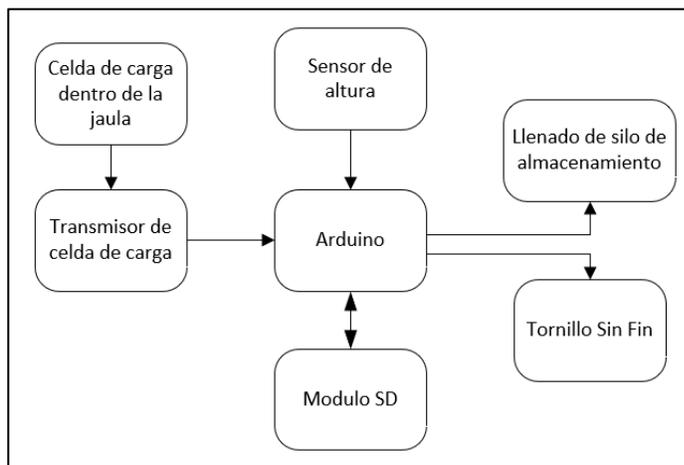


Fuente: AliExpress. UYU 901.12. <https://es.aliexpress.com/i/4000067428027.html>. Consulta: 10 de septiembre de 2020.

#### 4.5. Diagrama de sensores y módulo SD

Para conectar el circuito diseñado de una aplicación típica en Arduino con un DHT11, necesitaremos tener un diagrama de cómo debe de conectar cada uno de los componentes y sensores a las placas de Arduino

Figura 33. **Diagrama de bloques**



Fuente: elaboración propia.



## 4.6. Código de programación

- Módulo de carga
  - Librería HX711 para Arduino

Se está utilizando la librería HX711 de Bogde el cual lo pueden descargar desde Github: <https://github.com/bogde/HX711>

Una vez descargado hay que importarla a nuestro IDE de Arduino. Se explicarán las funciones principales de esta librería.

- `begin(byte PinData, byte PinClock)` :inicializa el HX711, se puede trabajar con cualquiera de los pines.
- `tare(byte n)`: establece el peso actual como el peso de tara, n indica el número de lecturas que se realizan para obtener la tara, por defecto n=10.
- `set_scale(float scale)`: establece el valor de la escala, que es el factor de conversión para convertir valor de lectura en un valor con unidades de peso. Por defecto es scale=1.
- `read()`: espera hasta que el dispositivo esté listo y devuelve la lectura del ADC del HX711.
- `read_average(byte n)`: realiza n veces la lectura del ADC y devuelve el promedio.
- `get_value(byte n)`: devuelve el valor actual restando el peso de tara. Equivalente a  $(\text{read\_average}() - \text{OFFSET})$  . Si se especifica un valor de n, devuelve el promedio de n lecturas.
- `get_units(byte n)`: devuelve el valor actual restado del peso de tara y dividido por la escala. Es equivalente a  $(\text{get\_value}()/\text{SCALE})$ . Si se especifica un valor de n, devuelve el promedio de n lecturas.

- Calibrando la balanza.

Lo primero que se debe de hacer es calibrar, que es básicamente hallar el valor de la escala que se usará; es decir hallar el factor de conversión para convertir valor de lectura en un valor con unidades de peso. La escala es diferente para cada celda y cambia de acuerdo a la forma de instalar, al peso máximo o modelo de celda de carga, incluso así se trate del mismo modelo de celdas no necesariamente tienen el mismo valor de escala.

Primero necesitamos conseguir un objeto con peso conocido, en otras palabras debemos saber el peso real del objeto. Se recomienda que el peso conocido sea cercano al valor máximo del rango de trabajo de la celda de carga. En nuestro caso usaremos un peso de 199 Kg pues nuestra celda es de 200 Kg.

El siguiente paso es cargar el siguiente Sketch al Arduino.

```
#include "HX711.h"
const int DOUT=A1;
const int CLK=A0;

HX711 balanza;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  balanza.begin(DOUT, CLK);
  Serial.print("Lectura del valor del ADC:t");
  Serial.println(balanza.read());
  Serial.println("No ponga ningún objeto sobre la balanza");
  Serial.println("Destarando...");
```

```
balanza.set_scale(); //La escala por defecto es 1
balanza.tare(20); //El peso actual es considerado Tara.
Serial.println("Coloque un peso conocido:");
}
```

```
void loop() {

Serial.print("Valor de lectura: t");
Serial.println(balanza.get_value(10),0);
delay(100);
}
```

El programa debe correr sin el peso colocado, pues al inicio de programa calcula la tara.

Después de abrir el monitor serial y esperar para que reste la tara, Se pone el objeto de 200 Kg o el peso con el que estén trabajando.

- Programa final para la balanza

El programa que se utilizara es similar al programa que usamos para calibrar, con la diferencia que ya conocemos la escala.

```
#include "HX711.h"
```

```
const int DOUT=A1;
```

```
const int CLK=A0;
```

```
HX711 balanza;
```

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  balanza.begin(DOUT, CLK);
  Serial.print("Lectura del valor del ADC: ");
  Serial.println(balanza.read());
  Serial.println("No ponga ningun objeto sobre la balanza");
  Serial.println("Destarando...");
  Serial.println("...");
  balanza.set_scale(439430.25); // Establecemos la escala
  balanza.tare(20); //El peso actual es considerado Tara.

  Serial.println("Listo para pesar");
}

void loop() {
  Serial.print("Peso: ");
  Serial.print(balanza.get_units(20),3);
  Serial.println(" kg");
  delay(500);
}

```

Como se observa en el código, es necesario encender el Arduino antes de colocar los objetos que se desean pesar, de lo contrario el peso que esté sobre la balanza se considerará como tara.

- Módulo SD Card: la librería del módulo SD card
  - SD.begin(cspin): inicializa la biblioteca SD y la tarjeta, como parámetro se le indica el pin CS al que está conectado el módulo,

si no se especifica *cspin*, se usa el valor por defecto del CS por *hardware*. Los demás pines deben estar conectados al SPI por *hardware* del Arduino.

- `SD.exists(filename)`: comprueba si existe el archivo especificado, `filename` es el nombre del archivo y/o directorio en la tarjeta SD si este existe la función nos retorna un `true`, de lo contrario retorna `false`.
- `SD.mkdir(directory)`: crea el directorio especificado, si los subdirectorios no existen, también se crearan. Por ejemplo: `SD.mkdir("Arduino/proyecto1/archivos)`, crea la carpeta "archivos" y si las carpetas Arduino y proyecto1 no existen, entonces también se crearan. La función retorna `true` si la creación del directorio fue exitosa de lo contrario nos retorna un `false`.
- `SD.remove(filename)`: elimina el archivo (*filename*) de la tarjeta SD, se debe de incluir el directorio. Solo elimina el archivo más no el directorio. Devuelve `true` se logra eliminar el archivo de lo contrario nos retorna un `false`.
- `SD.rmdir(dirname)`: eliminar el directorio (*dirname*) de la tarjeta SD. El directorio debe estar vacío. Devuelve `TRUE` si la eliminación del directorio tuvo éxito o `FALSE` en caso contrario.
- `SD.open(filepath, mode)`: abre el archivo especificado y se debe de incluir el directorio si el archivo está en carpetas. Si el archivo no existe, se creará un archivo con el nombre especificado, pero no será posible crear el directorio si este no existe. Se puede abrir un archivo como solo lectura (si `mode` es `FILE_READ`) o como lectura y escritura (si `mode` es `FILE_WRITE`), el modo por defecto en caso no se especifique es `FILE_READ`.
- Esta función nos retorna un objeto tipo `FILE`, el cual es necesario declararlo antes como una variable. Por ejemplo:

```
File myFile;
```

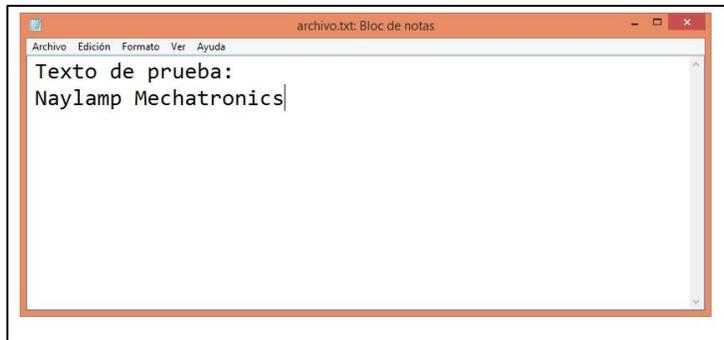
```
myFile = SD.open("archivo.txt", FILE_WRITE);
```

- Funciones de la clase file:
  - `file.available()`: compruebe si hay bytes disponibles para leer en el archivo y retorna el número de bytes disponibles.
  - `file.read()`: lee un byte de la variable File (archivo abierto anteriormente con `SD.open()`).
  - `file.write(data)`: escribe un byte en el archivo, el archivo debe estar abierto en modo lectura y escritura. Usando `file.write(buf, len)` se puede escribir un array de byte (buf) pero se debe especificar el tamaño (len).
  - `file.print(data)`: esta función tiene las mismas características que un `Serial.print()`; data puede ser una variable o texto, el cual será enviado como caracteres. Si queremos agregar al final un salto o nueva línea se usa `file.println(data)`.
  - `file.size()`: retorna el tamaño en bytes del archivo.
  - `file.position()`: retorna la posición actual en donde se leerá o escribirá el siguiente byte.
  - `file.seek(pos)`: nos ubicamos en una posición específica en el archivo. Pos debe ser un número entre 0 y el tamaño en bytes del archivo.
  - `file.close()`: cerramos el archivo, y recién en este momento los datos se guardan en la SD, pudiendo extraer de forma segura nuestra SD.

- Código para leer módulo SD Card

Para esto se inserta la SD a la PC, abrimos y creamos un archivo de hoja de texto, por ejemplo archivo.txt, e ingresamos el texto que posteriormente vamos a leer desde Arduino:

Figura 36. **hoja de texto para leer módulo SD Card**



Fuente: elaboración propia, empleando Bloc de notas de Windows.

Seguidamente extraemos la SD de la PC, lo insertamos en el módulo SD. Y cargamos el siguiente sketch en nuestro Arduino:

```
#include <SD.h>

File myFile;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.print("Iniciando SD ...");
  if (!SD.begin(4)) {
```

```

    Serial.println("No se pudo inicializar");
    return;
}
Serial.println("inicializacion exitosa");

myFile = SD.open("archivo.txt");//abrimos el archivo
if (myFile) {
    Serial.println("archivo.txt:");
    while (myFile.available()) {
        Serial.write(myFile.read());
    }
    myFile.close(); //cerramos el archivo
} else {
    Serial.println("Error al abrir el archivo");
}
}

void loop()
{

}

```

Para comparar los datos guardados con los datos ingresado en el Arduino será el siguiente código

```

#include <SD.h>

File myFile;
char claveSD[7];

```

```

int index = 0;

void setup(){

  Serial.begin(9600);
  while (!Serial) {
    ; // wait for serial port to connect. Needed for Leonardo only
  }

  Serial.print("Initializing SD card...");

  pinMode(10, OUTPUT);
  digitalWrite(10, HIGH);

  if (!SD.begin(4)) {
    Serial.println("initialization failed!");
    return;
  }
  Serial.println("initialization done.");

}

void loop(){
  if(true){
    myFile = SD.open("claves.txt");

    if (myFile) {
      while (myFile.available()) {
        char c = myFile.read();

```

```

while(c != '\n'){
  claveSD[index] = c;
  c = myFile.read();
  index++;
}
claveSD[index] = '\0';

if(strstr(claveSD,"1234567")){
  Serial.println("encontrado");
  while(true); // loop infinito cuando encuentra clave (solo para debug)
}

index = 0;
}
myFile.close();
} else {
  Serial.println("error al abrir archivo");
}
}
}
}

```

Con este código se busca una cadena en un archivo en la SD y lo compara con otro.

Sensor de llenado de silo



## 5. ANÁLISIS FINANCIERO

### 5.1. Factibilidad económica

Después de realizado el diseño del comedero de cerdos automatizado con tecnología Arduino en la granja Experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia se debe de cuantificar los costos de los materiales, *hardware*, *software*, mano de obra, insumos a utilizar entre otros en la construcción del prototipo propuesto para la parte de control, en el análisis contemplado para este proyecto no se incluye el *hardware* móvil adicional para la implementación.

Tabla VIII. **Cuantificación de costos del diseño de control propuesto**

Nombre del recurso	Elemento	Cantidad	Costo
<i>Hardware</i>	Fuente de alimentación	1	Q 30,00
	Motor DC	1	Q 15,00
	Cell de carga HX711	1	Q 150,00
	Transmisor de celda de carga HX711	1	Q 25,00
	Sensor de altura tipo Sharp	1	Q 15,00
	Arduino	1	Q 17,00
	Módulo micro SD	1	Q 20,00
	Construcción módulo de alimentación	1	Q1 600,00
<i>Software</i>	Arduino	1	Q -
	<b>Total</b>		Q1 872,00

Fuente: elaboración propia.

## 5.2. *Hardware* adicional necesario para la implementación

Este proyecto se basa en el diseño del sistema de control, por lo tanto, se realizó el cálculo y análisis de cuantificación de costos solamente sobre los insumos de la parte de control, para la puesta en producción de este proyecto se necesita contemplar el costo del *hardware* móvil adicional.

Tabla IX. **Cuantificación de costos del *hardware* adicional necesario para la implementación**

<b>Nombre del recurso</b>	<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
<i>Hardware</i>	Silo de acero	1	Q1 000,00
	Jaula de alimentación	1	Q 400,00
Mano de obra	Instalación del silo y jaula de alimentación	1	Q -
		<b>Total</b>	Q1 400,00

Fuente: elaboración propia.

## **6. MANUAL DE MANTENIMIENTO**

Todo dispositivo de *hardware* y *software* para que se mantenga en operación en óptimas condiciones debe de tener un mantenimiento. El mantenimiento se puede realizar preventivo, correctivo o predictivo.

### **6.1. Limpieza de módulo electromecánico**

Para mantener un nivel de seguridad óptimo en el módulo electromecánico y evitar un grave riesgo de sufrir un accidente que provoque daños personales y/o materiales de importancia. Debemos de realizar los siguientes pasos.

- Limpia contactos
- Pincel fino
- Spray de aire comprimido para limpieza de gabinete

### **6.2. Revisión de conectores**

Periódicamente se debe de realizar un monitoreo de conectores, terminales para determinar que no se encuentran con problemas debemos de realizar un diagnóstico con una visita de campo para comprobar la continuidad de los cables y hacer pruebas de conexión y desconexión.

### **6.3. Mantenimiento Software**

- Mantenimiento a nivel software es ideal realizar una actualización de paquetes del ordenador reducido esto con el propósito de mantener actualizada la interfaz.
- Se recomienda NO actualizar las librerías utilizadas para la inicialización de los sensores, ya que está diseñado para funcionar única y exclusivamente en las librerías de *stock* al descargarse.
- Revisar transmisión y validación de datos.
- Es recomendable realizar una limpieza mensual de todos los conectores empleando limpia contactos especial y aire comprimido.
- Debido a que los sensores instalados son consumibles, es decir tienen fecha de caducidad perdiendo calibración y propiedades de medición, se recomienda realizar cambio de sensores anualmente.

### **6.4. Programa de mantenimiento**

Se presenta el programa de mantenimiento y la descripción de cada una de sus actividades describiendo cada una de estas.

Tabla X. Programa de mantenimiento

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO													
CRONOGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA ELECTRICO Y ELECTRONICO													
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES ANUALES		MESES DEL AÑO											
ACTIVIDADES		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Revisar Inventario de artefactos electrónicos y eléctricos	■											
2	Cambio de artefactos electrónicos y eléctricos de acuerdo con el programa de renovación		■										
3	Evaluación del consumo eléctrico por granja			■			■			■			■
4	Evaluación de artefactos dañados en cada granja			■						■			■
5	Revisión de los artefactos Eléctricos y electrónicos	■											
6	Control de Artefactos Eléctricos y electrónicos						■						■
7	Programa de cambio de artefactos Eléctricos y electrónicos			■			■			■			■

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Cambio de artefactos eléctricos y electrónicos

CAMBIO DE ARTEFACTOS ELECTRICO Y ELECTRONICOS
<b>ACTIVIDAD</b>
Definir el grado de obsolescencia de los artefactos por rendimiento o por daño mecánico o eléctrico
Seleccionar los elementos eléctricos o electrónicos a renovar, verificando el estado mecánico
Definir la modalidad de ejecución de plazos
Ejecutar cambio de artefactos eléctricos

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Propuesta para sistema básico de mantenimiento

<b>PROPUESTA PARA SISTEMA BASICO DE MANTENIMIENTO</b>		
<b>ACTIVIDADES</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
Estableces bodega para taller eléctrico y electrónico		
Stock de herramientas básicas		
Stock de artefactos eléctricos y electrónicos equivalente al 5% del inventario de artefactos eléctricos y electrónicos instalados		
Establecer encargado de mantenimiento		

Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. Se diseñó un sistema automatizado de control utilizando la tecnología Arduino para el suministro de alimento a los animales de la granja experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y zootecnia tomando como variables del diseño la masa seca de alimento en kilogramos que debe de consumir cada porcino según su edad, sexo y actividad productiva.
2. Se cuantifico los costos de puesta en operación del prototipo que se diseñó para el suministro y almacenaje del alimento de los porcinos y según el análisis hecho se determinó que el costo-beneficio del proyecto es grande ya que habrá menos desperdicio de alimento y se optimizará la productividad de la granja experimental.
3. Con la implementación del diseño propuesto se podrá determinar un mejor control del crecimiento de los porcinos lo cual permitirá optimizar el tiempo de venta generando un mejor margen de ganancia para la granja experimental.



## RECOMENDACIONES

1. Evaluar y considerar la implementación de las medidas de ahorro y eficiencia energética para optimizar la productividad de la granja experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y zootecnia.
2. Capacitar al personal en el mantenimiento y uso de equipo electrónico y así lograr que tengan el conocimiento de programación y puesta en operación del diseño propuesto en este proyecto con tecnología Arduino.
3. Obtener los suministros complementarios al sistema de control diseñado en este proyecto para poder realizar su implementación.



## BIBLIOGRAFIA

1. Agro Show. *Alimento concentrado para cerdos 15% proteína*. [en línea]. <<https://agrotendencia.tv/agroshow/productos/porcicultura/alimento/alimento-concentrado-para-cerdos-15-proteina/>>. [Consulta: 15 de agosto de 2020].
2. AGUIRRE, Piero. *Trabajo transporte y explotación de silos Colombia*. [en línea]. <<https://grupo3silos.blogspot.com/2019/04/>>. [Consulta: el 10 de agosto de 2020].
3. AliExpress. *UYU 901.12*. [en línea]. <<https://es.aliexpress.com/i/4000067428027.html>>. [Consulta: 10 de septiembre de 2020].
4. Arduino.cc. *Arduino DUE*. [en línea]. <<https://arduino.cc>>. [Consulta: 10 de agosto de 2020].
5. \_\_\_\_\_. *Arduino hardware*. [en línea]. <<https://www.arduino.cc/en/hardware#boards>>. [Consulta: 10 de agosto de 2020].
6. \_\_\_\_\_. *Arduino Uno Rev3*. [en línea]. <<https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>>. [Consultado el 10 de agosto de 2020].

7. AV electronics. *Módulo hx711 para sensor de peso*. [en línea]. <<https://avelectronics.cc/producto/modulo-hx711-para-sensor-de-peso/>>. [Consulta: 10 de agosto de 2020].
8. CREUS, Antonio. *Neumática e hidráulica*. España: Marcombo. 2007. 381 p.
9. DE LUCIA, M.; ASSENNATO, D. *La ingeniería en el desarrollo - Manejo y tratamiento de granos poscosecha*. Francia: FAO. 1999. 328 p.
10. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. *Quienes somos*. [en línea]. <<http://portal.fmvz.usac.edu.gt/index.php/quienes-somos/>>. [Consulta: 10 de agosto 2020].
11. \_\_\_\_\_. *Reseña histórica*. [en línea]. <<http://portal.fmvz.usac.edu.gt/index.php/resena-historica/>>. [Consulta: 10 de febrero de 2020].
12. \_\_\_\_\_. *Ubicación geográfica Granja Experimental*. [en línea]. <[http://www.fmvz.usac.edu.gt/index.php/2016-06-28-06-20-37/2016-06-28-06-23-47/granja\\_experimental](http://www.fmvz.usac.edu.gt/index.php/2016-06-28-06-20-37/2016-06-28-06-23-47/granja_experimental)>. [Consulta: 10 de febrero de 2020].
13. Guellcom Acceso. *Tipos de Arduino*. [en línea]. <<https://rayte.com/blog/post/5-tipos-de-arduino>>. [Consulta: 10 de agosto de 2020].

14. IES Villalba Hervás. *Motores de corriente continua*. [en línea]. <<https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2010/01/motores-electricos-parte-i1.pdf>>. [Consulta: 10 de agosto de 2020].
15. Instituto Nacional Tecnológico Dirección General de Formación Profesional. *Manual del protagonista*. [en línea]. <<https://www.biopasos.com/documentos/087.pdf>>. [Consulta: 10 de agosto de 2020].
16. NAYLAMP MECATRONICS. *Tutorial sensor de distancia Sharp*. [en línea]. <[https://www.naylampmechatronics.com/blog/55\\_tutorial-sensor-de-distancia-sharp.html](https://www.naylampmechatronics.com/blog/55_tutorial-sensor-de-distancia-sharp.html)>. [Consulta: 10 de agosto de 2020].
17. Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación. *ELECTRONIC DESIGN METHODOLOGY IN LAB EXPERIMENTS*. [en línea]. <<https://digital.csic.es/bitstream/10261/83191/1/METODOLOGIA%20DE%20DISE%C3%91O.pdf>>. [Consulta: 10 de agosto de 2020].
18. Problemas y ecuaciones. *Calculadora del área y volumen del tronco de cono*. [en línea]. <<https://www.problemasyequaciones.com/geometria3D/volumen/tronco/cono/calculadora-area-volumen-formula-demostracion.html>>. [Consulta: 25 de agosto de 2020].
19. WILLIAM, David; GRACEY, Alfred. *Mantenimiento y funcionamiento de silos*. Roma: FAO. 1996. 128 p.

