

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ZACATECAS



## CONTROL ELECTROMECHANICO DE UN SISTEMA DE CARACTERIZACION DE TERNEZA DE CARNES Y EMBUTIDOS

**René Herrera Velázquez**

Tesis de Licenciatura

presentada a la Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica  
de acuerdo a los requerimientos de la Universidad para obtener el título de

**INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA**

Directores de tesis:

Dr. Ma. Auxiliadora Araiza E., Dr. Arturo A. Ortiz Hernández y Dr. Alfonso López Martínez

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Zacatecas, Zac., 22 de marzo de 2018



**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA** | **INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA**

**AL PASANTE DE LA CARRERA DE INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRONICA HERRERA VELÁZQUEZ RENÉ PRESENTE.**

En atención con su atento oficio de fecha 24 de Octubre del 2017, por medio del cual solicitan se les señale el Tema que deberán desarrollar para la elaboración de su Trabajo de Tesis Profesional en la Licenciatura de Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica, manifiesto a ustedes lo siguiente:

Con esta fecha se reunieron los Maestros: **MA. AUXILIADORA ARAIZA ESQUIVEL, ARTURO ORTIZ HERNÁNDEZ y ALFONSO LÓPEZ MARTÍNEZ** estuvieron de acuerdo en fijar a usted la realización del Trabajo de Tesis con el:

**T E M A**

**“CONTROL ELECTROMECAÁNICO DE UN SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN DE TERNEZA DE CARNES Y EMBUTIDOS”**

Lo que comunico a Usted para su conocimiento, manifestándole que se acordó un plazo máximo de SEIS MESES para la presentación del Trabajo de Tesis, indicándole que esta no deberá ser impresa hasta en tanto no envíen dos copias de ellas para ser revisadas por el Jurado que se nombrará en su oportunidad para su aprobación o en su caso indicarle las correcciones que fueren pertinentes.

**A T E N T A M E N T E**  
**Zacatecas, Zac., 14 de Marzo del 2018.**  
**EL DIRECTOR DE LA UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERÍA ELECTRICA**  
**DR. JORGE DE LA TORRE Y RAMOS**



**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA** | **INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA**

**RENÉ HERRERA VELÁZQUEZ  
P R E S E N T E.**

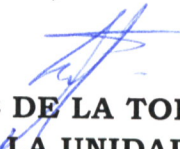
La Coordinación de esta **Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica**, comunica a usted que las copias de su Trabajo de Tesis que giró a la misma ya fueron revisadas y aprobadas para su impresión por la Comisión Revisora constituida por los Maestros:

**MA. AUXILIADORA ARAIZA ESQUIVEL  
ARTURO AGUSTÍN ORTIZ HERNÁNDEZ  
ALFONSO LÓPEZ MARTÍNEZ**

Por lo anteriormente expuesto, le indicamos se dé a la tarea de imprimir su **Tesis** a la mayor brevedad posible para dar trámite a que usted sustente su Examen Profesional dentro del Plazo Fijado.

**A T E N T A M E N T E**

Zacatecas, Zac., 14 de Marzo del 2018.

  
**DR. JORGE DE LA TORRE Y RAMOS  
DIRECTOR DE LA UNIDAD ACADÉMICA DE  
INGENIERIA ELECTRICA**

## APROBACIÓN DE EXAMEN PROFESIONAL



Se aprueba por unanimidad el Examen Profesional de René Herrera Velázquez presentado el 22 de marzo de 2018 para obtener el título de:

### INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

Jurado:

Presidente: Dr. Ma. Auxiliadora Araiza E. \_\_\_\_\_

Primer vocal: Dr. Arturo A. Ortíz Hernández \_\_\_\_\_

Segundo vocal: Dr. Alfonso López Martínez \_\_\_\_\_

Tercer vocal: Dr. Carlos Alberto Olvera Olvera \_\_\_\_\_

Cuarto vocal: M. I.A. Santiago Villagrana Barraza \_\_\_\_\_

## RESUMEN

En este trabajo de tesis se diseñó e implementó un prototipo al que se denominó KRN para medir la resistencia al corte o terneza como parte de la caracterización de carnes y embutidos. Utilizando un algoritmo de control digital para la caracterización de la terneza utilizando un microcontrolador ATMEGA 328P, programado en lenguaje de código abierto de Arduino® que indica los datos en una pantalla LCD, además los almacena en una Micro SD generando una base de datos digital. Para la parte electrónica analógica y etapa de potencia se diseñó y construyó una PCB con la ayuda del programa PCB Wizard® utilizando un puente H construido con relevadores para invertir el giro del motor y con esto el sentido de la cizalla cuyo fin de carrera es limitado por dos interruptores, (In & Out), además cuenta con botón de inicio, reset y paro de emergencia.

La parte mecánica del equipo consta de un actuador lineal tipo sinfín con un motor de corriente directa de torque de 100 Nm, la cizalla Warner-Bratzler y una galga extensiométrica con límite de 20Kg, todo esto contenido en paralelepípedo metálico de (0.18x0.44x0.19)m previamente diseñado en SolidWorks®.

Se pudo comprobar la hipótesis planteada, el prototipo KRN es más eficiente y rápido que el G-R todo en base al manual de análisis de calidad de muestras de carne difundido por SAGARPA.

Se pudo comprobar la hipótesis planteada, el prototipo KRN es más robusto, eficiente y rápido que el G-R todo en base al manual de análisis de calidad de muestras de carne difundido por SAGARPA.

A mis padres:

Ezequiel Herrera Santacruz y Ma. Gloria Velázquez Sánchez por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero nunca dejaron de motivar mis sueños.

## Agradecimientos

Especialmente a mi asesor de tesis el Dr. Arturo Agustín Hernández por su disposición en todo momento, por compartir sus conocimientos para la realización de esta tesis, además de ser un excelente asesor lo es también como persona y amigo.

A mi asesora de tesis la Dra. Ma. Auxiliadora Araiza Esquivel por brindarme su apoyo y colaboración para poder realizar esta tesis ya que sin su apoyo no hubiera sido posible.

A mi amigo Christian Abraham Almaraz de Horta alumno del Instituto Politécnico Nacional quién me apoyo durante la realización de este trabajo. Le agradezco su ayuda y orientación en la programación de Arduino, la cual fue muy valiosa para la realización de este trabajo.

La Universidad Autónoma de Zacatecas por darme el apoyo de alimentación y hospedaje que brinda a través del CASE con el cual me fue más fácil terminar mis estudios.

# Contenido General

	Pag.
<b>Resumen</b> . . . . .	v
<b>Lista de figuras</b> . . . . .	x
<b>Lista de tablas</b> . . . . .	xiii
<b>1 Introducción</b> . . . . .	1
1.1 Antecedentes . . . . .	2
1.2 Identificación del problema . . . . .	6
1.3 Objetivos . . . . .	6
1.4 Hipótesis . . . . .	7
1.5 Áreas de impacto . . . . .	7
1.6 Recursos disponibles . . . . .	8
1.7 Vialidad del Proyecto. . . . .	8
<b>2 Marco Teórico</b> . . . . .	9
2.1 Introducción a los sistemas de control. . . . .	9
2.2 Sistema de control de lazo abierto. . . . .	12
2.3 Sistemas de control de lazo cerrado. . . . .	13
2.4 Análisis de error y sensibilidad. . . . .	14
2.5 Modos de control y diseño de controladores. . . . .	14
2.6 Transductores . . . . .	15
2.7 Galgas extensiométricas. . . . .	15
2.7.1 Tipos de galgas extensiométricas. . . . .	17
2.8 Sensores . . . . .	19
2.8.1 Sensor final de carrera. . . . .	19
2.8.2 Funcionamiento del sensor final de carrera . . . . .	20
2.8.3 Ventajas e inconvenientes de los sensores de proximidad con contacto. . . . .	21
2.8.4 Sensores ópticos . . . . .	21
2.8.5 Funcionamiento de los sensores ópticos . . . . .	22
2.8.6 Tipos de sensores ópticos. . . . .	23
2.9 Convertidores de potencia . . . . .	25
2.10 Actuadores. . . . .	25
2.11 Selección del motor. . . . .	29



	Pag.
2.11.1 Motor de DC.	30
2.11.2 Reductor o Motor reductor.	30
<b>3 Diseño y construcción</b>	<b>32</b>
3.1 Qué es Arduino (®)	33
3.2 Microcontrolador ATmega328.	34
3.3 Actuador lineal.	34
3.4 Visualizador LCD.	36
3.5 Conversor $I^2C$ adaptador LCD.	37
3.6 RTC.	38
3.7 Comunicación serie mediante $I^2C$ .	40
3.8 Comunicación serial	41
<b>4 Proceso de funcionamiento del Prototipo KRN.</b>	<b>45</b>
4.1 Diseño del circuito en el programa PCB Wizard	47
4.2 Pruebas con los dos equipos de cizallamiento.	51
<b>5 Conclusiones</b>	<b>59</b>
<b>Apéndices</b>	
Apéndice A: Conceptos.	61
Apéndice B: Código de programación.	66

## Lista de figuras

Figura	Pag.
1.1 Descripción de las diferentes partes del equipo G-R. . . . .	5
2.1 Diagrama general del sistema de control de lazo abierto. . . . .	12
2.2 Diagrama general de un sistema de control en lazo cerrado. . . . .	14
2.3 Funcionamiento del transductor . . . . .	15
2.4 Ejemplo de un transductor en funcionamiento. . . . .	16
2.5 Galga extensiométrica 20kg. . . . .	17
2.6 Galgas extensiométricas de precisión . . . . .	18
2.7 Sensores más comunes para aplicaciones de final de carrera. . . . .	19
2.8 Interruptores mecánicos para final de carrera. . . . .	20
2.9 Diagrama básico de un sensor óptico . . . . .	21
2.10 Funcionamiento del sensor óptico. . . . .	22
2.11 Funcionamiento del actuador neumático. . . . .	27
2.12 Funcionamiento del actuador hidráulico. . . . .	28
2.13 Actuador Motor Lineal 132 Kg Torque 100 Nm Salida. . . . .	29
2.14 Partes de actuador utilizado en el prototipo. . . . .	30
2.15 En Solidworks® del motor reductor implementado en el equipo KRN. . . . .	31
3.1 Prototipo terminado. . . . .	32
3.2 Arduino® UNO. . . . .	33

Figura	Pag.
3.3 Microcontrolador atmega328 utilizado en el prototipo. . . . .	34
3.4 Actuador motor lineal utilizado en el prototipo. . . . .	35
3.5 Guía para que el actuador no se gire. . . . .	35
3.6 Guía vista desde otro ángulo. . . . .	36
3.7 Módulo LCD usado en el prototipo. . . . .	37
3.8 Módulo convertidor $I^2C$ para LCD 16x2. . . . .	38
3.9 Módulo DS3231 utilizado en el prototipo. . . . .	40
3.10 Funcionamiento del protocolo $I^2C$ . . . . .	40
3.11 Módulo HX711 utilizado para el prototipo. . . . .	43
4.1 Ubicación de interruptores fin de carrera IN y OUT. . . . .	45
4.2 Diagrama del sensor final de carrera. . . . .	46
4.3 Diagrama de flujo del funcionamiento de equipo KRN. . . . .	46
4.4 Diseño del Circuito impreso en PCB Wizard. . . . .	48
4.5 Muestra como se ve nuestro circuito con los componentes en PCB Wizard. . . . .	49
4.6 Diferentes partes del prototipo KRN. . . . .	49
4.7 Otra vista de las diferentes partes del prototipo KRN. . . . .	50
4.8 La grafica muestra los valores normalizados de las muestras. . . . .	52
4.9 Muestra los dos equipos al momento de iniciar las pruebas. . . . .	53
4.10 Incremento de temperatura en función del número de cortes de ambos equipos. . . . .	54
4.11 Valores obtenidos del análisis de la salchicha. . . . .	56
4.12 Valores y dispersión de diferentes tipos de carnes y embutidos tomados de ambos equipos. . . . .	57
A.1 Esquema general de un sistema. . . . .	62

Figura	Pag.
A.2 Esquema general de un sistema control.	63

# Capítulo 1

## Introducción

La terneza es la cualidad de la carne de dejarse cortar y masticar (con mayor o menor facilidad) antes de la deglución, estando directamente ligada a la resistencia mecánica del producto consumible. El cual puede ser mejorado mediante la maduración [1], [2].

La forma de medir la terneza en la carne y en embutidos se lleva a cabo por varios métodos los cuales son: espectrofotómetro NIRS, y la cizalla Warner - Bratzler, este último es el más usado, aunque, los resultados obtenidos son muy contradictorios. Básicamente porque:

1. Implementarlos rutinariamente demandaría costos muy elevados.
2. Presentan mucha variabilidad entre sus repeticiones.
3. Todos se deben realizar post mortem.
4. No permiten determinar la terneza de un animal a partir de un músculo determinado.
5. Hay diferencias en los procesamientos de la carne entre países.
6. Varias muestras se deben analizar debido a la variación que puede existir en el mismo musculo.

Se presentan diversos problemas con el equipo G-R Warner-Bratzler, uno de ellos es evitar el roce de la platina con la cizalla Warner-Bratzler, para lo cual es necesario ajustar los tornillos y bajarla manualmente poco a poco, para evitar errores.

Por lo anterior, es necesario explorar otras alternativas que cumplan con las características necesarias para llevar a cabo un buen análisis de terneza, evitando errores, reducir costos y obtener datos más rápidamente.

El Método Warner-Bratzler para medir la terneza de la carne La terneza de la carne es una de las características de calidad más altas para las carnes rojas. Se han establecido estándares de prueba de esfuerzo de corte para determinar la mejor ternura de la carne para diversos tipos de carne. El método de análisis de textura más común para medir la terneza en la carne prueba Warner-Bratzler.

## **1.1 Antecedentes**

El aumento en la dureza de la carne es uno de los problemas más comunes al que se enfrenta la industria cárnica actualmente. Este problema parece surgir de una mayor demanda de los consumidores de productos cada vez más elaborados, que a su vez obliga a los productores a aumentar la producción. Para mantener el ritmo con la demanda del mercado, los procesadores han tenido que evaluar varios métodos para aumentar la producción de carne sin hueso, sin afectar negativamente a la aceptación general de los consumidores. Se conocen muchos factores de procesamiento que pueden afectar a la terneza. La terneza es la propiedad más significativa en la calidad y ha sido descrita como la característica sensorial más relevante de la carne, teniendo de ese modo el mayor impacto en la aceptabilidad del consumidor. La necesidad de garantizar la aceptación del consumidor y el creciente reconocimiento de la importancia de la terneza ha llevado al desarrollo de métodos instrumentales para el seguimiento de esta propiedad. Se han desarrollado numerosos procedimientos instrumentales para la evaluación de la terneza de la carne, debido al papel importante que juega la terneza en la palatabilidad de los consumidores de productos cárnicos. Tradicionalmente la terneza de la carne cocida es evaluada por medios sensoriales puesto que es un atributo percibido sensorialmente por los seres humanos. Sin embargo, la evaluación sensorial es un método costoso, subjetivo y requiere de mucho tiempo, lo que ha llevado al desarrollo de enfoques instrumentales para la estimación de la percepción de la terneza de la carne. Hasta la fecha, se ha dedicado una gran

cantidad de esfuerzo al desarrollo de tales métodos instrumentales. Como resultado de ello, existen métodos para la medición de la ternura. Los métodos instrumentales como el sistema de cizalla de Warner-Bratzler son de uso común en la industria para la evaluación de los efectos causados por el envejecimiento de la carne y del deshuesado. El análisis sensorial descriptivo es un método que los investigadores utilizan comúnmente para evaluar los atributos relacionados con la ternura de la carne. Estos tipos de ensayo son muy fiables y han demostrado buena correlación con los análisis instrumentales, sin embargo, pueden ser muy extensos en el tiempo [2], [3].

### **G-R Warner-Bratzler (G-R)**

El dispositivo G-R Warner-Bratzler (G-R) utilizado con un dinamómetro está diseñado para medir la fuerza requerida para cortar un trozo de carne. El dispositivo consiste de un bastidor de acero que tiene una cizalla de corte rectangular [3].

El dispositivo funciona como sigue:

Primero se preparan las muestras. Aunque no sea posible obtener muestras exactamente idénticas en los ensayos de la carne, se pueden seguir algunas reglas para conseguir mejores resultados en las pruebas, como preparar las muestras en tamaños y formas lo más similares posibles. Utilizar diferentes tamaños de muestras puede conducir a una gran variación en los resultados de las pruebas y el análisis de los datos obtenidos pueda no ser correcto.

En seguida se mide una muestra de carne como un filete. El filete previamente se cocina, se enfría y luego se corta en muestras lo más precisas para hacer el ensayo [3].

Por último, la muestra se coloca en la cizalla y se procede a realizar el corte.

**Instrucciones de uso del dispositivo G-R Warner-Bratzler (G-R).** Como se describe enseguida, las instrucciones de uso del dispositivo G-R, hacen un poco rudimentario su uso. Ver Figura [1.1](#).

1. Instale la cizalla utilizando los espaciadores del fabricante. Asegúrese de apretar las tuercas de mariposa firmemente. Usando el mando negro, baje manualmente y levante la unidad de prueba para asegurarse de que la cizalla esté libre.
2. Encienda el medidor de fuerza presionando la tecla roja.
3. Después del auto prueba en la puesta en marcha, la pantalla mostrará cero. Seleccione KG como unidad de medida pulsando la tecla UNITS hasta que aparezca Kg.
4. Presione la tecla MAX hasta que el símbolo en la esquina inferior izquierda tenga dos flechas apuntando hacia afuera para indicar pruebas de tensión (dinamómetro de muelle).
5. Coloque la rebanada de carne en la ranura de la cizalla, asegurándose que quede en el centro del Cizallado perpendicular a las fibras musculares a lo largo de la dimensión de 5 cm (rebanada).
6. Utilice la perilla negra para presionar la unidad hacia abajo para contactar la rebanada y sosténgala en su lugar.
7. Compruebe que la rebanada está colocada correctamente.
8. Presione los dos botones que se proyectan en la parte superior del dispositivo para empezar a cortar.
9. Registre la lectura digital del valor de corte.
10. Pulsar reset, luego cero. Debe realizar este paso o la siguiente lectura no se realizara correctamente.
11. Con la perilla negra, levante manualmente la unidad de prueba a la posición superior.
12. Limpie los restos de carne de la cizalla.

Para continúe con la siguiente muestra, repita desde el paso 5. En la Figura 1.1 se muestra el equipo G-R.



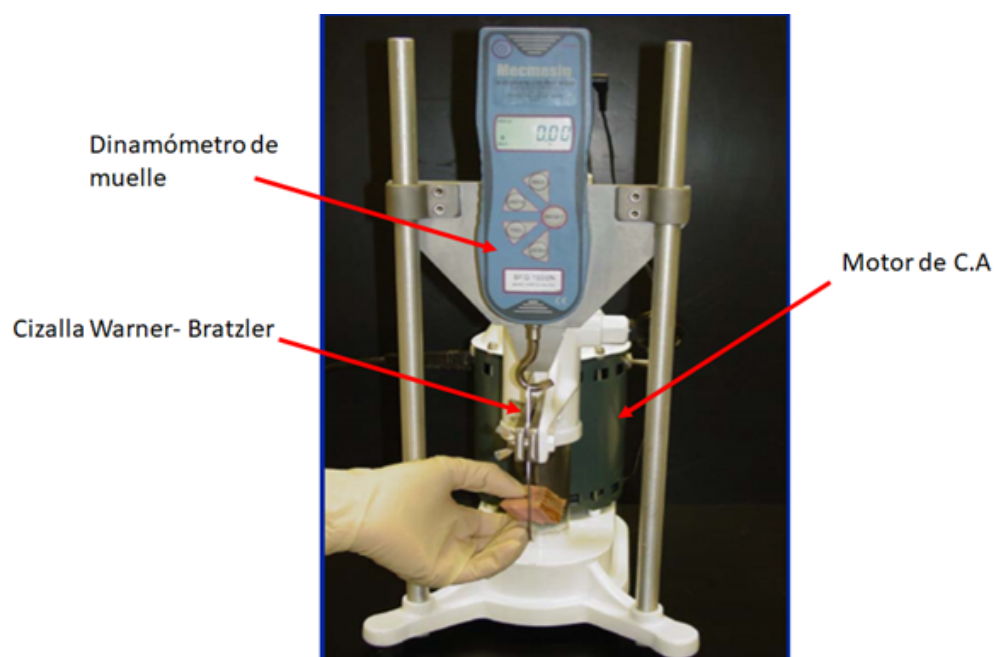


Figura 1.1 Descripción de las diferentes partes del equipo G-R.

## 1.2 Identificación del problema

El sistema de caracterización de resistencia al corte (GR) con que actualmente se realiza la medición de terneza de productos cárnicos donde se utiliza la Cizalla Warner-Bratzler, presenta algunas fallas durante su funcionamiento.

1. El motor de CA consume demasiada corriente y está en continuo funcionamiento ocasionando que además del alto consumo energético, después de un tiempo de estar realizando cortes se eleve su temperatura y deje de funcionar correctamente, lo que forzosamente interrumpe el proceso de caracterización.
2. En el equipo G-R el dinamómetro digital del se encarga de hacer la medición y lo muestra en una pantalla. Lo que hace necesario un segundo colaborador que se encargue de registrar de forma manual las mediciones, lo que da lugar a errores sistemáticos.
3. El retorno de la guillotina implica la intervención manual del operador, lo que hace el proceso aún más lento y tedioso.
4. Después de cada lectura del dinamómetro éste debe inicializarse para tomar una nueva lectura, si por alguna razón se omite este pasó, se pierde el nuevo valor de fuerza de corte.
5. El equipo es muy pesado y voluminoso.

## 1.3 Objetivos

**Objetivo general** Diseñar e implementar un prototipo que sea más eficiente para la caracterización de terneza de carnes y embutidos (Cizalla Warner-Bratzler) .

### **Objetivos específicos**

- Seleccionar el sensor adecuado.
- Diseñar un sistema mecánico para implementar la cortadora.
- Seleccionar el tipo de controlador a utilizar.

- Diseñar y construir una etapa de potencia en relación con el consumo de corriente del actuador seleccionado.
- Seleccionar el dispositivo para visualizar los datos e información.
- Diseñar el sistema de caracterización de resistencia al corte en software de diseño asistido por computadora SOLIDWORKS®.
- Implementar el prototipo utilizando todos y cada uno de los elementos elegidos y debidamente justificado..
- Hacer pruebas de calibración comparando el G-R comercial con el prototipo constuido.
- Validar el equipo según las normas establecidas en el manual de análisis de calidad de muestras de carne difundido por SAGARPA

## 1.4 Hipótesis

Con el propósito de dar respuesta al problema planteado de la investigación, así como al objetivo de la misma, se formula la siguiente hipótesis:

Con los conocimientos, competencias y habilidades adquiridas se podrá construir un prototipo que permita medir la resistencia al corte de carnes y embutidos de forma más eficiente y rápida que el sistema hasta ahora utilizado G-R. Más ligero, que permita trabajar de forma continua en largas sesiones, sin tener que hacer ajustes en la calibración, ni suspender las pruebas por recalentamiento del equipo, además con la ayuda de la aplicación de conocimientos en programación se podrá generar un software que permita almacenar de forma automática los datos medidos, regresar y estar listo para realizar la siguiente medición.

## 1.5 Áreas de impacto

**Impacto científico.** El equipo permitirá la colaboración con laboratorios especializados en caracterización de productos cárnicos,

**Impacto tecnológico.** Con el equipo desarrollado se contribuye a la transferencia de tecnologías con los productores de carne, relacionado la terneza de carnes y embutidos, una herramienta, con mayor exactitud, precisión y rápidas para las pruebas de terneza.

**Impacto económico.** Se basa en tener un equipo más preciso y de menor costo que permite conocer la calidad de los productos que se comercializan.

## 1.6 Recursos disponibles

- Equipo de control.
- Microcontrolador.
- Entorno de desarrollo integral(IDE) Arduino ® .
- Equipo de cómputo y acceso a internet.
- Software de diseño asistido por computadora SolidWorks ®

## 1.7 Vialidad del Proyecto.

La investigación previa a esta tesis es viable, ya que viene a resolver un problema de un laboratorio especializado de caracterización de cárnicos en la Unidad Académica de Veterinaria y Zootecnia, se cuenta con la ayuda de dispositivos electrónicos avanzados, el software utilizado es de fácil operación, el motor de 12 VDC tiene fuerza y más estabilidad y principalmente se cuenta con profesores expertos en el tema.

Esta tesis propone un sistema de evaluación de la terneza de productos cárnicos, de forma sencilla, robusta y económica. El trabajo está organizado como sigue. En el Capítulo 2, se presentan el marco teórico y los diferentes compones utilizados en el prototipo. En el Capítulo 3, el diseño y la construcción del equipo. En el Capítulo 4, las pruebas experimentales y la aplicación del sistema, y finalmente en el Capítulo 5, se presentan las conclusiones.

## **Capítulo 2**

# **Marco Teórico**

### **2.1 Introducción a los sistemas de control.**

El control automático es de vital importancia en el mundo de la ingeniería. Además de resultar imprescindible en sistemas robóticos o procesos de manufactura moderna, entre otras aplicaciones, se ha vuelto esencial en operaciones industriales como el control de presión, temperatura, humedad, viscosidad, y flujo en las industrias de transformación. Los sistemas de controles pueden ser a lazo abierto o a lazo cerrado. Los sistemas de control a lazo abierto son manuales puestos que requieren que una persona ejecute una acción que le indique al sistema qué hacer. Los sistemas de control a lazo cerrado son automáticos y operan sin interrupción, ni participación externa [4].

### **Importancia del Control Automático.**

El control ya era utilizado por los antiguos griegos 300 años A.C., Tesibio invento un control de nivel de líquido muy parecido a los flotadores utilizados hoy en día. El objetivo era obtener en la salida de un recipiente un goteo constante, el cual llenaba un segundo recipiente. Conforme se llenaba el segundo recipiente, el nivel del líquido iba mediante una graduación indicando la hora [5].

La regulación de presión del vapor se inició en 1681 con la válvula de seguridad que invento Denis Papin. En el siglo XVII Cornelis Drebbel invento un control de temperatura mecánico.

Para el siglo XVIII James Watt invento el gobernador centrífugo para controlar la velocidad de los motores de vapor, y así existe un gran número de inventos que fueron permitiendo el desarrollo del control automático [5].

Los controles automáticos tienen una intervención cada vez más importante en la vida diaria, desde los simples controles que hacen funcionar un tostador automático hasta los complicados sistemas de control necesarios en vehículos espaciales, el guiado de proyectiles, sistemas de pilotajes de aviones, etc. Además, el control automático se ha convertido en parte importante e integral de los procesos de manufactura e industriales modernos. Por ejemplo, el control automático resulta esencial en operaciones industriales como el control de presión, temperatura, humedad, viscosidad y flujo en la industria de procesos, maquinado manejo y armado de piezas mecánicas en las industrias de manufactura, entre muchas otras [5],[6], [7].

En la actualidad en las modernas fábricas e instalaciones industriales, se hace cada día más necesario disponer de sistemas de control o de mando, que permitan mejorar y optimizar una gran cantidad de procesos, en donde la sola presencia del hombre es insuficiente para gobernarlos. La industria espacial y de la aviación, petroquímica, papelera, textil, etc. son algunos ejemplos de lugares en donde se necesitan sistemas de control, cuya complejidad ha traído como consecuencia el desarrollo de técnicas dirigidas a su proyecto y construcción.

El control automático ha jugado un papel vital en el avance de la ingeniería y la ciencia. Como los avances en la teoría y práctica del control automático brindan los medios para lograr el funcionamiento óptimo de sistemas dinámicos, mejorar la calidad y abaratar los costos de producción, liberar de la complejidad de muchas rutinas de tareas manuales respectivas, etc. la mayoría de los ingenieros tienen contacto con los sistemas de control, aun cuando únicamente los usen, sin profundizar en su teoría [6].

Los sistemas de control son dinámicos y un conocimiento de la teoría de control proporciona una base para entender el comportamiento de tales sistemas, por ejemplo, muchos conceptos de la teoría de control pueden usarse en la solución de problemas de vibración. En este sentido, la teoría de control automático no es sino una pequeña parte de una teoría más general que estudia el comportamiento de todos los sistemas dinámicos.

En todos los sistemas de control se usan con frecuencia componentes de distintos tipos, por ejemplo, componentes mecánicos, eléctricos, hidráulicos, neumáticos y combinaciones de estos [6].

Un ingeniero que trabaje con control debe estar familiarizado con las leyes físicas fundamentales que rigen estos componentes. Sin embargo, en muchos casos y principalmente entre los ingenieros, los fundamentos existen como conceptos aislados con muy pocos lazos de unión entre ellos. El estudio de los controles automáticos puede ser de gran ayuda para establecer lazos de unión entre los diferentes campos de estudio haciendo que los distintos conceptos se usen en un problema común de control.

El estudio de los controles automáticos es importante debido a que proporciona una comprensión básica de todos los sistemas dinámicos, así como una mejor apreciación y utilización de las leyes fundamentales de la naturaleza [6].

Como las plantas modernas con muchas entradas y salidas se van haciendo cada vez más complejas, la descripción de un sistema moderno de control requiere una gran cantidad de ecuaciones.

La teoría del control clásica que trata de sistemas de entrada y salida únicas se vuelve obsoleta ante sistemas de múltiples entradas y salidas. Desde aproximadamente 1960 se ha desarrollado la teoría del control moderna para afrontar la creciente complejidad de las plantas modernas y las necesidades rigurosas en exactitud, peso, costo en aplicaciones militares, espaciales e industriales.

El uso de computadoras digitales cada vez más potentes, de menor costo, y fácil disponibilidad se ha convertido en una práctica habitual para la realización de cálculos complejos y la implementación de algoritmos de control en proyectos de sistemas de control.

El objetivo de incluir el control automático en un sistema o proceso es para mejorar su desempeño dinámico y que las variables de interés alcancen los valores deseados, es decir, que variables importantes como temperatura, velocidad flujo, presión, etc. Puedan regularse a valores deseados o variar en el tiempo siguiendo una trayectoria definida. Además, el control automático permite automatizar aquellos sistemas donde se realizan trabajos repetitivos.

La teoría de sistemas de control que hoy se conoce, comenzó a mediados del siglo XIX. Entre las técnicas de control clásicas más utilizadas en la industria en la actualidad se encuentran los controladores proporcional integral derivativo PID, ya que son sencillos de implementar y proporcionan muy buenos resultados. Conforme las plantas industriales modernas fueron creciendo se convirtieron en sistemas de muchas entradas y muchas salidas. El control clásico está enfocado a sistemas de una entrada y una salida básicamente, es entonces cuando pierde solidez en la solución de varias entradas y salidas. Esto implica tener muchas ecuaciones y en la solución de las mismas realizar muchos cálculos. En 1960, con el desarrollo de las computadoras se facilita analizar estos sistemas y surgen nuevas técnicas de control conocidas como control moderno o control en espacio de estados, las cuales permiten analizar estos sistemas con varias estradas y salidas, en donde el análisis matricial es fundamental [6].

## 2.2 Sistema de control de lazo abierto.

En un sistema de control de lazo abierto la salida ni se mide, ni se realimenta para compararla con la entrada. Los sistemas de control de lazo abierto son sistemas de control en los que la salida no tiene efecto sobre la señal o acción de control. Un ejemplo de un sistema de control de lazo abierto se muestra en la Figura 2.1 [5].

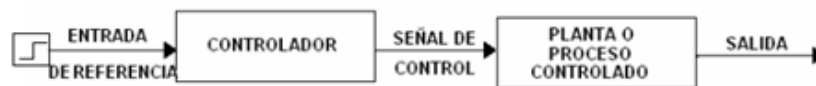


Figura 2.1 Diagrama general del sistema de control de lazo abierto.

Los elementos de un sistema de control en lazo abierto, se pueden dividir en dos partes: el controlador, y el proceso controlado. Una señal de entrada o comando se aplica al controlador, cuya salida actúa como una señal de control o señal actuante, la cual regula el proceso controlado, de tal forma que la variable de salida o variable controlada se desempeñe de acuerdo a ciertas especificaciones o estándares establecidos. En los casos simples, el controlador puede



ser un amplificador, filtro, unión mecánica u otro elemento de control. En casos más complejos puede ser una computadora tal como un microprocesado [5].

En los sistemas de control de lazo abierto, no se compara la salida con la entrada de referencia. Por lo tanto, para cada entrada de referencia corresponde una condición de operación fijada.

Así la exactitud del sistema depende de la calibración. Calibrar significa establecer una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada. Así la exactitud del sistema depende de la calibración. Los sistemas de lazo abierto son económicos, pero normalmente inexactos. Un sistema de control de lazo abierto es insensible a las perturbaciones; por consiguiente, un sistema de control de este tipo es útil cuando se tiene la seguridad que no existen perturbaciones actuando sobre el mismo.

En la práctica solo se puede usar el control de lazo abierto si la relación entre la entrada y la salida es conocida, y si no hay perturbaciones internas ni externas importantes.

### **2.3 Sistemas de control de lazo cerrado.**

En los sistemas de control de lazo cerrado, la salida o señal controlada, debe ser realimentada y comparada con la entrada de referencia, y se debe enviar una señal actuante o acción de control, proporcional a la diferencia entre la entrada y la salida a través del sistema, para disminuir el error y corregir la salida.

Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en el que la señal de salida tiene efecto directo sobre la acción de control. Esto es, los sistemas de control de lazo cerrado son sistemas de control realimentados. La diferencia entre la señal de entrada y la señal de salida se la denomina señal de error del sistema; esta señal es la que actúa sobre el sistema de modo de llevar la salida a un valor deseado. En otras palabras el término lazo cerrado implica el uso de acción de realimentación negativa para reducir el error del sistema.[8] La Figura 2.2 muestra un diagrama de un sistema de control de lazo cerrado [5].



Figura 2.2 Diagrama general de un sistema de control en lazo cerrado.

## 2.4 Análisis de error y sensibilidad.

Una característica propia de las configuraciones de control es la relacionada con el error de estado estable que presentan los sistemas para diversas clases de entradas y de acuerdo con el tipo de sistema empleado. Así, se procederá a cuantificar dicho error, tanto para sistemas sin retroalimentación como con retroalimentación unitaria. Además, la sección correspondiente introduce el concepto de constantes de error: de posición, de velocidad y de aceleración. La retroalimentación conlleva diversas características específicas; una de ellas es la baja sensibilidad del sistema para variaciones de parámetros específicos de la propia configuración [5].

## 2.5 Modos de control y diseño de controladores.

Una vez que se ha diseñado un sistema de control, puede suceder que el comportamiento de la configuración presente características no deseadas en su régimen transitorio y/o en su error de estado estable. Por esa razón, es necesario adicionar al sistema un elemento que trate de corregir dichas desviaciones. Se procede a definir los diferentes modos de control, como son las acciones proporcional, integral y derivativa, así como combinaciones entre éstos para formar los controladores: Proporcional-Integral (PI), Proporcional Derivativo (PD) y Proporcional-Integral-Derivativo (PID) [5].

## 2.6 Transductores

Es un dispositivo al que se le aplica una energía de entrada y devuelve una energía de salida; esta energía de salida suele ser diferente al tipo de energía de entrada. Ver la Figura [2.3](#).



Figura 2.3 Funcionamiento del transductor

Por ejemplo, en un medidor de temperatura convierte la energía térmica aplicada, en el movimiento mecánico de la aguja del marcador. Como se muestra en la siguiente Figura [2.4](#).

Debido a la facilidad con la que se trasmite y amplifica la energía eléctrica, los transductores más utilizados son los que convierten otras formas de energía, como calor, luz o sonido, en energía eléctrica. Existen muchos tipos de transductores y son usados con su instrumentación dependiendo de su complejidad. En el diseño de un sistema de medición de fuerzas, para una aplicación. Es útil entender el principio de operación de transductor a usar, así como sus características de operación.

## 2.7 Galgas extensiométricas.

Son una de las herramientas más importantes en la técnica aplicada de medición eléctrica de magnitudes mecánicas. Como su nombre indica, se utiliza para la medición de tensiones. "Tensión" como término técnico consiste en la deformación por tracción y compresión, que se distingue por un signo positivo o negativo. Por lo tanto, las galgas extensiométricas se pueden utilizar para medir la expansión y la contracción [11].

La tensión de un cuerpo siempre es causada por una influencia externa o un efecto interno. Esta fuerza puede ser causada por fuerzas, presiones, momentos, calor, cambios estructurales del material o efectos similares. Si se cumplen determinadas condiciones, la cantidad o el valor de la cantidad se puede calcular con el valor de tensión medido.

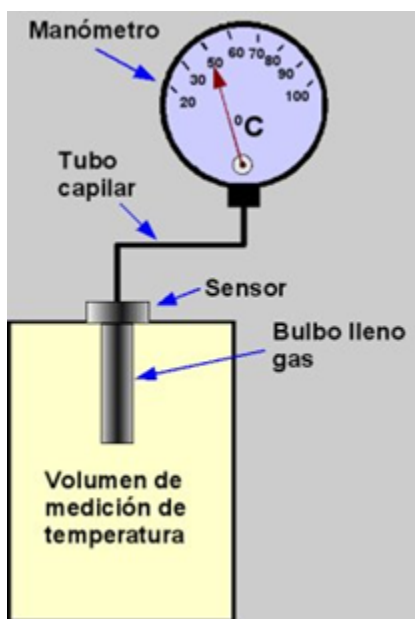


Figura 2.4 Ejemplo de un transductor en funcionamiento.

### 2.7.1 Tipos de galgas extensiométricas.

#### Galga extensiométrica de resistencia eléctrica

En términos eléctricos, todas las galgas extensiométricas de resistencia eléctrica pueden ser consideradas como una longitud de conducto en el material, o como un cable. Cuando una longitud de cable es sujeta a la tensión dentro de su límite de tensión, esta longitud se incrementa con el correspondiente decremento de su diámetro y cambio. Ver Figura 2.5. [11]



Figura 2.5 Galga extensiométrica 20kg.

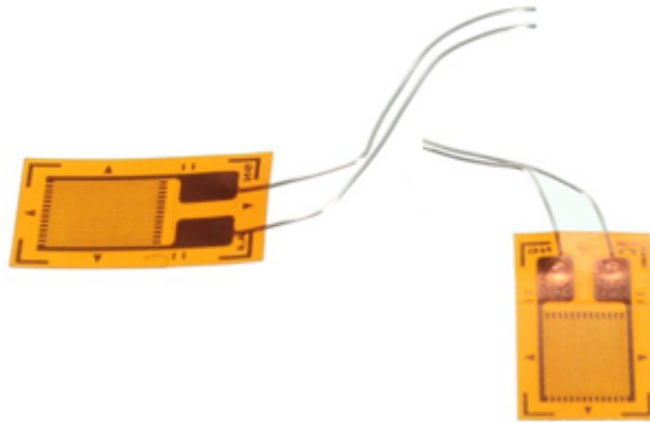


Figura 2.6 Galgas extensiométricas de precisión

Cuando se aplica una fuerza externa a un objeto estacionario, se produce tensión y estrés sobre él. El estrés se define como las fuerzas internas de resistencia del objeto, y la tensión se define como el desplazamiento y la deformación que se producen.

#### **Galgas extensiométricas de precisión.**

Propósito general, flexible, mecánicamente fuerte, radio de doblamiento pequeño, marcas de alineación claras, cables de cinta o terminación de soldadura, se puede utilizar con adhesivo frío o caliente; para mediciones de deformación dinámicas o estáticas altamente precisas. Ver Figura [2.6](#).

#### **Consideración de las galgas.**

Dentro de estos elementos podemos encontrar diferentes tipos de galgas basados en el número de direcciones en las que miden. Por facilidad es más popular el uso de galgas de una dirección y acomodar una o varias en un sistema (Puente Wheatstone) para lograr ciertas condiciones de medición [11].

## 2.8 Sensores .

El sensor convierte una señal física de un tipo en una señal física de otra naturaleza. Por ejemplo una termopila produce un voltaje que está relacionado con la temperatura, así mismo en una resistencia metálica se aprovecha el fenómeno de variación de la resistencia con la temperatura para producir una señal de voltaje que sea proporcional a la temperatura [9]. Ver Figura 2.7.

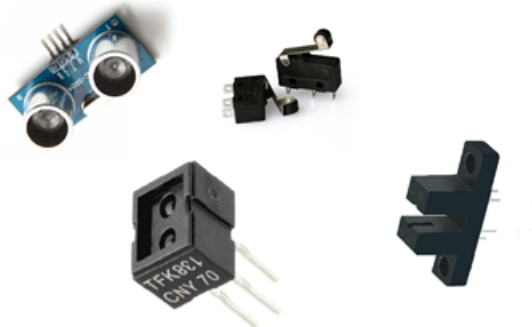


Figura 2.7 Sensores más comunes para aplicaciones de final de carrera.

### 2.8.1 Sensor final de carrera.

Dispositivo eléctrico/mecánico que convierte magnitudes físicas a valores medibles de dicha magnitud. Generalmente, los valores medibles son señales eléctricas codificadas en analógico o digital [10].

Dentro de los componentes electrónicos, se encuentra el final de carrera o sensor de contacto (también conocido como "interruptor de límite"), son dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados al final del recorrido de un elemento móvil, como por ejemplo una cinta transportadora, con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito.

Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA), cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados, de ahí la gran variedad de finales de carrera que existen en el mercado. Los finales de carrera están fabricados en diferentes materiales tales como metal, plástico o fibra de vidrio [10]. Ver Figura 2.8.



Figura 2.8 Interruptores mecánicos para final de carrera.

## 2.8.2 Funcionamiento del sensor final de carrera

Estos sensores tienen dos tipos de funcionamiento: modo positivo y modo negativo. En el modo positivo, el sensor se activa cuando el elemento a controlar tiene una tarea que hace que el eje se eleve y se conecte con el objeto móvil con el contacto NC (normal cerrado). Cuando el muelle (resorte de presión) se rompe el sensor se queda desconectado. El modo negativo es la inversa del modo anterior, cuando el objeto controlado tiene un saliente que empuje el eje hacia abajo, forzando el resorte de copa y haciendo que cierre el circuito [10].

### Las formas de codificar la señal .

- Analógicos
  - Voltaje
  - Corriente
- Digitales .
  - Pulsos (duración proporcional a la magnitud).
  - Número codificado en binario.
- Todo-Nada.
  - Caso particular de los digitales.



- Tipos
  - Interruptores mecánicos de posición para determinar ejecución de –movimientos.
    - \* finales de carrera, válvulas limitadoras.
  - Sensores de proximidad que funcionan eléctricamente y sin contacto.
    - \* Capacitivos, inductivos, ópticos.

### 2.8.3 Ventajas e inconvenientes de los sensores de proximidad con contacto.

Entre las ventajas encontramos la facilidad en la instalación, la robustez del sistema, es insensible a estados transitorios, trabaja a tensiones altas, debido a la inexistencia de imanes, es inmune a la electricidad estática.

Los inconvenientes de este dispositivo son la velocidad de detección y la posibilidad de rebotes en el contacto, además depende de la fuerza de actuación.

### 2.8.4 Sensores ópticos

Cuando hablamos de sensores ópticos nos referimos a todos aquellos que son capaces de detectar diferentes factores a través de un lente óptico. La Figura 2.9 muestra un diagrama de un sensor óptico.



Figura 2.9 Diagrama básico de un sensor óptico

## 2.8.5 Funcionamiento de los sensores ópticos

Los sensores ópticos basan su funcionamiento en la emisión de un haz de luz que es interrumpido o reflejado por el objeto a detectar, de esta manera detectan la presencia de una persona o cualquier presencia física que interrumpe dicho haz de luz que le llega al sensor.

La detección se produce cuando el objeto cruza el eje óptico que se encuentra entre el transmisor y el receptor. La Figura 2.10 muestra un sensor óptico [10],[11].

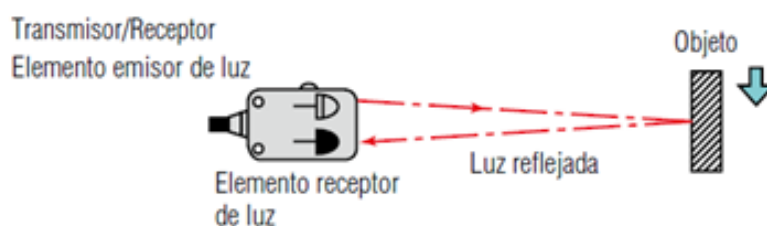


Figura 2.10 Funcionamiento del sensor óptico.

Los sensores ópticos pueden contar con una larga distancia de detección, posición de detección estable y pueden detectar objetos opacos, independientemente de su forma, color o material, tienen una alta aplicación en el ámbito industrial y son ampliamente utilizados [11].

Los sensores ópticos están conformados por las siguientes partes:

- **Fuente:** Origina un haz luminoso, usualmente con un LED, que puede tener un amplio rango en el espectro (incluyendo luz visible e infrarroja).
- **Fuente:** Recibe el haz luminoso de la fuente, usualmente es un fotodiodo o un fototransistor.
- **Lente:** Tiene la función de dirigir el haz de luz tanto en el emisor como en el receptor para restringir el campo de visión, esto trae como consecuencia aumentar la distancia de detección.
- **Circuitode salida:** Existen varios tipos de salidas discretas o digitales (se denominan así por tener dos estados y la más común es relé, NPN, TRIAC, MOSFET).

## **2.8.6 Tipos de sensores ópticos.**

1. sensores de barrera (uso de fibra óptica).
2. sensores de retro - reflexión .
3. sensores de reflexión directa (uso de fibra óptica).

### **Sensores ópticos de barrera.**

Se componen de un sensor y de un receptor. El sensor está dispuesto de tal manera que la mayor parte posible del haz de luz enviado por su diodo incide sobre el receptor. Donde la fuente de luz está enfrentada al detector y lo que se detecta es el bloqueo del haz por parte del objeto.

Este evalúa la cantidad de la luz recibida de forma tan clara que la puede distinguir de la luz ambiental o de otras fuentes de luz. Una interrupción del haz de luz origina una conexión de la salida [11], [10].

#### **Ventajas.**

- Incremento de la fiabilidad debido a la presencia permanente de luz durante el estado de reposo.
- Amplio alcance.
- Pueden detectarse pequeños objetos incluso a largas distancias.
- Adecuado para ambientes agresivos.
- Buena precisión de posicionamiento.

#### **Desventajas.**

- Dos elementos separados (emisor-receptor) con conexiones independientes.
- No detecta objetos completamente transparentes.
- Un fallo en el emisor es evaluado como objeto presente.

## **Sensores ópticos de retro-reflexión.**

En este caso se hace uso de un elemento reflector.

### **Ventajas.**

- Propio objeto hace de reflector.
- El objeto puede ser reflejante, especular o transparente y hasta traslúcido.
- Permiten detectar en posición frontal.
- Dependiendo del ajuste del sensor los objetos pueden detectarse selectivamente frente a un foco.

### **Desventajas .**

- la respuesta del sensor no es lineal.
- objetos transparentes muy claros o brillantes pueden pasar inadvertidos (se puede ajustar).

## **Sensores ópticos de reflexión directa.**

Características:

- La luz del emisor da en un objeto. Éste se refleja de forma difusa y una parte de la luz alcanza la parte receptora del aparato. Si la intensidad de la luz es suficiente, se conecta la salida.
- La distancia de reflexión depende del tamaño y del color del objeto así como del acabado de la superficie.
- La distancia de reflexión se puede modificar entre amplios límites mediante un potenciómetro incorporado.
- El emisor-captador energético se puede utilizar para detectar diferencias de color.

### **Ventajas**

- El propio objeto hace de reflector.
- Dependiendo del ajuste del sensor los objetos pueden detectarse selectivamente frente a un fondo.

### **Desventaja.**

- La respuesta del sensor no es lineal.

## **2.9 Convertidores de potencia .**

Los convertidores de potencia son dispositivos que nos ayudan en la transformación de la energía eléctrica que se toma de la red, en otro tipo de energía eléctrica requerida para una tarea especial. Los convertidores son de amplia utilización, gracias a ellos se puede transformar la energía eléctrica con eficiencia, seguridad y bajo costo. Muchas cargas necesitan de este tipo de convertidores tales como soldadores eléctricos, equipos de telecomunicaciones y aparatos biomédicos, entre otros. Los convertidores de potencia deben proporcionar un determinado nivel de voltaje, bien sea en tareas de regulación o de seguimiento, y deben ser capaces de rechazar cambios en la carga.

Se estima que alrededor del 90% de la energía eléctrica se procesa a través de convertidores de potencia antes de su uso final. Una de las cualidades en estos dispositivos es su eficiencia en el desempeño, la cual puede ser mejorada mediante el uso de dispositivos de conmutación, correctamente implementados [4].

## **2.10 Actuadores.**

Los actuador son dispositivos inherentemente mecánicos cuya función es proporcionar fuerza para mover o "actuar" otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina "neumático", "hidráulico" o "eléctrico".

El actuador más común es el actuador manual o humano. es decir, una persona mueve o actúa un dispositivo para promover su funcionamiento. Con el tiempo, se hizo conveniente automatizar la actuación de dispositivos, por lo que diferentes dispositivos hicieron su aparición [12].

### **Funcionamiento del actuador.**

El objetivo final del actuador es generar un movimiento giratorio. El movimiento debe estar limitado a un ángulo máximo de rotación. Normalmente se habla de actuadores de cuarto de vuelta, o  $90^\circ$ ; fracción de vuelta para ángulos diferentes a  $90^\circ$ , por ejemplo  $180^\circ$ ; y de actuadores multivuelta, para válvulas lineales que poseen un eje de tornillo o que requieren de múltiples vueltas para ser actuados.

### **Actuador Neumático.**

Para hacer funcionar el actuador neumático, se conecta aire comprimido a uno de los lados del émbolo o veleta generando una fuerza en sentido de la expansión del espacio entre el émbolo y la pared del cilindro o el cuerpo. Mediante un dispositivo mecánico que puede ser el conjunto piñón y cremallera, yugo escocés, o una simple veleta, el movimiento se transforma en rotatorio. Para mover el actuador en sentido contrario es necesario introducir aire comprimido en el lado opuesto del émbolo. El torque que genera el actuador es directamente proporcional a la presión del aire comprimido, pero dependiendo de su diseño puede ser variable de acuerdo a la posición actual del actuador. Ver Figura [2.11](#). [12]

### **Actuador Hidráulico.**

Para hacer funcionar el actuador hidráulico, se conecta la presión hidráulica a uno de los lados del émbolo o veleta generando una fuerza en sentido de la expansión del espacio entre el émbolo y la pared del cilindro o el cuerpo. Mediante un dispositivo mecánico que puede ser el conjunto piñón y cremallera, yugo escocés, o una simple veleta, el movimiento se transforma en rotatorio. Para mover el actuador en sentido contrario es necesario introducir aire



Figura 2.11 Funcionamiento del actuador neumático.

comprimido en el lado opuesto del émbolo. El torque que genera el actuador es directamente proporcional a la presión de aceite hidráulico, pero puede ser variable de acuerdo a la posición actual del actuador, si el actuador es de Yugo Escocés. Ver Figura [2.12](#). [12]

### **Actuador Eléctrico.**

Para hacer funcionar el actuador eléctrico, se debe energizar los bornes correspondientes para que el motor actúe en la dirección apropiada. Usualmente vienen con un controlador local o botonera que hace este proceso más sencillo. Sin embargo, para la automatización remota del actuador, se debe considerar el diagrama de cableado que viene con el actuador. Ver Figura [2.13](#).

Las conexiones deben considerar fuerza, señales de límites de carrera y torque, señales análogas o digitales de posición y torque, etc. El torque generado por el motor eléctrico es aumentado por un reductor interno o externo para dar salida al torque final en el tiempo seleccionado. Esta es la razón por la que los actuadores eléctricos toman más tiempo en recorrer la carrera que los neumáticos o hidráulicos [12]. Ver Tabla 1.

Tabla 1. Elementos de funcionamiento de los tipos de actuadores.

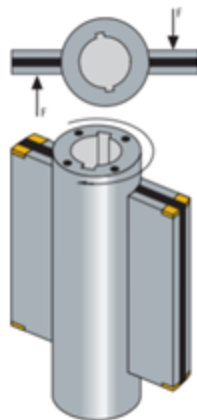


Figura 2.12 Funcionamiento del actuador hidráulico.

	<u>Actuador Neumático</u>	<u>Actuador Eléctrico</u>	<u>Actuador Hidráulico</u>
<b>Fuerza Generadora de Movimiento</b>	Presión de aire	Energía eléctrica	Presión hidráulica
<b>Elemento Motriz</b>	Émbolo, Pistón o Veleta	Motor Eléctrico	Émbolo, Pistón o Veleta
<b>Transmisión de Fuerza o Torque</b>	Eje o Cremallera	Reductor	Eje
<b>Conversión mecánica</b>	Yugo o Piñón	- No hay -	Yugo o Piñón

Casi podría decirse que los motores son como el ‘corazón de la industria’. Pero ese ‘corazón’ tiene diferentes ritmos y funciona a distintas velocidades, dependiendo del uso que se le quiera dar.

Los reductores son diseñados a base de engranajes, mecanismos circulares y dentados con geometrías especiales de acuerdo con su tamaño y la función en cada motor. En pocas palabras los reductores son sistemas de engranajes que permiten que los motores eléctricos funcionen a diferentes velocidades para los que fueron diseñados es por eso que los reductores son apropiados para todo tipo de máquinas y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad en forma segura y eficiente. Ver Figura [2.14](#). [12]





Figura 2.13 Actuador Motor Lineal 132 Kg Torque 100 Nm Salida.

Sin la correcta fabricación del motor reductor, las máquinas pueden presentar fallas y deficiencias en su funcionamiento. La presencia de ruidos y recalentamientos pueden ser aspectos que dependan de estos mecanismos, de allí la importancia del control de calidad.

Al emplear un motor reductor se obtiene una serie de beneficios.

- Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
- Una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.
- Mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el mantenimiento.
- Menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.
- Menor tiempo requerido para su instalación.

## 2.11 Selección del motor.

Para implementar energía mecánica a nuestra cortadora se optó por usar un motor de acuerdo con los requerimientos del sistema, principalmente que tuviera buen torque, y pudiera mover de manera fácil la cizalla para realizar el corte. Además, que su acoplamiento al eje del motor fuera sencillo.



Figura 2.14 Partes de actuador utilizado en el prototipo.

### 2.11.1 Motor de DC.

El motor de corriente continua es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, principalmente mediante el movimiento rotativo. Los motores de corriente continua son adecuados para aplicaciones en donde se necesita velocidad constante a cualquier ajuste del control o en los casos en que es necesario un rango apreciable de velocidades. A diferencia de los motores de pasos y los servomecanismos, los motores DC no pueden ser posicionados y/o enclavados en una posición específica. Estos simplemente giran a la máxima velocidad y en el sentido que la alimentación aplicada se los permite.

### 2.11.2 Reductor o Motor reductor.

Los reductores y motor-reductores mecánicos de velocidad se pueden contar entre los inventos más antiguos de la humanidad y aún en estos tiempos del siglo XXI se siguen utilizando prácticamente en cada máquina que tengamos a la vista, desde el más pequeño reductor o motor-reductor capaz de cambiar y combinar velocidades de giro en un reloj de pulsera, cambiar velocidades en un automóvil, hasta enormes motor-reductores capaces de dar tracción en buques de carga, molinos de cemento, grandes máquinas cavadoras de túneles o bien en molinos de caña para la fabricación de azúcar. Un motor reductor tiene un motor acoplado directamente, el reductor no tiene un motor acoplado

directamente. La sencillez del principio de funcionamiento y su grado de utilidad en una gran variedad de aplicaciones es lo que ha construido la trascendencia de este invento.

Ver Figura [2.15](#).

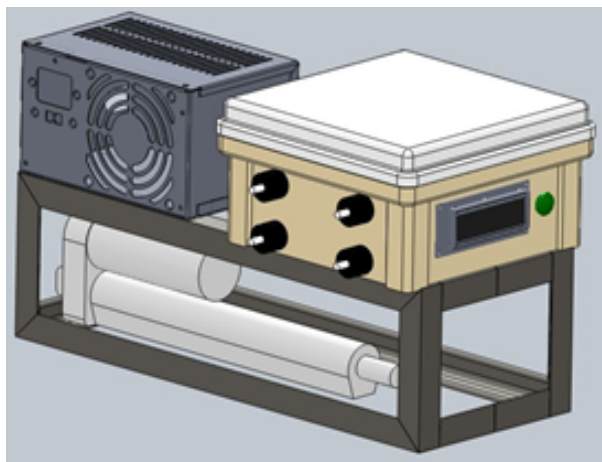


Figura 2.15 En Solidworks® del motor reductor implementado en el equipo KRN.

## Capítulo 3

# Diseño y construcción

Se construyó un prototipo del KRN, el cual fue diseñado en el programa SolidWorks para darnos una idea de como quedaría nuestro prototipo una vez realizado esto, el material con el que se armó la estructura es de metal, el motor reductor de 12Vdc se adaptó a la estructura para darle estabilidad ya que este es el encargado de mover la cizalla de corte de nuestro equipo además de contar con una guía para asegurarnos de que la cizalla no salga de su trayectoria. Ver Figura [3.1](#).



Figura 3.1 Prototipo terminado.



Figura 3.2 Arduino® UNO.

### 3.1 Qué es Arduino ®

Arduino® es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, está diseñada para facilitar el uso de la electrónica en diversos proyectos. y el software consiste en un entorno de desarrollo (IDE) que implementa un lenguaje de programación fácil de usar [13]. Ver Figura 3.2.

La principal característica del software de programación y del lenguaje de programación es su sencillez y facilidad de uso.

#### ¿Para qué sirve Arduino® ?

Arduino® se puede utilizar para desarrollar elementos autónomos, conectándose a dispositivos e interactuar tanto con el hardware como con el software. Nos sirve tanto para controlar un elemento, pongamos por ejemplo un motor que nos suba o baje una persiana basada en la luz existente es una habitación, gracias a un sensor de luz conectado al Arduino®, o bien para leer la información de una fuente, como puede ser un teclado, y convertir la información en una acción como puede ser encender una luz y pasar por un display lo teclado [13].

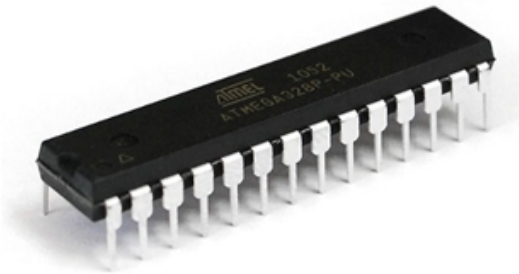


Figura 3.3 Microcontrolador atmega328 utilizado en el prototipo.

## 3.2 Microcontrolador ATmega328.

El ATmega328 es un microcontrolador creado por Atmel® y pertenece a la serie mega AVR. El ATmega328 es un circuito integrado de alto rendimiento que está basado en un microcontrolador RISC, combinando 32 KB ISP flash, 1 KB de memoria EEPROM, 2 KB de SRAM, 23 líneas de E/S de propósito general, 32 registros de proceso general, tres temporizadores/contadores con modo de comparación, 6 canales de PWM, interrupciones internas y externas, programador de modo USART, una interface serial orientada a byte de 2 cables ( $I^2 C$ ), interface serial SPI, 6-canales 10-bit conversor análogo-digital (ADC), temporizador watchdog programable con oscilador interno, y seis modos de ahorro de energía seleccionables por software.[4] El dispositivo opera entre 1.8 y 5.5 voltios y cuenta con una velocidad entre 0-20 MHz.[4] Ver Figura [3.3](#).

## 3.3 Actuador lineal.

Se utilizó un motor lineal porque brinda una excelente fuerza de torque que es capaz de suministrar la energía mecánica para realizar el corte de la carne, por lo que el motor reductor es altamente recomendable para los requerimientos del sistema, además de que tiene buena potencia, la adecuación del motor fue sencilla y se empleó una guía en la base para brindar una mejor estabilidad.[12] Como se muestra en las Figuras [3.4](#) y [3.5](#).



Figura 3.4 Actuador motor lineal utilizado en el prototipo.

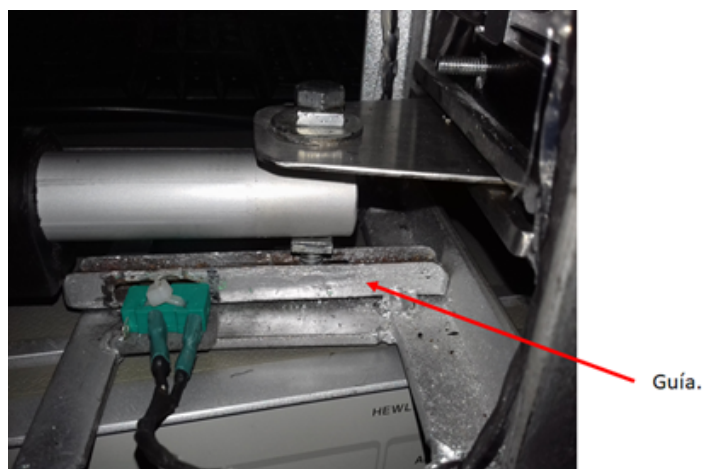


Figura 3.5 Guía para que el actuador no se gire.

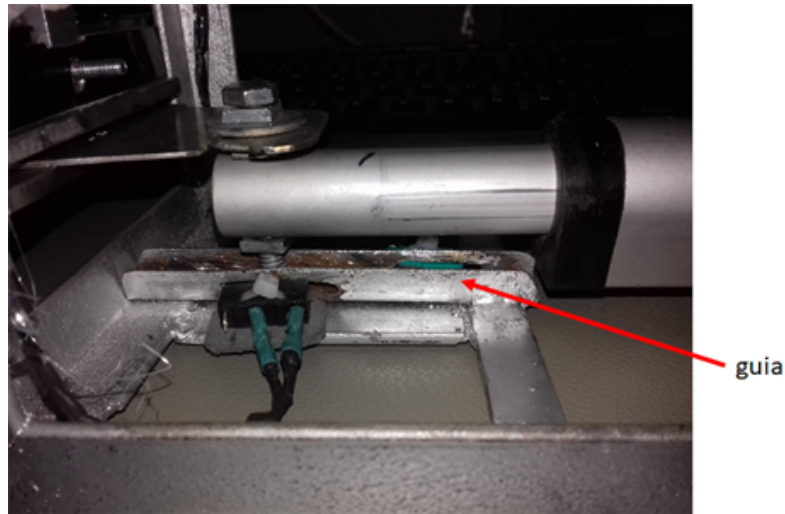


Figura 3.6 Guía vista desde otro ángulo.

Un beneficio importante al usar un motor reductor es que ofrece una regularidad perfecta tanto en velocidad como en potencia transmitida, este motor es fácil de controlar. Ver Figura [3.6](#).

### 3.4 Visualizador LCD.

Las pantallas de cristal líquido LCD o display (Liquid Cristal Display) tienen la capacidad de mostrar cualquier carácter alfanumérico, permitiendo representar la información que genera cualquier equipo electrónico de una forma fácil.[14] La pantalla consta de una matriz de caracteres (normalmente de 5x7 o 5x8 puntos) distribuidos en una, dos, tres o cuatro líneas de 16 hasta 40 caracteres cada línea. El proceso de visualización es gobernado por un microcontrolador incorporado a la pantalla, siendo el Hitachi 44780 el modelo de controlador más utilizado. La pantalla LCD se utiliza para poder implementar la visualización gráfica de la fuerza medida por la galga y mostrando también la hora en que se realiza el corte.[14] Ver Figura [3.7](#).

**Las características generales de un módulo LCD  $16 \times 2$  son las siguientes.**

- Consumo muy reducido, del orden de 7.5mW.



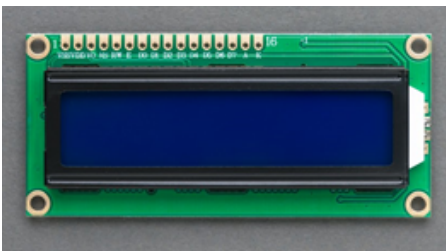


Figura 3.7 Módulo LCD usado en el prototipo.

- Pantalla de caracteres ASCII, además de los caracteres japoneses Kanji, caracteres griegos y símbolos matemáticos.
- Desplazamiento de los caracteres hacia la izquierda o a la derecha.
- Memoria de 40 caracteres por línea de pantalla, visualizándose 16 caracteres por línea.
  - Movimiento del cursor y cambio de su aspecto
  - Permite que el usuario pueda programar 8 caracteres
  - Pueden ser gobernados de 2 formas principales:
- Conexión con bus de 4 bits.
- Conexión con bus de 8 bits.

#### **Secuencia de inicialización.**

El módulo LCD ejecuta automáticamente una secuencia de inicio interna en el instante de aplicarle la tensión de alimentación si se cumplen los requisitos de alimentación expuestos en su manual. Dichos requisitos consisten en que el tiempo que tarde en estabilizarse la tensión desde  $0.2V$  hasta los  $4.5V$  mínimos necesario sea entre  $0.1ms$  y  $10ms$ . Igualmente el tiempo de desconexión debe ser como mínimo de  $1ms$  antes de volver a conectar.

### **3.5 Conversor $I^2C$ adaptador LCD.**

Esta placa adaptadora permite la comunicación entre la placa Arduino® y una LCD 16x2, mediante el protocolo  $I^2C$ , lo cual posibilita la facilidad de conexiones, éste adaptador permite



Figura 3.8 Módulo convertidor  $I^2C$  para LCD 16x2.

administrar de una manera mucho más óptima la distribución de puertos, por lo que se pueden llevar a cabo la presentación de datos a través de solamente dos cables. Ver Figura [3.8](#).

### 3.6 RTC.

Los relojes de tiempo real (RTC), los cuales son muy útiles en gran cantidad de sistemas que requieren exactitud temporal, como puede ser un proceso que presenta restricciones temporales a la hora de iniciar o finalizar una tarea.

Además del entorno Arduino®<sup>®</sup>, se explica más adelante el protocolo  $I^2C$ , con el que se realiza la comunicación serie entre microcontrolador y RTC.

La librería DS3231.h que incluye Arduino®<sup>®</sup> maneja las funciones necesarias para la comunicación entre el microcontrolador de Arduino®<sup>®</sup> y el reloj de tiempo real DS3231, mediante el protocolo  $I^2C$ , pero también es válida para la mayoría de RTC de esta familia, ya que la estructura de los registros es la misma y también usan la comunicación serie  $I^2C$ . Aunque algunas de las funciones pueden no ser compatibles con otros modelos, como pueden ser las funciones de las alarmas o la de solicitar temperatura, en caso de que dichos modelos no tengan

control de alarma ni sensor de temperatura.

### **Dispositivos RTC:**

Un reloj en tiempo real, RTC (del inglés real time clock), es un dispositivo que es capaz de actualizar la hora por sí solo, iniciándose en la hora a la que se programe, y siguiendo el sistema temporal en unidades humanas, es decir, años, meses, días, horas, minutos y segundos. Estos dispositivos se incluyen en un circuito integrado y se emplean en la mayoría de aparatos electrónicos que requieren almacenar el tiempo exacto, como ordenadores personales, servidores o sistemas empotrados. Una de las principales ventajas que tiene el utilizar estos dispositivos, es liberar al sistema principal de trabajo, esto unido a su precisión y al bajo consumo de energía, hace que los RTC sean muy útiles y se recurra a ellos cuando se necesite controlar tiempo. Además, los RTC poseen una fuente de alimentación propia que les permite seguir midiendo el tiempo mientras no recibe alimentación de la fuente principal. Antiguamente esta alimentación alternativa era una batería de litio, pero los sistemas más modernos usan un súper capacitor, ya que son recargables y pueden ser soldados a la placa. Para realizar la medición de tiempo la mayoría de relojes utilizan un oscilador de cristal, aunque algunos usan la propia frecuencia de la fuente de alimentación.

Uno de los mayores fabricantes de RTC es la compañía Dallas, la cual diseñó una familia de integrados denominada DS.

### **RTC-DS3231.**

Este dispositivo es un RTC de bajo costo y extremadamente preciso, el cual cuenta con los anteriormente mencionados, oscilador de cristal y batería alternativa. Ver Figura [3.9](#).

Este RTC ajusta automáticamente los meses que tienen menos de 31 días, incluyendo febrero, con su corrección en año bisiesto. Puede trabajar en los dos formatos horarios, tanto el de 24 horas, como el de 12 horas con un indicador AM/PM. Posee dos alarmas programables en día y hora. La dirección y datos se transfieren en serie mediante el protocolo  $I^2C$ .



Figura 3.9 Módulo DS3231 utilizado en el prototipo.

Además, mediante una referencia de tensión compensada por temperatura y un circuito comparador, controlan el estado de la alimentación, para detectar fallos en la misma, para producir un reinicio y cambiar automáticamente a la fuente de alimentación de reserva.

### 3.7 Comunicación serie mediante $I^2C$ .

$I^2C$  es la abreviatura de (Inter-Integrated Circuit) es una técnica que presentaron los ingenieros de Philips en 1982, como solución a la necesidad de simplificar y normalizar las líneas de intercambio de datos entre distintos circuitos integrados. Este sistema reduce el número de cables a dos, uno de datos, (SDA) y otro de reloj (SCL) ambas conectadas a voltaje positivo de alimentación (VDD) mediante una resistencia pull-up. El bus trabaja con lógica positiva, donde el nivel alto debe ser al menos 0,7 veces (VDD) y el nivel bajo no debe ser mayor de 0,3 veces (VDD). [15], [16]. Ver Figura 3.10.

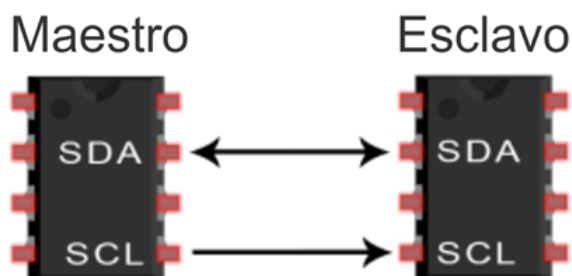


Figura 3.10 Funcionamiento del protocolo  $I^2C$ .

SDA - Serial Data. Es la vía de comunicación entre el maestro y el esclavo para enviarse información.

SCL - Serial Clock. Es la vía por donde viaja la señal de reloj.

El protocolo  $I^2C$  está diseñado como un bus maestro-esclavo, donde el maestro inicia la transferencia de datos y el esclavo reacciona. Lo normal es que haya un maestro y múltiples esclavos, pero también existe la posibilidad de controlar el acceso al bus, haciendo posible tener varios maestros que pueden ir turnándose. El protocolo  $I^2C$  estándar toma el primer byte de datos que el maestro envía, siendo los 7 primeros bits la dirección y el octavo el bit de lectura o escritura, que indica si el esclavo debe recibir datos, si está a nivel bajo, o enviarlos, a nivel alto. Por lo que este protocolo permite 128 direcciones, aunque solo se podrán usar libremente 112, ya que hay 16 nodos reservados para fines especiales. La dirección de cada circuito integrado viene definida por el fabricante, aunque los últimos 3 bits pueden ser fijados para tener una segunda dirección, esto sirve en caso de que se tengan varias direcciones idénticas [15], [16].

Para concluir esta breve explicación sobre el protocolo  $I^2C$ , diremos que es un protocolo bastante simple, pero muy susceptible a las interferencias, por lo que se emplea en comunicaciones que no tengan ruido ni distancias largas, como puede ser la conexión de integrados en una misma placa, que no tenga diafonías ni problemas de acoplamiento electromagnético.

### 3.8 Comunicación serial

La comunicación serial es un protocolo muy común. Utilizado por varios dispositivos para instrumentación. Además, la comunicación serial puede ser utilizada para adquisición de datos si se usa en conjunto con un dispositivo remoto de muestreo. El concepto de comunicación serial es sencillo. El puerto serial envía y recibe bytes de información un bit a la vez. Aún y cuando esto es más lento que la comunicación en paralelo, que permite la transmisión de un byte completo por vez, este método de comunicación es más sencillo y puede alcanzar mayores distancias. La comunicación serial se utiliza para transmitir datos en formato ASCII. Para realizar la comunicación se utilizan 3 líneas de transmisión [15], [16].

- Tierra.
- Transmisor.
- Receptor.

**Velocidad de transferencia.**

Indica el número de bits por segundo que se transfieren, y se mide en baudios (bauds). Por ejemplo, 300 baudios representan 300 bits por segundo. Cuando se hace referencia a los ciclos de reloj se está hablando de la velocidad de transmisión.

**Bits de datos.**

Se refiere a la cantidad de bits en la transmisión. Cuando la computadora envía un paquete de información, el tamaño de ese paquete no necesariamente será de 8 bits. Las cantidades más comunes de bits por paquete son 5, 7 y 8 bits. El número de bits que se envía depende en el tipo de información que se transfiere.

**Bits de datos.**

Usado para indicar el fin de la comunicación de un solo paquete. Los valores típicos son 1, 1.5 o 2 bits. Debido a la manera como se transfiere la información a través de las líneas de comunicación y que cada dispositivo tiene su propio reloj, es posible que los dos dispositivos no estén sincronizados. Por lo tanto, los bits de parada no sólo indican el fin de la transmisión sino además dan un margen de tolerancia para esa diferencia de los relojes. Mientras más bits de parada se usen, mayor será la tolerancia a la sincronía de los relojes, sin embargo, la transmisión será más lenta.

**Paridad.**

Es una forma sencilla de verificar si hay errores en la transmisión serial. Existen cuatro tipos de paridad: par, impar, marcada y espaciada. La opción de no usar paridad alguna también está disponible. Para paridad par e impar, el puerto serial fijará el bit de paridad (el último bit después de los bits de datos) a un valor para asegurarse que la transmisión tenga un número par o impar de bits en estado alto lógico. Por ejemplo, si la información a transmitir es 011 y la paridad es par, el bit de paridad sería 0 para mantener el número de bits en estado alto lógico como par. Si la paridad seleccionada fuera impar, entonces el bit de paridad sería 1, para tener 3 bits en estado alto lógico. La paridad marcada y espaciada en realidad no verifican el estado de

los bits de datos; simplemente fija el bit de paridad en estado lógico alto para la marcada, y en estado lógico bajo para la espaciada. Esto permite al dispositivo receptor conocer de antemano el estado de un bit, lo que serviría para determinar si hay ruido que esté afectando de manera negativa la transmisión de los datos, o si los relojes de los dispositivos no están sincronizados [16].

## Módulo HX711.

Este módulo permite trabajar fácilmente con el circuito integrado HX711, que facilita en gran medida la interfaz con celdas de carga para medir peso / fuerza. Al conectar el amplificador(HX711) al microcontrolador ATmega328 es posible medir los cambios en la resistencia de la celda de carga y con algunas calibraciones y cálculos, es posible obtener medidas bastante precisas. Ver Figura [3.11](#).



Figura 3.11 Módulo HX711 utilizado para el prototipo.

El HX711 usa una interfaz de 2 hilos para realizar la comunicación. Para esto es posible utilizar 2 pines de I/O de cualquier microcontrolador. En cuanto al software, ya hay varias librerías que permiten realizar la interfaz de este dispositivo con plataformas populares como Arduino®.

Las celdas de carga utilizan un puente Wheatstone que requiere de 4 conexiones con el HX711, los colores utilizados habitualmente son Rojo, Negro, Blanco, Verde y Amarillo. Cada color corresponde a una señal como se muestra a continuación:

- Rojo: Voltaje de excitación +,  $E+$ , VCC.
- Negro: Voltaje de excitación -.  $E-$  GND.
- Blanco: Amplificador +, Señal +,  $A+$ .
- Verde: Amplificador -, Señal -,  $A-$ .
- Amarillo: Tierra, normalmente no conectada a la celda, solo como protección contra interferencia electromagnética.

#### **Características del HX711 . Módulo amplificador para celda de carga.**

- Digitalización completa en el chip HX711.
- Conexión a protoboard o tarjeta con header estándar.
- 2 canales diferenciales de entrada.
- Interfaz de salida digital serial.
- Regulador integrado en chip para fuente analógica.
- Voltaje de operación: 2.7 – 5volts.
- Corriente de operación:  $< 1.5mA$ .
- Corriente en espera:  $< 1\mu A$
- Operación seleccionable: 80 y 10 muestras por segundo.
- Funciona con Arduino® , Microcontroladores PIC y de otras marcas.



## Capítulo 4

# Proceso de funcionamiento del Prototipo KRN.

En el proyecto realizado se hace uso de dos sensores finales de carrera para marcar hasta donde entrará o saldrá la cizalla sujeta al actuador. Los sensores están ubicados sobre una guía que evita que el actuador se gire. Uno de los sensores final de carrera está ubicado al inicio de la guía (sensor No 1) y el otro está al final (sensor No. 2). Ver Figuras 4.1 y 4.2. La Figura 4.3 muestra un diagrama de flujo del proceso a seguir para realizar un corte.

El proceso para realizar un corte es como sigue:

1. Al presionar el botón de corte (o inicio de proceso) el motor se accionará y empezará a meter la cizalla, con lo cual empezará a realizar el corte.
2. Al llegar al sensor final de carrera No 2, se habrá realizado el corte.
3. Se activa el sensor final de carrera No 2, deteniéndose el sistema unos instantes.

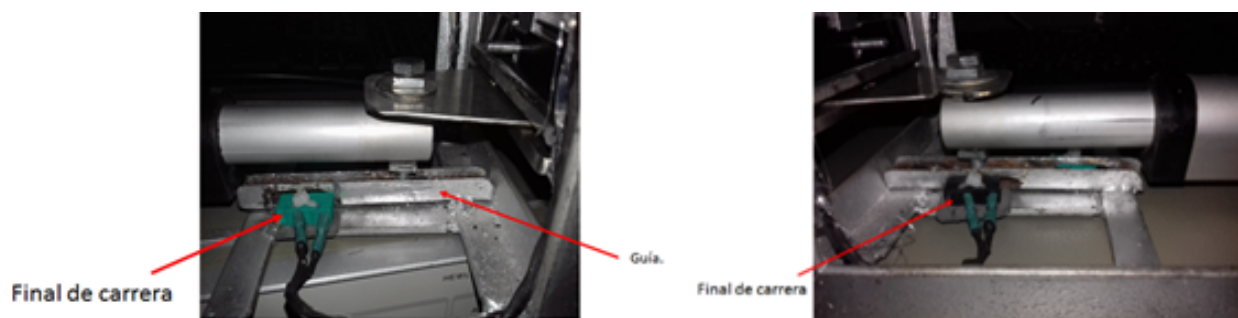


Figura 4.1 Ubicación de interruptores fin de carrera IN & OUT.

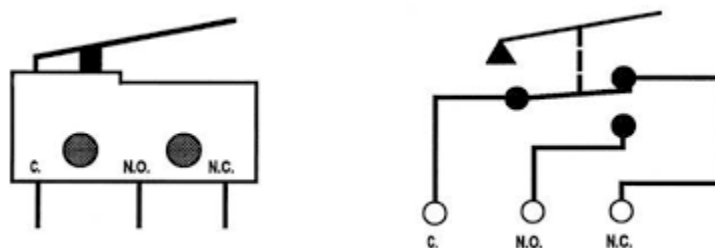


Figura 4.2 Diagrama del sensor final de carrera.

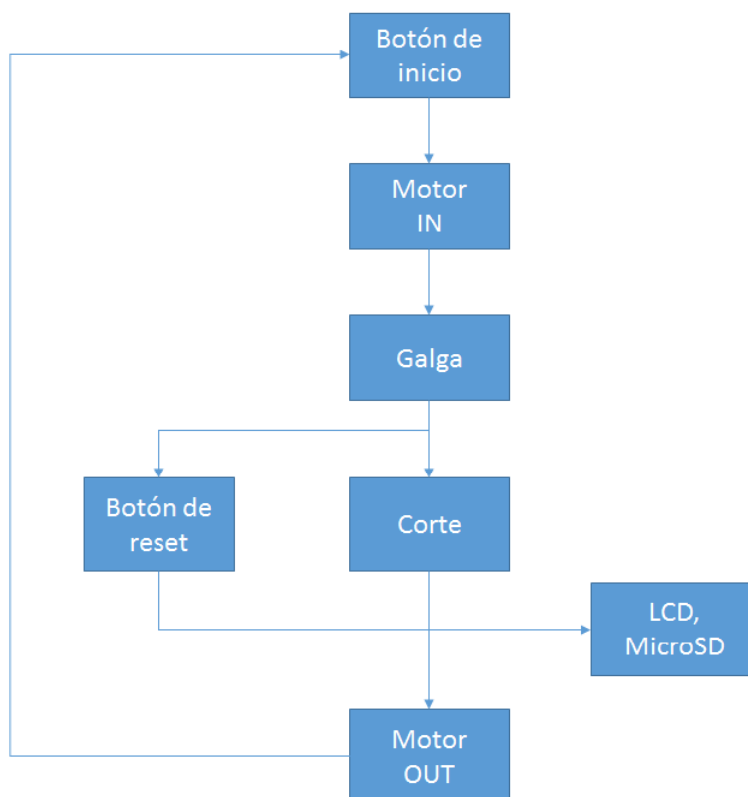


Figura 4.3 Diagrama de flujo del funcionamiento de equipo KRN .

4. En la pantalla LCD se muestra la información del corte y la hora en que se realizó el mismo, manteniendo la información hasta que se realice un nuevo corte.
5. Se almacena la información en la memoria micro SD.
6. la cizalla de corte regresa a su punto inicial, donde se encuentra el sensor de final de carrera No 1.
7. El sistema está listo para realizar el siguiente corte. Para iniciar un nuevo corte se repite el proceso desde el paso número 1.

## 4.1 Diseño del circuito en el programa PCB Wizard®

Usando el programa PCB Wizard se realizó el diseño de la placa del circuito impreso. En conjunto con Liviwire se dibujó y simuló los circuitos pudiendo capturar el diagrama esquemático creado en éste y automáticamente generar la placa de circuito impreso haciendo uso de la función (convertir diseño). Aunque el PCB generado no fue el mejor nos sirvió de guía para diseñar nuestro PCB. Ver Figura 4.4.

PCB Wizard muestra diferentes caras de la placa PCB que se utilizó en el prototipo. Además, permite ver de forma simulada el circuito con los diferentes componentes, como se vería de forma más real. Ver Figura 4.5.

Descripción de las diferentes partes del prototipo KRN. La Figura 4.6 y 4.7 muestra el diferentes caras del Prototipo KRN.

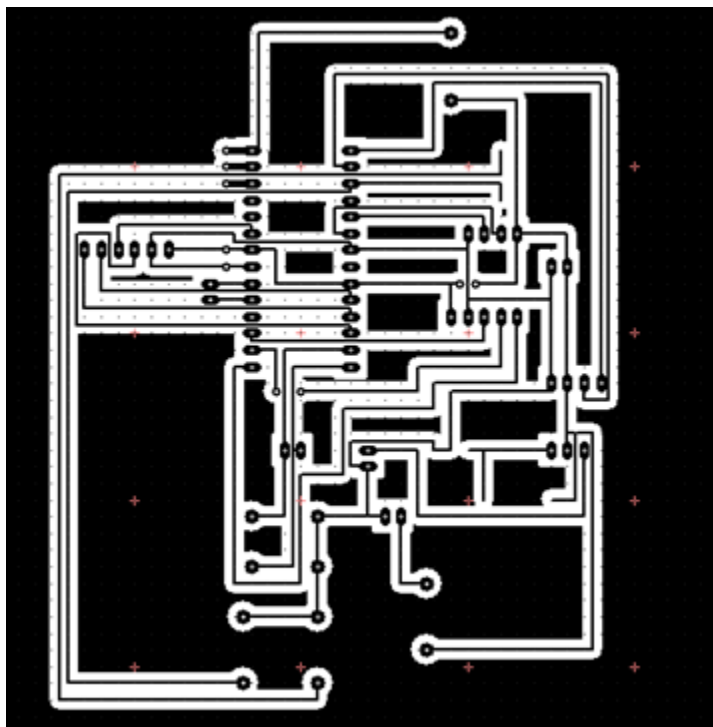


Figura 4.4 Diseño del Circuito impreso en PCB Wizard.

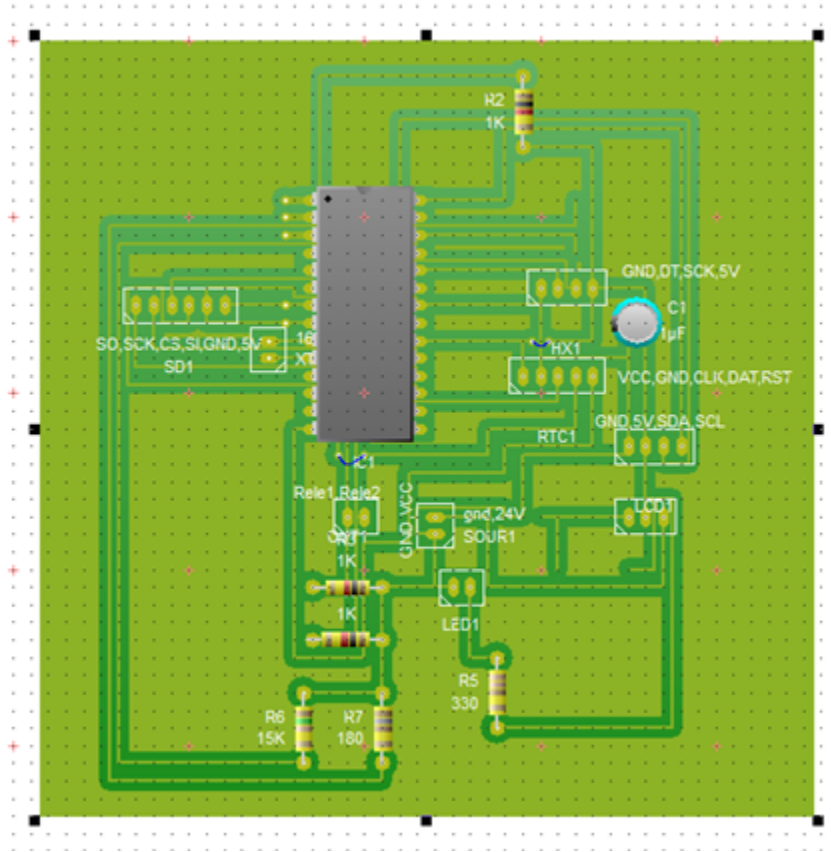


Figura 4.5 Muestra como se ve nuestro circuito con los componentes en PCB Wizard.

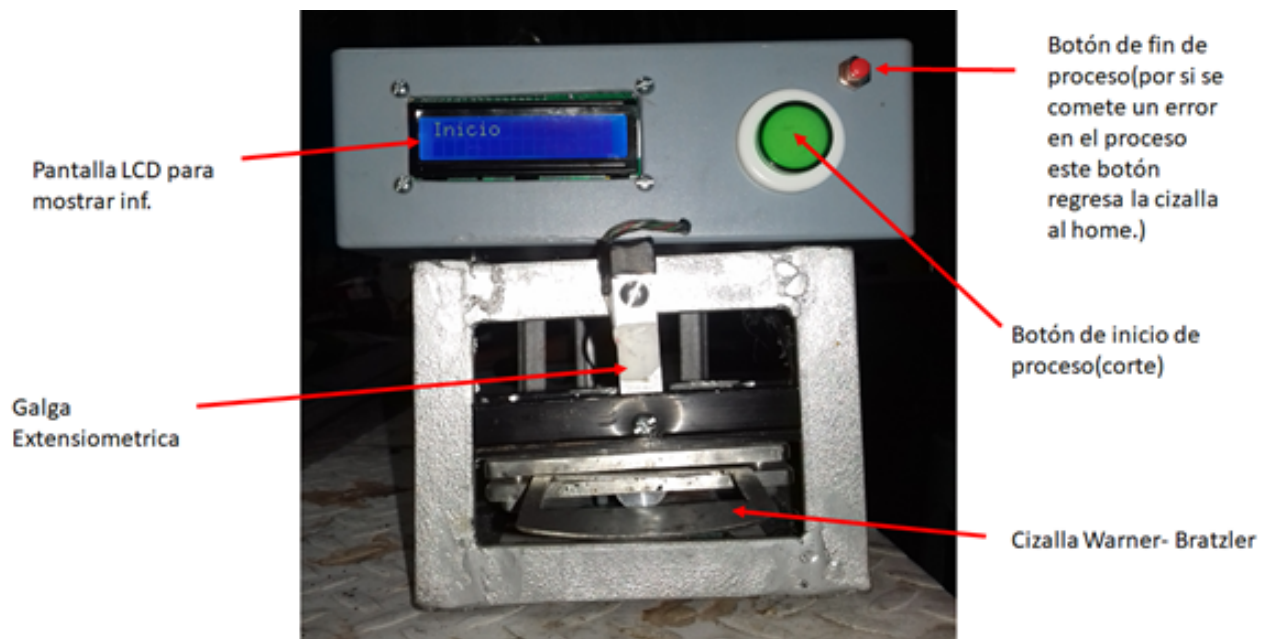


Figura 4.6 Diferentes partes del prototipo KRN.

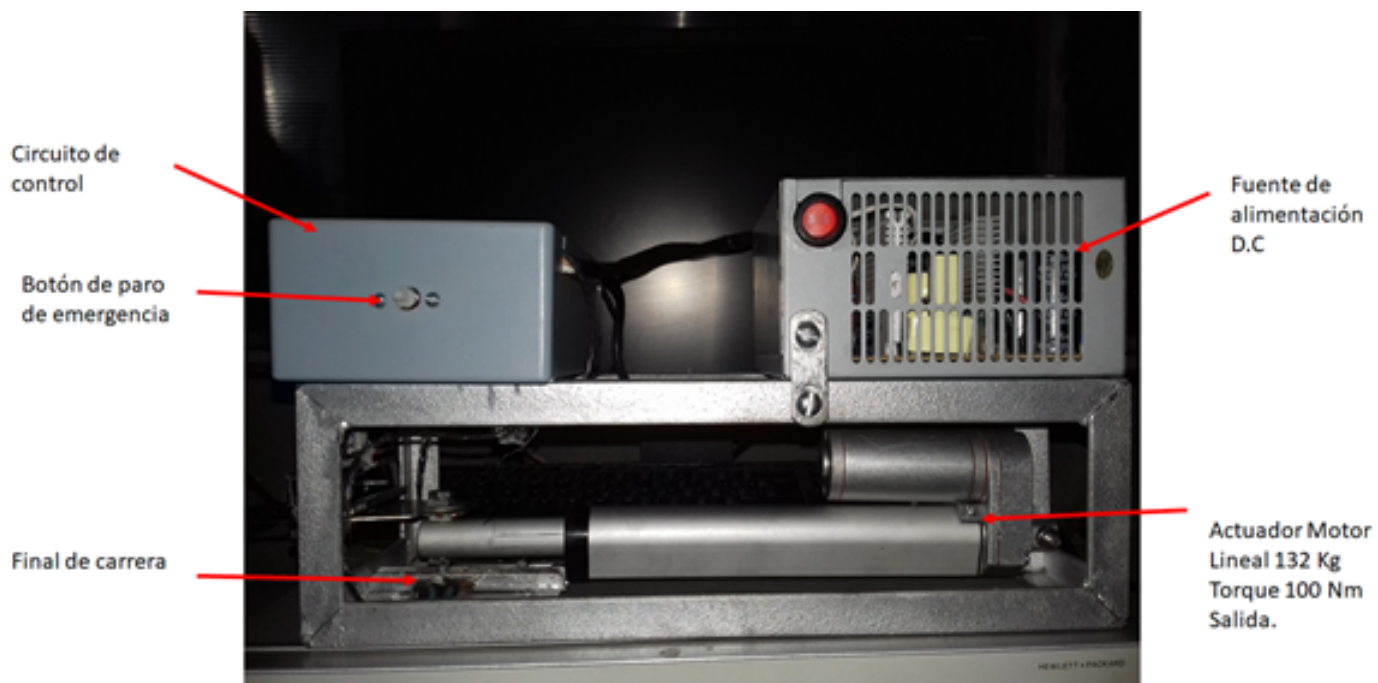


Figura 4.7 Otra vista de las diferentes partes del prototipo KRN.

## 4.2 Pruebas con los dos equipos de cizallamiento.

Las Tablas 2 y 3 muestra los valores obtenidos durante la primera prueba realizada con los equipos, esto para realizar la calibración del equipo KRN.

**Tabla 2.** Prueba realizada con los equipos para la calibración del equipo KRN.

No.de muestras	Tipo de Muestra Salchicha			
	G-R	KRN	KRN Normalizados	G-R Normalizados
1	0.6	58767	0.868	0.857
2	0.62	61467	0.908	0.885
3	0.62	63706	0.941	0.885
4	0.62	64724	0.941	0.885
5	0.62	66730	0.956	0.885
6	0.64	63706	0.986	0.914
7	0.66	66767	0.987	0.942
8	0.66	67235	0.993	0.942
9	0.7	67312	0.995	1
Promedio	0.7	67643		

**Tabla 3.** Comparación de los dos equipos.

Desviación estándar de KRN normalizado	0.045708682
Desviación estándar de G-R Warner-Bratzler normalizado	0.051507875

En la Tabla 3 se pueden observar que tan dispersos están los datos de los equipos, la exactitud del equipo KRN en comparación con el G-R.

Para una mejor interpretación de los resultados la Figura 4.8 muestra los valores obtenidos.

Se procedió a realizar las siguientes pruebas ya con el equipo calibrado para probarlos con diferentes tipos de carnes. Ver Figura 4.9.

Otro dato importante en la comparación de los equipos es el tiempo que se tardan en realizar el corte de la muestra y regresar a su punto inicial el cual fue registrado en la Tabla 4.

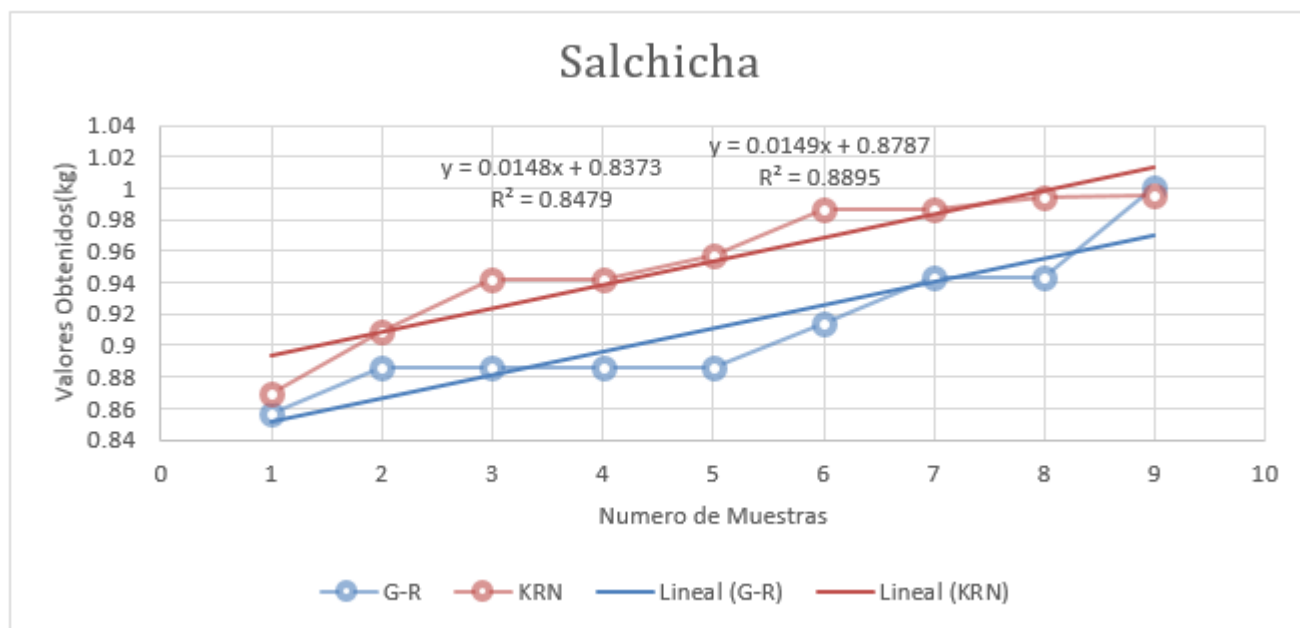


Figura 4.8 La grafica muestra los valores normalizados de las muestras.



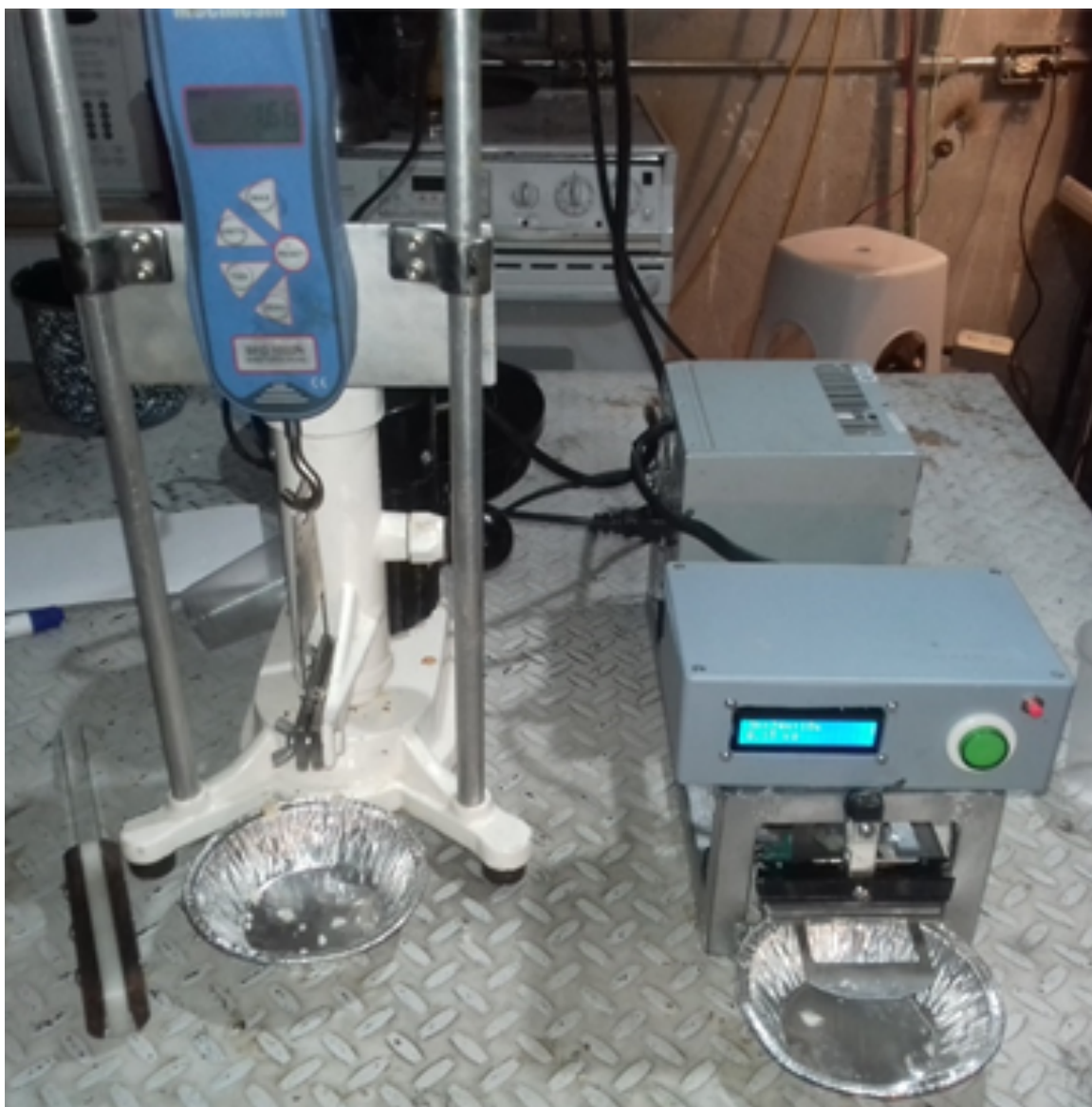


Figura 4.9 Muestra los dos equipos al momento de iniciar las pruebas.

**Tabla 4.** Se muestran los valores obtenidos de una salchicha cortada en los dos equipos de medición alternando los cortes. Lecturas a la par salchicha.

Lecturas a la par salchicha	
G-R	KRN
0.48	0.42
0.54	0.56
0.58	0.6

Después de realizar las pruebas pertinentes en los dos equipos se obtuvieron los siguientes valores que están presentados en la siguiente Tabla 6. Ver Figura [4.10](#) y [4.11](#)

**Tabla 5.** Muestra los datos obtenidos con otro lote de salchichas.

KRN	G-R
0.51	0.48
0.53	0.52
0.58	0.54
0.58	0.44
0.6	0.56
0.62	0.54
0.63	0.58
0.63	0.58

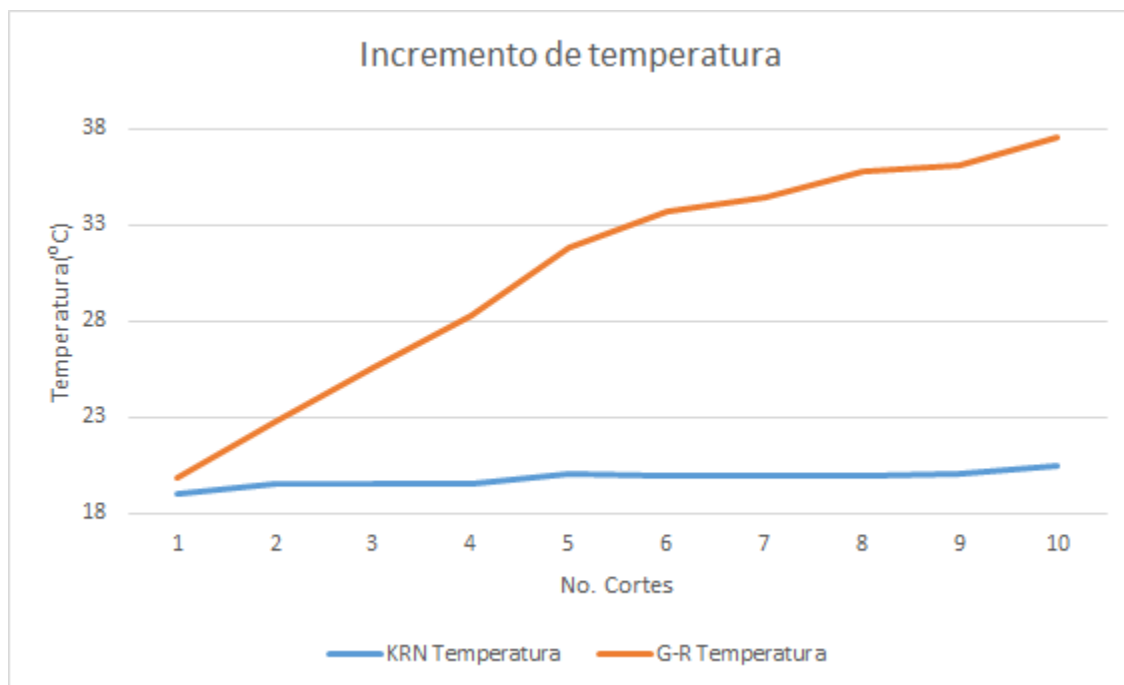


Figura 4.10 Incremento de temperatura en función del número de cortes de ambos equipos.

4.10



Figura 4.11 Valores obtenidos del análisis de la salchicha.

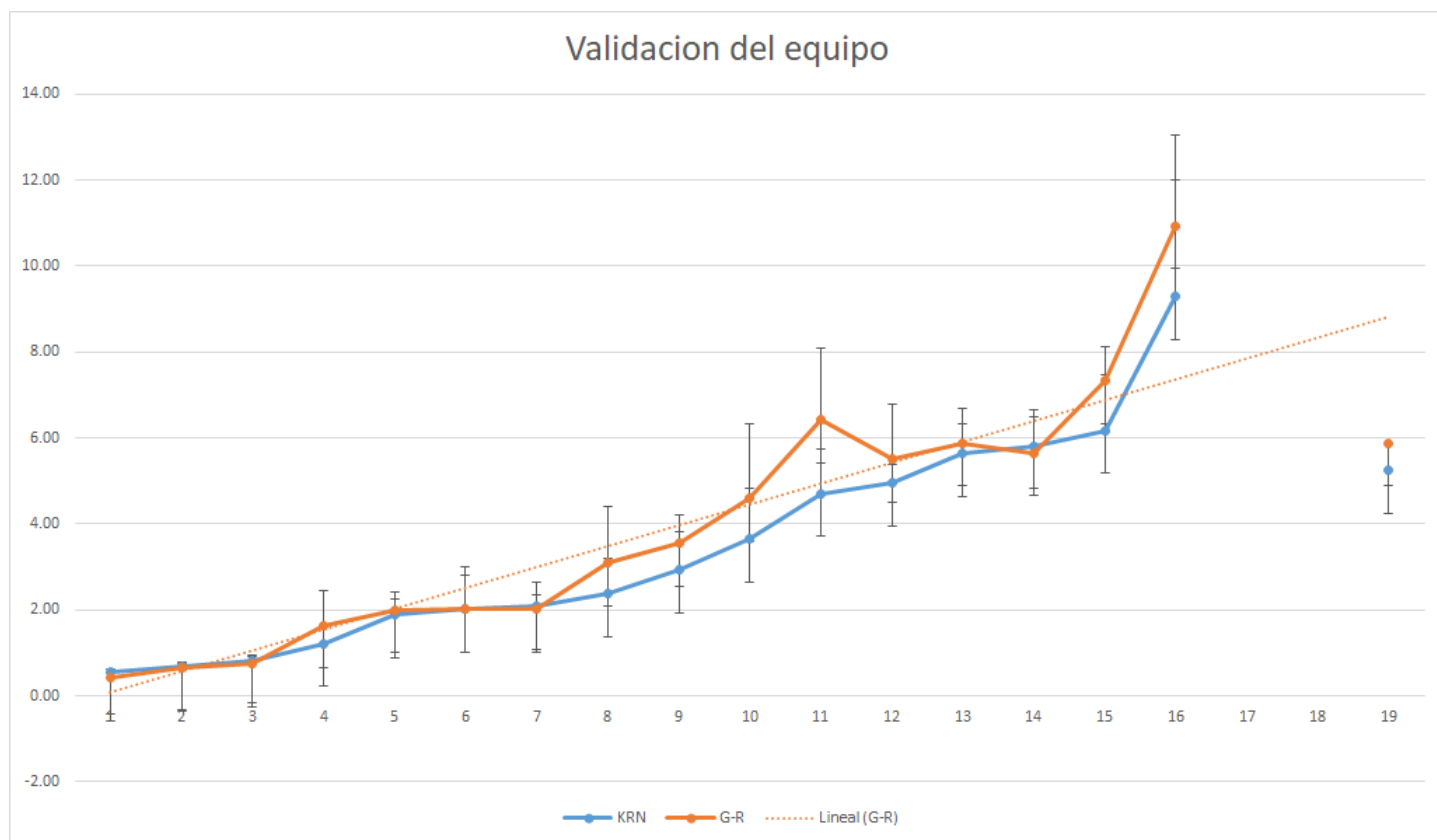


Figura 4.12 Valores y dispersión de diferentes tipos de carnes y embutidos tomados de ambos equipos.

En la Tabla 6 se muestra el comparativo general de varios parametros en los equipos.

**Tabla 6.** Comparativo general de los equipos KRN vs G-R.

<b>Parámetro</b>	<b>KRN</b>	<b>G-R</b>
Volumen (m3)	1.5E-02	4.12E-02
Masa (Kg)	5	16
Tiempo de ciclo (s)	16	23
Muestras por hora	200	150
Corriente consumida (A)	0.1	0.9
Precisión de lectura (bits)	24	8
Potencia consumida por cada 10 muestras (KW)	1.9	25.3
Incremento de temperatura cada 10 muestras (°C)	1.5	17.6

## Capítulo 5

# Conclusiones

El objetivo de la presente tesis es el diseño y construcción de un prototipo al que se denominó KRN y cuya función es caracterizar la resistencia al corte de carnes y embutidos utilizando la Cizalla Warner-Bratzler. Aunque existen en el mercado varios equipos con este propósito, el sistema G-R que es el más comúnmente utilizado en la caracterización de ternera. Por lo que las conclusiones serán resultado de la comparación entre G-R y KRN en varios parámetros importantes para dar fe de que el sistema efectivamente fue optimizado.

- El G-R utiliza un motor de CA de 1/9 HP que consume en promedio 0.9A de corriente en promedio durante su funcionamiento, por otro lado, el KRN consume 0.1A, la temperatura del G-R que se incrementa en función del tiempo de muestreo ya que el motor del G-R tiene un funcionamiento continuo mientras que el motor del KRN es de CD. ocasionando que después de una hora de operación se eleve su temperatura y deje de funcionar correctamente, lo que interrumpía el proceso de caracterización.
  - El dinamómetro digital del G-R Warner-Bratzler se encarga de hacer la medición y lo muestra en una pantalla, un segundo usuario se encargaba de registrar de forma manual las mediciones, mientras que el KRN corta la muestra, mide la resistencia, muestra los datos y los guarda en un archivo digital en una memoria Micro SD.
  - El retorno de la cizalla del GR implicaba la intervención manual del operador, lo que hace el proceso aún más lento y tedioso, el KRN regresa a su estado inicial de forma automática.

- Después de cada lectura del dinamómetro del G-R debe inicializarse para tomar una nueva lectura. Si por alguna razón se omite este paso, se pierde el nuevo valor de fuerza de corte mientras que el KRN se reinicia en cada lectura automáticamente quedando listo para la nueva lectura.
- El equipo G-R es muy pesado y voluminoso, el KRN es mucho más ligero y ocupa menos volumen además de presentar mayor estabilidad por estar horizontal al plano.

Por lo antes expresado, se comprobó la hipótesis planteada para el desarrollo de este trabajo. Obteniendo un prototipo denominado KRN que permite medir la resistencia al corte de productos cárnicos de forma más eficiente y rápida. Siendo un dispositivo ligero, que permite trabajar de forma continua en largas sesiones, sin hacer ajustes en la calibración, ni suspender las pruebas por recalentamiento del equipo. El software del prototipo KRN permite almacenar de forma automática los datos medidos, y estar listo para realizar la siguiente muestra sin ser necesario tener más de un usuario.





## Apéndice A: Conceptos.

**Planta o proceso:** La planta o proceso es el sistema que se desea controlar. Si es un sistema físico como un motor, horno, sistema mecánico o hidráulico, etc., Se denomina planta. En cambio, un proceso se refiere eventos químicos, económicos, biológicos, etc. En los casos se define una entrada y una salida, donde la salida es la variable a controlar y la entrada es la variable que el controlador debe modificar para conseguir que la salida llegue al valor deseado [5].

**Controlador:** Este elemento es el encargado de proporcionar la señal adecuada a la entrada de la planta o proceso, con la finalidad de que la salida alcance el valor deseado. El controlador también está descrito por un modelo matemático. Se trata de una función que en base a la información de la variable de entrada produce una señal en su variable de salida. Los controladores se pueden implementar de muchas formas, mecánicos, hidráulicos, electrónicos, pero con el desarrollo de los circuitos integrados y las computadoras actualmente la mayoría se realizan con electrónica mediante programas de cómputo [5].

**Etapas de potencia:** En muchas ocasiones la salida que produce el controlador no cuenta con la fuerza o potencia para aplicarse directamente a la entrada de la planta. Esto se hace más evidente con la implementación de controladores con circuitos electrónicos de baja potencia, es entonces necesario un elemento que permita aplicar la señal generada por el controlador con la potencia, fuerza o corriente que la planta demande. Este elemento se le conoce como etapas de potencia y en general solo son amplificadores [5].

**Sensor:** En los sistemas de control en lazo cerrado es necesario retroalimentar la señal de la salida para compararla con el valor deseado. Para ello se requiere un elemento que proporcione información confiable y con la capacidad de transformar la señal de tal forma que el controlador la pueda leer. Estos se conocen como sensores y en la actualidad la mayoría son electrónicos. Existen sensores de temperatura, presión, velocidad, etc. El comportamiento del sensor puede ser tan sencillo como un factor de proporcionalidad o tan complejo como una función no lineal [5].

**Sistema:** Puede definirse conceptualmente como un ente que recibe unas acciones externas o variables de entrada, y cuya respuesta a estas acciones externas son las denominadas variables de salida. Las acciones externas al sistema se dividen en dos grupos, variables de control, que se pueden manipular, y perturbaciones sobre las que no es posible ningún tipo de control [5]. Ver Figura A.1.



Figura A.1 Esquema general de un sistema.

De forma más general, podemos definir a un sistema como un arreglo, conjunto o combinación de cosas conectadas o relacionadas de manera que constituyen un todo. De forma científica podemos definirlo como un arreglo de componentes físicos conectados o relacionados de tal manera que formen una unidad completa o que puedan actuar como tal; en otras palabras: Un sistema es una combinación de componentes que actúan conjuntamente, con un determinado objetivo a cumplir.

**Sistema de control:** Un sistema de control se puede definir como un conjunto de elementos que interactúan entre sí para llevar la salida de una planta o proceso a un valor deseado. La finalidad de un sistema de control es conseguir, mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen unos valores prefijados [5]. Ver figura A.2.

Un sistema de control ideal debe ser capaz de conseguir su objetivo cumpliendo los siguientes requisitos:

1. Garantizar la estabilidad y, particularmente, ser robusto frente a perturbaciones y errores en los modelos.

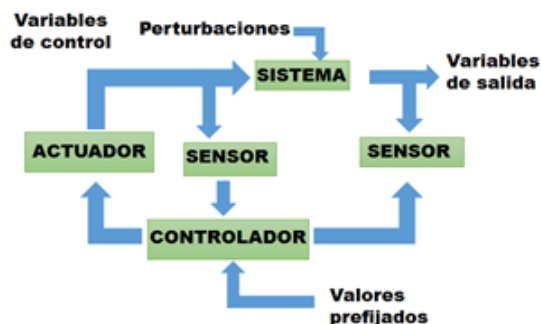


Figura A.2 Esquema general de un sistema control.

2. Ser tan eficiente como sea posible, según un criterio preestablecido. Normalmente este criterio consiste en que la acción de control sobre las variables de entrada sea realizable, evitando comportamientos bruscos e irreales.
3. Ser fácil de implementar y cómodo de operar en tiempo real con ayuda de un ordenador.

**Entrada de un sistema:** Es una variable del sistema elegida de tal manera que se la utiliza como excitación del mismo.

**Salida de un sistema:** Es una variable del sistema elegida de tal modo que se la utiliza para analizar los efectos que produjo una excitación en la entrada del mismo.

**Entrada de un sistema de control:** Es una variable del sistema controlado que se elige de modo tal que mediante su manipulación se logra que el sistema cumpla un objetivo determinado.

Las variables de entrada, son variables que ingresan al sistema y no dependen de ninguna otra variable interna del mismo[5].

No solo la señal de referencia (valor deseado de la salida del sistema) conforma una variable de entrada, también hay ciertas señales indeseadas, como son algunas perturbaciones externas, que se generan fuera del sistema y actúan sobre la planta, afectando desfavorablemente la salida del sistema, comportándose también como una variable de entrada, cuyo valor no dependen de ninguna otra variable interna al sistema [5].

**Salida de un sistema de control:** Es una variable del sistema controlado que se elige de modo tal que mediante su estudio se analiza si el sistema cumple o no con los objetivos propuestos. Se verá más adelante que en los sistemas realimentados esta señal de salida contribuye a realizar el control propuesto.

**Realimentación:** es una propiedad de los sistemas que permiten que la salida del sistema o cualquier variable del mismo sean comparadas con la entrada al sistema o con cualquier componente del sistema, de tal manera que pueda establecerse la acción de control apropiada entre la entrada y la salida.

En general, se dice que la realimentación existe en un sistema cuando hay una secuencia cerrada de relaciones causa-efecto entre las variables de un sistema. Este concepto de realimentación juega un papel muy importante en ingeniería de control. Aunque el término parece tener un significado muy sencillo, es bastante difícil encontrar una definición precisa para él. La existencia de realimentación en los sistemas físicos es difícil de demostrar, en cambio cuando deliberadamente se introduce realimentación con el afán de controlar su existencia y su función se identifica más fácilmente.

En consecuencia, se interpretará que existe una realimentación, cuando se presenta una secuencia cerrada de relaciones causa-efecto entre las variables de un sistema[5].

Existen dos tipos de realimentación, la forma de cómo se comparan las dos variables que dan lugar a la misma, permite que se pueda hablar de realimentación positiva o negativa.

**Realimentación positiva:** cuando ambas variables comparadas son de igual signo.

**Realimentación negativa:** cuando ambas variables comparadas son de signo contrario. En control se usa y aplica la realimentación negativa. Un sistema realimentado negativamente modifica las propiedades y características del sistema sin realimentar.

Los rasgos más importantes que la realimentación negativa impone a un sistema son:

- Aumento de la exactitud.
- Se reducen los efectos de no linealidad y distorsión.
- Aumenta el ancho de banda del sistema.

- Disminuye la ganancia del sistema.
- El sistema tiende a ser menos estable

**Perturbaciones:** es una señal que tiende a afectar adversamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se la denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema. Las perturbaciones actúan sobre un sistema modificando, su funcionamiento por lo que su presencia implica la necesidad de control. Normalmente las perturbaciones actúan sobre un sistema aleatoriamente.

**Control de Realimentación:** es una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir las diferencias entre la salida y la entrada del sistema, y lo hace sobre la base de esta diferencia, la cual se denomina señal de error.

Cuando se utiliza control de realimentación se considera perturbación a aquellas que tienen carácter aleatorio (no previsible), porque las perturbaciones que pueden ser predichas siempre se puede incluir una compensación dentro del sistema de modo que sea innecesario el control.

**Sistema de control realimentado:** es aquel que tiende, a mantener una relación preestablecida entre la salida y la entrada de referencia, comparando ambas y utilizando la diferencia como variable de control [5].

## Apéndice B: Código de programación.

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include "DS3231.h"
#include "HX711.h"
        //19    A5 SCL
        //18    A4 SDA
// definicion de constantes

#define SW1 17 //A3
#define SW2 16 //A2
#define HX1 15 //A1
#define HX2 14 //A0
#define R1  9
#define R2  10
#define BOTON_PIN 2
#define BOTON_DES 3
#define SD_cs 4

// definicion e incializacion de variables

double fuerza=0;
double max=0;
String buffer;
boolean haySD=false;
```

```
//declaracion del objeto lcd
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

//declaracion del objeto hx711(Dout,Clk)
HX711 balanza(HX1,HX2);

//declaracion de objeto reloj
DS3231 clock;
RTCDatetime dt;

//leer o escribir archivos en la sd
File archivo;

//lectura del boton de corte
bool lboton;

void setup() {
  buffer = "";
  pinMode(SW1, INPUT_PULLUP);

pinMode(SW2, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BOTON_PIN, INPUT_PULLUP); // boton de inicio
  pinMode(BOTON_DES, INPUT_PULLUP); // boton de destrabe

  //R1 y R2 salidas de rele
  pinMode(R1, OUTPUT);
  pinMode(R2, OUTPUT);

  //apagar ambas direcciones del puente h
```



```
digitalWrite (R1,HIGH);
digitalWrite (R2,HIGH);

clock.begin();//para iniciar comunicacion con el RTC REAL TIME
CLOCK
balanza.set_scale(1); //La escala por defecto es 1
balanza.tare(20); //El peso actual es considerado Tara.

Serial.println(" inicio ");

lcd.begin();
lcd.backlight();
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(" Inicio");
Serial.begin(9600);//para comunicacion a 9600 baudios
}

void loop() {

if(!digitalRead(BOTON_PIN)){
    Serial.println(" activado ");
    balanza.tare(20);

    digitalWrite (R2,LOW);
    digitalWrite (R1,HIGH);

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
```

```
lcd.print(" Corte ");
max=0;
while (digitalRead(SW1)&&digitalRead(BOTON_DES)){

// factor de ajuste
    fuerza=abs(balanza.get_units(4));
    fuerza=fuerza*0.00001;

    if (fuerza>max)
        max=fuerza;

    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("          ");

    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(fuerza);
    lcd.print(" Kg");

    Serial.println(fuerza);
    buffer+=fuerza;
    buffer+=",";
}

// obtencion de la hora
dt = clock.getDateTime();
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(dt.hour);
lcd.print("h:");
```

```
lcd.print(dt.minute);
lcd.print("m:");
lcd.print(dt.second);
lcd.print(" s");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(max);
lcd.print(" kg");

Serial.println(dt.hour);

delay(1000);

digitalWrite(R2,HIGH);
digitalWrite(R1,LOW);

delay(2000);
while(digitalRead(SW2)&&digitalRead(BOTON_DES)){

digitalWrite(R1,HIGH);
digitalWrite(R2,HIGH);

//rutina para escritura de archivo en SD
checharSD();
if(haySD){
    Serial.println("sd Lista");
    lcd.print(" S");
    archivo=SD.open("datos.csv", FILE_WRITE);
    if(archivo==1){
```

```
        archivo . print (max);
        archivo . print ( " ,");
        archivo . print (dt . year);
        archivo . print ( "/" );
        archivo . print (dt . month);
        archivo . print ( "/" );
        archivo . print (dt . day);
        archivo . print ( " -");
        archivo . print (dt . hour);
        archivo . print ( ":" );
        archivo . print (dt . minute);
        archivo . print ( ":" );
        archivo . print (dt . second);
        archivo . println ();
    }
    archivo . close ();
} else {
    lcd . print ( " n/a");
    Serial . println ( " Error en sd");
}
buffer = "";
}
}

void checarSD () {
    haySD = SD . begin (SD_cs);
}
```

## Bibliografía

- [1] P. Blanco, M. R., Abbiati, N. N., Rovegno, M. S., Marotta, "Evaluación de la terneza muscular en bovinos empleando los métodos tradicional y picosirius red," *Rev. Divulg. Técnica Agropecu. Agroindustrial y Ambient. Fac. Ciencias Agrar. UNLZ.*, vol. 4, no. 1, p. 14/21, 2017.
- [2] A. Acute, "Textura-Terneza," in *Producción animal*, U. de Cordoba, Ed. Cordoba, España, 1984, pp. 1–92.
- [3] E. (Maestría en P. A. en Z. Á. Casas Gomez, "VALIDACIÓN DE DOS EQUIPOS QUE UTILIZAN LA CIZALLA WARNER-BRATZLER EN LA DETERMINACIÓN DE LA TERNEZA DE DIFERENTES CARNES Y EMBUTIDOS," UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ZACATECAS, 2017.
- [4] I. E. Vargas Morales, A. J. Pérez Venzor, and J. D. D. Cota Ruiz, "Control de un convertidor CD-CD tipo buck por medio del microcontrolador ATMEGA328," *CULCyT/Sistemas*, vol. 1, no. 55, p. 12, 2015.
- [5] E. Gonzalez Elias, *Notas del curso de control*, Primera. Zacatecas: Universidad Autónoma de Zacatecas, 2012.
- [6] M. Alberto, P. Analía Hidalgo, and B. Elisa, *Introducción A los Sistemas De Control Y Modelado Matemático Para Sistemas Lineales Invariantes En El Tiempo*. 2008.
- [7] S. D. E. C. Automático and P. Abarca, "Sistemas de control automatico."
- [8] R. Hernández, *Introducción a los Sistemas de Control: Conceptos, aplicaciones y simulacion con matlab*, Primera. Aguascalientes, Mx.: Prentice Hall, 2010.
- [9] U. E. de Táchira, "Capitulo VII: Sensores," in *Sistemas de Control Automático*, Táchira, Venezuela: Universidad Experimental de Táchira, 2016, pp. 108–136.
- [10] S. E. Domínguez-GómezTrejo, "Creación de sistema de sensores," Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores Occidente, 2017.
- [11] F. Torres and C. Fernández, "Sensores y detectores," in *Automática, Robótica y Visión Artificial*, U. de Alicante, Ed. Alicante, 2014, p. 63.
- [12] E. Vildósola C, "Actuadores," in *Actuadores*, 2nd ed., vol. 1, Chile: Asociación de la Industria Eléctrica y Electrónica, 2010, p. 8.
- [13] R. Enriquez Herrador, *Guía de Usuario de Arduino*, Primera., vol. 1. San Francisco, California, USA.: Universidad de Cordoba, 2009.
- [14] F. Chumpitaz, "El módulo LCD," Sevilla, España, 2015.
- [15] B. U. de las A. Puebla, "Comunicación Serial," in *Conceptos Generales de Comunicaciones*, Puebla, Mx., 2012, p. 23.
- [16] J. Palafox y Mendoz, "La comunicación serial," in *Interfase Grafica de Sistemas Automatas*, Puebla, Mx.: Universidad de las Américas Puebla, 2016, pp. 19–29.