



**Automatización de Prototipo  
Mecánico para la Intervención de Dos  
Procesos en la Fabricación del  
Quesillo Artesanal en la  
Microempresa La Margarita**

**Wilson Puentes Saavedra  
Oscar Javier Chavarro Alvarez**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Neiva, Colombia  
2021

# **Automatización de Prototipo Mecánico para la Intervención de Dos Procesos en la Fabricación del Quesillo Artesanal en la Microempresa La Margarita**

**Wilson Puentes Saavedra  
Oscar Javier Chavarro Alvarez**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Electrónico**

Director (a):  
(M. sC., Ingeniera) Andrea Milena Marín Zambrano

Línea de Investigación:  
Instrumentación, Inteligencia Computacional y Sistemas de Control  
Grupo de Investigación:  
Bioinstrumentación y Control (GIBIO)

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Neiva, Colombia  
2021

# Dedicatoria

A mi Dios, por permitirme llegar hasta este punto y seguir obteniendo grandes cosas en la vida. A toda mi familia por su apoyo y motivación a lo largo de mi vida, ya que lo más importante para mí en la vida en la familia. A mi madre querida que me ha apoyado incondicionalmente siempre. A mi querido tío Ancizar, que fue como un padre para mí, gracias por haber formado parte de mi vida.

Oscar Javier Chavarro Álvarez

A Dios, por guiarme hasta el fin de este logro tan importante, porque es una de las bases que necesito para mi vida y me lleno de muchas personas que siempre hablaron por él en los momentos de dificultad, gracias a mis padres, hermanos y demás familiares, gracias a la universidad Antonio Nariño y a su calificado grupo de docentes.

Wilson Puentes Saavedra

“En realidad no me preocupa que quieran robar mis ideas, me preocupa es que ellos no las tengan”

Anónimo

“El presente es de ellos; el futuro para lo que realmente trabajé, es mío”

Nikola Tesla



# Agradecimientos

A Dios por haberme brindado salud y vida, y mucha fortaleza para seguir dando todo de mi día a día y esforzarme por ser un mejor profesional y una mejor persona. A mi madre querida, ya que gracias a su formación y apoyo soy la persona que soy hoy en día y trato al máximo transmitir eso a los que me rodean. A toda mi familia, en especial a mis tías y a mi tío Ancizar, que, desde el cielo, seguirá guiándome y cuidándome en mi camino. A mis amigos y allegados, algunos con los cuales cuento en mi vida y otros no por cosas de la vida, pero que en algún momento formaron parte de mi vida y que gracias a ellos también nunca desistí de mis ideales y de seguir adelante en la vida. A los docentes de la facultad de ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica de la UAN, por haberme transmitido sus conocimientos y valores a lo largo de mi vida universitaria. A la coordinadora del programa de Ingeniería Electrónica y directora de tesis Andrea Marín, por su gran apoyo a lo largo de mi proceso formativo y en la elaboración de este trabajo de grado. A mi compañero de tesis Wilson Puentes Saavedra por su apoyo y dedicación en la elaboración de dicho trabajo de grado. Y a la microempresa Quesillera La Margarita por su gran colaboración y apoyo, a lo largo de ejecución de mi trabajo de titulación.

Oscar Javier Chavarro Álvarez

A Dios, porque siempre me ha guiado, porque siempre he tenido un ángel de la guarda a mi lado que nunca se deja alcanzar de mí, gracias a mis padres Cesar Puentes Vargas y Alejandra María Saavedra Montenegro por todo el apoyo tanto financiero como emocional, porque a pesar de tantas dificultades siempre encontrábamos soluciones para continuar mi carrera, a mi novia Lorena García Villarruel, porque al llegar en el transcurso de mi carrera, ella supo detalladamente las dificultades y problemas que tuve y ella fue la única que me lleno de fuerzas para enfrentarlo y tener siempre mente positiva, a mis tíos, porque ellos fueron testigos de lo duro que es estudiar y trabajar, me ayudaron algunas veces y me aconsejaron, gracias a la Universidad Antonio Nariño porque cuenta con un grupo muy

selecto de docente, al Ingeniero Henry Cotrino quien me abrió las puertas a la carrera de Ingeniería Electrónica, a la Ingeniera Yeimy Muñoz, con quien aprendí mucho por ser una de las profesoras más exigentes, y a mi directora de proyecto, la Ingeniera Andrea Milena Marín Zambrano que siempre estuvo pendiente de mi proceso en la universidad, hasta cuando tenía dificultades en otras materias, Gracias al grupo de bienestar universitario que quiero mucho, fui participe en varios grupos como, Música con el profesor Hernando Vivas, Voleibol con el profesor Oscar Cruz y competencias interuniversitarias como voleibol donde ocupamos 2 puesto y tenis de mesa. Por último, le doy otra vez gracias a Dios por hacer de mi esa persona excelente, fuerte, ingeniosa, curiosa, polifacética, y con muchas ideas radicales.

Wilson Puentes Saavedra

## Resumen

Este documento describe de manera detallada como se lleva a cabo la automatización de un prototipo mecánico para la elaboración del queso artesanal en la quesillera “La Margarita” que incluye dos procesos denominados separación entre cuajo y suero y calentamiento y moldeo del cuajo, la metodología utilizada abarco: la caracterización del proceso actual, la obtención de parámetros y mediciones de las etapas intervenidas, diseño de control PWM de velocidad para motores DC, diseño de control de temperatura PID, implementación de los sistemas de control y evaluación de funcionamiento del prototipo al final de proceso de automatización, como resultados más relevantes del desarrollo de este trabajo se tiene la producción de un queso en prototipo automatizado que presenta valores de sus características dentro del rango especificado del queso artesanal, tales como Ph y viscoelasticidad del producto. El control PID de temperatura implementado logro mantener los SetPoint necesarios en las etapas del proceso en 83 y 61 grados, con tiempos de establecimientos de 15 y 36.5 segundos respectivamente. El control de velocidad logro permitir la elevación de la rejilla de separación en 3 minutos y los controles de los brazos para el moldeo manteniendo la velocidad y torque necesarios para su debido funcionamiento, con esta automatización del prototipo mecánico se logró obtener en promedio 7 libras de queso con un PH entre 6.5 y 6.8 por cada 40 litros de leche además de mantener de disminuir la varianza de los datos obtenidos de la elasticidad comparados con el proceso artesanal.

**Palabras clave:** Queso hilado, queso, automatización en elaboración del queso, pH del queso, lesiones musculoesqueléticas, viscoelasticidad.

# Abstract

This document describes in detail how the automation of a mechanical prototype is carried out for the production of artisan cheese in the cheese factory "La Margarita", which includes two processes called separation between rennet and whey and heating and molding of rennet, the methodology used included: the characterization of the current process, obtaining parameters and measurements of the intervened stages, design of PWM speed control for DC motors, design of PID temperature control, implementation of control systems and evaluation of the operation of the prototype at the end of the automation process, as the most relevant results of the development of this work is the production of an automated prototype cheese that presents values of its characteristics within the specified range of artisanal cheese, such as Ph and viscoelasticity of the product. The implemented PID temperature control was able to maintain the necessary SetPoint in the stages of the process at 83 and 61 degrees, with establishment times of 15 and 36.5 seconds respectively. The speed control allowed the elevation of the separation grid in 3 minutes and the control of the molding arms maintaining the speed and torque necessary for its proper functioning. With this automation of the mechanical prototype, an average of 7 pounds of cheese with a pH between 6.5 and 6.8 per 40 liters of milk was obtained, in addition to maintaining a decrease in the variance of the data obtained from the elasticity compared to the artisanal process.

**Keywords:** Spun cheese, quesillo, automation in quesillo processing, pH of quesillo, musculoskeletal injuries, viscoelasticity

# Contenido

AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
CONTENIDO	1
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABLAS	6
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS	7
INTRODUCCIÓN	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
OBJETIVOS	11
CAPÍTULO 1	12
1. Marco Referencial	12
1.1 Antecedentes	13
1.2 Marco Conceptual	14
1.2.1 Derivados Del Proceso De Fabricación De Quesillo Artesanal	14
1.2.1.1 Cuajo	14
1.2.1.2 Queso	14
1.2.1.3 Quesillo	15
1.2.2 Proceso De Fabricación Del Quesillo Artesanal	15
1.2.2.1 Almacenamiento De Materia Prima (Leche)	15
1.2.2.2 Fabricación Del Quesillo De Forma Artesanal	16
1.2.3 Factores de Calidad Del Proceso De Fabricación Del Quesillo Artesanal	17
1.2.3.1 Eficiencia	17
1.2.3.2 Eficacia	17
1.2.3.3 Registro INVIMA	17
1.2.3.4 PDB En La Elaboración De Alimentos	18
1.2.4 Problemáticas Asociadas Al Proceso De Fabricación Del Quesillo Artesanal	18

1.2.4.1	Lesiones Musculoesqueléticas	18
1.2.4.2	Lesiones Cutáneas	19
1.2.4.3	COVID-19	20
1.2.5	Variables Del Proceso De Fabricación Del Quesillo Artesanal	20
1.2.5.1	Viscoelasticidad	20
1.2.5.2	Temperatura	20
1.2.5.3	Distancia	21
1.2.5.4	Nivel	22
1.2.6	Control y Automatización Del Proceso De Fabricación Del Quesillo Artesanal	22
1.2.6.1	Automatización	22
1.2.6.2	Control De Temperatura: Tipos De Controladores	22
1.2.6.3	Control De Nivel	23
1.2.6.4	Control De Distancia	23
1.2.6.5	Control De Velocidad y Cambio De Giro De Motores	24
1.2.6.6	Microcontrolador: Arduino One	24
1.2.6.7	Softwares De Simulación Electrónica	25
1.2.7	Sensores Del Sistema De Control y Automatización Del Proceso De Fabricación Del Quesillo Artesanal	26
1.2.7.1	Dispositivos Para Medir La Viscoelasticidad	26
1.2.7.2	Sensores De Temperatura	26
1.2.7.3	Sensores De Distancia	27
1.2.7.4	Sensores De Nivel	28
1.2.8	Actuadores Del Sistema De Control y Automatización Del Proceso De Fabricación Del Quesillo Artesanal	29
1.2.8.1	Sistemas De Elevación De Cargas	29
1.2.8.2	Actuador: Brazo Robótico	29
1.2.8.3	Actuador: Motores DC	30
CAPÍTULO 2		32
2.	Metodología	32
2.1	Parámetros y Mediciones	33
2.2	Caracterización De La Planta	38
2.3	Diseño De Los Sistemas De Control	43
2.3.1	Diseño Del Control De Velocidad	45
2.3.2	Diseño Del Control De Temperatura	47

---

2.3.2.1 Identificaci3n De La Planta para el proceso de calentamiento y moldeo	48
2.3.2.2 Determinaci3n de Kp, Ki, Kd	54
2.3.2.3 Sintonizaci3n	54
2.4 Implementaci3n De Los Sistemas De Control En La Planta	59
2.4.1 Selecci3n Del Sensor De Temperatura	59
2.4.1.1 Sensor LM35	60
2.4.1.2 Sensor Termopar Tipo K	60
2.4.1.3 Sensores Termistores	61
2.4.1.4 Sensor Digital DS18B20	61
2.4.1.5 Justificaci3n De La Selecci3n Del Sensor De Temperatura	62
2.4.2 Selecci3n Del Sensor De Distancia	62
2.4.2.1 Sensor De Ultrasonido HC-SR04	63
2.4.2.2 Sensor Infrarrojo Sharp GP2Y0A710	63
2.4.2.3 Sensor Con Focal DT IFS 2405	64
2.4.2.4 Sensor De Distancia L3ser Optp NCDT ILR	64
2.4.2.5 Justificaci3n De La Selecci3n Del Sensor De Distancia	65
2.5 Descripci3n Final Del Sistema Implementado	66
CAPÍTULO 3	71
3. Experimentos, Evaluaci3n y Resultados	71
3.1 Experimentos Realizados	71
3.2 Evaluaci3n	76
3.3 Resultados	76
CAPÍTULO 4	84
4. Conclusiones y Recomendaciones	84
4.1 Conclusiones	84
4.2 Recomendaciones	85
Anexos	86
Anexo A: Esquema Mec3nico Del Brazo Rob3tico Diseñado En SolidWorks	86
Anexo B: Esquema Mec3nico Del Prototipo Diseñado En SolidWorks	87
Anexo C: Esquema Electr3nico De La Automatizaci3n Del Prototipo	88
Anexo D: Hoja De Datos Del Arduino Implementado	89
BIBLIOGRAFÍA	90

## Lista de figuras

<b>Figura 2.1:</b> Imagen de diagrama de bloques del proceso (elaboración propia) .....	31
<b>Figura 2.2:</b> Imágenes del diseño de las piezas del prototipo de la planta .....	39
<b>Figura 2.3:</b> Imágenes de las piezas del recipiente 1 del prototipo de la planta .....	39
<b>Figura 2.4:</b> Imágenes de piezas del recipiente 2 del prototipo de la planta .....	40
<b>Figura 2.5:</b> Imagen del diagrama de bloques (Elaboración propia) .....	41
<b>Figura 2.6:</b> Imagen del esquema electrónico de variador de velocidad (Elaboración ....	43
<b>Figura 2.7:</b> Imagen del esquema electrónico del puente H (Elaboración propia) .....	44
<b>Figura 2.8:</b> Imagen del diseño del control de temperatura (Elaboración propia) .....	45
<b>Figura 2.9:</b> Imagen de tabla de datos generados a partir de la planta .....	47
<b>Figura 2.10:</b> Imagen de comandos utilizados para importar datos .....	48
<b>Figura 2.11:</b> Imagen de uso de la función systemIdentification (Elaboración Propia) ....	48
<b>Figura 2.12:</b> Imagen de importación de los datos (Elaboración Propia) .....	49
<b>Figura 2.13:</b> Imagen de posibles modelos de función de transferencia (Elaboración ....	49
<b>Figura 2.14:</b> Imagen de estimación de posibles modelos de la función (Elaboración ....	50
<b>Figura 2.15:</b> Imagen de comparación de los posibles modelos (Elaboración Propia) ....	50
<b>Figura 2.16:</b> Imagen de selección del modelo (Elaboración Propia) .....	51
<b>Figura 2.17:</b> Función De Transferencia de la planta (Elaboración Propia) .....	51
<b>Figura 2.18:</b> Imagen de utilización de la herramienta Simulink (Elaboración propia) .....	52
<b>Figura 2.19:</b> Imagen de simulación en Simulink de la planta (Elaboración propia) .....	53
<b>Figura 2.20:</b> Imagen del ploteo de la simulación de la planta (Elaboración propia) .....	53
<b>Figura 2.21:</b> Imagen de la simulación y ploteo de la planta (Elaboración propia) .....	54
<b>Figura 2.22:</b> Imagen de la sintonización del sistema (Elaboración propia) .....	54
<b>Figura 2.23:</b> Imagen del ajuste de los parámetros $K_i$ , $K_p$ , y $K_d$ (Elaboración propia) ....	55
<b>Figura 2.24:</b> Imagen de comparación de la respuesta del sistema (Elaboración .....	56
<b>Figura 2.25:</b> Imagen de ubicación de los sensores en el recipiente 1 (Elaboración .....	64
<b>Figura 2.26:</b> Imagen de ubicación de los sensores en el recipiente 2(Elaboración .....	65
<b>Figura 2.27:</b> Imagen del diagrama de bloques del funcionamiento de la planta .....	67
<b>Figura 3.1:</b> Imagen toma de datos con el desarrollo artesanal (Elaboración .....	71
<b>Figura 3.2:</b> Imagen del prototipo antes de ingresar la leche (Elaboración propia) .....	71
<b>Figura 3.3:</b> Imagen de cuajo listo para el proceso de separación.....	72
<b>Figura 3.4:</b> Imagen cuajo en el proceso de separación (Elaboración.....	72

---

<b>Figura 3.5:</b> Imagen del cuajo ya filtrado, a punto de trasladarse .....	73
<b>Figura 3.6:</b> Imagen del cuajo trasladado al recipiente 2 (Elaboración propia) .....	73
<b>Figura 3.7:</b> Imagen del brazo 1 haciendo el moldeo del quesillo .....	74
<b>Figura 3.8:</b> Imagen del brazo 2 haciendo el moldeo del quesillo .....	75
<b>Figura 3.9:</b> Imagen de dispositivo para medir la elasticidad del quesillo .....	79
<b>Figura 3.10:</b> Imagen de medición de la elasticidad por medio del dispositivo .....	79
<b>Figura 3.11:</b> Imagen comportamiento del control PID de temperatura del prototipo .....	82
<b>Figura 3.12:</b> Imagen evidencia del control PID de temperatura.....	83
<b>Figura Anexo A:</b> Imagen del esquema mecánico del brazo robótico (Elaboración .....	86
<b>Figura Anexo B:</b> Imagen del esquema mecánico de la planta (Elaboración propia) .....	87
<b>Figura Anexo C:</b> Imagen del esquema electrónico del control (Elaboración propia) .....	88

## Lista de tablas

<b>Tabla 2.1:</b> Tabla de toma de datos en la realización artesanal de quesillo .....	36
<b>Tabla 2.2:</b> Tabla de caracterización del aluminio (Elaboración propia).....	37
<b>Tabla 2.3:</b> Tabla de caracterización del acero inoxidable 304 (Elaboración propia) .....	38
<b>Tabla 2.4:</b> Tabla de caracterización del hierro (Elaboración propia) .....	38
<b>Tabla 2.5:</b> Tabla de características del control PWM de velocidad (Elaboración p.) .....	44
<b>Tabla 2.6:</b> Tabla del datasheet del sensor de temperatura LM35 .....	58
<b>Tabla 2.7:</b> Tabla del datasheet del sensor de temperatura Termopar Tipo K .....	58
<b>Tabla 2.8:</b> Tabla del datasheet del sensor de temperatura Termistor (Elaboración .....	59
<b>Tabla 2.9:</b> Tabla del datasheet del sensor de temperatura Digital DS18B20 .....	59
<b>Tabla 2.10:</b> Tabla de comparación de los sensores de temperatura (Elaboración .....	60
<b>Tabla 2.11:</b> Tabla del datasheet del sensor de distancia de ultrasonido HC-SR04 .....	61
<b>Tabla 2.12:</b> Tabla del datasheet del sensor Sharp GP2Y0A710 (Elaboración propia) ...	61
<b>Tabla 2.13:</b> Tabla del datasheet del sensor Con focal DT IFS2405 (Elaboración .....	62
<b>Tabla 2.14:</b> Tabla del datasheet del sensor Láser Opto NCDT ILR (Elaboración .....	62
<b>Tabla 2.15:</b> Tabla de comparación de los sensores de distancia (Elaboración .....	63
<b>Tabla 2.16:</b> Tabla de materiales utilizados en el diseño y construcción del prototipo ....	66
<b>Tabla 2.17:</b> Tabla del manual del usuario del prototipo (Elaboración propia) .....	68
<b>Tabla 2.18:</b> Tabla de Check-List del mantenimiento del prototipo (Elaboración .....	69
<b>Tabla 3.1:</b> Tabla de Check-List de evaluación al prototipo (Elaboración propia) .....	76
<b>Tabla 3.2:</b> Tabla de la prueba de elasticidad del quesillo (Elaboración propia) .....	78
<b>Tabla 3.3:</b> Tabla de verificación de otros parámetros del quesillo .....	80
<b>Tabla 3.4:</b> Tabla de verificación de otros parámetros del quesillo hecho .....	81
<b>Tabla 5.1:</b> Tabla de datasheet de placa Arduino One (Elaboración propia) .....	89

# Lista de Símbolos y abreviaturas

## Abreviaturas

Abreviatura	Término
INVIMA	Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos
COVID-19	<i>Enfermedad infecciosa causada por el virus Coronavirus</i>
<i>PDB</i>	<i>Protocolos de Bioseguridad</i>
PID	Proporcional Integral Derivativo
<i>Set Point</i>	Punto fijo o punto de referencia
RAE	Real Academia Española
PWM	Traducido por sus siglas: Modulación Por Ancho De Pulso
IEC	Por sus siglas traducidas: Comisión Internacional Electrotécnica
HVAC	Calefacción, Ventilación y Acondicionamiento
TTL	Lógica transistor a transistor
Wi-Fi	Protocolos de red inalámbrica llamada Fidelidad Inalámbrica
PCB	Placa de Circuito Impreso
°C	Grado centígrado o grado Celsius
°F	Grado Fahrenheit
K	Kelvin o Grado Kelvin
pH	Potencial Hidrógeno
SI	Sistema Internacional de Unidades
Km	Kilómetro
m	Metro
cm	Centímetro
dm	Decímetro
DC	Corriente Directa
AC	Corriente Alterna
d	distancia
v	velocidad
t	tiempo

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
V	Voltios
A	Amperios
W	Watts
ms	milisegundos
Hz	Hertz
Kb	Kilobyte
GND	Tierra, utilizado comúnmente en circuitos
Vdd	Alimentación, utilizado comúnmente en circuitos
NC	No Conectar, usado en circuitos electrónicos
DQ	Cualificación de Funcionamiento ò señal
Trig	Modo salida en un sensor de ultrasonido
Echo	Modo entrada en un sensor de ultrasonido
In	Entrada, usualmente utilizado en circuitos
Out	Salida, usualmente utilizado en circuitos
LCD	Pantalla de Cristal Líquido

# Introducción

La quesillería “LA MARGARITA” fue fundada en el año 1954, esta produce y vende principalmente quesillos y otros productos derivados de la leche, está ubicada en el municipio de Yaguará, Huila, Colombia.

Los productos que se producen allí tales como quesillo, quesadillas, arequipe, cocadas y queso, entre otros, están al nivel de países con altos índices de exigencia en calidad y producción como lo son Chile y Argentina. Debido a ello cuenta con el registro INVIMA [1]; mediante el cual se autoriza a una persona natural o jurídica para fabricar, envasar e importar un alimento con destino al consumo humano.

A pesar que dicha microempresa cuenta con este registro, que permite la comercialización de sus productos alimenticios de forma legal en Colombia; en la elaboración del quesillo se evidencian procesos que generan movimientos repetitivos y contacto físico con el producto, de manera que incumplen algunos de los protocolos de bioseguridad que se crearon a partir del año 2019 con la aparición del virus COVID-19 [2], y esto acarrea, el incremento en la probabilidad de contagio.

El proceso de fabricación del quesillo se realizaba de la siguiente manera, se ingresaba la leche al primer tanque, que llega del ordeño de las vacas de fincas ganaderas de la región y se divide en los siguientes pasos:

- Primero: La leche se almacenaba en varios tanques o canecas grandes plásticas.
- Segundo: Se introduce manualmente un químico para cuajar, siendo su función la de acelerar el proceso de cuajado de la leche, con el fin unir la lactosa formando grumos grandes y separándola así el suero.
- Tercero: Después de unos 40 a 50 minutos un operario debe realizar el proceso de separación del cuajo y el suero con las manos; ingresando gran parte del brazo al tanque, en una posición no ergonómica.
- Cuarto: Luego de separado el cuajo del suero, se traslada el cuajo a un recipiente y se pone a una temperatura de 83°C, con el fin de ablandar el queso.
- Quinto: Con ayuda de un remo de madera, un operario debe realizar el estiramiento del quesillo, por unos 17 a 22 minutos aproximadamente con el fin de darle una textura más suave y cuyo pH se encuentre en un rango entre 6,4 y 6,9.

- Sexto: Luego de adquirir la textura adecuada, se apaga el fuego y se continúa realizando el mismo procedimiento durante aproximadamente 2 minutos más, para poder disminuir la temperatura a 61°C del quesillo y luego retirarlo del recipiente para ser repartida en los moldes de diferentes tamaños, de acuerdo al peso, y finalmente poder ser comercializado.

De acuerdo a lo referido con la elaboración del quesillo, se determinaron cuatro problemáticas referidas a continuación: incumplimiento de los protocolos de bioseguridad, movimientos repetitivos, posiciones no ergonómicas de los trabajadores y jornadas extensas de trabajo. Por lo tanto, se realizó la intervención a los dos procesos: Separación entre el cuajo y el suero, y calentamiento y moldeo del cuajo, hasta obtener para la textura final deseada.

A continuación se presenta de manera descriptiva la automatización de un prototipo mecánico que permitió intervenir los dos procesos mencionados anteriormente. Para ello se consiguió controlar la velocidad de un tornillo sin fin cuya función principal es elevar gradualmente una rejilla en donde se contiene el cuajo, para luego ser retirado por el operario; de manera tal que este no realice el ingreso del brazo al recipiente, y cuyo movimiento repetitivo a futuro le genere malestar físico al mismo. Luego, a través de un control de temperatura PID se consiguió calentar y mantener la temperatura del cuajo en el valor SetPoint establecido previamente, es decir en 83°C y 61°C, para su posterior estiramiento mediante dos (2) brazos robóticos y de esta forma se logró obtener el hilado adecuado, es decir que el quesillo tuviera un pH de 6,7 que es el valor adecuado del pH para el quesillo para su futura comercialización, ya que debido a previas investigaciones el rango ideal de pH del quesillo para el consumo humano debe estar entre 6,5 y 6,8.

# Objetivos

## Objetivo General

Automatizar un prototipo mecánico para intervenir dos procesos de fabricación del queso artesanal en la quesillería “la margarita”.

## Objetivos Específicos

- Obtener parámetros y mediciones de los dos procesos actuales a intervenir
- Caracterización de la planta de los dos procesos a intervenir
- Determinar los parámetros de diseño para los controladores de los procesos de obtención y filtrado del cuajo, y calentamiento e hilado.
- Implementación de los sistemas de control en la planta que incluye los dos procesos.
- Evaluar el funcionamiento del sistema de acuerdo a los siguientes parámetros, alcance de los sets point teóricos, control real de la temperatura, comparación de la viscoelasticidad del queso actual, con el elaborado a partir de la automatización de los dos procesos

# Capítulo 1

## 1.Marco Referencial

### 1.1 Antecedentes

Apoyando el proceso investigativo previo al diseño del sistema propuesto en este documento, a continuación, se presentan algunos artículos de proyectos exitosos relacionados con la elaboración de quesillo o cualquier tipo de producto derivado de la leche, o donde el proceso de su elaboración sea similar al del quesillo:

- Nuevo sistema tecnológico para producción artesanal de queso fresco con máximo aprovechamiento de componentes de la leche: En este proyecto lo que hicieron fue diseñar un nuevo sistema tecnológico integrado y estandarizado para la producción artesanal de queso fresco enzimático y una bebida fermentada de suero, con máximo aprovechamiento de los componentes de la leche y evaluando sus impactos técnicos y económicos [3].

- Diseño y construcción de una marmita automatizada para la elaboración de queso: En este proyecto diseñaron y construyeron una marmita, la cual es una olla metálica con una tapa herméticamente ajustada, la cual se usa generalmente para cocinar alimentos. En este caso la usan para realizar queso y además de su elaboración la automatizaron para mejorar dicho proceso. [4].

- Estudio de pre factibilidad para la creación de una planta de producción de queso: En este proyecto se realizó un estudio técnico en el cual se determinaron los parámetros necesarios que incluyen la ingeniería de la planta necesaria para la elaboración de queso de forma tecnificada. [5].

- Automatización del proceso de elaboración de queso. Como se describe en el documento: “En este trabajo se detallan la descripción y la justificación del problema existente en las pequeñas y medianas empresas de fabricación del producto y la solución a éste como aporte ingenieril” [6].

- Diseño de sistema de control de acidez y temperatura para planta de cuajado de queso doble quema: “En este proyecto se promueve una tecnología necesaria para el control del

pH y temperatura, como alternativa real, limpia y económica, de forma efectiva para suplir parte de las necesidades de empresas del sector lácteo de zonas poco desarrolladas tecnológicamente “ [7].

- Diseño mejorado de la prensa para quesos en el área de quesería en la empresa lácteos de Chiapas S.A.: En este trabajo se planteó una solución al problema del prensado del queso doble crema, que se produce en la misma. Es decir, se propuso un diseño mejorado de la prensa para quesos doble crema, que se encargue del prensado del queso, y además del drenado del suero que naturalmente es expulsado al ir siendo prensado. [8].

## **1.2 Marco Conceptual**

### **1.2.1 Derivados Del Proceso De Fabricación Del Quesillo Artesanal**

#### **1.2.1.1 Cuajo**

Sustancia enzimática, que tiene la propiedad de producir un gel similar a un flan de leche, a partir de la leche ordeñada, que comúnmente se conoce como leche coagulada de forma artificial, controlándose el tiempo en que se cuaja. Es importante resaltar que este mismo resultado se logra de forma natural por descomposición, tardándose mucho más que de forma artificial, la cantidad de cuajo aplicada a la leche, es inversamente proporcional al tiempo que este alcanza el estado deseado [9] [10] [11].

#### **1.2.1.2 Queso**

El queso es un alimento sólido que se obtiene al dejar cortar la leche agregando bacterias que cambian los azúcares de la leche en ácido láctico.

Se obtiene a partir del añejamiento de la leche a cierta temperatura, logrando de esta forma al final del proceso un queso con cierta textura y nivel de agua y grasa, parámetros que dependen propiamente del tipo de queso que se desee fabricar [12] [13].

### **1.2.1.3 Quesillo**

Es un tipo de queso fresco no madurado, que se le conoce también como queso de pasta hilada; debido a que en su elaboración en uno de los procesos por los que pasa, se somete a calentamiento y estiramiento para obtener la textura final deseada, formándose un tipo de bandas construidas por estructuras alineadas, que se pueden separar por "hilos", de allí surge el nombre de queso de pasta hilada. A pesar de que su pH está casi al límite de dejar de ser ácido, es decir entre 6,5 y 6,9; se experimenta una sensación ácida en la boca del que consume dicho producto [14] [15].

## **1.2.2 Proceso De Fabricación De Quesillo Artesanal**

### **1.2.2.1 Almacenamiento De Materia Prima (Leche)**

De acuerdo con sus propiedades fisicoquímicas y funcionales los materiales idóneos para el almacenamiento y tratamiento de alimentos, y en este caso particular la leche, son: el acero inoxidable, el aluminio y el polipropileno. Siendo la mejor opción en cuanto eficiencia en los procesos de producción, el acero inoxidable tipo 304, ya que proporciona un alto grado de higiene en el almacenamiento de productos alimenticios y presenta gran resistencia frente a sustancias alcalinas y ácidas; aunque es la opción más costosa en el mercado. El aluminio también es otra excelente opción para almacenar leche, ya que una de sus características fisicoquímicas es la gran resistencia al contacto con sustancias químicas alcalinas y ácidas; este es mucho más económico que el acero, por lo que es utilizado para hacer las cantinas y embudos con los cuales se trabaja en granjas lecheras. Al igual que este, el polipropileno un tipo de plástico que cuenta con gran resistencia contra solventes químicos, así como alcalinos y ácidos lo que permite resolver el problema de la descomposición de los materiales recipientes al tener contacto prolongado con la leche, que como se sabe tiene cierto grado de acidez. La desventaja de este tipo de material con respecto a los mencionados, es que, de acuerdo a la normatividad del INVIMA para el almacenamiento de productos alimenticios como la leche, no es permitido el uso de materiales plásticos sino otro tipo, como el aluminio o acero inoxidable, por lo tanto; por normatividad, la higiene en los productos que almacena no sería la ideal [16].

### 1.2.2.2 Fabricación Del Quesillo De Forma Artesanal

El quesillo es un tipo de queso fresco no madurado y, también se le conoce como queso de pasta hilada. Para su elaboración de forma artesanal, generalmente se utilizan los siguientes ingredientes: 1- Leche estandarizada al 2% de grasa, 2- sal refinada, 3- Cloruro de calcio al 40%, 4- Cuajo de doble potencia, y 5- Suero acidificado. Según estudios previos para la elaboración de este producto, primero se debe pasteurizar la leche con 2% de grasa, calentándola a 32 - 55°C durante unos 17 - 20 segundos aproximadamente. Luego de ello se le adiciona el cuajo de doble potencia mezclado con el suero acidificado y se agita de 3 a 5 minutos en toda la leche, después de esto se le adiciona más suero acidificado y se continúa revolviendo hasta obtener la firmeza deseada en la cuajada; continuando con el proceso de desuerado que consiste en la separación total del cuajo y el suero. Luego se le adiciona la sal y se continúa colando un poco más a este cuajo. Después se somete a cocción a 75 - 80°C durante unos 10 - 15 minutos, y adicional a esto mientras se somete al proceso de cocción también se revuelve y se estira hasta obtener la consistencia deseada. Luego se procede a dejar enfriar y rebanar distribuyendo las porciones de quesillo en el tamaño deseado. Y finalmente se procede a empacar y dejar almacenado para su venta. Cuando se menciona que tenga la consistencia deseada se refiere a que tenga las propiedades organolépticas ideales para su comercialización y posterior consumo, las cuales son las siguientes: apariencia interna, textura, características olfato-gustativas, pH y porcentaje de acidez entre otras. De las mencionadas anteriormente que son las que usualmente se aprecian más en el quesillo, las que definen principalmente la calidad del producto final son: La textura; es decir el porcentaje o nivel de humedad y rugosidad de la masa, que se puede definir con pruebas de viscoelasticidad. Características olfato-gustativas, donde el producto final debe tener una apariencia en cuanto a olor, similar al de la leche fermentada, pero con intensidad muy débil, y en cuanto a sabor debe tener transmitir una sensación de salado, dulce, ácido y amargo, con intensidad muy débil también, que se define por medio de pruebas de análisis sensorial por parte de personas que conocen del tema en cuestión. Y finalmente el pH y la acidez del producto, donde se determina el grado de acidez y pH del quesillo terminado, que, según pruebas a este tipo de producto, su pH debe estar entre 4.65 y 5.25; con un valor límite de 6 y, el nivel de acidez debe estar entre 0.39 y 0.93 donde este parámetro se puede definir por medio de un pH-metro [17] [18] [19] [20] [21] [22].

## **1.2.3 Factores De Calidad Del Proceso De Fabricación Del Quesillo Artesanal**

### **1.2.3.1 Eficiencia**

Facultad para realizar correctamente el quesillo de forma artesanal, sin necesidad de utilizar más recursos, o realizar dicha labor con los mismos recursos, pero en un tiempo menor al estipulado inicialmente. En pocas palabras poder hacer el quesillo con la cantidad de leche que se usa habitualmente para su elaboración, sin necesidad de utilizar más leche haciéndolo de forma automatizada, o hacerlo con la misma cantidad de leche, pero en un menor tiempo con el prototipo automatizado, comparado al tiempo empleado para hacerlo de forma artesanal. [23].

### **1.2.3.2 Eficacia**

Posibilidad que tiene una persona, para completar exitosamente una función; es decir, en este caso, hacer quesillo de forma artesanal. Es la facultad que tienen las personas que se dedican a esta labor, para alcanzar satisfactoriamente los objetivos planteados antes de realizar dicha labor. En resumen, es cumplir cabalmente con todos los objetivos propuestos antes de empezar con este proceso, ya sean objetivos en cuanto a cantidades a realizar de quesillo, o tiempos de ejecución en su elaboración [24].

### **1.2.3.3 Registro INVIMA**

El registro INVIMA es un documento que expide el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA), con el cual se autoriza a una persona natural o jurídica o empresas nacionales o extranjeras dedicadas al comercio de medicamentos o alimentos para importar o fabricar, envasar y comercializar sus productos en el país [25].

---

### **1.2.3.4 PDB En La Elaboración De Alimentos**

De acuerdo a investigaciones previas, los PDB (protocolos de bioseguridad) necesarios para la elaboración y comercialización de alimentos son los siguientes: -Uso obligatorio de tapabocas y careta, por parte de los trabajadores tanto dentro de las instalaciones de las empresas mientras preparan los alimentos, como fuera de las mismas en su comercialización. - Una alternativa del uso de la careta es el uso de monogafas en lugar de la careta en caso de no contar con la misma. - Cada 2 horas hacer pausas activas en las cuales se desinfecten todos los utensilios y lugares con los que han tenido contacto las personas que preparan los alimentos. - Uso den todo momento de guantes por parte de las personas que preparan los alimentos. - En caso de toser o estornudar cubrir con el codo la cara, adicional de tener colocado en todo momento el tapabocas. - Dotar a todos los empleados de jabón, toalla y gel desinfectante para que cada 2 horas además de desinfectar el área de trabajo, también se haga su propia desinfección. Cabe aclarar que estas son las principales medidas optadas en los protocolos de bioseguridad; ya que hay muchas otras pero que aplican a otros sectores de la economía; pero las mencionadas anteriormente son las que se aplican directamente en el gremio de los establecimientos que se dedican a la elaboración y posterior comercialización de los mismos [26] [27] [28].

## **1.2.4 Problemáticas Asociadas Al Proceso De Fabricación Del Quesillo Artesanal**

### **1.2.4.1 Lesiones Musculoesqueléticas**

Son todas aquellas lesiones que pueden ocurrir en los músculos, tendones, esqueleto óseo, cartílagos, ligamentos y/o nervios; como consecuencia de la realización de ciertas ocupaciones o labores, como por ejemplo la elaboración de quesillo de forma artesanal; bajo la implementación de posturas forzadas, desarrollo de trabajos repetitivos dentro de esta labor, inapropiada manipulación de cargas y la aplicación de forma errónea de fuerza durante esta labor. Además de ello cabe mencionar que las principales lesiones musculoesqueléticas que se presentan a nivel laboral en la industria en trabajos como la elaboración artesanal del quesillo; son las siguientes: Tendinitis, sinovitis, tenosinovitis,

epicondilitis, síndrome del túnel carpiano, síndrome cervical por tensión, dedo en gatillo, bursitis y lesiones de hombro [29] [30] [31].

### **1.2.4.2 Lesiones Cutáneas**

Son zonas que se encuentran en la piel, que son distintas a la piel que las rodea. Pueden ser en algunos casos protuberancias, llagas o zonas de piel anormales, y en los casos más críticos o severos, también puede tratarse de cáncer de piel. Las enfermedades asociadas a los anexos cutáneos como uñas, pelos y glándulas sudoríparas entre otros, también son consideradas enfermedades o lesiones cutáneas, ya que estos anexos están estrechamente relacionados con la piel. Este tipo de enfermedades en ocasiones se deben a predisposiciones genéticas en algunas personas; en otras situaciones se deben a infecciones por parte de bacterias, virus u hongos que se pueden contraer en ocasiones en trabajos como por ejemplo en la elaboración de queso de forma artesanal, y en otras circunstancias cuando se desconoce el origen de la lesión, se llega a creer que se debe a alteraciones en el sistema inmunológico. Las lesiones cutáneas se dividen en dos grupos los cuales son: las lesiones primarias y las secundarias. Las primarias se dan sobre la piel sana y no están relacionadas con la evolución de la lesión; mientras que las secundarias se producen sobre piel con lesiones primarias y sí están relacionadas con la evolución de la lesión. Como por ejemplo cuando una persona con una lesión primaria se rasca prolongadamente dicha zona de piel afectada y esta zona provoca una excoiación o irritación extrema en esta zona de piel, dicha lesión se le conoce como lesión cutánea secundaria. Las lesiones cutáneas más frecuentes en este tipo de industria son las siguientes: Pápula, placa, vesícula, excoiación, erosión, ulcera, escama y atrofia, entre otras. Dentro de los tratamientos que existen para este tipo de lesiones, existen tres tipos los cuales son: tópicos, sistémicos y quirúrgicos. Los de tipo tópicos son los relacionados con medicamentos que pueden aplicarse tópicamente, es decir que se administran al cuerpo, aplicándolos directamente sobre la piel. Los de tipo sistémico son los cuales en los que los medicamentos suelen suministrarse vía oral o por medio de inyectables. Y los de tipo quirúrgico, son los tratamientos en los cuales la forma de tratar este tipo de lesiones es por medio de cirugías [32] [33] [34].

### **1.2.4.3 COVID-19**

El COVID-19 es la enfermedad ocasionada por el nuevo virus del coronavirus o SARS-COV-2, descubierta en la provincia de Hubei ubicada en China, a finales del año 2019, para ser más preciso en diciembre de ese año, de ahí el nombre de COVID-19. Esta enfermedad se caracteriza en que sus síntomas son muy parecidos a los de una gripe convencional; a diferencia que van desde una infección respiratoria, hasta una rápida progresión a una neumonía grave y fallo de órganos y finalmente la muerte. En particular, es mayormente fatal en personas de edad avanzada o con existencia de comorbilidades. Además de ello es muy importante mencionar que su periodo de incubación va de 1 a 14 días. Fue declarada como pandemia a nivel mundial por la OMS en marzo del año 2020 y a la fecha aún el mundo entero sigue padeciendo por esta enfermedad, a diferencia que este año a principios se empezó la propagación de una vacuna creada para inmunizar a las personas contra esta enfermedad y esto parece ser una luz de esperanza para toda la población mundial en medio del caos que se ha presentado en todo el mundo desde que apareció este virus en la vida de la humanidad [35] [36] [37] [38].

## **1.2.5 Variables Del Proceso De Fabricación Del Quesillo Artesanal**

### **1.2.5.1 Viscoelasticidad**

Antes de describir el concepto de viscoelasticidad; es importante precisar el concepto de reología, como la ciencia rama de la física que estudia las propiedades de deformación y de fluidez de la materia. Teniendo claro este concepto, se define la viscoelasticidad como el comportamiento reológico que tienen ciertos materiales que poseen propiedades tanto viscosas como elásticas, al ser deformadas [39] [40] [41].

### **1.2.5.2 Temperatura**

La temperatura se conoce como una dimensión física, estadística, medible y escalar; es decir, una determinada magnitud por un número y su respectiva unidad de medida, que especifica la cantidad de calor de un cuerpo, objeto o medio en el cual se encuentre el mismo. Esta cantidad de calor refleja el nivel de energía térmica del medio o cuerpo, es decir la energía interna del mismo. Internamente los cuerpos poseen partículas que se mueven a una determinada velocidad, y entre más rápido se mueven dichas partículas, mayor es la cantidad o nivel de energía térmica que poseen los cuerpos. De tal forma la temperatura es la magnitud por la cual se expresa el nivel de energía térmica que posee cada cuerpo, objeto o medio. La forma de medir la temperatura es de forma directa por medio de un instrumento llamado termómetro. Existen diversos tipos, dependiendo de las magnitudes termométricas con las cuales funciona y de su principio de funcionamiento. Dentro de los tipos de termómetros, se encuentran tres tipos los cuales son: los basados en dilatación, los basados en propiedades eléctricas y los basados en radiación térmica. En los termómetros basados en dilatación se encuentran los que funcionan con gases, líquidos y sólidos. En los basados en propiedades eléctricas se ubican los que operan con efecto de resistencia eléctrica, y los que operan con efecto termoeléctrico. En los termómetros basados en radiación térmica están los que funcionan por medio de radiación infrarroja y, los que funcionan por medio de luz visible. Las unidades o escalas de medida de la temperatura son tres las cuales son las siguientes: Escala centígrada o Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), escala Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) y escala kelvin absoluta o Kelvin (K) [42] [43] [44].

### **1.2.5.3 Distancia**

Se conoce como distancia a la intensidad o magnitud física y escalar, que refleja el espacio que existe entre dos o más puntos físicos, o eventos. Es decir, la forma de expresar la cercanía o lejanía entre los mismos. Cuando se habla de distancia, se puede hacer referencia a distancia temporal cuando se trata de distancia entre eventos, mientras que cuando se habla de distancia espacial se hace referencia a puntos físicos. La distancia se mide en unidades de longitud, las cuales de acuerdo al Sistema Internacional De Pesos y Medidas (SI) son los kilómetros (Km), o también sus unidades derivadas las cuales son: metros(m), centímetros(cm), decímetros(dm), etc [45].

#### **1.2.5.4 Nivel**

El nivel puede definirse como la determinación de la posición entre la conexión de dos o más medios, que por lo general pueden ser fluidos, pero también puede existir entre líquidos, sólidos y gaseosos, o combinaciones entre ellos. De tal forma que el nivel de uno o varios medios es la medición de distancia que hay entre dichos medios, y su unidad de medida se da en unidades de longitud [46] [47] [48] [49].

### **1.2.6 Control y Automatización Del Proceso De Fabricación Del Quesillo Artesanal**

#### **1.2.6.1 Automatización**

La automatización surge con el término de automática, establecido anteriormente por La Real Academia (RAE) como el conjunto de métodos y procedimientos con el fin de reemplazar a los operarios en la ejecución de ciertas labores físicas e intelectuales programadas con anterioridad. De acuerdo a este concepto la automatización se puede definir como la adaptación de la automática en la realización de procesos industriales, es decir el reemplazo de la mano de obra por parte de los humanos en la ejecución de ciertas labores ejecutados en los procesos industriales, todo ello como consecuencia de la implementación de la industria 4.0 que busca hoy en día la optimización industrial global mediante la mejora de los procesos industriales automatizándolos por completo o en gran parte de los subprocesos que los conformen [50].

#### **1.2.6.2 Control De Temperatura: Tipos De Controladores**

Un control de temperatura tiene una entrada procedente de un sensor, y una salida que está conectada a un elemento de control llamado actuador que por lo general está compuesta con un calentador o ventilador. Un control de temperatura está conformado por: Un controlador de temperatura; una etapa de potencia, la planta donde van ubicados los

actuadores necesarios para realizar este control. Ejemplo: el interior de una marquesina, o un horno calentando algún tipo de material, un aire acondicionado, entre otros; y finalmente un sensor de temperatura, que es el que detecta la temperatura de salida de la planta y realimenta la entrada del sistema, haciendo una comparación entre esta temperatura y la de referencia, que es la temperatura que se desea obtener al interior de la planta. Finalmente es importante mencionar los tipos de controladores que existen y más utilizadas en la industria hoy en día, se clasifican en cuatro grupos, 1- Estrategias convencionales de control, se encuentra: el control manual, control PID y control en adelanto entre otros; 2- Control avanzado mediante técnicas clásicas, donde se encuentran: el control con ajuste por tabla y controladores selectivos entre otros ; 3- Control avanzado mediante técnicas ampliamente utilizadas, donde se pueden mencionar: el control predictivo basado en modelo y el control por modelo interno entre otros; y finalmente 4- Control avanzado mediante nuevas técnicas con algunas aplicaciones a nivel industrial, donde se encuentran: el control no lineal, control neuronal y control basado en sistemas expertos entre otros [51][52].

### **1.2.6.3 Control de nivel**

Un control de nivel de cualquier tipo de material, como por ejemplo de un líquido, se hace de forma similar al control de temperatura, ya que tiene las mismas partes o procesos, es decir que está conformado también por: un controlador, etapa de potencia, planta y un sensor de nivel. La diferencia consiste en el tipo de actuadores que se utilizan en la planta; mayormente son válvulas de bola o electroválvulas, para hacer más eficaz el sistema; y adicional a ello obviamente también cambia el tipo de sensores que se implementan, en este caso se utilizan sensores de nivel, los más utilizados en sistemas de control de nivel de líquidos son los sensores de presión hidrostática tales como los sensores de presión diferencial y los ultrasónicos [53] [54].

### **1.2.6.4 Control De Distancia**

EL control de distancia o sistema de detección, se hace de la misma forma que el control de temperatura y nivel; a diferencia que se puede diseñar sin necesidad de un controlador, debido que se puede calibrar el sensor y este va a realizar la función de controlador en el

sistema. Y otra diferencia es que, por lo general en la planta, los actuadores más comunes que se involucran en este tipo de control con bombillos y motores, atenuando o controlando la intensidad de luz y la velocidad de giro de los motores. Finalmente, los sensores que se utilizan en este tipo de control también cambian, siendo los más utilizados: los sensores infrarrojos, sensores láser y los sensores de ultrasonido [55] [56] [57].

### **1.2.6.5 Control De Velocidad y Cambio De Giro De Motores**

El sentido de giro de un motor DC se hace por medio de un circuito conocido como "puente H" que se encuentra integrado al controlador PWM y se le conoce de esta forma por su estructura electrónica, el cual permite invertir el sentido de la corriente directa en el motor, y de esta manera poder cambiar su dirección de giro. Para realizar el control de velocidad del motor se puede realizar por medio de un microcontrolador como por ejemplo un Arduino, un controlador ya sea programado o en físico como por ejemplo un módulo PWM que se puede conseguir comercialmente o también puede diseñarse y ensamblarse dependiendo del requerimiento de cada uno, una fuente de alimentación DC o una AC regulada y un motor DC. De esta forma hoy en día es mucho más sencillo y rápido implementar un control de velocidad y sentido de giro de un motor DC por medio de un Arduino y un controlador ya sea un PWM o un PID como, por ejemplo. O si hay recursos necesarios para implementar otro tipo de solución a esto, se pueden conseguir servomotores, que se pueden calibrar para que trabajen a cierta velocidad y en el sentido de giro del mismo, que se desee [58].

### **1.2.6.6 Microcontrolador: Arduino**

Arduino es una plataforma electrónica de prototipos de código abierto, basada en hardware y software sencillos de utilizar. Cuando se habla de código abierto se hace referencia a que es de software libre, es decir que cualquier puede tener acceso a este tipo de tecnología sin necesidad de pagar ningún tipo de licencia. Todo el proyecto Arduino fue creado bajo de principio de open source, es decir que cualquier de sus programas son de acceso público y sus usuarios pueden hacerles las modificaciones, copias y mejoras que

consideren necesarias sin incurrir en ninguna violación de derechos de autor. Los tipos de Arduino que existen dependen de sus aplicaciones y alcance de los proyectos en los que se implementan. El microcontrolador Arduino más utilizado tanto por su versatilidad en la implementación de proyectos a nivel académico como industrial; como la sencillez de su uso y precio, es el Arduino Uno, pero adicional a ello existen otros tipos de Arduino los cuales son: Arduino Mega 2560, Mega ADK, Nano, Uno, LilyPad, DUE, Leonardo, Micro y Yún entre otros [59].

### **1.2.6.7 Softwares De Simulación Electrónica**

Estos son programas de computadora utilizados para poder simular montajes de circuitos electrónicos y además de esto algunos también permiten la creación de placas de circuitos impresos (PCB`s); listos para poder imprimir en baquelas para posteriormente poder situar componentes electrónicos físicos en el diseño de circuitos; y todo ello permite poder entender mejor el funcionamiento de los mismos, además de permitir la ubicación de las fallas que se presenten allí de forma más rápida y sencilla, sin necesidad de perder dinero en la reinversión de componentes que se pueden dañar cuando se presentan dichas fallas pero en circuitos ensamblados físicamente. Hay que aclarar que además de esto, existen otros softwares para poder simular el funcionamiento de programas necesarios para poder programar y verificar el correcto funcionamiento de los microcontroladores, como por ejemplo MPLab, MATLAB, Arduino, etc.; que funcionan con diferentes tipos de programación. La diferencia de estos con lo de simulación electrónica es que, para el uso de ellos, es necesario tener de conocimientos de programación mientras que para los otros solo se necesita conocer de instrumentación electrónica. Algunos de los softwares de simulación electrónica más utilizados son los siguientes: Proteus, SPICE y PSpice, OrCAD, Multisim, Altium, EAGLE y KiCad entre otros [60].

---

## **1.2.7 Sensores Del Sistema De Control y Automatización Del Proceso De Fabricación Del Quesillo Artesanal**

### **1.2.7.1 Dispositivos Para Medir La Viscoelasticidad**

Conforme a la investigación sobre reología y dispositivos de medición de la viscoelasticidad de ciertos materiales con estas propiedades, se ha determinado que los tipos de dispositivos de medición más utilizados son: - Máquina de ensayo de la calidad del gluten, -Reómetro y - Viscómetro ò Viscosímetro, los más utilizados son estos tres tipos: - Viscosímetro capilar, - Viscosímetro de copa y - Viscosímetro Stabinger; y de todos estos tipos de viscosímetros que se utilizan en la industria y que se pueden conseguir comercialmente, la opción más económica y de simple implementación, son los viscosímetros de copa; para ser más exactos el Viscosímetro de copa PCE-127 o el PCE-128, ya que con ellos se puede determinar el grado de viscoelasticidad de cualquier tipo de líquido y es frecuente su utilización en el sector industrial, y el precio de ambos tipos de viscosímetros de copa es de aproximadamente COP \$800.000, que en comparación al resto de dispositivos de medición de este tipo de propiedad que existen en el mercado, estos son los más económicos y de fácil acceso [61][62].

### **1.2.7.2 Sensores De Temperatura**

Los transductores son dispositivos que se encargan de transformar manifestaciones de energía de entrada, en otras diferentes de salida. Existen dos tipos de transductores, los sensores y los actuadores. Los sensores son dispositivos electrónicos que permiten detectar y convertir cualquier magnitud física o química de entrada en magnitudes eléctricas de salida; y los actuadores también reciben una entrada y de allí generan una salida, pero en el sentido opuesto a los sensores, es decir; a partir de una entrada eléctrica generan una salida de tipo física o química. Los tipos de sensores de temperatura que existen son: Los de tipo eléctrico, los mecánicos, los de radiación térmica y otros. Dentro de los de tipo eléctrico hay termocuplas, termorresistencias, termistores, diodos y sensores de silicio con efecto resistivo. Dentro de los de tipo mecánico hay sistemas de dilatación, termómetros de vidrio con líquido y los termómetros bimetálicos. Además, existen otros

tipos de sensores de temperatura como por ejemplo indicadores de color, lápices y termómetros acústicos, entre otros. Finalmente cabe aclarar que los de tipo eléctrico con los más usados para la medición de temperatura, como por ejemplo el sensor DHT22; que es un sensor de temperatura de señal digital de excelente calidad, rendimiento y bajo costo. Este integra un sensor capacitivo y un termistor, para poder medir el aire circundante en un área determinada, y establecer el valor de temperatura y humedad de dicha área; ya que es un sensor con el cual se puede medir temperatura y humedad al mismo tiempo [63].

### **1.2.7.3 Sensores De Distancia**

Los sensores de distancia son transductores que permiten detectar o percibir una magnitud física; como por ejemplo en este caso, para poder determinar la distancia que es la variable que se quiere precisar; y esto se hace por medio de algunos métodos para fijar el valor final de la distancia. Los métodos para determinar la distancia son los siguientes: 1- Triangulación; el cual consiste en emplear una relación trigonométrica entre la distancia entre el emisor y el receptor, y el ángulo de incidencia de la señal emitida por el sensor empleado, 2- Tiempo de vuelo; que consiste en utilizar la técnica se le conoce como pulso - eco, que se trata de contabilizar el tiempo que ha pasado en el que la señal va desde el emisor hasta el objeto y nuevamente retorna el eco. Este tiempo que se halla se conoce como tiempo de vuelo; luego de haber hallado el tiempo de vuelo, este se divide entre dos para hallar el tiempo transcurrido en el cual la señal va desde el emisor hasta el objeto. Luego de esto y conociendo la velocidad de la señal empleada, se emplea la ecuación:  $\text{distancia} = \text{velocidad} * \text{tiempo}$ , para obtener el valor final de la distancia que se quiere conocer, 3- Basado en fase; el cual funciona empleando un haz de luz continuo y se determina el retardo o desplazamiento de fase que presenta la señal luego de haber hecho contacto con el objeto y retornar al receptor. Aquel retardo o desplazamiento de fase será el valor de la distancia que se desea conocer con el sensor. Dentro de los sensores de distancia que existen, los más usados comúnmente son: los sensores infrarrojos, los sensores láser y los sensores de ultrasonido [64] [65].

### **1.2.7.4 Sensores De Nivel**

Son dispositivos electrónicos que emiten una señal eléctrica ya sea análoga o digital; reverberando ciertas propiedades físicas o químicas, como en este caso por ejemplo el nivel de un tanque ya sea cerrado o abierto, de cualquier tipo de líquido; sin alterar la medida de dicha propiedad, que en este caso es el nivel del líquido. La diferencia entre estos sensores de señales análogas y digitales es que; los sensores de señales análogas permiten conocer el valor del nivel preciso en un tiempo deseado, es decir pueden tomar valor infinitos y continuos, mientras que los sensores de señales digitales permiten conocer el valor preciso de nivel en un determinado punto del tiempo, es decir que toman valores finitos y discontinuos, y sólo puede tomar dos valores o estados los cuales son o cero (0) o uno (1). Estas mediciones se hacen mediante sensores mecánicos, eléctricos, de caída de presión o electrónicos. El tipo de sensor seleccionado dependerá directamente del tipo de líquido que se va a medir, de la precisión de la medición, las condiciones ambientales en las que vaya a trabajar el sensor y el tipo de control que se le vaya a implementar. Los sensores de nivel se clasifican en dos grandes tipos, los cuales son los analógicos y los digitales y, de acuerdo a esto dentro de los analógicos existen: - El sensor de flotador, el cual es el sensor de nivel en cuanto a funcionamiento y uso más sencillo de implementar, y de ellos se desprenden tres tipos los cuales son: los sensores de flotador conectados directamente, los de flotador acoplados magnéticamente y los de flotador de tipo desplazamiento y - Sensores de presión hidrostática; dentro de los cuales se subdividen en los siguientes: sensores manométricos, de membrana, de burbujeo, de presión diferencial, de capacitancia, de radar o microondas y los ultrasónicos. Y finalmente, dentro del grupo de los sensores de nivel digitales, existen: los sensores conductivos y los resistivos [66].

## **1.2.8 Actuadores Del Sistema De Control y Automatización Del Proceso De Fabricación Del Quesillo Artesanal**

### **1.2.7.5 Sistemas De Elevación De Cargas**

Los sistemas de elevación de cargas o de transmisión del movimiento, son mecanismos necesarios para el desplazamiento vertical de cargas o productos con el fin de suplir

necesidades de producción o almacenaje. Este tipo de dispositivos se pueden implementar en la construcción, sobre todo de edificios muy altos. Algunos de los sistemas de elevación de cargas que existen son: Sistemas de elevación por columnas, planchas aéreas, sistema a partir de aparejos, andamios bimastil, camión grúas, grúas torre, sistemas de poleas, sistemas de ruedas de fricción, transmisión de engranajes con cadenas y, los tornillos sin fin y ruedas dentadas, entre otros, siendo el tornillo sin fin la solución más económica y ahorro de espacio. Su precio varía dependiendo del material en que se fabriquen y de su tamaño, pero en general es la alternativa más económica en cuanto a elevación de cargas para proyectos pequeños o prototipos [67]. Por esta razón se implementó este tipo de sistema para elevación de cargas en el proyecto.

### **1.2.7.6 Actuador: Brazo Robótico**

Se clasifica como un robot poli articulado; ya que los robots de este tipo son sedentarios, y poseen estructuras para mover sus elementos terminales en un determinado espacio de trabajo. Las partes de un brazo robótico son: - Estructura mecánica del brazo, - Sensores, - Actuadores o efectores finales, - Articulaciones, que van ligadas a la cantidad de grados de libertad que se le proporciona al brazo robótico y - Programación del robot. Finalmente, el ensamble y posterior puesta en marcha de un brazo robótico se realiza de la siguiente manera: Inicialmente diseñando la estructura mecánica del brazo robótico en algún software de diseño de piezas, luego de ello se imprime el plano del diseño de las piezas y se elige el tipo del material en el cual se van a fabricar las piezas, después de esto se escogen los tipos y cantidad de sensores, motores y actuadores que se van a utilizar en el brazo. Cabe aclarar que todo esto se tiene en cuenta en el momento del diseño mecánico de las piezas. Después se procede a escoger el microcontrolador que se va a utilizar y se diseña la programación del mismo, y en paralelo se hace el ensamble y la instrumentación de los componentes electrónicos con la estructura mecánica del brazo. Luego de ello se prueba la programación en el software, compilándola y verificando que no haya errores de sintaxis. Por último, se le carga la programación al microcontrolador y se hacen las pruebas necesarias con el brazo para determinar que ha finalizado de construcción del mismo. Hay que mencionar que, como alternativa de manipulación de los brazos robóticos, se pueden operar remotamente por medio de controles o aplicativos vía wi-fi o bluetooth, o simplemente por medio de accionadores como pulsadores o interruptores [68] [69].

### **1.2.7.7 Actuador: Motores DC**

Inicialmente es importante describir la definición de motor. El cuál es la parte estructural de una máquina, necesario para el funcionamiento de la misma, convirtiendo cualquier tipo de energía (ya sea eléctrica, de combustibles fósiles, eólica, etc....) en energía mecánica; idóneo para realizar algún tipo de trabajo. De acuerdo a ello, existen diversos tipos de motores dentro de los cuales los más comunes son: Los motores térmicos, eléctricos, de combustión, de impulsión, aeronáuticos, alternativos y de reacción entre otros. Dentro del tipo de motores eléctricos se encuentran dos tipos, los cuales son: los motores eléctricos DC y los AC. Los cuales son dispositivos que convierten la energía eléctrica en energía mecánica a través de la inducción de una fuerza electromotriz provocada por la variación de un flujo de corriente que causa un campo magnético, que es el que crea la energía eléctrica necesaria para producir energía mecánica. Los motores DC no pueden ser enclavados en una posición específica ni se les puede controlar la velocidad de giro sin necesidad de algún circuito externo al mismo componente, debido a que estos giran a máxima velocidad en el sentido que la alimentación aplicada se los indique. La diferencia entre ambos tipos de motores es su alimentación; Es decir los motores DC son impulsados por fuentes de corriente continua (DC) y los AC son impulsados por fuentes de corriente alterna (AC), de allí sus nombres DC y AC. Su principio de funcionamiento se basa en el principio de inducción, con el fin de poder variar o controlar la velocidad de giro del mismo, si necesidad de colocar adicional, circuitos externos para lograr esto; ya que en los motores DC convencionales deben hacerse de esta forma para lograr controlar la velocidad de giro, como por ejemplo por medio de la instauración de un circuito PWM (Modulación por Ancho de Pulso, por sus siglas en inglés) [70] [71] [72].

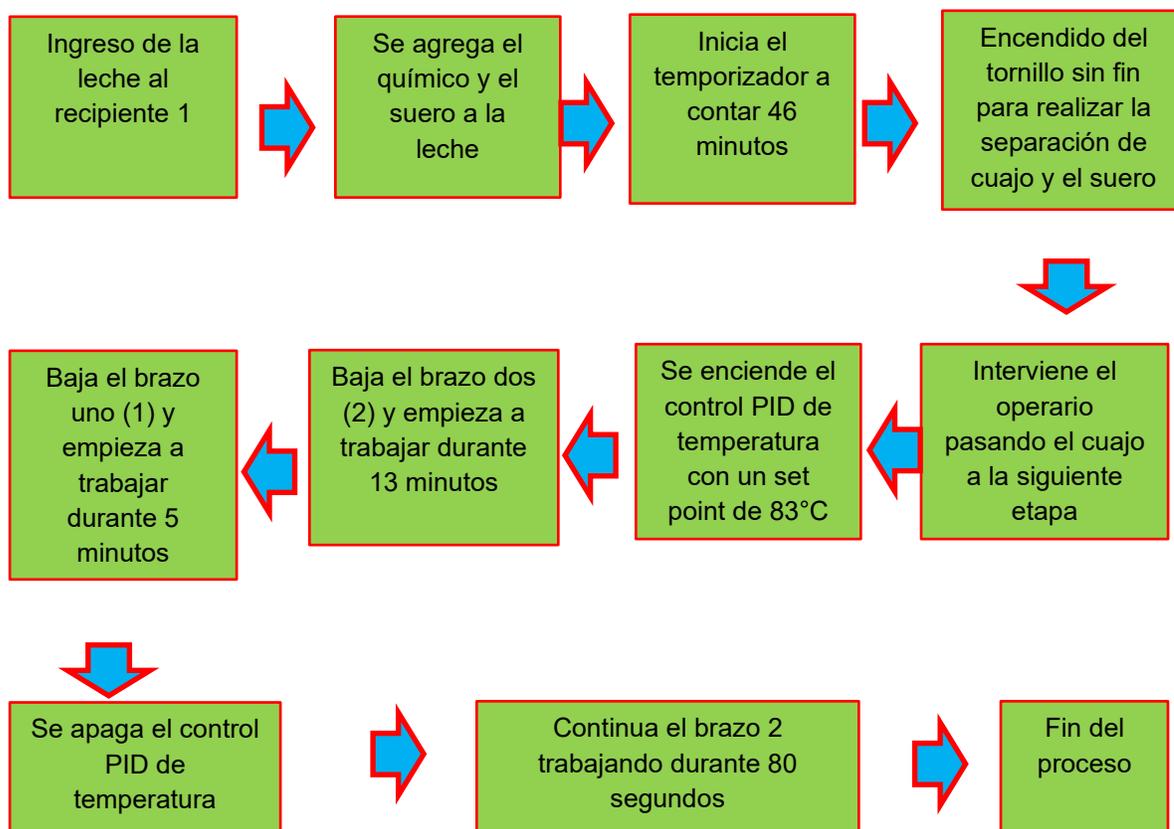
## Capítulo 2

### 2. Metodología

A continuación, se describe detalladamente la metodología para la automatización de los dos procesos a intervenir y para ello se procedió a realizar lo siguiente:

- Obtener parámetros y mediciones de las cuatro etapas que componen el proceso actual para la obtención del queso artesanal (Separación, moldeo 1, moldeo 2 y separación) y de los dos procesos a intervenir, identificando su función en la automatización.
- Caracterización de la planta de los dos procesos a intervenir
- Determinar los parámetros de diseño para los controladores, en los procesos a intervenir (Separación entre el cuajo y el suero y Calentamiento y moldeo del cuajo)
- Implementación de los sistemas de control en la planta que incluye los dos procesos.
- Evaluación del funcionamiento del sistema de acuerdo a los siguientes parámetros, alcance de los sets point teóricos, control real de la temperatura, comparación de la viscoelasticidad del queso actual, con el elaborado a partir de la automatización de los dos procesos. A continuación, en la figura 2.1, se plasma el funcionamiento de la planta mediante un diagrama de bloques, el cual representa la propuesta de solución a la problemática expuesta anteriormente:

Figura 2.1 Imagen de diagrama de bloques del proceso efectuado por medio de la planta (elaboración propia)



## 2.1 Parámetros y Mediciones de las cuatro etapas del proceso artesanal y los dos procesos a intervenir para automatizar el prototipo mecánico

En la elaboración del queso artesanal intervienen cuatro etapas, denominadas como: Separación, Moldeo 1, Moldeo 2 y Enfriamiento. Y el prototipo mecánico a intervenir posee dos procesos llamados Separación entre el cuajo y el suero; y Calentamiento y moldeo del cuajo, de manera general para poder desarrollar la automatización se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros del proceso actual: tiempos de realización de las actividades descritas en todo el proceso de elaboración del producto, cantidades específicas que se utilizaron durante el proceso, temperaturas requeridas, y peso (Kg.) de cada producto al final de cada etapa para verificar “las pérdidas” de producto en cada una de ellas y de esta

forma determinar la trazabilidad del cuajo en todo el proceso de la elaboración artesanal del quesillo. En la tabla 2.1 se pueden encontrar los parámetros y mediciones realizadas.

La primera etapa del proceso artesanal (Separación) corresponde al proceso a intervenir denominado separación entre el suero y el cuajo, en la cual se realizó la medición de: - Cantidad de litros de leche empleados al inicio del proceso de elaboración artesanal del quesillo. La leche una vez llega a la quesillera es almacenada en un recipiente como lo muestra la imagen 2.3, y se da inicio a la primera etapa de la elaboración del quesillo artesanal agregando el químico denominado cuajo para cuajarla, por cada 40 litros de leche se debe agregar 1 centímetro cúbico (cc.) del mismo, y el suero del lote del día anterior teniendo en cuenta que por cada 20 litros se agregan 3 litros (L.) del mismo, y luego dejar cuajar la leche por aproximadamente 46 minutos, se procede a colar el cuajo y queda solamente el suero en el interior del proceso de la figura 2.3. Este parámetro es importante en la automatización del proceso de separación entre el suero y el cuajo, ya que permite establecer la relación entre la capacidad del prototipo y las cantidades de los componentes que deben ser ingresadas, también permite establecer la cantidad de tiempo con la que debe ser programado el temporizador del Arduino para que dé inicio al proceso de cuajo y posteriormente encienda el motor que permitirá la elevación de la plataforma que contiene el cuajo a través de un tornillo sinfín. La cantidad de Leche se representa con la casilla (L.) en la tabla 2.1

-Tiempo de realización de la etapa, la cual es el promedio de dos mediciones inicio del proceso cuajar y terminación del proceso cuajar. Los cuales se representan en la tabla por medio de las casillas (Inicio y Fin); Adicionalmente se establece el tiempo de colación o separación entre el suero y cuajo el cual toma aproximadamente unos 3 minutos. Este parámetro es muy importante en la automatización ya que permite establecer temporizadores tanto del timer como del PWM que controla el motor situado en el base justo al recipiente 1, los cuales controlan que la bandeja que hace la separación entre el suero y el cuajo suba a una velocidad adecuada para que la cantidad de producto situada allí se filtre de forma correcta y que el proceso 1 se automatice de acuerdo a los tiempos y cantidades reales, establecidos en esta etapa.

- Peso del cuajo al final de esta etapa, el cual describe la cantidad de cuajo que se obtiene a partir de la leche, y con el cual se va a trabajar para conseguir el quesillo al final del proceso. De tal forma que por ejemplo con 100 litros (L.) de leche, al final de esta etapa se

---

obtienen aproximadamente 15 kilogramos (Kg.) de cuajo. Dicho parámetro es importante tener en cuenta para la automatización debido a que permite establecer las características del motor que tendrá como función elevar la plataforma a través del tornillo sinfín para permitir la separación del cuajo.

A continuación, se presenta la relación de parámetros y mediciones de las etapas 2, 3 y 4 de la elaboración artesanal del quesillo, con el segundo proceso del prototipo mecánico a intervenir, denominado Calentamiento y moldeo del cuajo. La etapa 2 corresponde al primer moldeo de la masa o del cuajo, en donde se realizó la toma de estos diferentes parámetros:

- Temperatura del producto al iniciar esta etapa, la cual se representa en grados centígrados (°C) y es tomada al inicio de la misma antes de prender el fogón y adicionarle la sal.

- Tiempo empleado en esta etapa, el cual es el parámetro que representa el tiempo total utilizado en realizar esta etapa, en la cual se realiza el primer moldeo a la masa de forma circular. Este se representa en la tabla por medio de las casillas (Inicio y Fin) en minutos (min.). Estos parámetros son de gran importancia en la automatización del proceso Calentamiento y moldeo del cuajo ya que con la temperatura del producto al inicio de esta etapa se programa el controlador PID con un SetPoint de referencia mínimo de temperatura. Y utilizando el tiempo empleado en la misma, se programa el brazo 1 para que realice el primer moldeo durante el tiempo especificado previamente

La etapa 3 corresponde al segundo moldeo, que es donde se le da estiramiento al cuajo, y es donde se obtiene la textura ideal del quesillo para su posterior sellado y comercialización. En esta etapa se tomaron los siguientes parámetros:

- Temperatura del producto al iniciar esta etapa, se representa en grados centígrados (°C) y es tomada al inicio de la misma.

- Tiempo empleado en esta etapa, es el parámetro que representa el tiempo total utilizado en realizar esta etapa, en la cual se realiza el segundo moldeo en el que se estira la masa con el fin de darle la consistencia final ideal, se representa en la tabla por medio de las casillas (Inicio, Apag. y Fin) tomando tiempos en unidad de tiempo de minutos (min.). Dichos parámetros son de gran importancia automatización del proceso, debido a que:

Con la temperatura se programa el SetPoint del control de temperatura para elevar y dejar como referencia de temperatura máxima a la que es sometida la masa en esta etapa, y utilizando el tiempo empleado en la misma, se programa PID para que se efectúe durante dicho tiempo, además permite activar el timer que controla el motor del brazo 2 para que realice el segundo moldeo durante el tiempo especificado previamente.

La etapa 4 corresponde a la de enfriamiento, que es donde finalmente se obtiene el producto que se va a comercializar; y es donde se aprecia la cantidad de producto final que se obtiene a partir de la leche que se utiliza al inicio del proceso. En ella se hizo la toma de los siguientes parámetros:

- Temperatura del producto al iniciar esta etapa, la cual se representa en grados centígrados (°C) y es tomada al inicio de la misma luego de que el sistema apague el fogón.
- Tiempo empleado en esta etapa, el cual es el parámetro que representa el tiempo total utilizado en realizar esta etapa, en la cual el queso debe disminuir su temperatura al ambiente, se envasa en moldes y se guarda para su comercialización, y se representa en la tabla por medio de las casillas (Inicio y Fin) tomando tiempos en unidad de tiempo de minutos (min.).

Estos parámetros son importantes en la automatización del prototipo debido a que: Con la temperatura final, se hace la comparación de esta con la que se tomó al inicio del proceso para determinar que se puede llevar a los moldes y dejar enfriar. Con el tiempo empleado se programa el timer necesario para dejar enfriar en la paila el producto antes de ser retirado de allí.

Como último parámetro a tener en cuenta se tiene el peso del queso al final de esta etapa, el cual describe la cantidad de producto que se obtiene a partir de la leche empleada inicialmente, de tal forma que por ejemplo con 100 litros (L.) de leche, al final de esta etapa, es decir al final del proceso, se obtienen aproximadamente 13,6 kilogramos (Kg.) Y con el peso al final del producto se evidencia la "perdida del producto" al final del proceso y se pueden comparar el proceso actual y el intervenido.

Lo primero que se hizo para la toma de estos parámetros, fue el desarrollo de la tabla en Excel donde se tuvieron en cuenta: La cantidad de leche utilizada en litros, siendo representada en la tabla por medio de la celda (L.). tiempo de inicio y tiempo de finalización de cada proceso, se representan en la tabla respectivamente con las celdas (Inicio y Fin);

---

ambos ubicados dentro de la casilla (Min.), indicando que estos periodos se tomaron en unidad de tiempo de minutos. El peso del cuajo o del producto al finalizar cada subproceso, se representa en la tabla por medio de la celda (Kg.). Y finalmente la temperatura alcanzada por el producto al iniciar, durante y al finalizar cada subproceso, se representa en la tabla por medio de la celda ( $^{\circ}\text{C}$ ). Además de ello es importante aclarar que en la parte de los tiempos en la etapa 3, a diferencia de las otras etapas, que en esta casilla cuenta con dos subcasillas; esta cuenta con tres, ya que en esta parte se tienen en cuenta tres (3) tiempos, inicio del subproceso, tiempo de apagado del fogón y tiempo de finalización del mismo. Debido a que esta etapa es donde se hace el moldeo 2 y es allí donde se apaga el fogón, encendiéndolo al mismo tiempo que se empieza con la etapa 2 de moldeo 1. Otra parte que se tuvo en cuenta para la realización de la tabla fue haber dividido todo el proceso de elaboración del quesillo en cuatro (4) etapas, las cuales son: La 1 que es la Etapa de separación del cuajo y el suero, la segunda es la etapa del moldeo 1 que es el moldeo circular, la tercera es la etapa del moldeo 2 que es la de estiramiento del quesillo, y la cuarta y última etapa es la de enfriamiento; que es donde se toma el peso del producto final y es donde se deja reposar colocándolo previamente en los moldes, antes de sellarlo quedando listo para su posterior comercialización.

Es importante mencionar que la toma de datos se realizó durante 10 días, asistiendo consecutivamente los días hábiles de trabajo a la quesillera donde se hizo el trabajo investigativo previo a la realización del proyecto. Se hizo de esta manera debido a que cada día solo se hacen dos (2) lotes de quesillo para su comercialización. En estos diez días además de haber hecho la toma de datos, también se realizó trabajo investigativo acerca del proceso de elaboración del quesillo de esta manera, para tener en cuenta las cantidades indicadas y las condiciones que se debían tener en cuenta para la elaboración del mismo; ya que al finalizar el prototipo se debía hacer el quesillo por cuenta propia de acuerdo a lo establecido en el documento. También es importante mencionar que adicional a la tabla, el grupo de trabajo debió realizar un circuito para poder realizar la toma de temperatura respectiva, por medio de una termocupla tipo K y un microcontrolador Arduino One; Finalmente se tuvo en cuenta la ubicación del sitio, la hora de entrega de la leche y la disponibilidad por parte de los integrantes del grupo de trabajo del proyecto; ya que de acuerdo a ello era que se debían hacer las visitas técnicas al sitio para el proceso investigativo y la toma de datos por parte de alguno de los miembros de trabajo o de ambos, cuando se contaba con total disponibilidad de los integrantes del proyecto. A

continuación, se muestra la tabla 2.1 los parámetros y mediciones que se tomaron de las 4 etapas del proceso artesanal para la automatización de los dos (2) procesos intervenidos, durante dos (2) semanas; tiempo que duraron las visitas técnicas al sitio:

Tabla 2.1 Tabla de toma de datos en la realización artesanal de queso (Elaboración propia)

<b>TOMA DE DATOS PREVIA A LA REALIZACIÓN DEL PROTOTIPO AUTOMATIZADO</b>															
	<b>ETAPA 1</b>				<b>ETAPA 2</b>				<b>ETAPA 3</b>				<b>ETAPA 4</b>		
	<b>SEPARACIÓN...</b>			<b>MOLDEO 1</b>				<b>MOLDEO 2</b>			<b>ENFRIAMIENTO</b>				
	(L.)	(Min.)		(Kg.)	(°C)		(Min.)		(°C)	(Min.)		(°C)	(Min.)		(Kg.)
		Inicio	Fin		Inicio	Fin		Inicio	Apag.	Fin		Inicio	Fin		
1	100	10:35	11:12	15,8	36,4	11:18	11:28	88	11:28	11:39	11:42	62	11:43	11:44	14,85
2	100	10:45	11:44	15,1	35,15	11:49	12:00	81	12:00	12:11	12:13	61,6	12:14	12:15	13,4
3	100	11:00	11:30	16	37	11:40	12:00	84	12:00	12:06	12:08	60	12:09	12:10	15
4	100	12:10	12:15	15	35,2	12:15	12:28	82	12:28	12:31	12:34	61,6	12:35	12:36	13,62
5	100	12:38	12:40	14,8	36	12:42	12:56	80	12:56	12:58	1:00	60,8	1:01	1:02	12,8
6	80	10:54	11:24	11	35,3	11:24	11:36	87	11:36	11:40	11:44	61,7	11:45	11:47	11,4
7	80	10:59	11:50	12	36,5	11:54	12:08	83	12:08	12:11	12:16	60,5	12:17	12:19	11
8	100	10:40	11:33	13,5	35,4	11:36	11:49	84	11:49	11:49	11:50	60,2	11:51	11:52	13,2
9	100	10:50	11:43	14,2	35,8	11:47	12:02	81	12:02	12:14	12:17	61,7	12:18	12:20	13,3
10	100	11:00	11:52	13,6	37,2	11:55	12:03	86	12:03	12:08	12:11	60,5	12:12	12:13	12,75
11	80	10:56	11:37	14,3	36,1	11:40	11:54	84	11:54	11:56	11:57	60,2	11:58	11:59	13,4
12	80	11:09	12:05	13,3	35,2	12:07	12:18	81	12:18	12:23	12:24	61,7	12:25	12:26	12,48
13	80	10:40	11:48	14,2	36,6	11:52	12:02	84	12:02	12:07	12:10	60,2	12:11	12:13	13
14	80	10:30	11:17	14	35,3	11:20	11:33	81	11:33	11:37	11:40	61,8	11:40	11:41	12,8
15	40	10:58	11:38	5,6	36,3	11:38	11:48	82	11:48	11:51	11:53	60	11:54	11:55	5,1
16	62	11:20	11:57	9,6	36,7	11:59	12:16	87	12:16	12:20	12:22	62	12:23	12:24	5,4
17	100	10:40	11:39	13,8	36,5	11:40	11:54	83	11:54	12:57	12:00	61,2	12:02	12:03	13
18	100	10:50	12:06	14,1	36,41	12:10	12:25	85	12:25	12:29	12:32	61,7	12:33	12:34	12,4
19	100	10:35	11:15	15,5	35,8	11:17	11:27	82	11:27	11:30	11:32	61	11:31	11:33	14,6
20	100	10:45	11:45	14,8	36,7	11:50	12:05	80	12:05	12:09	12:12	60	12:12	12:13	13,9

## 2.2 Caracterización De La Planta

El proyecto del prototipo automatizado implementado en la elaboración del queso artesanal que se desarrolló, se compone de tres secciones de aplicación de la ingeniería: mecánica, electrónica y automatización. A continuación, se especifica los tipos de materiales en los cuales se diseñaron las piezas: Ambos tipos de recipientes están contruidos en aluminio, material que cumple con las medias optadas por el INVIMA para el almacenamiento y procesado de alimentos como la leche. La diferencia es que el recipiente 1 se diseñó a partir de una cantina de leche de 40L. la cual se modificó para la implementación de esta en el prototipo, mientras que para el recipiente 2 se utilizó una paila convencional también construida en aluminio, material ideal para este tipo de aplicaciones. El canal que comunica ambos recipientes se diseñó en SolidWorks y se construyó en acero inoxidable. La base elevadiza, junto con el tornillo sinfín necesario para la elaboración de este mecanismo, se diseñó también en SolidWorks y se construyó en

acero inoxidable. El Dispositivo necesario para el mecanismo de elevación de cargas del recipiente 1 se diseñó en SolidWorks y se construyó en polipropileno. Para la realización de cada brazo robótico implementado en el proceso del recipiente 2, se utilizó también acero. Finalmente, la estufa que se utilizó para el calentamiento del cuajo y allí obtener la contextura ideal del queso artesanal, se diseñó y elaboró en hierro, debido a que es un tipo de metal muy fuerte y resistente, además de ser económico para el diseño de estructuras metálicas, y al no tener contacto directo con el producto no se requiere que sea en alguno de los materiales que se utilizaron en las otras piezas. De acuerdo a ello, se hace la caracterización de los diferentes materiales utilizados en la elaboración de la planta mediante las siguientes tablas:

Tabla 2.2 Tabla de caracterización del aluminio (Elaboración propia)

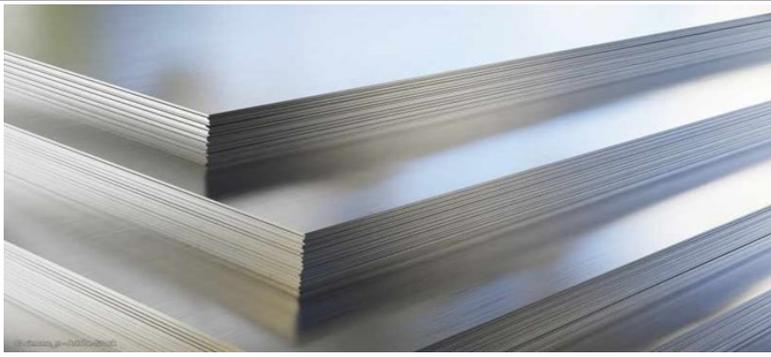
<b>CARACTERIZACIÓN DEL ALUMINIO.</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>INFORMACIÓN DEL MATERIAL</b>
Número atómico	13
Electronegatividad	1,5
Configuración electrónica	[Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>1</sup>
Densidad	2,7
Punto de ebullición (°C)	2467
Punto de fusión (°C)	660
Volúmen atómico	10 cm <sup>3</sup> /mol
Estado de oxidación	3
Electrones de valance	3 s <sup>2</sup> p <sup>1</sup>
Calor específico	0,9J/gk
Presión del vapor	2,4E-06Pa a 660.25°C
Conductividad Eléctrica	0,377 106/cm
Imagen del material	

Tabla 2.3 Tabla de caracterización del acero inoxidable 304 (Elaboración propia)

<b>CARACTERIZACIÓN DEL ACERO INOXIDABLE 304.</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>INFORMACIÓN DEL MATERIAL</b>
Densidad	7.93 g/cm <sup>3</sup>
Punto de fusión	1398-1454 °C
Calor específico	500 J/(Kg·K) a 20°C
Resistividad elèctrica	0.73 μΩ·m (20°C)
Permeabilidad magnètica	1.02 (Aproximado)
mòdulo elàstico	193 GPa (28×106 psi)
Difusividad tèrmica	3.84 mm <sup>2</sup> /s
Coefficiente de conductividad tèrmica	16.3 (100 °C) / 21.5 (500 °C)
Coefficiente de dilatación lineal	17.2 (0-100 °C) / 17.8 (0-300 °C) / 18.4 (0-500 °C)
Imagen del material	

Tabla 2.4 Tabla de caracterización del hierro (Elaboración propia)

<b>CARACTERIZACIÓN DEL HIERRO.</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>INFORMACIÓN DEL MATERIAL</b>
Punto de fusión	1535 °C
Densidad	7874 kg/m <sup>3</sup>
Número atòmico	26
Punto de ebullición	2750 °C
Masa atòmica	55,847
Coloración	Plateada oscura
Conductividad elèctrica y tèrmica	Relativamente baja
Propenso a la corrosión en contacto con	Aire
Imagen del material	

Adicional a ello; también se presenta en la figura 2.2, 2.3 y 2.4 el diseño detallado de la planta en SolidWorks, con sus diferentes medidas y cotas.

Figura 2.2 Imagen del diseño de las piezas del prototipo de la planta (Elaboración Propia)

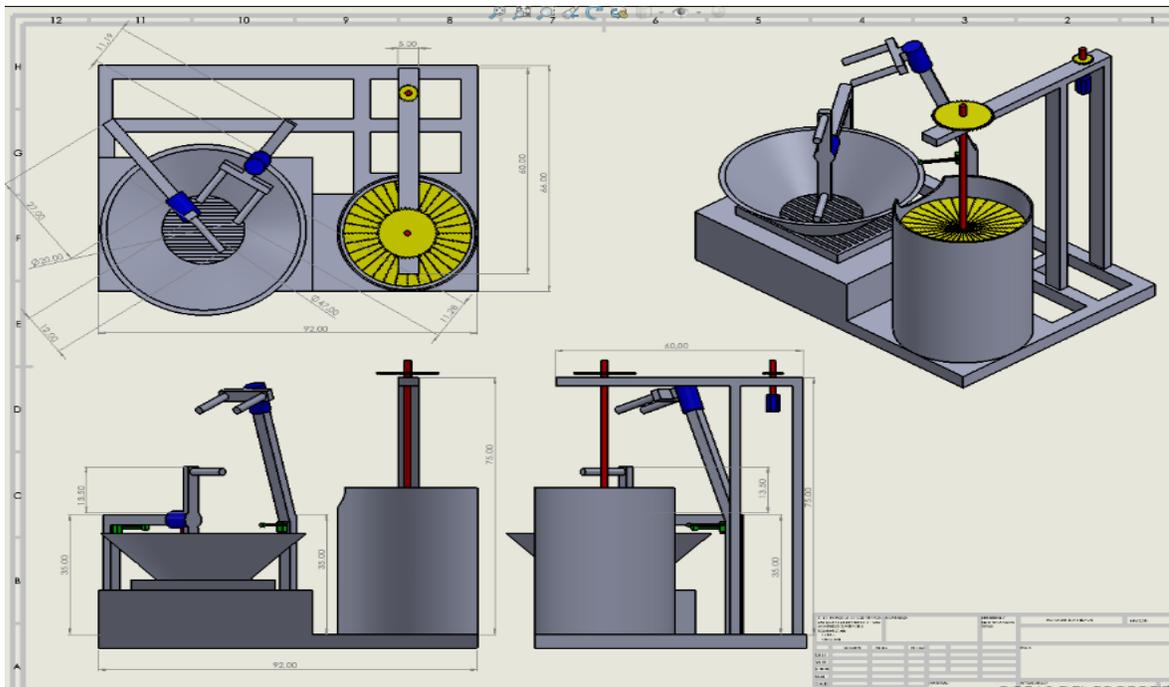


Figura 2.3 Imagen de las piezas del recipiente 1 del prototipo de la planta (Elaboración Propia)

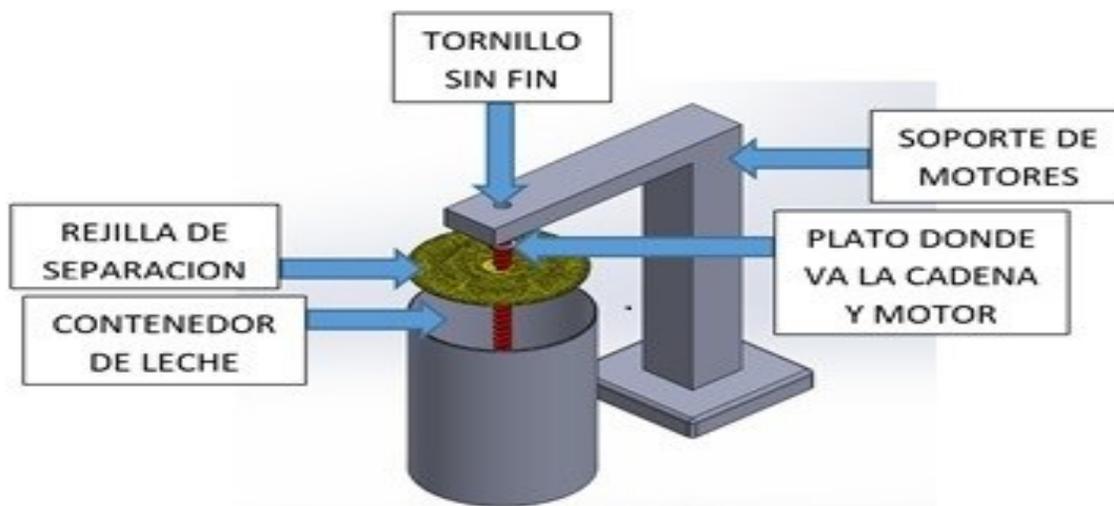
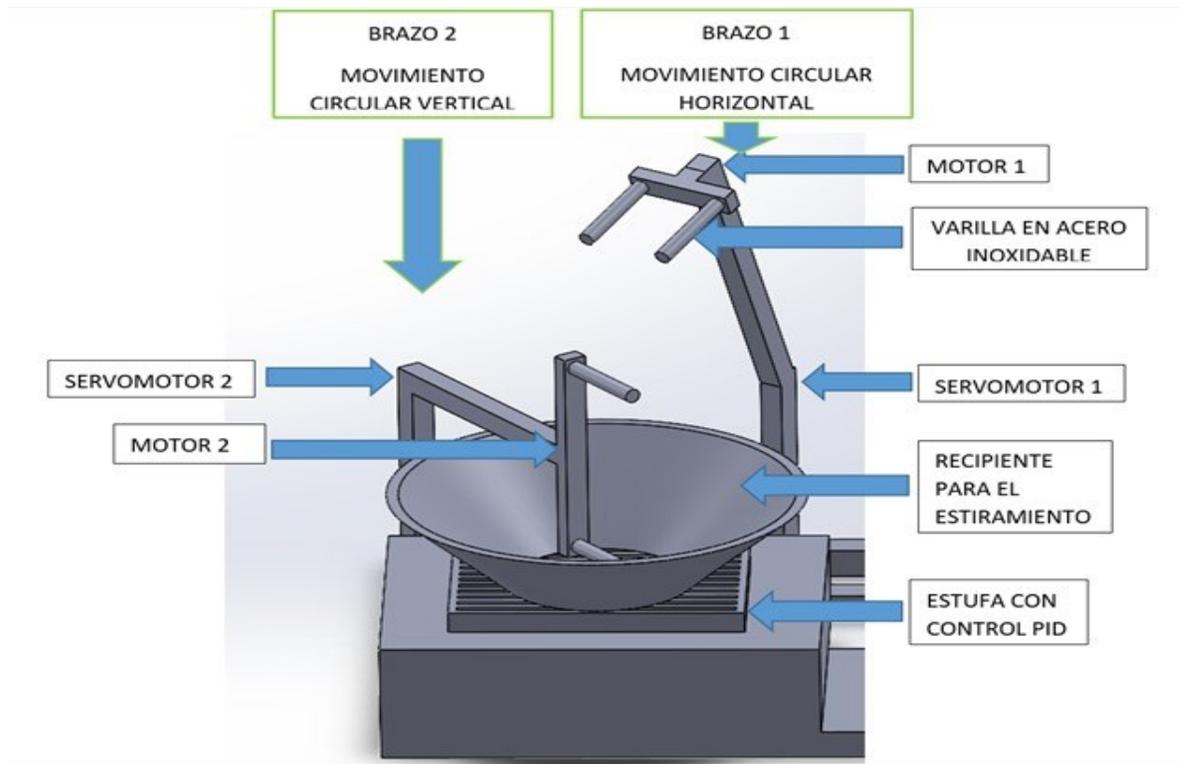


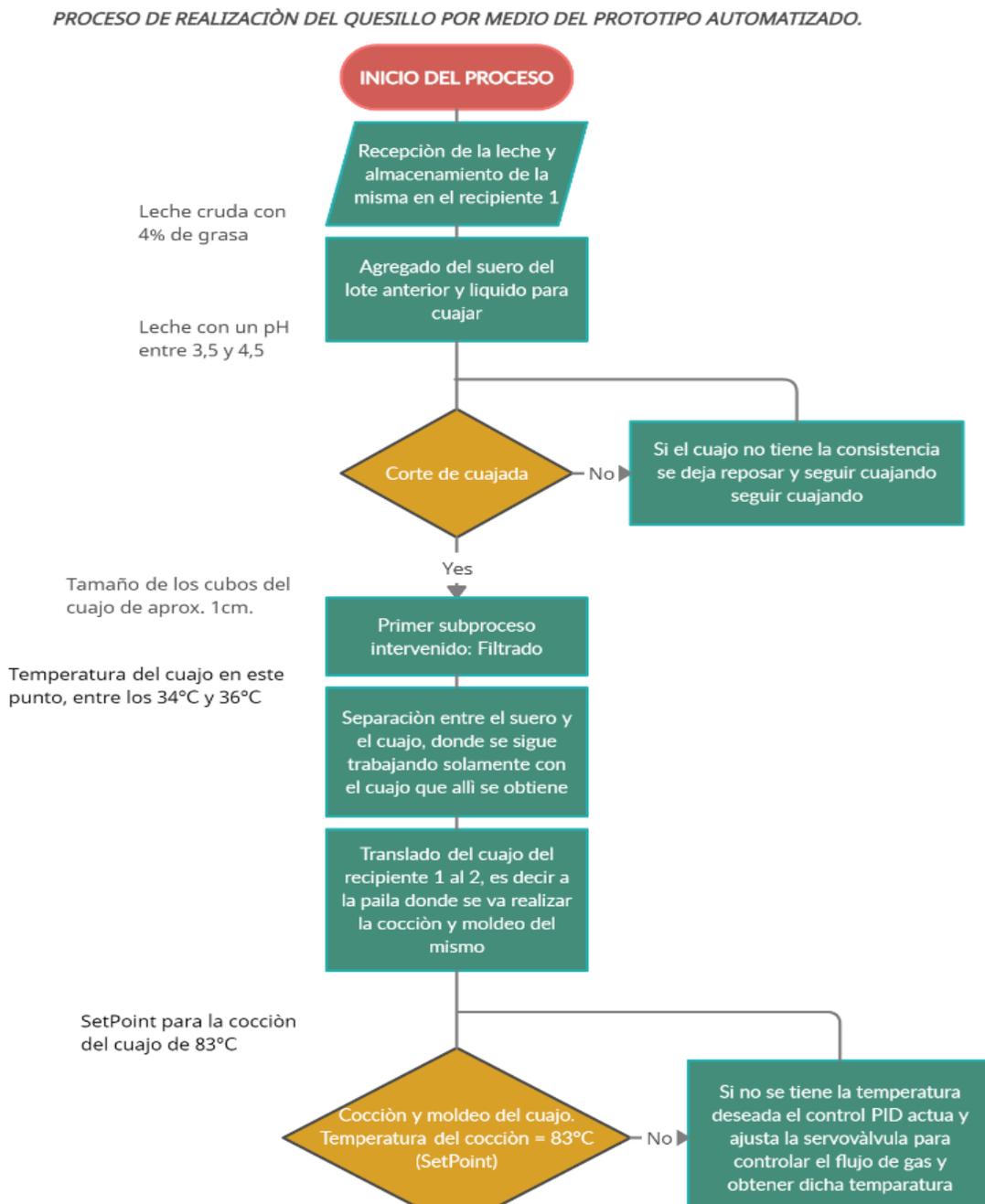
Figura 2.4 Imagen de piezas del recipiente 2 del prototipo de la planta (Elaboración Propia)

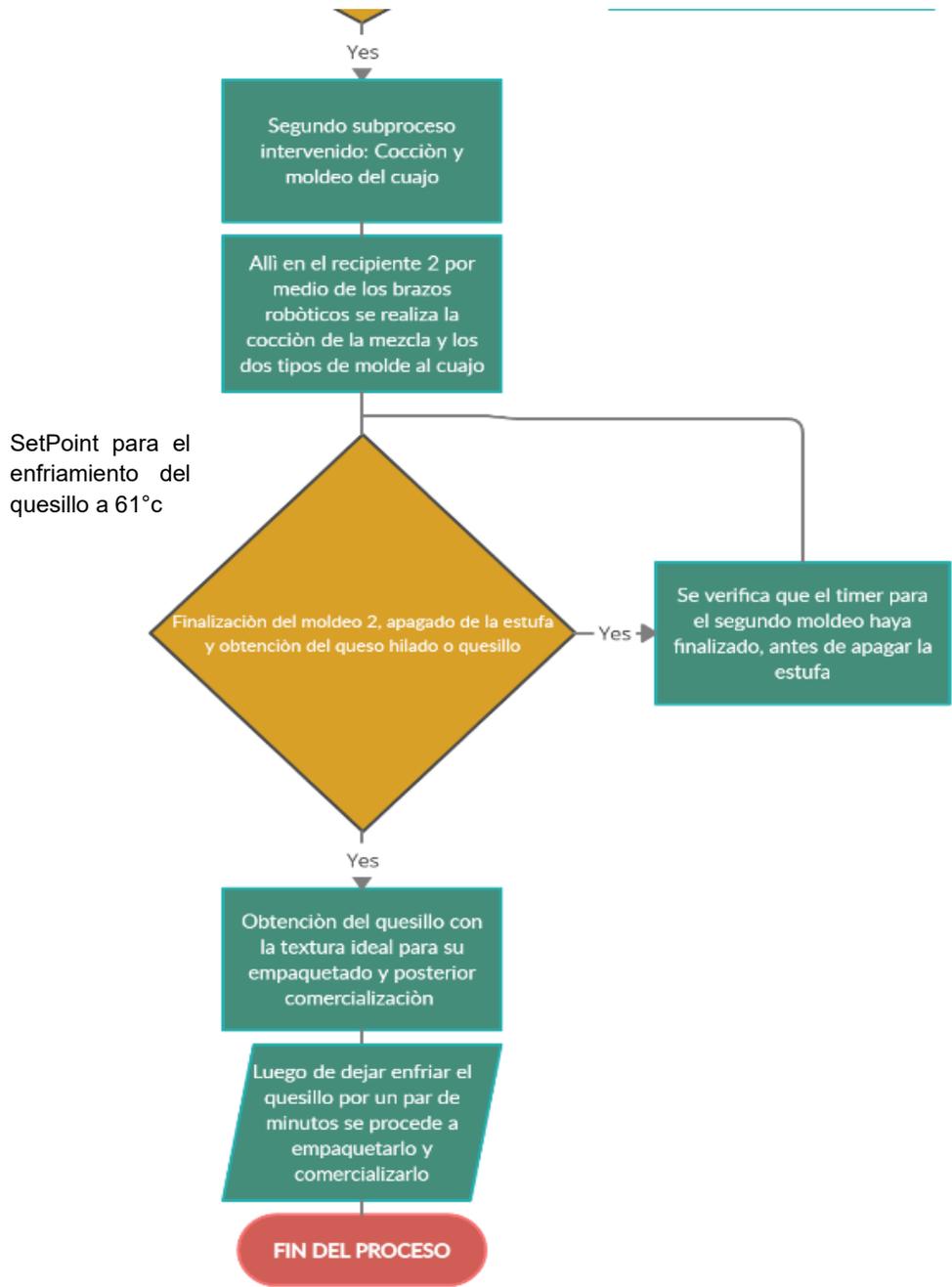


## 2.3 Diseño De Los Sistemas De control

A continuación, en la figura 2.5, se presenta un diagrama de flujo de los sistemas de control implantados en los dos procesos: Separación entre cuajo y suero, y Calentamiento y moldeo.

Figura 2.5 Imagen de diagrama de bloques del sistema implementado (Elaboración propia)





## 2.3.1 Diseño del control de velocidad

El tipo de control que se seleccionó para la implementación del variador de velocidad en el prototipo fue un PWM de 15 khz utilizado junto a un circuito integrado 555, elegido por su alta demanda a nivel industrial y por tener una protección contra polaridad inversa y sobre picos de corriente, también por tener un tiempo de respuesta más rápido que otros tipos de controles, tener múltiples funciones para poder llevar a cabo el control de numerosos sistemas; los cuales van desde el control de una temperatura concreta hasta el de una dirección de un dispositivo móvil o, el control de velocidad de un sistema. Además de aumentar la precisión de la respuesta; debido a que, junto con la rapidez, también es posible configurar estos controladores para conseguir de ellos una respuesta más precisa, y en función del tipo de sistema que queramos controlar esta puede ser más beneficiosa que la rapidez de dicho sistema de control. También son la mejor opción debido a que pueden ayudar a mejorar errores previos y propios de los dispositivos, y esto se evidencia en muchas ocasiones presentándose, por ejemplo, fallos en dispositivos automáticos involucrados en un proceso, causando vibraciones o faltas de equilibrio. Por ello, el PWM es la mejor opción para utilizarse en el prototipo, debido a que es un sistema de ajuste por ancho de pulso de acuerdo a como se ajuste mediante el circuito 555 y un potenciómetro.

En las figuras 2.6 y 2.7, se describen los esquemáticos de los circuitos diseñados e implementados en los brazos robóticos utilizado para intervenir en el proceso de calentamiento del queso y estiramiento del mismo para obtener la textura final deseada.

Figura 2.6 Imagen del esquema electrónico de variador de velocidad para los motores Dc. utilizados en los brazos robóticos (Elaboración propia)



Figura 2.7 Imagen del esquema electrónico del puente H utilizado para el cambio de giro en los motores Dc., implementado en los brazos robóticos (Elaboración propia)

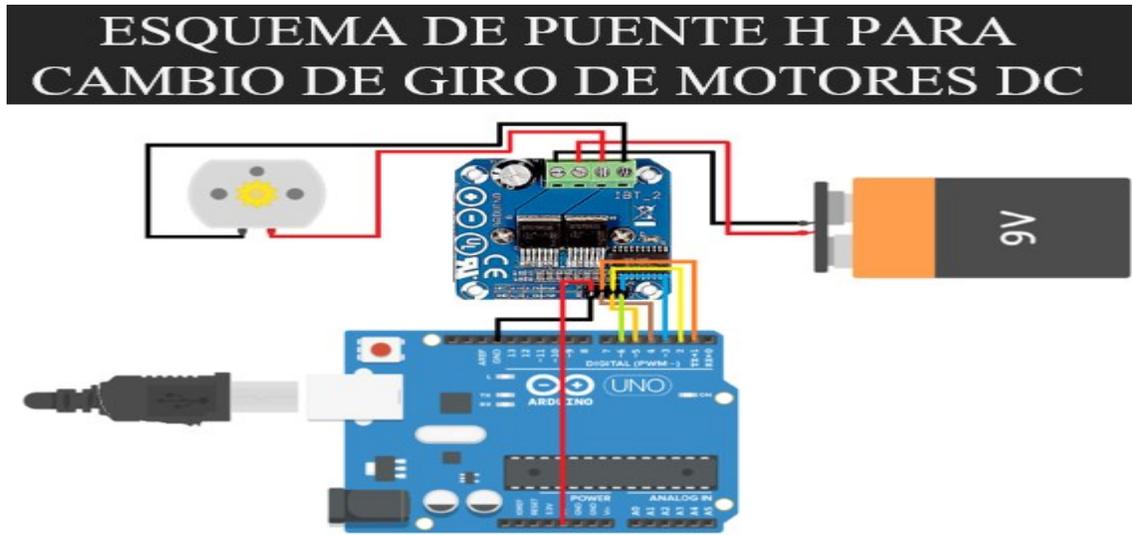


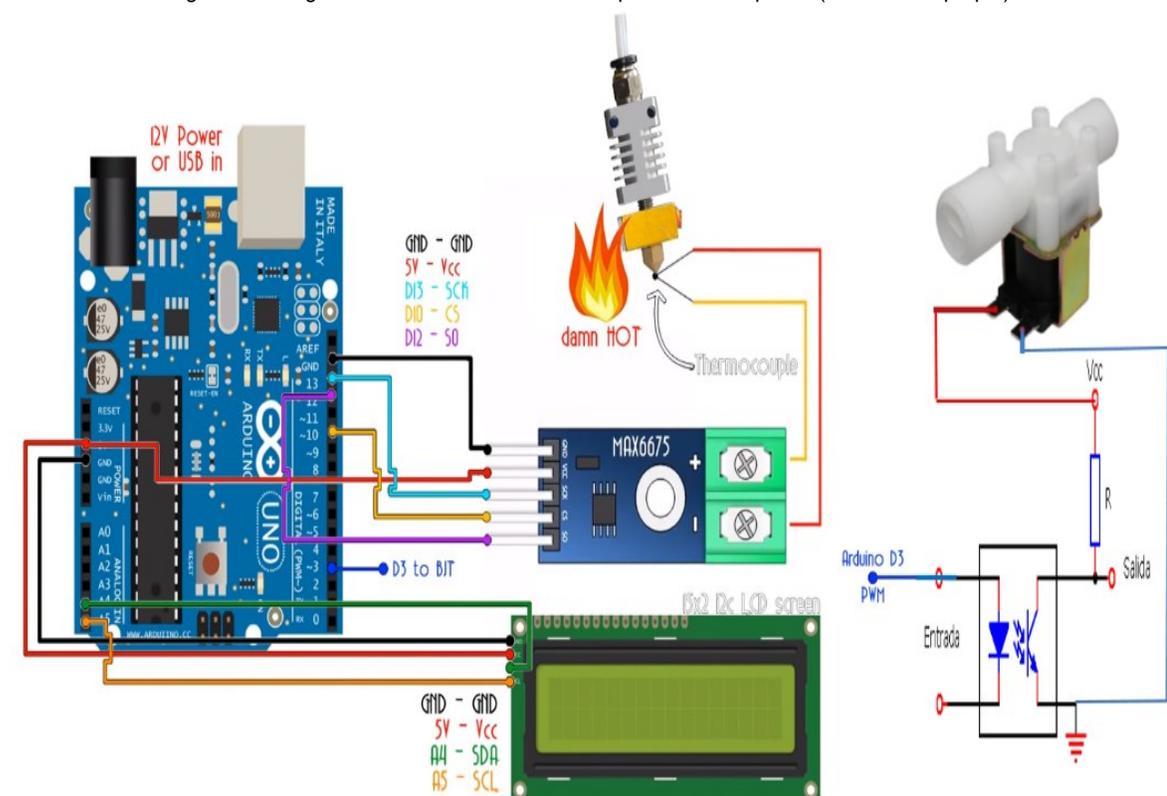
Tabla 2.5 Tabla de características control PWM de velocidad (Elaboración propia)

<b>CARACTERISTICAS CONTROLADOR PWM DE VELOCIDAD</b>	
VOLTAJE DE FUNIONAMIENTO	6V A 90V DC
POTENCIA	0,01 A 1000W
CORRIENTE MAXIMA	15 A
CORRIENTE DE REPOSO	0,05 A
CICLO DE TRABAJO DEL PWM	0% A 100%
FRECUENCIA DEL PWM	15 KHZ
PROTECCION CONTRA POLADIRAD INVERSA	SI
PROTECCION CONTRA PICOS DE CORRIENTE	SI
CONTROL DE PROTECCION A SOBRETENSIONES DE VOLTAJE	SI FUSIBLE DE 20 A
VOLTAJE DE CONTROL	0V A 5V
REGULACION DE LA VELOCIDAD CONTINUA	DE 0% A 100%
TAMAÑO DEL MODULO	64 x 59 x 22 mm

## 2.3.1 Diseño Del Control De Temperatura

El control de temperatura, la función principal es regular el paso de gas controlando la electroválvula que va hacia la paila del siguiente modo: el control proporcional es el encargado de disminuir el ángulo de apertura de la electroválvula cuando la temperatura esta superior al set point y aumentar el ángulo de apertura si la temperatura es inferior al set point, pero como apenas hemos usado el proporcional, nunca va llegar a una estabilidad, es allí donde continua la constante derivativa que reacciona a la velocidad del cambio de temperatura, esto significa que si llegamos a ingresar cuajo que aún quedaban en el recipiente 1 este control derivativo acelera abriendo el ángulo de apertura de la electroválvula para llegar más rápido al set point y por ultimo tenemos la constante integral, ella sumara el error en cada bucle que hay por encima y por debajo del set point disminuyéndolo hasta llegar a una estabilidad.

Figura 2.8 Imagen del diseño del control de temperatura de la planta (Elaboración propia)



### **2.2.2.1 Identificación de la planta para el proceso de calentamiento y moldeo**

Para desarrollar el control PID de la planta se realizó el cálculo de la función de transferencia característica de la misma, a la que se le aplica una señal escalón para verificar su comportamiento mientras dicha señal busca estabilizarse. Al ser común encontrar plantas que no cuenten con su modelo matemático y debido a ello, no tener su función de transferencia, resulta muy útil en estos casos el uso de algunas herramientas con las que cuenta el programa MATLAB. Para el prototipo automatizado que en este caso es la planta, y que no cuenta con su modelo matemático, fue necesario el uso de herramientas como systemIdentification y PID Tuner de MATLAB, con las cuales se obtuvo la respuesta del sistema, es decir se obtuvo la función de transferencia representativa de la planta; descrita en la Figura 2.17, seguida del paso a paso de lo que se realizó en MATLAB para diseñar el controlador para poder extraer su función de transferencia a partir de los datos generados por la misma. Estos datos al ser incorporados en tablas de Excel permiten ser importados al programa y con esto poder generar su función de transferencia. Para ello fue necesario seguir los siguientes pasos:

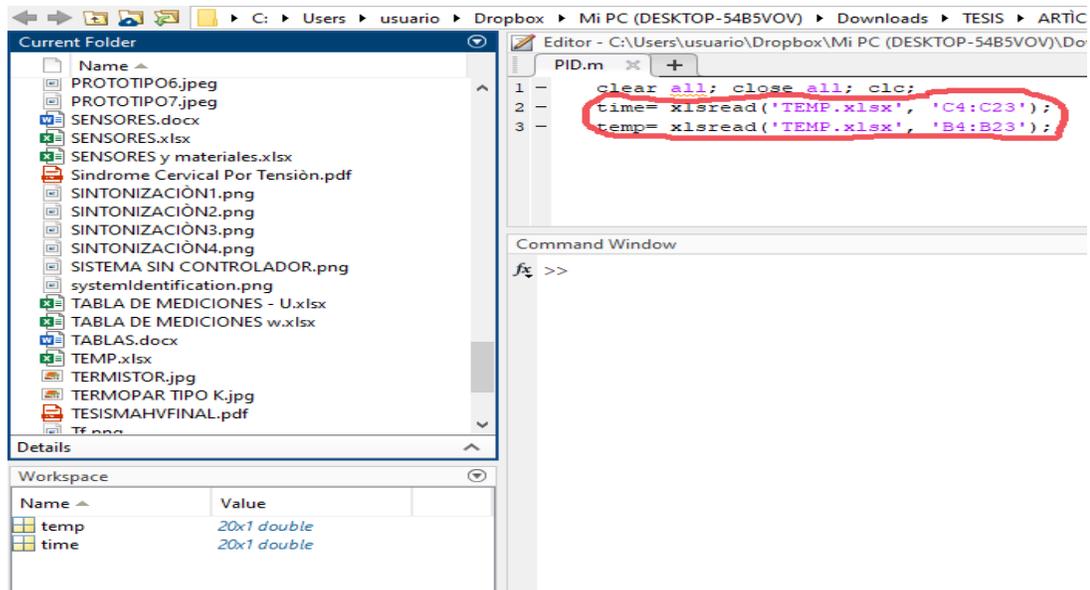
- Recopilación de datos generados por la planta en tablas de Excel. Lo primero que se hizo fue recopilar los datos generados por la planta en una o varias tablas de Excel para posteriormente fueron importados a MATLAB. Lo importante es tener presente los dos (2) campos de interés para la obtención de la función de transferencia del sistema, los cuales son la entrada y la salida del mismo; que para este caso van a ser el tiempo en el cual se mantuvo la temperatura tomada allí y las temperaturas tomadas durante 20 muestras. Dicha información se recopila en una tabla de Excel y se guarda en la misma carpeta en donde se va a crear el Script de MATLAB, como se muestra a continuación:

Figura 2.9 Imagen de tablas de datos generados a partir de la toma de parámetros en la planta (Elaboración Propia)

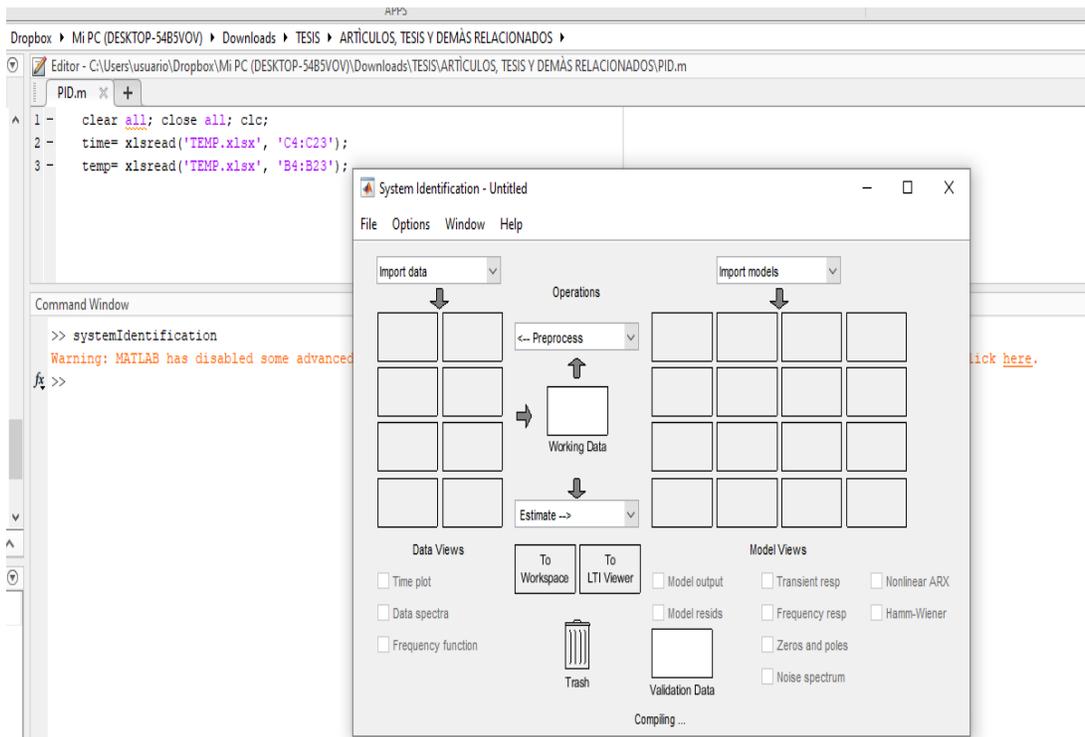
<b>TEMPERATURA</b>		<b>TIEMPO</b>		<b>TABLA DE TOMA DE DATOS PREVIA A LA REALIZACIÓN DEL PROTOTIPO AUTOMATIZADO</b>						
(°C)	(Min.)	<b>ETAPA 2</b>			<b>ETAPA 3</b>					
		<b>MOLDEO 1</b>			<b>MOLDEO 2</b>					
		TEMPERATURA		TIEMPOS (seg.)		TEMPERATURA		TIEMPOS (seg.)		
		(°C)	H. Inicio	H. Fin		(°C)	T1 H. Inicio	f. Apagado de fogón	T3 H. Fin	
88	11				37,00	88	11:28	11:39	37,00	
81	11					81	12:00	12:11		
84	6					84	12:00	12:06		
82	3					82	12:28	12:31		
80	2					80	12:56	12:58	1:00	
87	4					87	11:36	11:40		
83	3					83	12:08	12:11		
84	0					84	11:49	11:49		
81	12					81	12:02	12:14		
86	5					86	12:03	12:08		
84	2					84	11:54	11:56		
81	5					81	12:18	12:23		
84	5					84	12:02	12:07		
81	4					81	11:33	11:37		
82	3					82	11:48	11:51		
87	4					87	12:16	12:20		
83	3					83	11:54	12:57		
85	4					85	12:25	12:29		
82	3					82	11:27	11:30		
80	4					80	12:05	12:09		
					36,078				83,25	

- Luego se importan los datos desde Excel hacia MATLAB. Luego de tener creada la tabla de Excel y el Script de MATLAB en la misma carpeta, se tiene en cuenta la referencia de filas y columnas de cada conjunto de datos, y el nombre del archivo para poder importar los datos por medio de un par de comandos de MATLAB, los cuales se van a ver reflejados en el Workspace, de la siguiente forma:

Figura 2.10 Imagen de comandos utilizados para importar los datos de Excel a MATLAB (Elaboración Propia)

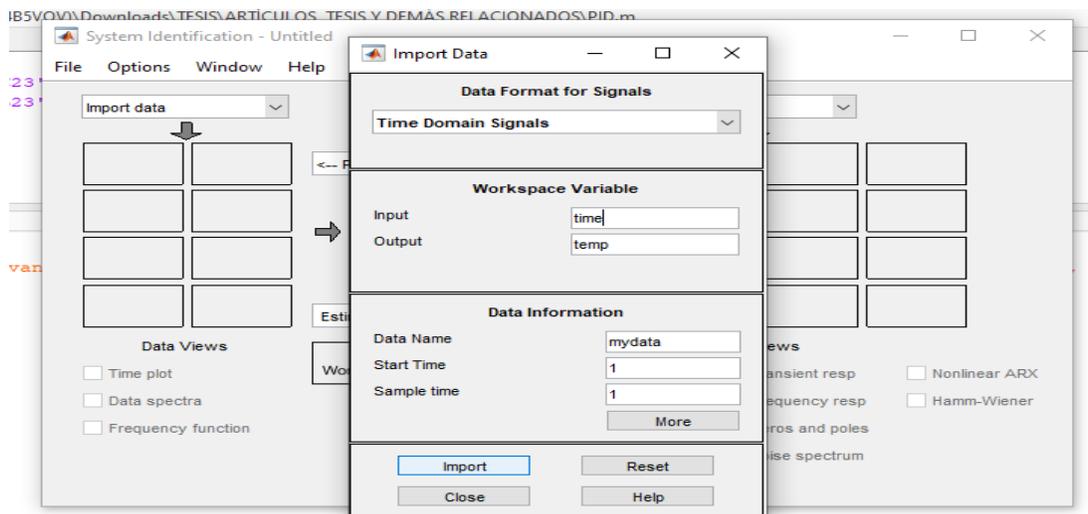


- Después se realiza la obtención de la función de transferencia de la planta, a partir de los datos importados. Luego de importar los datos a MATLAB, se teclea el comando `systemIdentification` en el Command Window del Script donde se está trabajando. De la siguiente forma:

Figura 2.11 Imagen de uso de la función `systemIdentification` de MATLAB (Elaboración Propia)

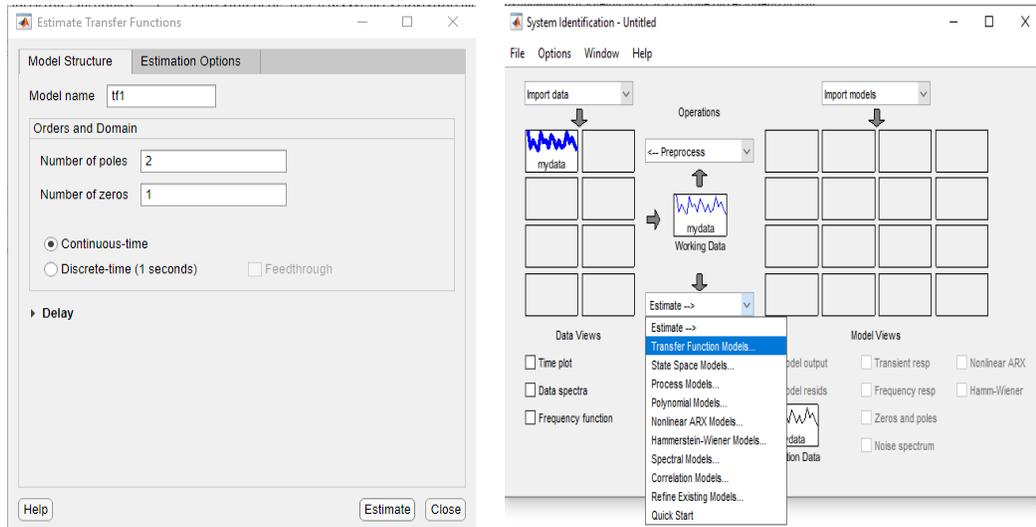
- Seguido a ello se selecciona importar datos en el dominio del tiempo, y la entrada y la salida de la planta, que en este caso va a ser el tiempo y la temperatura. Ver figura 2.12:

Figura 2.12 Imagen de importación de los datos por medio de systemIdentification (Elaboración Propia)



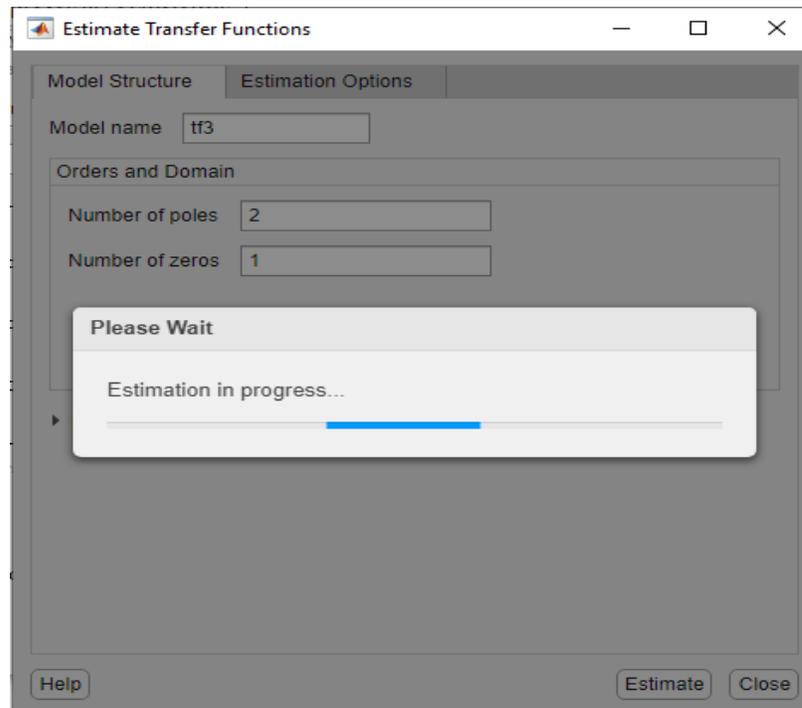
- Después de esto se selecciona la opción estimar modelos de función de transferencia, donde de acuerdo a la cantidad de polos y ceros seleccionados mediante el método de ensayo y error, MATLAB calcula varios posibles modelos de función de transferencia, y de acuerdo a ello al final se selecciona el que mayor porcentaje de exactitud tenga, de la siguiente manera:

Figura 2.13 Imagen de comando para obtener los posibles modelos de función de transferencia (Elaboración



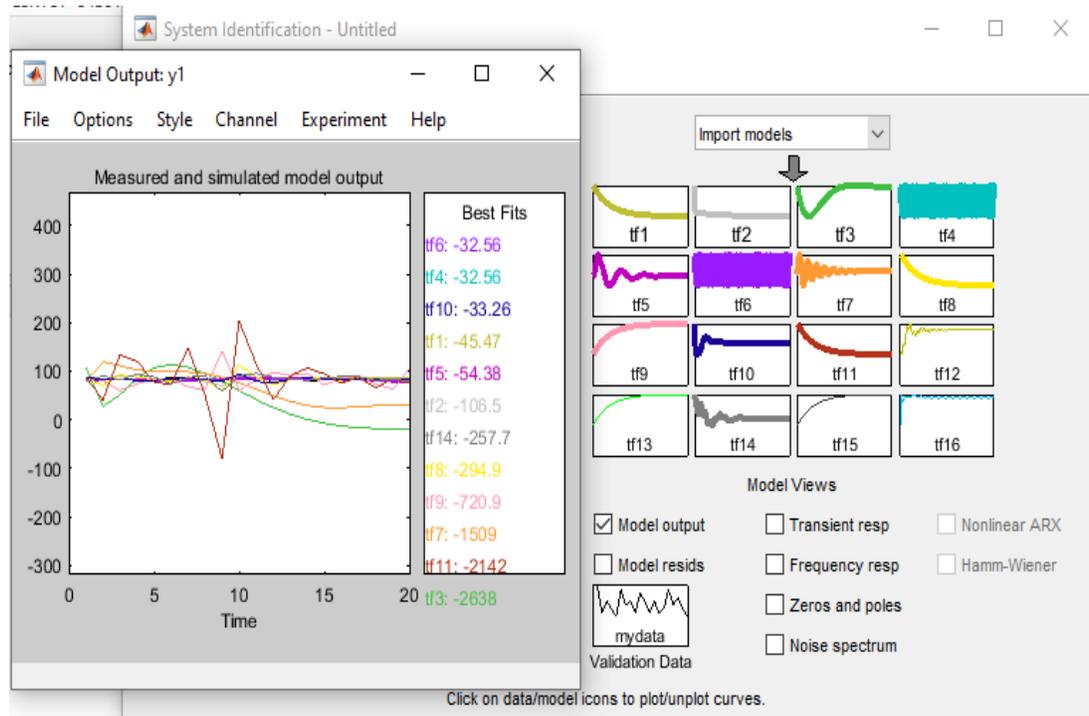
Propia)

Figura 2.14 Imagen de la estimación de los posibles modelos de la función de transferencia para la planta (Elaboración Propia)



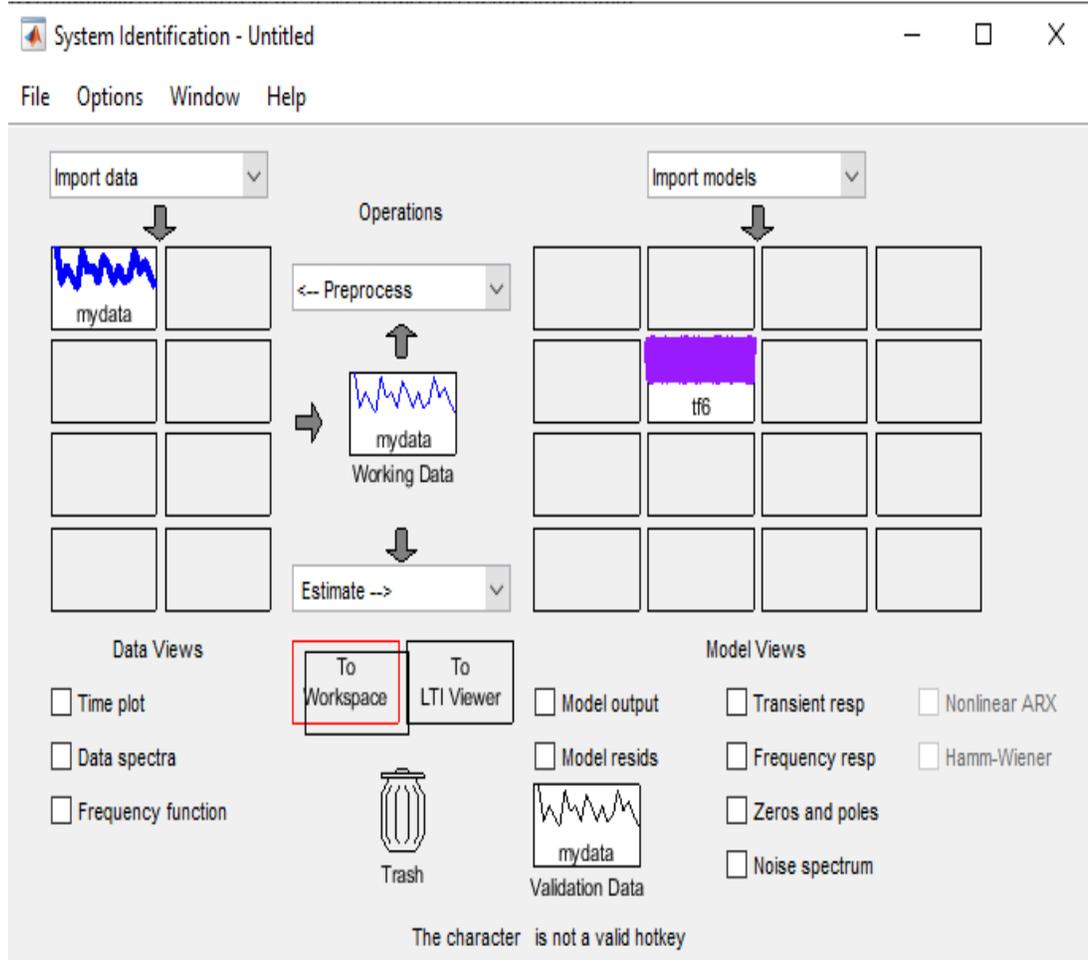
- Luego de esto, por medio de la opción modelo de salida, se muestran todos los posibles modelos de función de transferencia y el que mejor se ajusta a la planta:

Figura 2.15 Imagen de comparación de los posibles modelos de función de transferencia (Elaboración Propia)



- Llevar la función de transferencia generada, al Workspace. Después de seleccionar el modelo que más porcentaje de exactitud tenga, arrastramos dicho modelo hacia el icono a Workspace y cerramos la ventana del systemIdentification, de la siguiente forma:

Figura 2.16 Imagen de selección del modelo de función de transferencia y envío del mismo hacia el Workspace (Elaboración Propia)



Luego de ello queda generada la función de transferencia del sistema, en el caso del prototipo automatizado, es la siguiente:

Figura 2.17 Función De Transferencia de la planta frente a una entrada escalón (Elaboración Propia)

$$\frac{-0.4328 s + 0.3156}{s^4 + 0.7935 s^3 + 0.444 s^2 + 0.03434 s + 0.01735}$$

### 2.3.1.2 Determinación De Kp, Ki y Kd

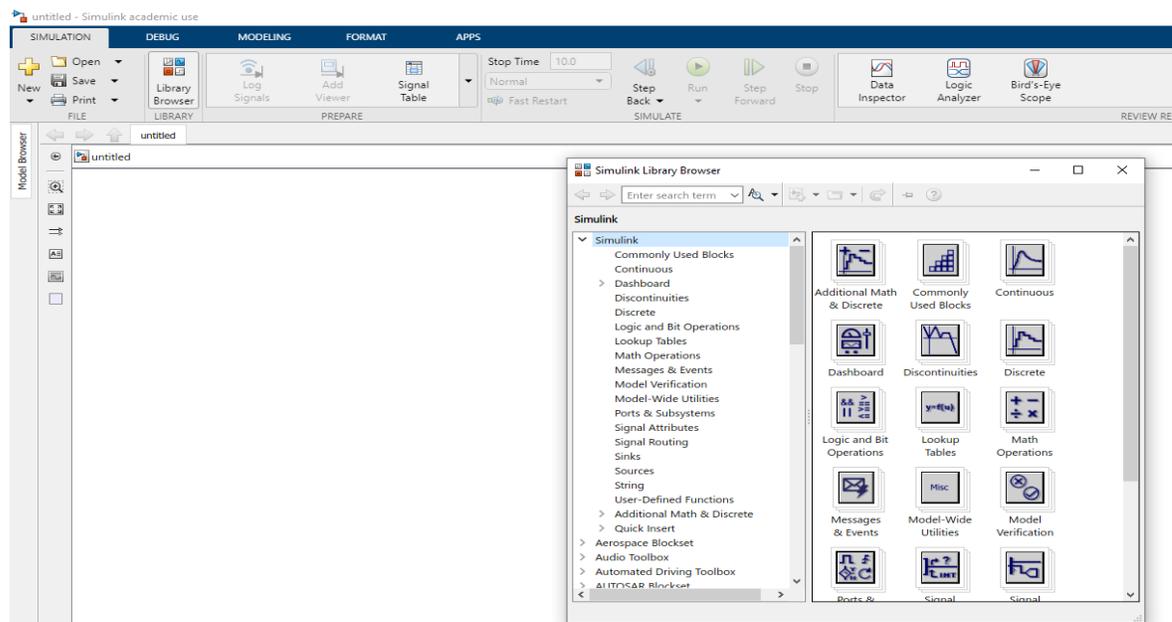
En este diagrama tenemos un control PID de temperatura, donde tenemos como variable controlada la temperatura del queso y como variable manipulada, el ángulo de apertura del servo electroválvula que nos limita el ingreso de gas a nuestro sistema. Se evidencia

que en el prototipo inicialmente, el microcontrolador Arduino es programado para recibir un voltaje pequeño, que es capturado de la termocupla tipo K y enviado al circuito integrado MAX6675, donde este se encarga de amplificar, compensar y convertir a digital el voltaje recibido por la termocupla dando facilidad de conexión con el microcontrolador. Luego el código usado en la programación PID permite visualizar en tiempo real en la pantalla LCD 16x2 la temperatura del sistema. Posteriormente el control PID con sus valores específicos de  $K_i$ ,  $K_p$  Y  $K_d$  cargados en el microcontrolador envía una señal por el puerto D3 al opto acoplador, que es el encargado de controlar la potencia de la servoelectroválvula y de esta forma realizar la adaptación de la temperatura al valor deseado, es decir el SetPoint previamente establecido, que en este caso es  $83^{\circ}\text{C}$  y  $61^{\circ}\text{C}$ .

### 2.3.1.3 Sintonización

Inicialmente se abre Simulink y se abre la ventana de librería para seleccionar los componentes a utilizarse en la simulación:

Figura 2.18 Imagen de utilización de la herramienta Simulink de MATLAB (Elaboración propia)



Lo primero que se simula es la función de transferencia de la planta, en lazo abierto, con su respectivo ploteo o gráfico:

Figura 2.19 Imagen de simulación en Simulink de la planta (Elaboración propia)

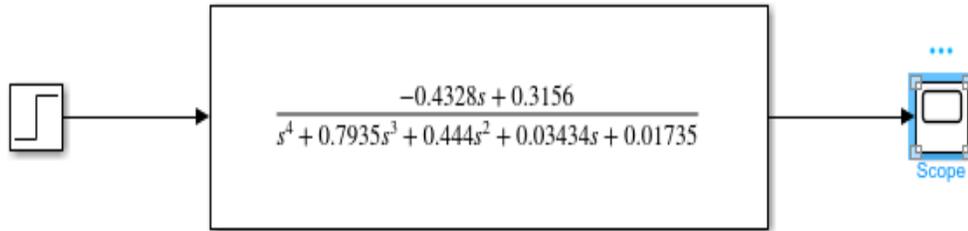
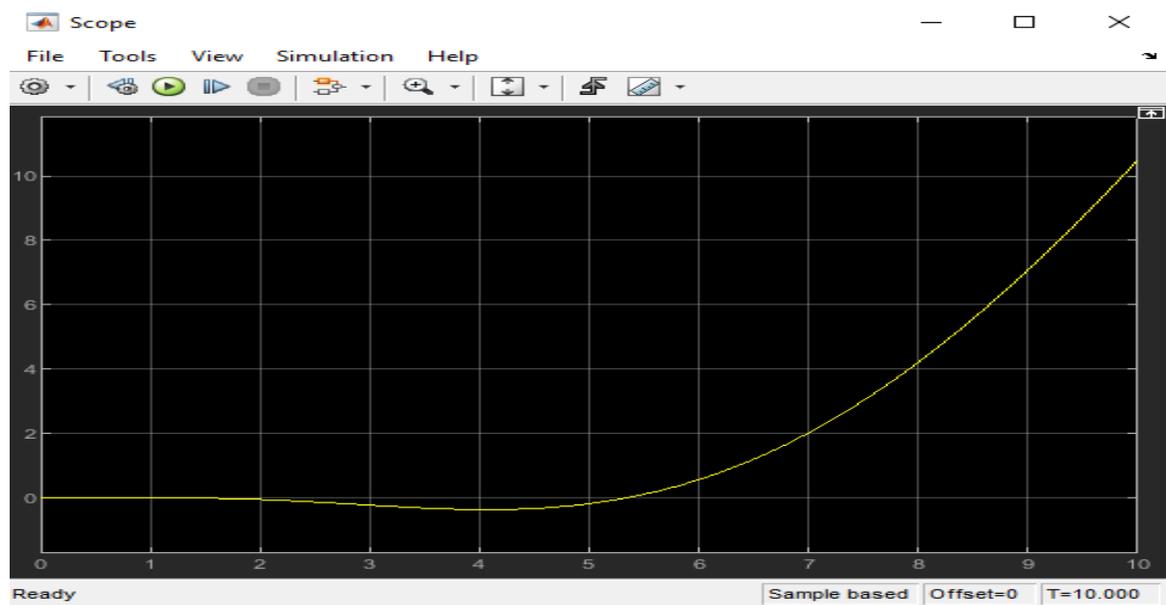
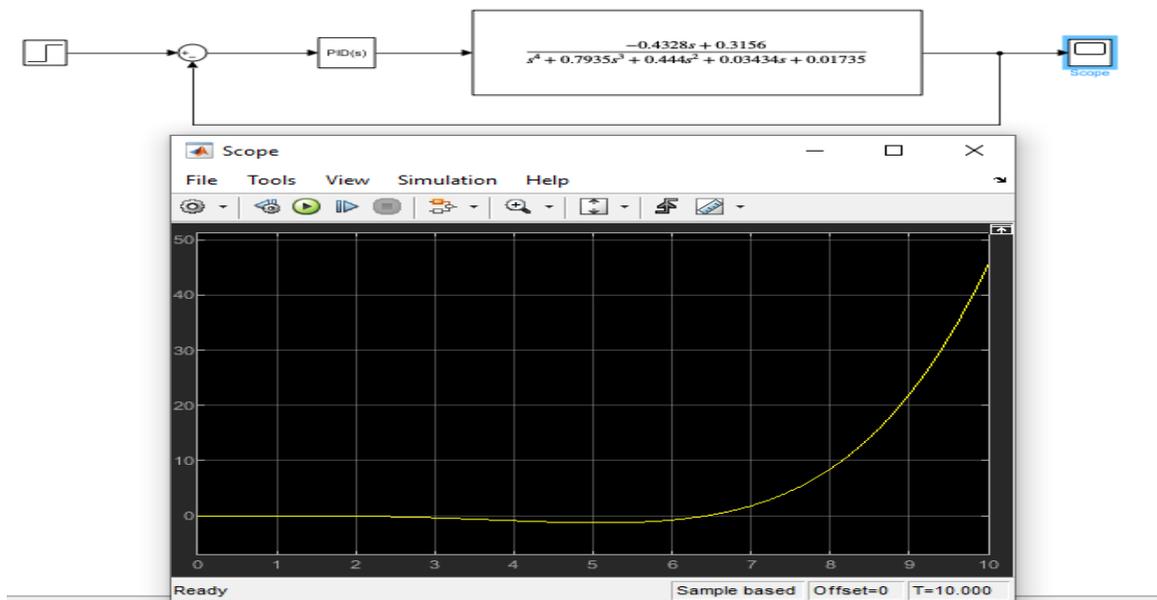


Figura 2.20 Imagen del ploteo de la simulación de la planta en Simulink (Elaboración propia)



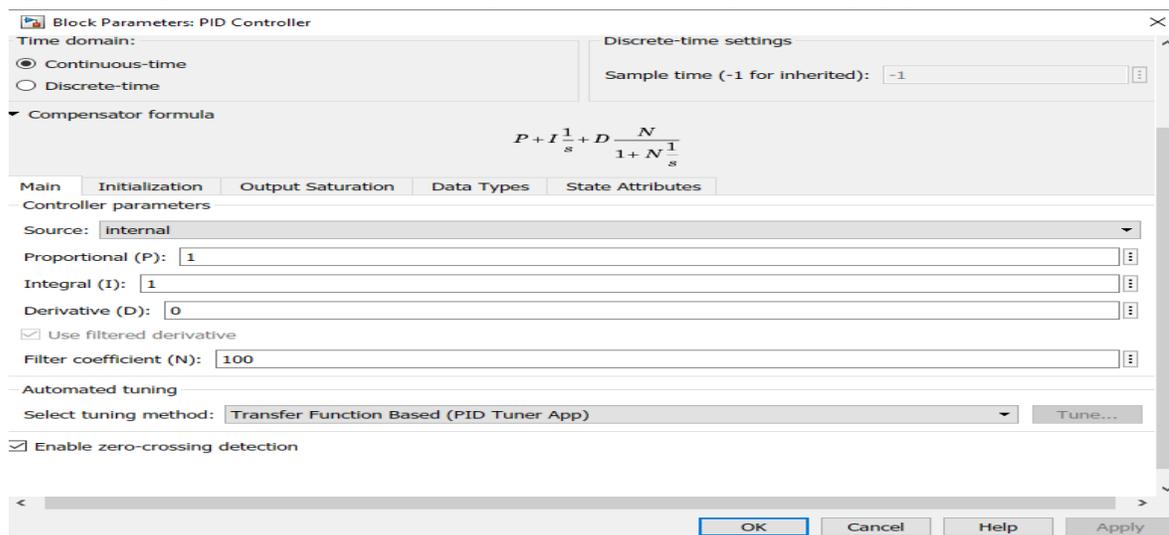
Luego de ello se hace la simulación, pero en lazo cerrado, anexándole el controlador PID y un sumador. Pero sigue conservando la misma gráfica debido a que aún no se les asigna valores a los parámetros de  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$ :

Figura 2.21 Imagen de la simulación y ploteo de la planta con el controlador, en Simulink (Elaboración propia)



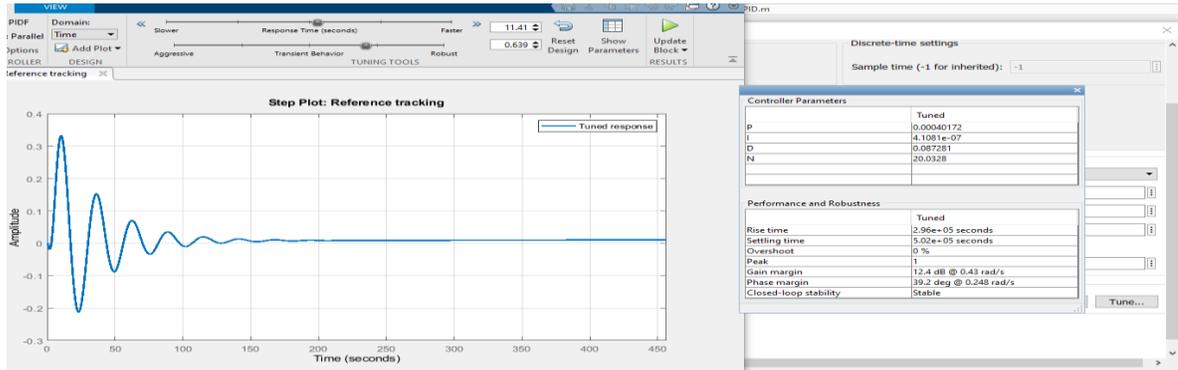
Luego de ello, por medio de la herramienta PID Tuner se hace la sintonización del PID y se obtienen los valores de  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$ . La respuesta nos muestra que gracias al control PID de temperatura logramos obtener una respuesta rápida y efectiva de mantener la temperatura deseada y con estos valores fue iniciada la programación de nuestras constantes en Arduino:

Figura 2.22 Imagen de la sintonización del sistema por medio de PID Tuner (Elaboración propia)



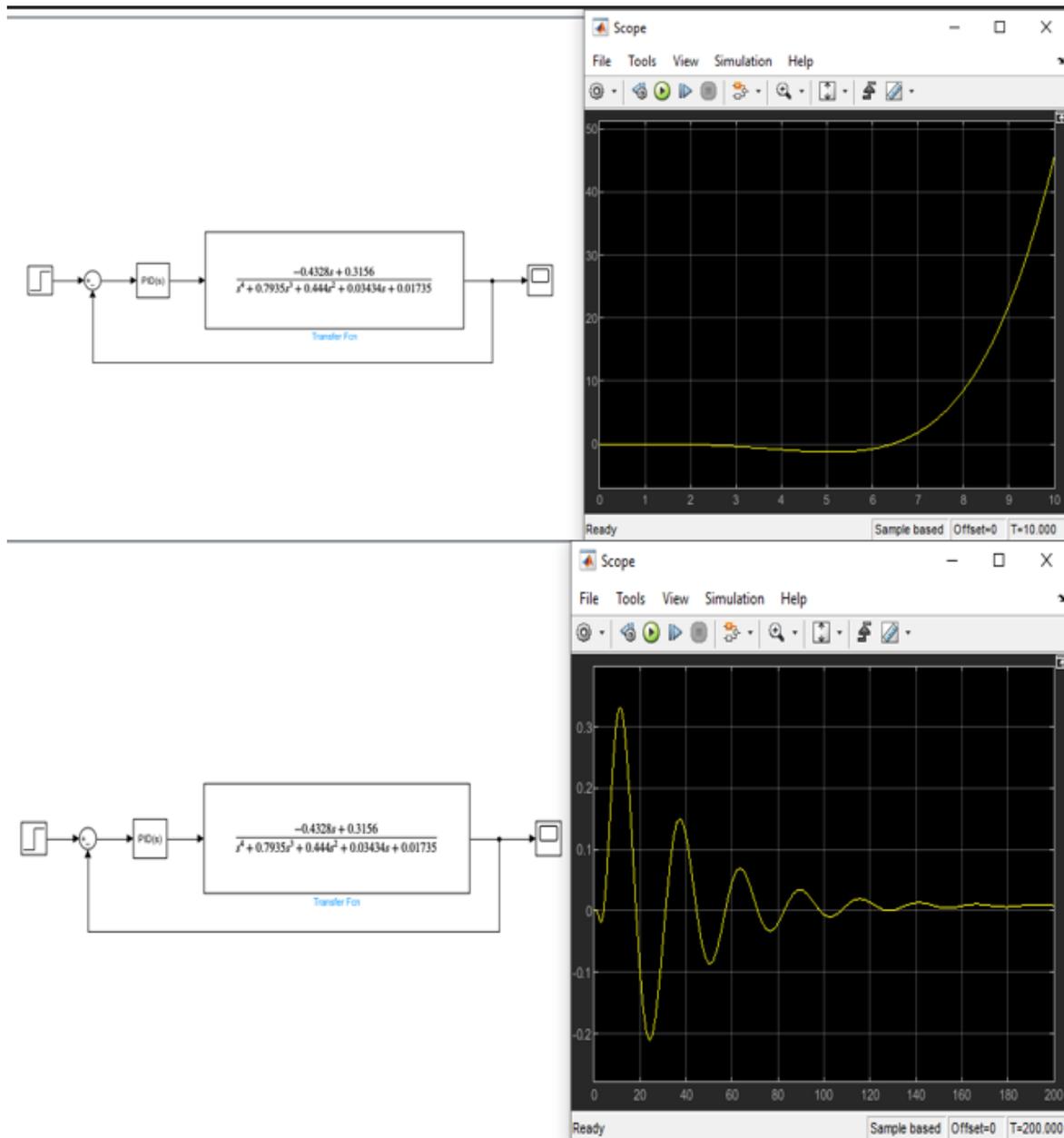
Luego de esto y de acuerdo a los parámetros de diseño de la planta, se le ajustan los parámetros del controlador PID, y se muestran para poder definirlos en la simulación del mismo; y se comparan las gráficas del sistema sin el controlador y con el controlador efectuado y con sus parámetros definidos.

Figura 2.23 Imagen del ajuste de los parámetros  $K_i$ ,  $K_p$ , y  $K_d$  del controlador por medio de PID Tuner (Elaboración propia)



Finalmente se hace una comparación del sistema con un control en lazo abierto, con la planta teniendo un control en lazo cerrado; con el fin de evidenciar que el sistema se estabiliza cuando se definen los parámetros del controlador PID:

Figura 2.24 Imagen de comparación de la respuesta del sistema sin el controlador, y el sistema con el controlador implementado, mediante la herramienta de MATLAB PID Tuner (Elaboración propia)



## **2.4 Implementación De Los Sistemas De Control En La Planta Que Incluyen Los Dos Procesos**

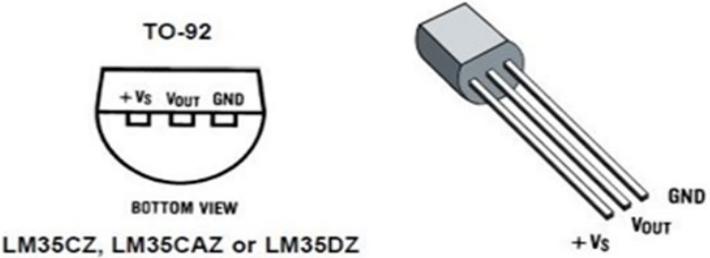
A continuación, se presenta la descripción del proceso que se llevó a cabo para seleccionar los sensores y actuadores a implementar.

### **2.4.1 Selección Del Sensor De Temperatura**

El sensor de temperatura es el mecanismo que está directamente en contacto con el producto con el que se está trabajando, que en este caso es el quesillo. Por ello para la selección del mismo se tuvo en cuenta lo siguiente: resistencia a la corrosión, comportamiento lineal, estabilidad y precio. La selección se realizó de acuerdo a las características técnicas de los sensores y a los requerimientos de las condiciones físico químicas que se presentan en el momento de la elaboración artesanal del quesillo. A continuación, se presentan algunos de los tipos de sensores empleados en proyectos en los cuales se necesita medir y controlar la temperatura.

## 2.4.1.1 Sensor LM35

Tabla 2.6 Tabla del datasheet del sensor de temperatura LM35 (Elaboración propia)

<b>DATASHEET DEL SENSOR DE TEMPERATURA LM35.</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>INFORMACIÓN DEL SENSOR</b>
Grados de calibración	Directamente en grados Celcius (°C).
Exactitud	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ a temperatura ambiente ( $25^{\circ}\text{C}$ ); y $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$ en el rango completo.
Bajo autocalentamiento	$0,08^{\circ}\text{C}$ con aire en reposo.
Linealidad	Salida de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ .
Voltaje de operación	De 4v. a 30v.
Consumo de corriente	$< 60 \mu\text{A}$ típico.
Baja impedancia de salida	$0,1 \Omega$ con carga de 1 mA.
Temperatura de operación	De $0^{\circ}\text{C}$ a $+100^{\circ}\text{C}$ .
Encapsulado	TO-92.
Imagen del sensor	 <p>TO-92</p> <p>BOTTOM VIEW</p> <p>LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ</p>

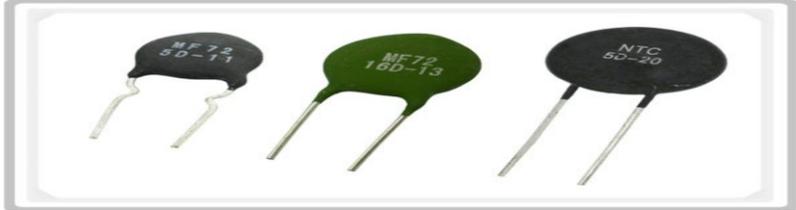
## 2.4.1.2 Sensor Termopar Tipo K

Tabla 2.7 Tabla del datasheet del sensor de temperatura Termopar Tipo K (Elaboración propia)

<b>DATASHEET DEL SENSOR DE TEMPERATURA TERMOPAR TIPO K.</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>INFORMACIÓN RELACIONADA</b>
Grados de calibración	Directamente en grados Celcius (°C).
Exactitud	De 0 a $1250 \pm 2,2^{\circ}\text{C}$ ó $\pm 0,75\%$ para grado estandar y $\pm 1,1^{\circ}\text{C}$ ó $\pm 0,4\%$ para grado especial.
Composición química conductor +	Níquel - Cromo.
Composición química conductor -	Níquel - Aluminio.
Aplicación o uso	Satisface necesidades de montaje, en atmósferas oxidantes.
Temperatura de operación	Continuo: De $0^{\circ}\text{C}$ a $+1100^{\circ}\text{C}$ ; y Puntual: De $-180^{\circ}\text{C}$ a $+1350^{\circ}\text{C}$ .
Rangos de operación máxima de termopares dependiendo del calibre AWG = (mm) del cable:	
Calibre 8= 3,25	$1260^{\circ}\text{C}$
Calibre 14= 1,63	$1090^{\circ}\text{C}$
Calibre 20= 0,81	$980^{\circ}\text{C}$
Calibre 24= 0,51	$870^{\circ}\text{C}$
Calibre 28= 0,33	$760^{\circ}\text{C}$
Imagen del sensor	

## 2.4.1.3 Sensores Termistores

Tabla 2.8 Tabla del datasheet del sensor de temperatura Termistor (Elaboración propia)

<b>DATASHEET DEL SENSOR DE TEMPERATURA TERMISTOR.</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>INFORMACIÓN RELACIONADA</b>
Grados de calibración	En grados Celcius (°C) y Fahrenheit (°F).
Exactitud	< 1% a 25°C.
Error de intercambiabilidad	0,5 % a 25°C.
Tipo de recubrimiento de protección	
Opción 1	Cápsula de goma TPE inyectada; dimensiones de 5 x 20 mm; de color negro.
Opción 2	Cápsula de acero inoxidable 304; dimensiones de 5 x 30 mm; a prueba de agua.
Tiempo de respuesta del sensor	8 segundos para cápsula de goma y 9 para la cápsula de acero inoxidable.
Rango de temperatura de operación	De - 50 a +110 °C para cápsula de goma / - 30 a +105 °C para cápsula acero inoxidable.
Grado de protección	IP68.
Aislamiento Eléctrico	> 20MΩ a 500Vcc.
Imagen del sensor	

## 2.4.1.4 Sensor Digital DS18B20

Tabla 2.9 Tabla del datasheet del sensor de temperatura Digital DS18B20 (Elaboración propia)

<b>DATASHEET DEL SENSOR DE TEMPERATURA DIGITAL DS18B20.</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>INFORMACIÓN RELACIONADA</b>
Grados de calibración	Directamente en grados Celcius (°C).
Resolución	12 bits.
Presición	± 0,5°C (± 2°C)
Valor de reinicio de encendido del registro	85°C.
Voltaje de operación	De 3v. a 5,5v.
Rango de temperatura de operación	De -55°C a 125°C
Encapsulado	TO-92-3.
Imagen del sensor	

## 2.3.1.5 Justificación De La Selección Del Sensor De Temperatura

Se tuvieron en cuenta características generales y técnicas de cada sensor y, de acuerdo a ello se compararon estos en la siguiente tabla:

Tabla 2.10 Tabla de comparación de algunas especificaciones de los sensores (Elaboración propia)

	<b>TERMISTOR</b>					<b>SENSOR DIGITAL DS18B20</b>			
	Porcentaje	Peso	Valor sensor	Ponder.		Porcentaje	Peso	Valor sensor	Ponderado
Precisión	10%	0.1	4	0.4	Precisión	10%	0.1	3	0.3
Resolución	20%	0.2	3	0.6	Resolución	20%	0.2	4	0.8
Costo	20%	0.2	4	0.8	Costo	20%	0.2	2	0.4
Acondicionam.	25%	0.25	2	0.5	Acondicionam.	25%	0.25	4	1
Calibración	25%	0.25	2	0.5	Calibración	25%	0.25	3	0.75
Total ponder.				2.8	Total ponder.				3.25
	<b>LM35</b>					<b>SENSOR TERMOPAR TIPO K</b>			
	Porcentaje	Peso	Valor sensor	Ponder.		Porcentaje	Peso	Valor sensor	Ponderado
Precisión	10%	0.1	2	0.2	Precisión	20%	0.2	4	0.8
Resolución	20%	0.2	1	0.2	Resolución	20%	0.2	4	0.8
Costo	20%	0.2	4	0.8	Costo	20%	0.2	3	0.6
Acondicionam.	25%	0.25	1	0.25	Acondicionam.	25%	0.25	4	1
Calibración	25%	0.25	1	0.25	Calibración	25%	0.25	3	0.75
Total ponder.				1.7	Total ponder.				3.95
				<b>VALOR DEL SENSOR</b>					
				4	Excelente				
				3	Bueno				
				2	Promedio				
				1	Malo				

De acuerdo al análisis de las tablas expuestas anteriormente, se puede percibir que el valor mayor de ponderado lo tiene el sensor de temperatura Termopar tipo K, ya que es óptimo en ambientes de humedad, en ambientes en los que tenga contacto directo con la estructura o elemento a tomar la temperatura, que en este caso es el queso; condiciones idóneas para justificar la elección de este sensor.

## 2.4.2 Selección Del Sensor De Distancia

Instrumento capaz de realizar la medida de la distancia lineal. Dependiendo de la configuración electrónica que se utilice o por medio de la programación, estos normalmente pueden adaptarse para que midan distancia, o como sensores de movimiento (presencia).

### 2.4.2.1 Sensor De Ultrasonido HC-SR04

Tabla 2.11 Tabla del datasheet del sensor de distancia de ultrasonido HC-SR04 (Elaboración propia)

<b><i>DATASHEET DEL SENSOR DE DISTANCIA DE ULTRASONIDO HC-SR04.</i></b>	
<b><i>CARACTERÍSTICAS</i></b>	<b><i>INFORMACIÓN DEL SENSOR</i></b>
Voltaje de trabajo	5V.
Corriente de trabajo	15mA.
Frecuencia de trabajo	15KHz.
Rango de funcionamiento	De 2 a 500 cm.
Ángulo de detección	De 15 a 20 grados.
Descripción de los pines de conexión:	
Vcc	Pin de alimentación (5V.).
Trigger	Pin de disparo. Este al ser una entrada del sensor va conectado a una salida del sistema de control.
Echo	Pin de salida del sensor que va conectado a una entrada del sistema de control.
Gnd	Pin negativo de alimentación
Imagen del sensor	

### 2.4.2.2 Sensor Infrarrojo Sharp GP2Y0A710

Tabla 2.12 Tabla del datasheet del sensor de distancia (Elaboración propia)

<b><i>DATASHEET DEL SENSOR DE DISTANCIA INFRARROJO SHARP GP2Y0A710.</i></b>	
<b><i>CARACTERÍSTICAS</i></b>	<b><i>INFORMACIÓN DEL SENSOR</i></b>
Voltaje de trabajo	5V.
Corriente de consumo	50mA.
Salida de voltaje analógico	De 1V. a 3,3V.
Rango de funcionamiento	De 100 a 550cm.
Descripción de los pines de conexión:	
Vout	Pin de salida del sensor
Gnd	Pin negativo de alimentación
Vcc	Pin de alimentación (5V.).
Imagen del sensor	

### 2.3.2.3 Sensor Con focal DT IFS2405

Tabla 2.13 Tabla del datasheet del sensor de distancia (Elaboración propia)

<b>DATASHEET DEL SENSOR DE DISTANCIA CON FOCAL DT IFS2405.</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>INFORMACIÓN DEL SENSOR</b>
Rango de medición	De 0 a 300m.
Resolución	Máx. 0.01 $\mu\text{m}$ .
Linealidad	Máx. 0.15 $\mu\text{m}$ .
Tamaño	Extremadamente pequeño y de punto constante.
Presición en uso	Alta precisión de medición, también para espejos y vidrios.
Resolución	Nano-resolución.
Imagen del sensor	

### 2.3.2.4 Sensor De Distancia Láser Opto NCDT ILR

Tabla 2.14 Tabla de comparación de algunas especificaciones de los sensores (Elaboración propia)

<b>DATASHEET DEL SENSOR DE DISTANCIA LÁSER OPTONCDTILR.</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>INFORMACIÓN DEL SENSOR</b>
Rango de medición	De 0,5 a 500m. en superficies reflectantes difusas y hasta los 3Km. con reflector.
Tipo de operación	Medición de distancia y velocidad
Calefacción integrada	Si
Instalación	Simple y rápida de instalar
Uso	Para aplicaciones de mediciones rápidas
Linealidad	Salida de $\pm 20\text{V}/\pm 60 \text{ mm}$ .
Resolución	De 1 mm.
Imagen del sensor	

### 2.3.2.5 Justificación De La Selección Del Sensor De Distancia

Se tuvieron en cuenta características generales y técnicas de cada sensor y, de acuerdo a ello se compararon estos en la siguiente tabla:

Tabla 2.15 Tabla de comparación de algunas especificaciones de sensores de distancia (Elaboración propia)

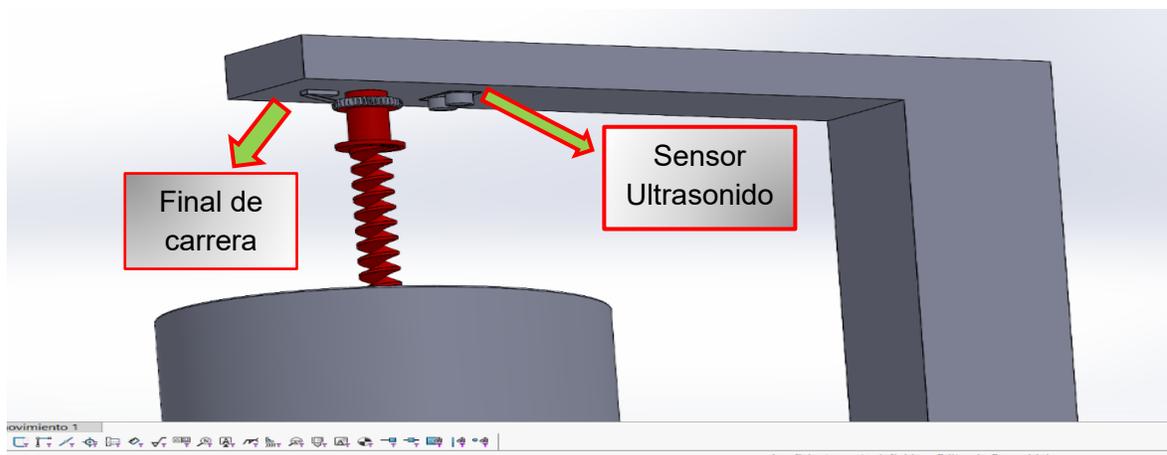
<b>DE ULTRASONIDO HC-SR04</b>					<b>INFRARROJO SHARP GP2Y0A710</b>				
	Porcentaje	Peso	Valor sensor	Ponderado		Porcentaje	Peso	Valor sensor	Ponder.
Precisión	20%	0.2	4	0.8	Precisión	20%	0.2	3	0.6
Resolución	10%	0.1	3	0.3	Resolución	10%	0.1	3	0.3
Costo	20%	0.2	4	0.8	Costo	20%	0.2	4	0.8
Acondicionam.	10%	0.1	3	0.3	Acondicionam.	10%	0.1	3	0.3
Calibración	25%	0.25	4	1	Calibración	20%	0.2	4	0.8
Total ponder.				3.2	Total ponder.				2.8
<b>CONFOCALDT IFS2405</b>					<b>DE DISTANCIA LÁSER OPTO NCDT ILR</b>				
	Porcentaje	Peso	Valor sensor	Ponderado		Porcentaje	Peso	Valor sensor	Ponder.
Precisión	20%	0.2	4	0.8	Precisión	20%	0.2	4	0.8
Resolución	10%	0.1	3	0.3	Resolución	10%	0.1	4	0.4
Costo	20%	0.2	1	0.2	Costo	20%	0.2	1	0.2
Acondicionam.	10%	0.1	4	0.4	Acondicionam.	10%	0.1	4	0.4
Calibración	20%	0.2	3	0.6	Calibración	20%	0.2	3	0.6
Total ponder.				2.3	Total ponder.				2.4
				<b>VALOR DEL SENSOR</b>					
				4	Excelente				
				3	Bueno				
				2	Promedio				
				1	Malo				

Conforme al análisis de las tablas expuestas, se puede precisar que el mayor valor ponderado lo tiene el sensor de distancia de Ultrasonido HC-SR04, debido a que es óptimo en este tipo de proyectos, además de ser la opción con excelentes especificaciones y a menor costo, comparado con el resto de sensores de este tipo; condiciones idóneas para justificar la elección de este sensor.

## 2.5 Descripción Final Del Sistema Implementado

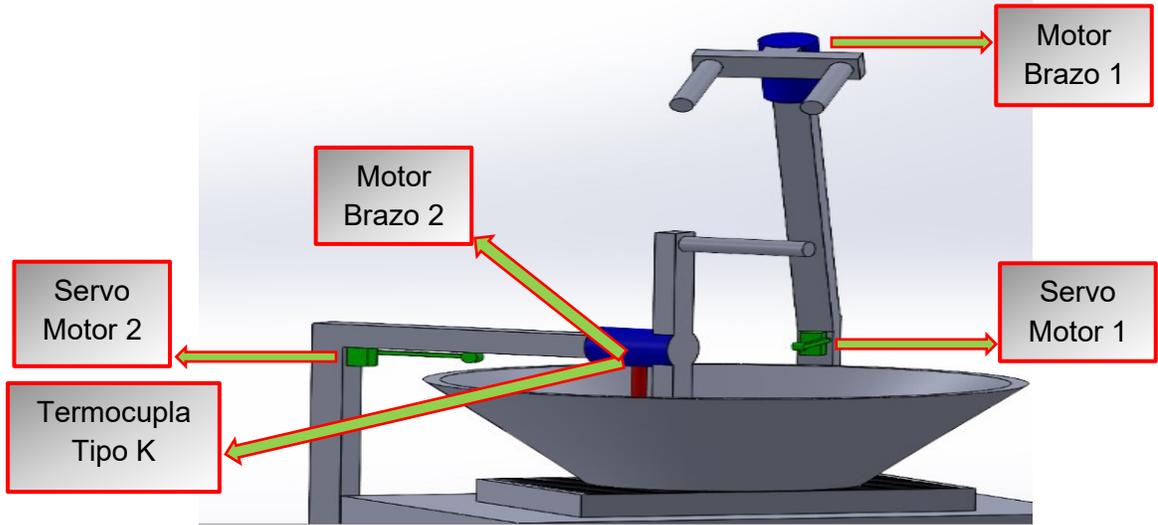
Inicialmente el prototipo funciona detectando líquido en el recipiente 1 como se muestra en la figura 2.25.

Figura 2.25 Imagen de ubicación de los sensores en la parte del recipiente 1 del prototipo, mediante el software SolidWorks (Elaboración propia)



Una vez allí el fluido empieza a correr un temporizador por un (1) minuto. Luego de corrido ese minuto suena una primera alarma que es la que indica que se le están suministrando los químicos a la leche, Luego empieza a correr un segundo temporizador por cuarenta y seis (46) minutos aproximadamente, que es lo que demora el proceso de cuajado. Después empieza a subir la rejilla encargada de realizar el proceso de separación del cuajo y el suero. Posteriormente cuando el cuajo alcanza la altura calibrada por medio del sensor de ultrasonido; esta se detiene por sesenta (60) segundos, para que el operario manualmente conduzca este cuajo al canal que comunica ambos recipientes. Luego de pasados los sesenta (60) segundos el operario oprime un botón verde; el cual indica que se prosigue al segundo proceso. Luego de esto empieza a correr un temporizador por treinta (30) segundos, para darle al operario tiempo de llevar el cuajo que quedó en el canal hacia el segundo recipiente. Luego de ello suena una segunda alarma la cual indica que debe agregársele la sal al cuajo, antes de encender el fogón. Cuando el operario termina de hacer esto oprime nuevamente el botón verde el cual indica que se continua con el proceso e inmediatamente se enciende el fogón dando inicio al control de temperatura y empieza a funcionar el brazo 1 (movimiento circular horizontal) como se muestra en la figura 2.26.

2.26 Imagen de ubicación de los sensores en la parte del recipiente 2 del prototipo, mediante el software SolidWorks



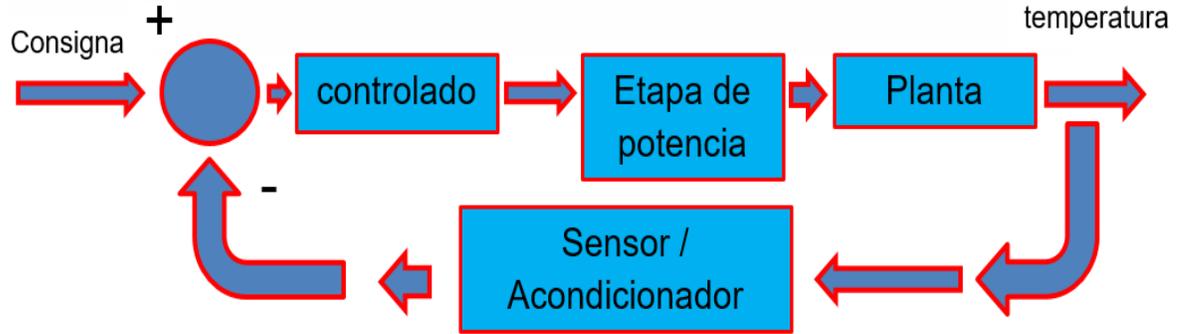
haciendo el movimiento necesario para revolver la masa y comienza a correr otro temporizador paralelamente a esto por trece (13) minutos. Luego de terminado este temporizador el brazo 1 sube para darle espacio al brazo 2 durante cinco (5) minutos y continuar la etapa de estiramiento, pasados los cinco (5) minutos el temporizador finaliza la etapa del control PID apagando el fogón e inicia un temporizador de ochenta y cinco (85) segundos donde el brazo 2 continúa su estiramiento, esta se llama etapa de enfriamiento, luego se detiene el brazo 2 y se sube para dejar el espacio libre para que el operario pueda manipular el queso luego suena una alarma final y se apaga el prototipo, lo que indica que el proceso ha terminado, y que el queso está terminado y listo para sacarlo de este recipiente y colocarlo en los respectivos moldes para dejarlo enfriar para su posterior comercialización y consumo. Dentro del componente electrónico se encuentran los diferentes materiales que se utilizaron para la instrumentación del prototipo y la cantidad de los mismos, que se usaron allí; dicho listado de materiales con sus medidas y cantidades se describe a continuación:

Tabla 2.16 Tabla de materiales utilizados en el diseño y construcción del prototipo (Elaboración propia)

<b>LISTA DE MATERIALES PARA LA REALIZACIÓN DEL PROTOTIPO</b>
Cantina de leche para 40L. (recipiente 1)
Paila en acero inoxidable (recipiente 2)
Canal hecho en acero inoxidable de 1m x 50cm y de calibre 17" (para comunicar ambos recipientes)
Bandeja o base hecha en acero inoxidable (necesaria para el proceso de filtrado)
Tornillo Sinfin hecho en acero inoxidable (implementado en el recipiente 1)
1 Motor Ac (necesario para el proceso de filtrado)
Base para ubicar el tornillo y motor hecho en hierro (externo al recipiente 1)
Brazo robótico hecho en aluminio (ya que tiene contacto directo con el rproducto)
Herramientas manuales necesairas para todo el acople del prototipo
1 Sensor de ultrasonido
1 Microcontrolador Arduino One
1 Sensor de temperatura termopar tipo K
1 Mòdulo Max 6675, 1 modulo H-bridge BTS7960
Software Matlab
Software Arduino
Cable Utp
Cautìn, estaño y crema para soldar
Desoldador
Multimetro

Dentro del componente de automatización es importante mencionar y describir brevemente los softwares electrónicos que se utilizaron para todo el diseño de las piezas y del diagrama electrónico del prototipo, además de describir el tipo de programación que se utilizó. Para el diseño de las piezas mecánicas se utilizó el programa SolidWorks, que es un software de diseño asistido por computadora, utilizado para realizar dibujos en 2D y modelado de piezas mecánicas en 3D. Para la programación del prototipo, además del desarrollo de algunas pruebas como por ejemplo la sintonización del controlador utilizado que fue un PID, se utilizaron dos softwares electrónicos los cuales son: Arduino v1.8.13 y MATLAB R2021a, de los cuales Arduino es un programa de software libre, es decir que se puede adquirir sin costo alguno es decir con licencia gratuita. Para utilizar el software MATLAB R2021a normalmente se tiene un costo licencia, es decir, se puede descargar e instalar, pero solo permite utilizar una versión de prueba gratuita por un pequeño periodo de tiempo; pero al ser estudiante de la universidad Antonio Nariño, tenemos derecho a dicha licencia sin ningún costo. En cuanto al tema de los lenguajes programación que utilizaron dichos softwares, para el desarrollo del prototipo, el lenguaje que utilizan ambos programas es un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE), es decir que utilizan un lenguaje propio de cada programa, similar al código en C++. Adicional a ello a continuación, se hace énfasis en la programación utilizada en Arduino, la cual se plasma en forma de diagrama de bloques:

Figura 2.27 Imagen del diagrama de bloques del funcionamiento de la planta (Elaboración propia)



A continuación, se plasma el manual de usuario del prototipo, en el cual se describe paso a paso la metodología que se debe tener en cuenta para su correcta utilización y funcionamiento:

Tabla 2.17 Tabla del manual del usuario del prototipo (Elaboración propia)

<b>MANUAL DE USUARIO DEL PROTOTIPO AUTOMATIZADO.</b>	
Estudiantes a cargo del proyecto: Oscar Javier Chavarro / Wilson Puentes	Nombre del proyecto: PROTOTIPO AUTOMATIZADO
Descripción de check-list	Manual para encender y utilizar de forma correcta el prototipo
Fecha de utilización del prototipo	/ /
Actividades previas, durante y posteriores a la utilización del prototipo; en la intervención de los dos (2) en la realización del quesillo artesanal.	
1) Verificar que el área de trabajo se encuentre limpia de despejada de elementos que eviten el correcto funcionamiento del prototipo.	
2) Alistar los insumos necesarios para la realización de esta labor, que en este caso son los ingredientes para realizar el quesillo.	
3) Revisar que los EPP's a utilizar en esta labor, se encuentren en perfecto estado y, de no ser así realizar el respectivo cambio.	
4) Hacer uso de los EPP's necesarios para la ejecución de esta labor.	
5) Realizar la respectiva inspección del equipo, tanto de la parte mecánica como electrónica; para descartar cualquier daño en el equipo.	
6) Realizar la respectiva desinfección del prototipo, previa a su utilización.	
7) Energizar el prototipo, conectando el cable de poder del mismo al tomacorriente más cercano al equipo.	
8) Transcurridos aproximadamente diez (10) segundos luego de energizar el equipo, proceder a encenderlo.	
9) Transcurridos nuevamente diez (10) segundos, se procede a llenar el recipiente 1 con la leche.	
10) Luego de agregarle la leche, suena una alarma la cual indica que se le deben adicionar los químicos necesarios para el proceso de cuajo.	
11) Transcurrida una (1) hora, la bandeja base del mismo recipiente empieza a subir automáticamente, realizando la separación del cuajo y el suero.	
12) Una vez el cuajo alcanza el nivel calibrado por medio de un sensor de ultrasonido, la bandeja se detiene automáticamente durante veinte (20) segundos.	
13) En el momento en que la bandeja se detiene el operario procede a desplazar el cuajo hacia el canal que comunica el recipiente 1 con el 2.	
14) Luego de transcurridos los veinte (20) el operario oprime el botón rojo, para indicar que aún queda cuajo en la bandeja y que esta suba nuevamente.	
15) Si por el contrario, ya no queda contenido de cuajo en la bandeja y el operario desea continuar al próximo proceso, oprime el botón verde.	
16) Luego de haber orpimido el botón verde el operario tiene treinta (30) segundos para llevar el cuajo que quedó en el canal hacia el recipiente 2.	
17) Transcurridos los treinta (30) segundos suena una segunda alarma, indicando que debe agregarse la sal a la masa, antes de encender el fogón.	
18) Una vez el operario termina de agregarle la sal al cuajo, oprime nuevamente el botón verde, para indicar que se debe encender el fogón.	
19) Luego de ello, se enciende el fogón al mismo tiempo que empieza a funcionar el brazo robótico, haciendo el movimiento necesario para revolver el cuajo.	
20) Transcurridos diez (10) minutos, se apaga el fogón y el brazo automáticamente empieza a revolver la masa de forma distinta a la anterior, durante cinco (5) minutos más.	
21) Luego de ello suena una última alarma la cual indica que el proceso ha terminado y después se apaga automáticamente.	
22) Seguido a ello, el operario procede a desconectar el prototipo en caso de que no se vaya a utilizar más.	
23) Después de esto el operario procede a sacar el quesillo de allí y pasarlo a otro recipiente externo al prototipo para dejarlo enfriar por un par de minutos.	
24) Finalmente el operario procede a colocar el quesillo en los respectivos moldes para que este	
25) Luego de ello el operario procede a limpiar y desinfectar el prototipo y dejar el área de	

También es importante describir cómo se realiza el mantenimiento del prototipo, el cual se menciona a continuación:

Tabla 2.18 Tabla de Check-List del mantenimiento del prototipo (Elaboración propia)

<b>LISTA DE CHEQUEO DE ACTIVIDADES A REALIZAR DURANTE LOS MANTENIMIENTOS AL PROTOTIPO AUTOMATIZADO.</b>						
Estudiantes a cargo del proyecto: Oscar Javier Chavarro / Wilson Puentes	Nombre del proyecto: PROTOTIPO AUTOMATIZADO					
Fecha de realización del mantenimiento	/ /					
Descripción de check-list	Mantenimientos a realizar al prototipo					
Tipo de mantenimiento a realizar	Preventivo( ) Correctivo( ) Predictivo( )					
Periodicidad del mantenimiento	Semanal( ) mensual( ) trimestral( ) semestral( ) anual( )					
Duración del mantenimiento						
Descripción de labor ejecutada:						
Actividades a realizar	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Desmante de todas las piezas del prototipo						
Limpieza y desinfección de las piezas						
Revisión de golpes, fisuras o grietas en los componentes mecánicos						
Revisión de daños o deterioro de componentes electrónicos en frío						
Revisión de daños o deterioro de componentes electrónicos en caliente						
<p>* Solo cuando se trate de un mantenimiento semanal, se llenan todas las casillas de los días de la semana. Cuando se trate de otro tipo de periodicidad de realización del mantenimiento, se establece previamente con el operario el día de la realización del mantenimiento y se llena solo las casillas de ese día. Además de ello, es importante aclarar que las casillas solo se llenan con una x. Para especificar lo que se le hizo al equipo, se hace en la casilla de descripción de labor ejecutada, sin importar el tipo de mantenimiento que corresponda. También es importante tener en cuenta que para realizar tanto los mantenimientos como el uso adecuado del prototipo, previamente se debe hacer una inspección del área de trabajo, de las herramientas a utilizar, y finalmente de los elementos de protección personal (EPP's) para desempeñar de forma exitosa la labor.</p>						

---

## Capítulo 3

### 3. Experimentos, Evaluación y Resultados.

En este capítulo se presenta los experimentos realizados para determinar características del quesillo elaborado con el prototipo mecánico automatizado y la evaluación y resultados de los sistemas de control diseñados e implementados para los procesos de separación entre cuajo y suero, y calentamiento y moldeo.

#### 3.1 Experimentos realizados

Los experimentos realizados en el proceso de diseño y posterior implementación del prototipo automatizado, necesario para intervenir en los procesos de separación del suero y el cuajo y, de calentamiento y estiramiento del mismo hasta obtener la consistencia ideal del quesillo artesanal, fueron los siguientes:

1- Toma de datos en el desarrollo del quesillo elaborado actualmente de forma totalmente artesanal.

2- Toma de los mismos datos obtenidos anteriormente, pero esta vez sobre el sistema utilizando el prototipo automatizado.

- 1- Para realizar la toma de dichos datos se desarrolló una tabla descriptiva con toda la información recopilada necesaria para el diseño e implementación del prototipo automatizado, en la elaboración del quesillo artesanal, toda esta información compendiada durante el proceso de elaboración del quesillo de forma totalmente artesanal, en la empresa quesillera. Todos estos datos recopilados allí se evidenciaron en la tabla descrita en la sección de Parámetros y mediciones de los dos (2) procesos intervenidos, como se evidencia en la figura 3.1.

Figura 3.1 Imágenes de toma de datos con el desarrollo totalmente artesanal (Elaboración propia)



- 2- Se realizó el mismo procedimiento que en el experimento anterior, pero aplicado al sistema utilizando el prototipo automatizado, para verificar la eficacia de su funcionamiento; del cual se registró evidencia por medio de la tabla que se encuentra en la sección de Parámetros y mediciones de los dos procesos intervenidos y en siguientes las fotografías:

En la figura 3.2, se evidencia el prototipo antes de ingresar la leche al primer recipiente, listo para empezar el proceso.

Figura 3.2 Imagen del prototipo antes de ingresar la leche (Elaboración propia)



En la figura 3.3, se encuentra el cuajo listo para hacer la separación, donde inicia el proceso el tornillo sin fin hasta llegar a la parte superior de la plataforma.

Figura 3.3 Imagen de cuajo listo para el proceso de separación entre este y el suero (Elaboración propia)



En figura 3.4, se muestra la plataforma o el disco en la mitad de la separación a punto de ser detectada por el sensor de ultrasonido donde se detiene.

Figura 3.4 Imagen cuajo en el proceso de separación (Elaboración propia)



A continuación, se muestra la imagen donde el sensor detecta que la plataforma está en su punto exacto para sonar la alarma donde el operario llega para trasladar el cuajo al siguiente proceso.

Figura 3.5 Imagen del cuajo ya filtrado, a punto de trasladarse al recipiente 2 (Elaboración propia)



En esta imagen se muestra que el traslado del cuajo al recipiente de moldeo:

Figura 3.6 Imagen del cuajo trasladado al recipiente 2 (Elaboración propia)



En este punto empieza el primer brazo a realizar el trabajo de revolver el cuajo durante el tiempo programado:

Figura 3.7 Imagen del brazo 1 haciendo el moldeo del quesillo (Elaboración propia)



Luego de ello, el brazo uno termina su trabajo dando espacio para que ingrese el brazo 2 y empezar el estiramiento.

Figura 3.8 Imagen del brazo 2 haciendo el moldeo del quesillo (Elaboración propia)



## 3.2 Evaluación

Para realizar la evaluación del sistema implementado con el prototipo automatizado; se hizo una comparación entre ambos procesos de elaboración artesanal del quesillo, donde se cotejaron algunos datos en una lista de chequeo para evaluar el producto final. Dicha lista de chequeo contiene: Comparación de la sensación olfato-gustativa, obtenida a partir de pruebas de olfato y gusto, que realizaron tanto productores como consumidores del producto terminado (quesillo), elaborado actualmente de forma totalmente artesanal, comparado con el elaborado a partir de la automatización de estos procesos; prueba de la viscoelasticidad al producto final, comparando dicho parámetro en el quesillo actual, con el elaborado con el prototipo automatizado; y medición del pH tanto del quesillo elaborado actualmente de forma totalmente artesanal, comparado elaborado con el prototipo automatizado. Dichas pruebas y mediciones se evidencian en la siguiente lista de chequeo de la comparación entre ambos sistemas o formas de elaboración artesanal del quesillo:

Tabla 3.1 Tabla de Check-List de evaluación al prototipo (Elaboración propia)

<b>LISTA DE CHEQUEO DE EVALUACIÓN DEL PROTOTIPO AUTOMATIZADO.</b>						
Estudiantes a cargo del proyecto: Oscar Javier Chavarro / Wilson Puentes	Nombre del proyecto: PROTOTIPO AUTOMATIZADO					
Descripción de check-list	Evaluar el sistema implementado mediante el prototipo automatizado					
Periodo de la evaluación	del 21 al 26 de Junio					
Parámetros de evaluación para el quesillo elaborado de forma totalmente artesanal:	21-jun	22-jun	23-jun	24-jun	25-jun	26-jun
Nivel de pH del producto	6,5	6,7	6,5	6,5	6,8	6,7
Parámetros de evaluación para el quesillo elaborado mediante el prototipo:	21-jun	22-jun	23-jun	24-jun	25-jun	26-jun
Nivel de pH del producto	6,9	6,9	6,5	6,7	6,8	6,6
<p>* Es importante aclarar que a diario se producen dos (2) tandas o lotes de quesillo, por lo tanto para poder realizar 6 evaluaciones al producto, realizado de ambas formas, fueron necesarios seis (6) días para realizar esta labor, debido a que en un (1) día se alcanzaba a realizar una evaluación a un lote de quesillo hecho por medio del prototipo, y a un lote realizado de forma totalmente artesanal. El nivel ideal del pH para el quesillo debe estar entre 6,4 y 6,9.</p>						

### 3.3 Resultados

Se tiene como resultado final, el desarrollo de un prototipo automatizado funcional, capaz de realizar el proceso de separación entre el cuajo y el suero sin la intervención porcentual de un operario; posteriormente realizar el proceso de estiramiento del quesillo para tener la textura exacta y control de temperatura en dos fases, una moldeo y otra enfriamiento; el cual se cumplió satisfactoriamente con un control PID para lograr obtener la temperatura deseada en cada caso, dando al final un producto con estándares de higiene muy altos, una disminución del esfuerzo físico del operario y manteniendo el delicioso sabor y textura que nos deja el delicioso quesillo de nuestra región.

Estos resultados se evidencian por medio de las siguientes tablas, donde se hace una comparación entre ambas formas de realización artesanal del quesillo, es decir: de forma totalmente manual, y por medio del prototipo automatizado. En estas tablas comparativas se analizaron parámetros importantes para demostrar que el producto final hecho por medio del prototipo cuenta con las mismas características del hecho de forma manual. Dichos parámetros son: Elasticidad del quesillo al final del proceso; peso del producto antes, durante y después de la realización del proceso; y tiempos de duración de cada subproceso, realizándolo de ambas maneras. Además de una tabla de tiempos de funcionamiento de los tres (3) motores Dc., utilizados en el prototipo; para verificar la calibración de los mismos por medio del control de velocidad implementado.

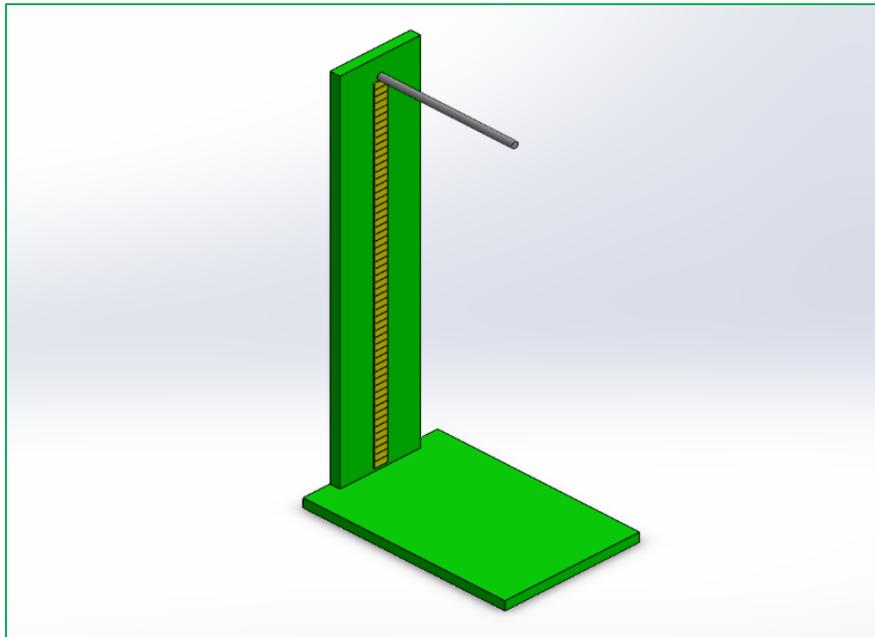
Tabla 3.2 Tabla de la prueba de elasticidad del quesillo hecho de ambas maneras (Elaboración propia)

<b>PRUEBA DE ELASTICIDAD DEL QUESILLO HECHO DE FORMA</b>				<b>PRUEBA DE ELASTICIDAD DEL QUESILLO HECHO POR MEDIO DEL</b>			
MUESTRA	PESO (gr.)	TIEMPO (seg.)	DISTANCIA (cm.)	MUESTRA	PESO (gr.)	TIEMPO (seg.)	DISTANCIA (cm.)
1	100	20,93	56	1	100	13,03	56
2	100	13,16	56	2	100	13,21	56
3	100	16,22	56	3	100	20,92	56
4	100	16,52	56	4	100	14,81	56
5	100	23,95	56	5	100	13,89	56
6	100	20,22	56	6	100	19,56	56
7	100	19,81	56	7	100	13,92	56
8	100	13,92	56	8	100	17,67	56
9	100	20,11	56	9	100	19,24	56
10	100	22,21	56	10	100	18,75	56
11	100	13,25	56	11	100	13,16	56
12	100	23,82	56	12	100	18,54	56
13	100	14,82	56	13	100	13,31	56
14	100	22,51	56	14	100	16,42	56
15	100	14,77	56	15	100	13,77	56
16	100	19,12	56	16	100	13,48	56
17	100	14,85	56	17	100	15,38	56
18	100	14,12	56	18	100	20,25	56

	Hecho de forma artesanal	Hecho por medio del prototipo
VARIANZA	12,426925	7,89775

Según el estudio realizado para poder generar resultados medibles era necesario un dispositivo llamado medidor de elasticidad QX-1020, el cual no se logró conseguir en el mercado, por esta razón se decide realizar un dispositivo propio (ver figura 3.11) lográndose tomar los datos que muestra la (tabla 3.2), se toma unos datos específicos como el peso(gr), tiempo(seg.) y Distancia(cm). El dispositivo funciona poniendo un peso de 100 gramos en la varilla de aluminio del quesillo finalizado y se toma el tiempo que tarda en llegar a la base de la plataforma que mide exactamente 56 centímetros, de esta manera se contó con valores en tiempo, que fueron usados para realizar las mediciones del proceso totalmente artesanal y de igual forma se realizó el proceso con los valores de la tabla con el prototipo automatizado.

Figura 3.9 Imagen de dispositivo para medir la elasticidad del queso (Elaboración propia)



Se adjuntan imágenes donde se evidencia la obtención de los parámetros en ambos procesos. (ver figura 3.11)

Figura 3.10 Imagen de medición de la elasticidad por medio del dispositivo mencionado anteriormente (Elaboración propia)



Tabla 3.3 Tabla de verificación de otros parámetros del quesillo hecho de forma manual (Elaboración propia)

<b>VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS DEL QUESILLO HECHO DE FORMA ARTESANAL</b>															
	<b>ETAPA 1</b>				<b>ETAPA 2</b>				<b>ETAPA 3</b>			<b>ETAPA 4</b>			
	<b>SEPARACIÓN</b>			<b>MOLDEO 1</b>				<b>MOLDEO 2</b>			<b>ENFRIAMIENTO</b>				
	(L.)	(Min.)		(Kg.)	(°C)	(Min.)		(°C)	(Min.)		(°C)	(Min.)		(Kg.)	
		Inicio	Fin			Inicio	Fin		Inicio	Apag.	Fin		Inicio	Fin	
<b>1</b>	100	10:35	11:12	15,8	36	11:18	11:28	88	11:28	11:39	11:42	62	11:43	11:44	14,9
<b>2</b>	100	10:45	11:44	15,1	35	11:49	12:00	81	12:00	12:11	12:13	62	12:14	12:15	13,4
<b>3</b>	100	11:00	11:30	16	37	11:40	12:00	84	12:00	12:06	12:08	60	12:09	12:10	15
<b>4</b>	100	12:10	12:15	15	35	12:15	12:28	82	12:28	12:31	12:34	62	12:35	12:36	13,6
<b>5</b>	100	12:38	12:40	14,8	36	12:42	12:56	80	12:56	12:58	1:00	61	1:01	1:02	12,8
<b>6</b>	80	10:54	11:24	11	35	11:24	11:36	87	11:36	11:40	11:44	62	11:45	11:47	11,4
<b>7</b>	80	10:59	11:50	12	37	11:54	12:08	83	12:08	12:11	12:16	61	12:17	12:19	11
<b>8</b>	100	10:40	11:33	13,5	35	11:36	11:49	84	11:49	11:49	11:50	60	11:51	11:52	13,2
<b>9</b>	100	10:50	11:43	14,2	36	11:47	12:02	81	12:02	12:14	12:17	62	12:18	12:20	13,3
<b>10</b>	100	11:00	11:52	13,6	37	11:55	12:03	86	12:03	12:08	12:11	61	12:12	12:13	12,8
<b>11</b>	80	10:56	11:37	14,3	36	11:40	11:54	84	11:54	11:56	11:57	60	11:58	11:59	13,4
<b>12</b>	80	11:09	12:05	13,3	35	12:07	12:18	81	12:18	12:23	12:24	62	12:25	12:26	12,5
<b>13</b>	80	10:40	11:48	14,2	37	11:52	12:02	84	12:02	12:07	12:10	60	12:11	12:13	13
<b>14</b>	80	10:30	11:17	14	35	11:20	11:33	81	11:33	11:37	11:40	62	11:40	11:41	12,8
<b>15</b>	40	10:58	11:38	5,6	36	11:38	11:48	82	11:48	11:51	11:53	60	11:54	11:55	5,1
<b>16</b>	62	11:20	11:57	9,6	37	11:59	12:16	87	12:16	12:20	12:22	62	12:23	12:24	5,4
<b>17</b>	100	10:40	11:39	13,8	37	11:40	11:54	83	11:54	12:57	12:00	61	12:02	12:03	13
<b>18</b>	100	10:50	12:06	14,1	36	12:10	12:25	85	12:25	12:29	12:32	62	12:33	12:34	12,4
<b>19</b>	100	10:35	11:15	15,5	36	11:17	11:27	82	11:27	11:30	11:32	61	11:31	11:33	14,6
<b>20</b>	100	10:45	11:45	14,8	37	11:50	12:05	80	12:05	12:09	12:12	60	12:12	12:13	13,9

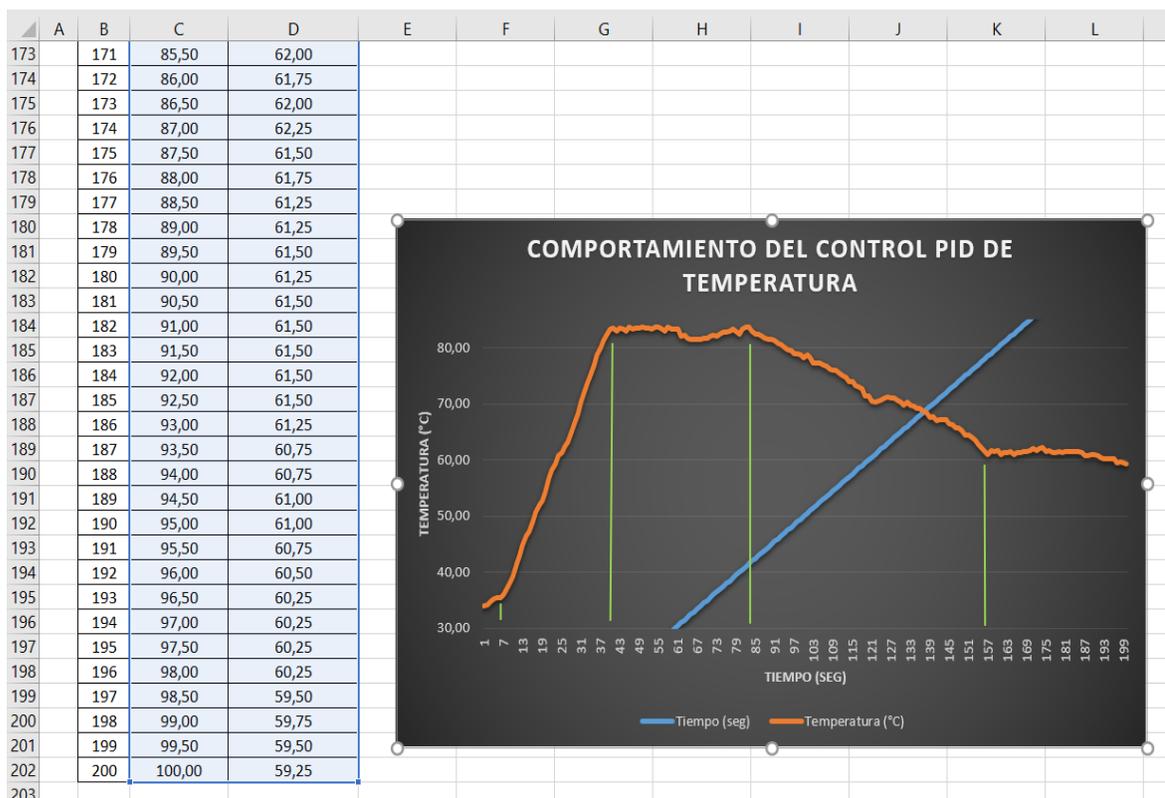
En la tabla 3.3 se plasmaron los datos de las mediciones y parámetros obtenidos para 20 lotes de quesillo realizados de forma totalmente artesanal, donde se analizaron tiempos de realización de las actividades, pesos en diferentes instantes de tiempo y finalmente las temperaturas del producto en diferentes instantes de tiempo y con ello ajustar el control de temperatura evidenciando la velocidad de respuesta del mismo, utilizado en la realización del quesillo en el prototipo.

Tabla 3.4 Tabla de verificación de otros parámetros del queso hecho con el prototipo (Elaboración propia)

<b>VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS DEL QUESILLO HECHO CON EL PROTOTIPO AUTOMATIZADO</b>															
	<b>ETAPA 1</b>				<b>ETAPA 2</b>				<b>ETAPA 3</b>				<b>ETAPA 4</b>		
	<b>SEPARACIÓN</b>			<b>MOLDEO 1</b>				<b>MOLDEO 2</b>			<b>ENFRIAMIENTO</b>				
	(L.)	(Min.)		(Kg.)	(°C)	(Min.)		(°C)	(Min.)			(°C)	(Min.)		(Kg.)
		Inicio	Fin			Inicio	Fin		Inicio	Apag.	Fin		Inicio	Fin	
<b>1</b>	40	10:00	10:46	5,8	36	10:49	11:04	83	11:10	11:15	11:20	61	11:20	11:22	5,3
<b>2</b>	40	10:05	10:51	5,2	36	10:54	11:09	83	11:15	11:20	11:25	61	11:25	11:27	4,7
<b>3</b>	40	10:00	10:46	5	37	10:49	11:03	83	11:09	11:14	11:19	61	11:19	11:21	4,5
<b>4</b>	40	10:02	10:48	5,3	38	10:51	11:05	83	11:11	11:16	11:21	61	11:21	11:23	4,8
<b>5</b>	40	10:30	11:16	5	36	11:19	11:33	83	11:39	11:44	11:49	61	11:49	11:51	4,5
<b>6</b>	40	10:15	11:01	5	38	11:04	11:18	83	11:24	11:29	11:34	61	11:34	11:36	4,5
<b>7</b>	40	10:00	10:46	5,3	36	10:49	11:03	83	11:09	11:14	11:19	61	11:19	11:21	4,8
<b>8</b>	40	10:05	10:51	5,6	36	10:54	11:07	83	11:14	11:19	11:24	61	11:24	11:26	5,1
<b>9</b>	40	10:02	10:48	5,8	37	10:51	11:05	83	11:11	11:16	11:21	61	11:21	11:23	5,3
<b>10</b>	40	10:00	10:46	5,6	38	10:49	11:03	83	11:09	11:14	11:19	61	11:19	11:21	5,1
<b>11</b>	40	10:20	11:06	5	36	11:09	11:23	83	11:29	11:34	11:39	61	11:39	11:41	4,5
<b>12</b>	40	10:00	10:46	5,7	36	10:49	11:03	83	11:09	11:14	11:19	61	11:19	11:21	5,2
<b>13</b>	40	10:01	10:47	5,2	37	10:50	11:04	83	11:10	11:15	11:20	61	11:20	11:22	4,7
<b>14</b>	40	10:10	10:56	5,5	38	10:59	11:13	83	11:19	11:24	11:29	61	11:29	11:31	5
<b>15</b>	40	10:00	10:46	5	36	10:49	11:03	83	11:09	11:14	11:19	61	11:19	11:21	4,5
<b>16</b>	40	10:30	11:16	5	36	11:19	11:33	83	11:39	11:44	11:49	61	11:49	11:51	4,5
<b>17</b>	40	10:25	11:11	5,4	35	11:14	11:28	83	11:34	11:39	11:44	61	11:44	11:46	4,9
<b>18</b>	40	10:00	10:46	5,1	36	10:49	11:03	83	11:09	11:14	11:19	61	11:19	11:21	4,6
<b>19</b>	40	10:00	10:46	5,8	38	10:49	11:03	83	11:09	11:14	11:19	61	11:19	11:21	5,3
<b>20</b>	40	10:05	10:46	5,2	37	10:49	11:03	83	11:09	11:14	11:19	61	11:19	11:21	5,7

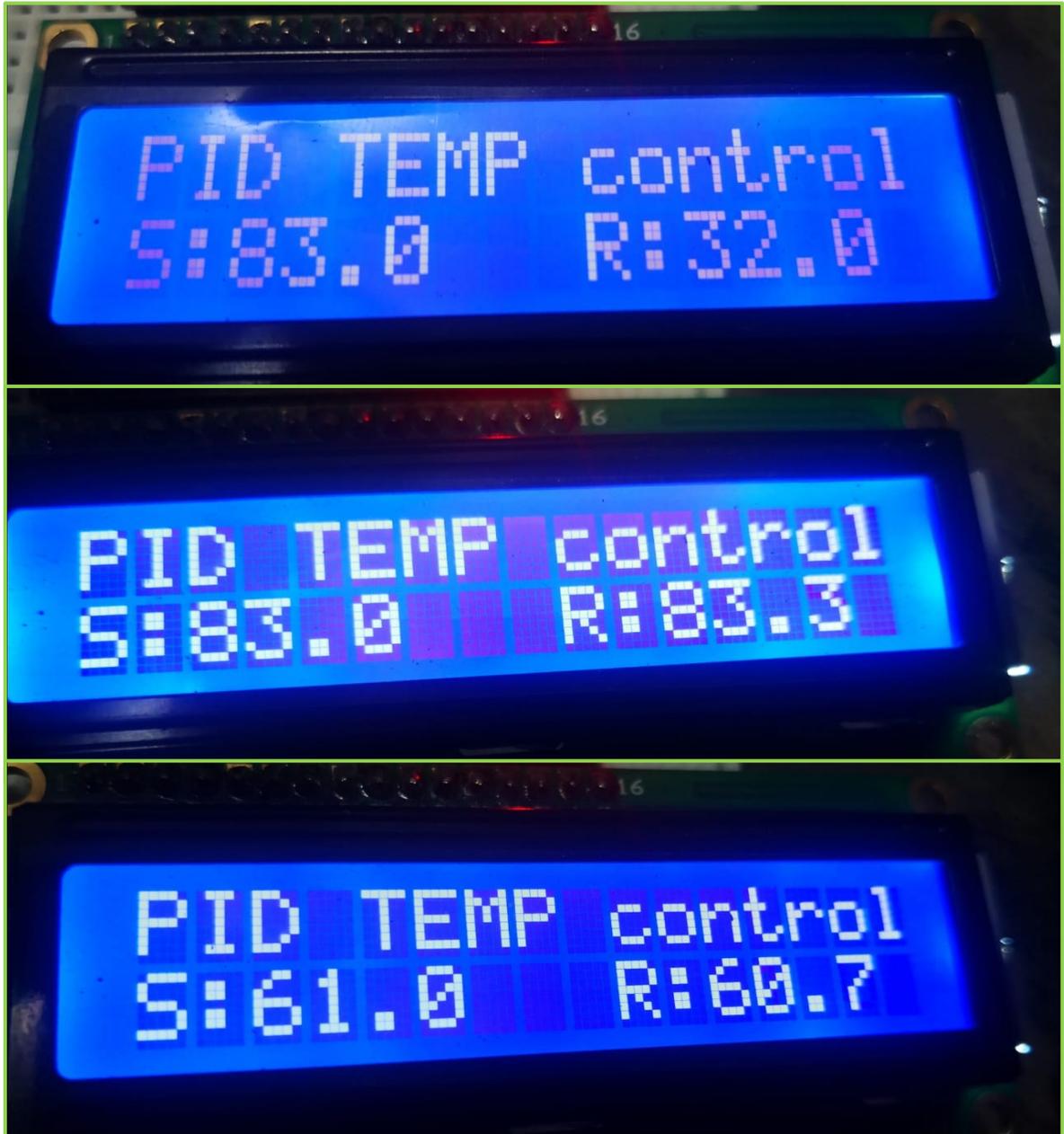
En la tabla 3.4 se plasmaron los datos de las mediciones y parámetros obtenidos para 20 lotes de queso realizados por medio del prototipo, donde se reflejó el control de temperatura implementado allí, mediante los siguientes parámetros obtenidos allí: pesos en diferentes instantes de tiempo y finalmente las temperaturas del producto en diferentes instantes de tiempo.

Figura 3.11 Imagen comportamiento del control PID de temperatura del prototipo (Elaboración propia)



Se realizó una prueba especial para determinar la efectividad del control PID de temperatura cada 500 milisegundo por muestra, programando los 2 SetPoint, el primero de 83°C como se muestra en la figura 3.13 donde tuvo un retardo de 15 segundos, luego se mantuvo allí 23.5 segundo para ver su comportamiento y se mantuvo en un rango entre 81.5°C y 83.75°C (ver figura 3.13), esta amplitud es razonable debido a que el queso siempre se encuentra en movimiento y tiene unos cambios bruscos, el segundo SetPoint debe disminuir a 61°C (ver figura 3.13) donde tuvo un retardo de 36.5 segundos, posteriormente se deja 21.5 segundos más para ver su comportamiento y se mantuvo en un rango entre 59.25°C y 62°C que es muy bueno para el funcionamiento de la planta.

Figura 3.12 Imagen evidencia de control PID de temperatura (Elaboración propia)



## Capítulo 4

### 4. Conclusiones y Recomendaciones

#### 4.1 Conclusiones

- 1) Se obtuvieron los parámetros y datos de medición de ambos procesos en la elaboración de quesillo artesanal; tales como tiempos de inicio y finalización de cada una de ellas, temperaturas específicas que permitieron la programación del Timer y el control PID,
- 2) Se logró realizar la caracterización de la planta, es decir se definieron propiedades de gran importancia en el proyecto como: material de construcción de prototipo, y selección del microcontrolador que se utilizó en el sistema.
- 3) El diseño del control de velocidad permitió que el proceso de separación del cuajo se realizará en el tiempo especificado para ellos el cual fue de 3 minutos, y además de ello el diseño del control de temperatura consiguió que la misma permaneciera constante entre 61°C y 83°C respectivamente, tal como se esperaba.
- 4) Se implementaron los sistemas de control en la planta, realizando la selección del sensor de temperatura y de distancia utilizados en el prototipo, además de realizar tablas recopilando información como: materiales utilizados en la construcción del prototipo, manual de usuario de la máquina y finalmente una lista de chequeo para poder realizar futuros mantenimientos a la misma.
- 5) Se evaluó el funcionamiento del sistema implementado, donde se evidenció que el rango de elasticidad del quesillo producido se encuentra dentro de los valores aceptables para el mismo, presentándose una menor varianza por lo que se concluye que esta característica es más estable en el prototipo, que en la elaboración artesanal del mismo. Además de otros parámetros como alcance del SetPoint, control real de la temperatura, sensación olfato-gustativa por parte tanto de productores como de consumidores del producto terminado, y medición del pH tanto del quesillo elaborado de ambas formas.

## 4.2 Recomendaciones

1) Si se le desea implementar alimentación interna, es decir sin necesidad de conexión a la red, se puede establecer mediante conexión directa a un panel solar que se encuentre ubicado fuera del predio, la cual suministre la energía necesaria para el funcionamiento del prototipo.

2) Para hacer más interactivo el control de temperatura del sistema entre otros, se puede editar el código fuente para poder editar manualmente el valor de referencia de la temperatura a través de un teclado matricial de una Laptop o un Smartphone, mediante conexión vía Bluetooth al microcontrolador del sistema.

3) Se puede implementar un sistema similar al de una báscula digital al interior de los recipientes del prototipo, y adicional a ello una pantalla LCD donde se visualice el peso de la masa (quesillo) en tiempo real, al iniciar y terminar ambos procesos que se intervienen.

4) Si se desea monitorear y manipular remotamente el sistema desarrollado con el prototipo automatizado, se puede editar el código y establecer algún tipo de dispositivo que permita la conexión vía Wi-Fi del microcontrolador, con un servidor o plataforma de IoT, para poder visualizar en tiempo real y editar cualquier parámetro por medio de alguna aplicación instalada en un dispositivo móvil, y alguna plataforma como ThingSpeak.

5) Se puede rediseñar para implementarlo en la elaboración de arequipe, editando parte del código y usando parte de mismo; debido a que este procedimiento es muy similar al de la elaboración del quesillo. Lo que se necesita hacer es editar el código y ajustar físicamente partes del prototipo para utilizarlo en este tipo de productos.

6) Se podría anexar al prototipo, otro brazo robótico pero elevado y que se mueva horizontalmente junto con la programación del mismo, incluyéndola en el código del microcontrolador. Esto con el fin de que este realice la función del operario, es decir llevar la masa (cuajo) del recipiente 1 al recipiente 2 por medio del canal que conecta ambos recipientes.

## Anexos

### Anexo A: Esquema Mecánico Del Brazo Robótico Diseñado En SolidWorks

A continuación, se presenta el esquema del prototipo diseñado en SolidWorks, el cual se va a implementar totalmente automatizado, para realizar la intervención en los dos procesos mencionados anteriormente en la elaboración del queso de forma artesanal.

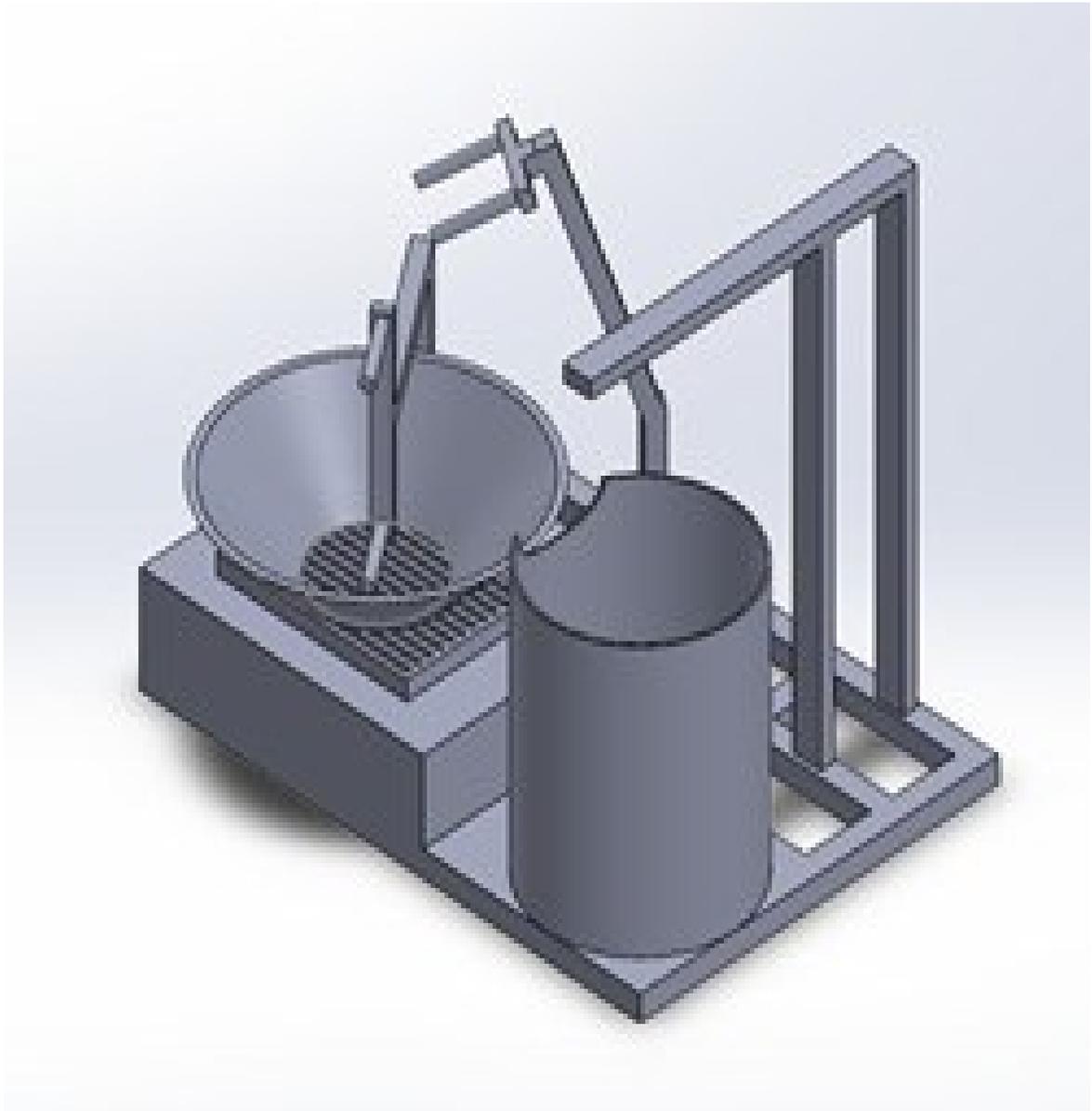
Figura 5.1 Imagen del esquema mecánico del brazo robótico (Elaboración propia)



## Anexo B: Esquema Mecánico Del Prototipo Diseñado En SolidWorks

A continuación, se presenta el esquema del prototipo diseñado en SolidWorks, el cual se va a implementar totalmente automatizado, para realizar la intervención en los dos procesos mencionados anteriormente en la elaboración del queso de forma artesanal.

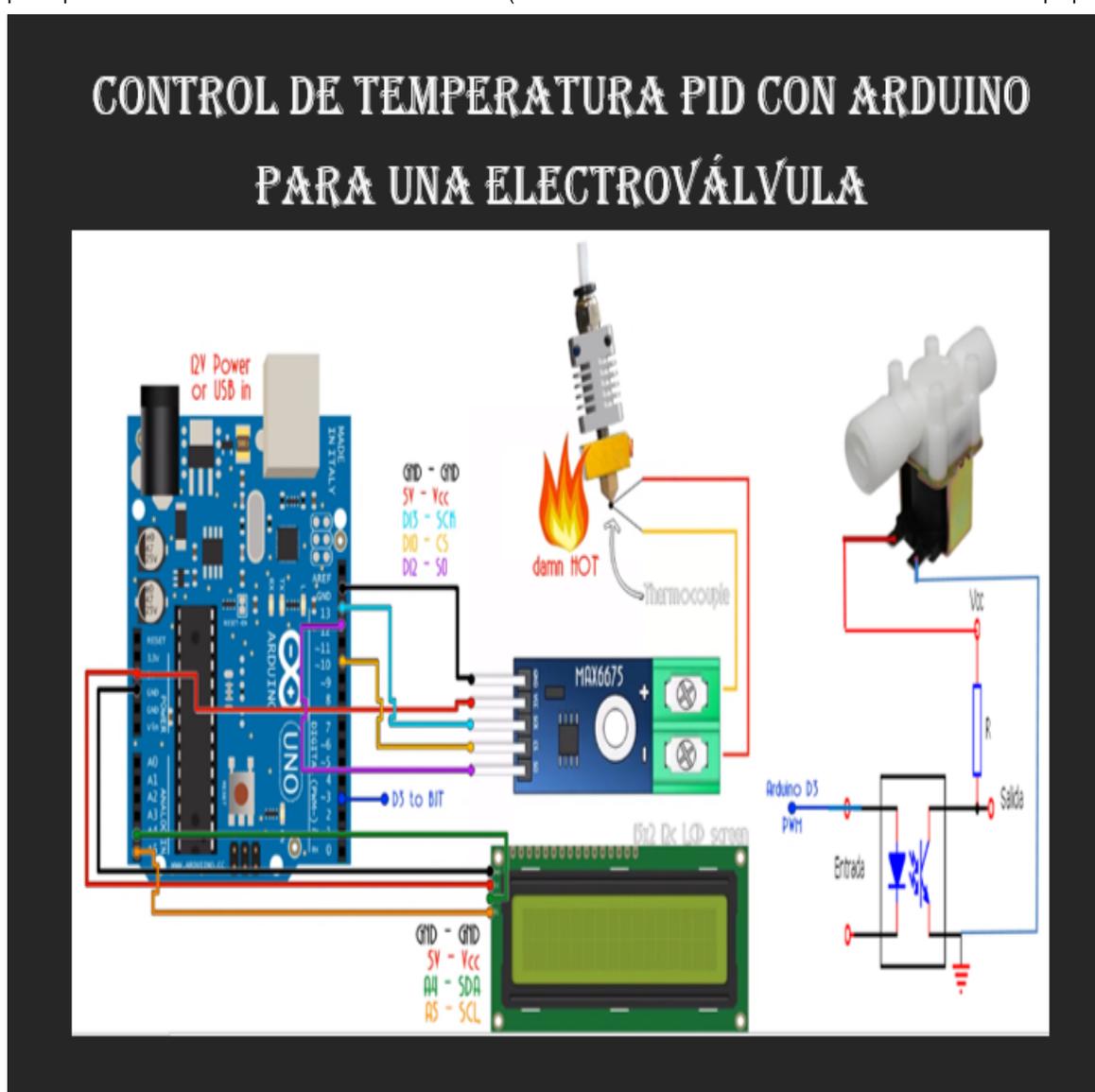
Figura 5.4 Imagen del esquema mecánico de la planta (Elaboración propia)



## Anexo C: Esquema Electrónico Del sistema Implementado En La Automatización Del Prototipo

En esta sección se anexa el esquemático del circuito diseñado para realizar el control de temperatura, en la automatización del prototipo utilizado para intervenir en los procesos de: 1- Separación del cuajo y el suero, y 2- Calentamiento del cuajo y estiramiento del mismo para obtener la textura final deseada.

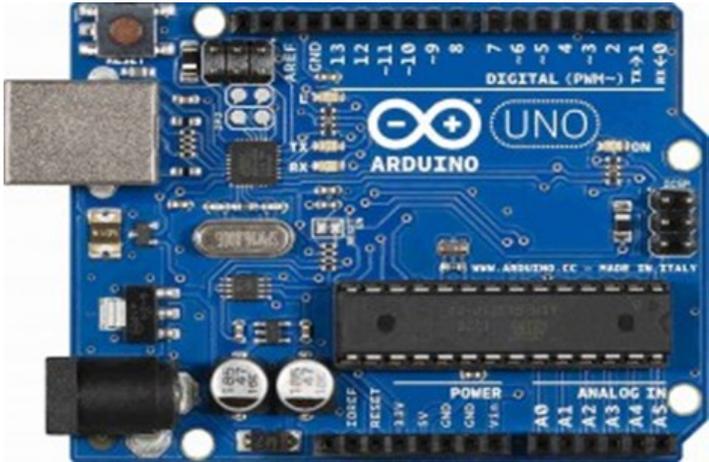
Figura 5.5 Imagen del esquema electrónico del control de temperatura con PID, implementado en la automatización del prototipo (Elaboración propia)



## Anexo D: Hoja De Datos Del Arduino Implementado

A continuación, se muestra el datasheet del microcontrolador Arduino Uno, que fue el seleccionado para la implementación del prototipo en la intervención de dos (2) procesos, en la elaboración del quesillo de forma artesanal.

Tabla 5.1: Tabla de datasheet de placa Arduino Uno (Elaboración propia)

<b>DATASHEET DE LA PLACA ARDUINO ONE.</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>INFORMACIÓN DE LA PLACA</b>
Microcontrolador	ATmega 328.
Voltaje de operación	5V.
Voltaje de entrada (recomendado)	De 7V. a 9V.
Voltaje de entrada (límites)	De 6V. a 20V.
Pines de entradas y salidas digitales	14 (De los cuales 6 se utilizan para salidas PWM)
Pines de entradas análogas	6.
Corriente DC por pin de entrada/salida	40mA.
Corriente DC por cada 3,3V de pin	50mA.
Memoria Flash	32KB. (ATmega328) (0,5KB. Se usan para el cargador de arranque)
Memoria SRAM	2KB. (ATmega328)
EEPROM	1KB. (ATmega)
Velocidad de reloj	16Hz.
Imagen del sensor	

---

## Bibliografía

- [1] Acosta López, L. V. (2011). Manual de Procedimientos Invima. Available: <https://repositorio.ucp.edu.co/bitstream/10785/685/1/completo.pdf>
- [2] Alzamora Cepeda, A. G., & Siles García, A. A. (2020). Bioseguridad para los pacientes odontológicos después de la aparición del covid-19. Una revisión de la literatura. Available: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1467/TB-Alzamora%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [3] Villegas-Soto, N. R., Hernández-Monzón, A., & Díaz-Abreu, J. A. (2018). Nuevo sistema tecnológico para producción artesanal de queso fresco con máximo aprovechamiento de componentes de la leche. *Tecnología Química*, 38(3), 530-541. Available: <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v38n3/rtq08318.pdf>
- [4] Erazo Castillo, S. A., & Lata Moroch, M. V. (2013). *Diseño y construcción de una marmita automatizada para la elaboración de queso* (Bachelor's thesis). Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2516/1/96T00198.pdf>
- [5] Espinoza, C. A. J., & Herrera, P. A. G. Tesis para la obtención del grado de Máster en Gerencia de Proyectos de Desarrollo. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/322610885.pdf>
- [6] Reyes Herrera, Á. L., & Vergara Baldovino, E. D. (2016). Automatización del proceso de elaboración de queso. Available: <http://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/1240/0069407.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [7] Ávila Méndez, K. H., Rivero de la Ossa, F. M., & Zapata Cerpa, G. J. (2014). Diseño de un sistema de control de acidez y temperatura para planta de cuajado de queso doble crema en Lácteos de la Sabana Ltda. Available: <http://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/2673/0067123.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [8] BRIONES CORDOVA, A. L. E. X. A. N. D. E. R. (2016). *DISEÑO MEJORADO DE LA PRENSA PARA QUESOS EN EL AREA DE QUESERIA LACTEOS DE CHIAPAS SA DE CV*. Available: <http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/1917/MDRPIM2016058.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [9] Talledo Castillo, L. M. (2020). Evaluación de la calidad y rendimiento del queso fresco elaborado con leche de vaca utilizando dos tipos de cuajo: natural y artificial. Available: <http://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/2457/ZOOT-TAL-CAS-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- [10] Ramírez, C. A. (1942). El cuajo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 5(18), 406-414. Available: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/33914/33986>
- [11] Ramírez-López, C., & Vélez-Ruiz, J. F. (2012). Quesos frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 6(2), 131-148. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Carolina-Ramirez-Lopez/publication/303959697\\_Quesos\\_frescos\\_propiedades\\_metodos\\_de\\_determinacion\\_y\\_factores\\_que\\_afectan\\_su\\_calidad/links/57601b6208ae227f4a3ee94e/Quesos-frescos-propiedades-metodos-de-determinacion-y-factores-que-afectan-su-calidad.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Carolina-Ramirez-Lopez/publication/303959697_Quesos_frescos_propiedades_metodos_de_determinacion_y_factores_que_afectan_su_calidad/links/57601b6208ae227f4a3ee94e/Quesos-frescos-propiedades-metodos-de-determinacion-y-factores-que-afectan-su-calidad.pdf)
- [12] Tobón, J. F. O., Velásquez, H. J. C., & Mejía, L. G. (2005). Caracterización reológica y textural del queso Edam. *Dyna*, 72(147), 33-45. Available: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/750/1218>
- [13] Pomeón, T. (2007). El queso cotija, México. *Un producto con marca colectiva queso Cotija Región de origen, en proceso de adquisición de una Denominación de Origen. FAO/ICA. México.* Available: [http://www.fao.org/fileadmin/templates/olq/documents/Santiago/Documentos/Estudios%20de%20caso/Cotija/Queso\\_COTIJA\\_Mexico.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/olq/documents/Santiago/Documentos/Estudios%20de%20caso/Cotija/Queso_COTIJA_Mexico.pdf)
- [14] Andrade Carvajal, M., & Cogollo Torres, M. (2021). Creación de una empresa productora y comercializadora de quesillos rellenos en el municipio de Cereté-córdoba.
- [15] Ospina, M. L. (2006). Aprovechamiento del suero ácido de queso doble crema para la elaboración de quesillo utilizando tres métodos de complementación de acidez con tres ácidos orgánicos. *Perspectivas en nutrición humana*, (16), 11-20. Available: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/nutricion/article/view/17864/15352>
- [16] Anrango Túquerrez, E. P. (2018). *Sistema de lavado automático del tanque enfriador de leche para microempresas de almacenamiento de leche* (Bachelor's thesis). Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8151/1/04%20MEC%20225%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- [17] Torres Pérez, J. J. (2007). Diseño e implementación de un instrumento de medición de pH para la crianza de truchas. Available: [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1090/TORRES\\_PEREZ\\_JUAN\\_MEDICION\\_PH\\_TRUCHAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1090/TORRES_PEREZ_JUAN_MEDICION_PH_TRUCHAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [18] Castillo, M., Tandazo, D., Landázuri, A., Piedra, L., Pineda, E., Riofrio, A., ... & Cumbicus, E. (2008). Evaluación de la calidad higiénico-sanitaria y determinación de las características organolépticas y físico-químicas del quesillo que se expende en los mercados de la ciudad de Loja. *Universidad Técnica Particular de Loja. Proyecto de tesis.* Available: [https://smart.uib.es/digitalAssets/177/177920\\_2.pdf](https://smart.uib.es/digitalAssets/177/177920_2.pdf)

- 
- [19] Macias, E. T. C., Gomez, N. P., Cruz, C. M. A., & Gutiérrez, N. (2016). Evolución de parámetros físico-químicos de queso huilense, en almacenamiento refrigerado. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 14(2), 110-118. Available: [file:///C:/Users/usuario/Dropbox/Mi%20PC%20\(DESKTOP-54B5VOV\)/Desktop/Dialnet-EvolucionDeParametrosFisicoquimicosDeQuesilloHuile-6117867.pdf](file:///C:/Users/usuario/Dropbox/Mi%20PC%20(DESKTOP-54B5VOV)/Desktop/Dialnet-EvolucionDeParametrosFisicoquimicosDeQuesilloHuile-6117867.pdf)
- [20] Moncada, M. L. (2005). Efecto de la acidez y cantidad de suero en las características físico-químicas y sensoriales del queso Zamorano. Available: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1078/1/AGI-2005-T021.pdf>
- [21] Barcia Padilla, F. E., & González González, G. G. (2019). *Producción y comercialización de queso artesanal en el casco urbano de Camoapa en el período, noviembre 2018 a abril 2019* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria). Available: <https://repositorio.una.edu.ni/4078/1/tne70b243.pdf>
- [22] Villafuerte, D. F. (2014). Diseño de un plan de exportación de queso de Olancho, Honduras a FACEMA SA de CV de El Salvador. Available: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/3425/1/AGN-2014-T052.pdf>
- [23] Mokate, K. (2001). *Eficacia, eficiencia, equidad y sostenibilidad: qué queremos decir?* (pp. 5-6). Departamento de Integración y Programas Regionales, Instituto Interamericano para el Desarrollo Social, Banco Interamericano de Desarrollo. Available: <http://courseware.url.edu.gt/PROFASR/Docentes/Facultad%20de%20Ciencias%20Pol%C3%ADticas%20y%20Sociales/Gu%C3%ADa%20Docente%20Gerencia%20Social%201/Bibliograf%C3%ADa%20digital/Gu%C3%ADa%203/Unidad%209/MOKATE1.PDF>
- [24] Higuerey Gómez, Á. A. (2012). *Eficiencia y eficacia en la industria de suministro de agua: una aplicación a países de Latinoamérica* (Doctoral dissertation). Available: [https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/9762/4/0675314\\_00000\\_0000.pdf](https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/9762/4/0675314_00000_0000.pdf)
- [25] Castro, A. C. V. QUE NOS DICE LA NORMATIVA COLOMBIANA CON RESPECTO A LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LOS ALIMENTOS. Available: <http://www.calidadalimentaria.co/wp-content/uploads/2020/03/QUE-NOS-DICE-LA-NORMATIVA-COLOMBIANA.pdf>
- [26] Parra Prado, A. I. (2020). Retos para la reactivación del sector restauración en la ciudad de Machala provincia de El Oro. Available: [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16243/1/T-3834\\_PARRA%20PRADO%20ABRAHAM%20ISAIAS.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16243/1/T-3834_PARRA%20PRADO%20ABRAHAM%20ISAIAS.pdf)
- [27] Mendoza Gutierrez, R. (2021). *Revisión sistemática de literatura sobre los protocolos de bioseguridad en establecimientos alimenticios en Territorio Colombiano* (Doctoral dissertation, Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingenierías, Ingeniería Industrial, Barrancabermeja). Available:

[https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/33078/1/2021\\_bioseguridad\\_corana\\_virus\\_trabajo.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/33078/1/2021_bioseguridad_corana_virus_trabajo.pdf)

[28] Peruana, S. MANUAL SOBRE BIOSEGURIDAD Y DERECHOS DEL CONSUMIDOR. Available: <http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/PUBL395.pdf>

[29] Salazar Samaniego, D. K. (2018). *Trabajo muscular y su incidencia en las lesiones musculoesqueléticas en trabajadores de la industria metalmecánica* (Master's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Maestría en Seguridad e Higiene Industrial y Ambiental). Available: [http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27425/1/Tesis\\_t1372mshi.pdf](http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27425/1/Tesis_t1372mshi.pdf)

[30] Chiang Ou Yang, K., & Mejías Calvo, Y. M. (2015). Prevención de lesiones musculoesqueléticas en camareros y camareras de servicios gastronómicos provocados por movimientos y posturas asociados con su labor, en siete establecimientos del Gran Área Metropolitana, en el período comprendido entre julio y setiembre del 2014. Available: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/2690/1/38119.pdf>

[31] NUÑEZ RODRIGUEZ, L. E. (2019). Frecuencia de lesiones musculoesqueléticas en varones que practican musculación en el Gimnasio Fuerza y Salud, Piura 2017. Available: [http://repositorio.usanpedro.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/13075/Tesis\\_63308.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.usanpedro.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/13075/Tesis_63308.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[32] Prieto, J. R. (2019). Evolución y novedades en la prevalencia de úlceras por presión y otras lesiones relacionadas con la dependencia. *Enfermería Dermatológica*, 13(37), 7-10. Available: [file:///C:/Users/usuario/Dropbox/Mi%20PC%20\(DESKTOP-54B5VOV\)/Downloads/TESIS/ART%C3%8CCULOS%20Y%20TESIS%20RELACIONADAS/Dialnet-EvolucionYNovedadesEnLaPrevalenciaDeUlcerasPorPres-7088018.pdf](file:///C:/Users/usuario/Dropbox/Mi%20PC%20(DESKTOP-54B5VOV)/Downloads/TESIS/ART%C3%8CCULOS%20Y%20TESIS%20RELACIONADAS/Dialnet-EvolucionYNovedadesEnLaPrevalenciaDeUlcerasPorPres-7088018.pdf)

[33] Bava, A. J., Trombetta, L., Galache, V., Zuliani, M. V., & Troncoso, A. (2010). Diagnóstico de criptococosis a partir de lesiones cutáneas. *Acta bioquímica clínica latinoamericana*, 44(1), 33-36. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/535/53516749005.pdf>

[34] Munar, M. A., Bernabéu, R., Morey, A., Alarcón, A., Gascó, J., Losada, P., ... & Marco, J. (2001). A propósito de un caso de lesiones cutáneas y calcifilaxis. *Nefrología*, 21(5), 501-504. Available: <https://www.revistanefrologia.com/es-pdf-X0211699501013882>

[35] Buzai, G. D. (2020). De Wuhan a Luján. Evolución espacial del COVID-19. *Posición, Núm.* 3 (2020). Available: [https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/rediunlu/683/Buzai\\_Gustavo\\_COVID-19.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/rediunlu/683/Buzai_Gustavo_COVID-19.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[36] Pérez Abreu, M. R., Gómez Tejeda, J. J., & Dieguez Guach, R. A. (2020). Características clínico-epidemiológicas de la COVID-19. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 19(2). Available: <http://scielo.sld.cu/pdf/rhcm/v19n2/1729-519X-rhcm-19-02-e3254.pdf>

- [37] Renzo Aquino-Canchari, C., & Medina-Quispe, C. I. (2020). COVID-19 y la educación en estudiantes de medicina. *Revista cubana de investigaciones biomédicas*, 39(2). Available: <http://scielo.sld.cu/pdf/ibi/v39n2/1561-3011-ibi-39-02-e758.pdf>
- [38] Macias Llanes, M. E. (2020). COVID-19: La respuesta social a la pandemia. *Humanidades Médicas*, 20(1), 1-4. Available: <http://scielo.sld.cu/pdf/hmc/v20n1/1727-8120-hmc-20-01-1.pdf>
- [39] Sandoval, E. R., Quintero, A. F., & Aponte, A. A. (2005). Reología y textura de masas: Aplicaciones en trigo y maíz. *Ingeniería e investigación*, 25(1), 72-78. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/643/64325110.pdf>
- [40] Navas, J. (2006). Introducción a la reología de los alimentos. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Juan-Ramirez-Navas/publication/259620275\\_Introduccion\\_a\\_la\\_Reologia\\_de\\_Alimentos/links/556112fe08ae6f4dcc93c383/Introduccion-a-la-Reologia-de-Alimentos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Juan-Ramirez-Navas/publication/259620275_Introduccion_a_la_Reologia_de_Alimentos/links/556112fe08ae6f4dcc93c383/Introduccion-a-la-Reologia-de-Alimentos.pdf)
- [41] Sandoval, E. R., Quintero, A. F., Alcalá, L. A., & Patiño, B. O. (2006). Reología de suspensiones preparadas con harina precocida de yuca. *Ingeniería y desarrollo*, (19), 17-30. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/852/85201902.pdf>
- [42] Pérez, J. R. (2013). Perspectivas didácticas de una aproximación histórica a la medición y concepto de Temperatura. *Latin-American Journal of Physics Education*, 7(3). Available: [https://www.researchgate.net/profile/Justo-Perez-Cruz/publication/279060522\\_Perspectivas\\_didacticas\\_de\\_una\\_aproximacion\\_historica\\_a\\_la\\_medicion\\_y\\_concepto\\_de\\_Temperatura/links/5589583608ae9076016f2931/Perspectivas-didacticas-de-una-aproximacion-historica-a-la-medicion-y-concepto-de-Temperatura.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Justo-Perez-Cruz/publication/279060522_Perspectivas_didacticas_de_una_aproximacion_historica_a_la_medicion_y_concepto_de_Temperatura/links/5589583608ae9076016f2931/Perspectivas-didacticas-de-una-aproximacion-historica-a-la-medicion-y-concepto-de-Temperatura.pdf)
- [43] Camacho González, J. P., & Pérez Miranda, R. (2005). La transposición didáctica de los conceptos calor y temperatura. *Enseñanza de las ciencias*, (Extra), 1-4. Available: [https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc\\_a2005nEXTRA/edlc\\_a2005nEXTRAp267tradid.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2005nEXTRA/edlc_a2005nEXTRAp267tradid.pdf)
- [44] Castiñeiras, J. M. D., de Pro Bueno, A., & Fernández, E. G. R. (1998). Las partículas de la materia y su utilización en el campo conceptual de calor y temperatura: un estudio transversal. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 461-476. Available: [file:///C:/Users/usuario/Dropbox/Mi%20PC%20\(DESKTOP-54B5VOV\)/Desktop/21550-Texto%20del%20art%C3%ADculo-21474-1-10-20060309.pdf](file:///C:/Users/usuario/Dropbox/Mi%20PC%20(DESKTOP-54B5VOV)/Desktop/21550-Texto%20del%20art%C3%ADculo-21474-1-10-20060309.pdf)
- [45] Dávila, M. G. (1982). INTRODUCCIÓN DEL CONCEPTO-DE DISTANCIA Y PRODUCTO ESCALAR MEDIANTE LA FORMA CUADRÁTICA LONGITUD DE UN VECTOR. *Números: Revista de didáctica de las matemáticas*, (3), 73-80. Available: <https://mdc.ulpgc.es/utills/getfile/collection/numeros/id/38/filename/33.pdf>
- [46] Álvarez, L. A. R., & Salazar, J. C. (2015). *Diseño de un sistema de control de nivel para la preparación de líquidos dializantes basado en señales ultrasónicas* (Doctoral

dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Tecnología en Mecatrónica). Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/71398381.pdf>

[47] Arcos Montezuma, J. A. (2014). Diseño y construcción de un transmisor de nivel capacitivo. Available: [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1368/digital\\_19898.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1368/digital_19898.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[48] Borja Borja, J. M. (2013). *Diseño y construcción de un equipo para control de nivel de líquidos* (Bachelor's thesis). Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2512/1/96T00194.pdf>

[49] ZACARIAS, J. E. O. (2015). SENSOR ÓPTICO DE NIVEL DE LÍQUIDOS. Available: <https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1002/802/1/19982.pdf>

[50] González-Filgueira, G., & Permuy, F. J. R. (2018). Automatización de una planta industrial de alimentación mediante control distribuido. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (27), 1-17. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/bc49/d847c3175c5de3e945a2f15734f54fcee6c7.pdf>

[51] López de Paz, R. G. Diseño del sistema de control de temperatura de un invernadero. Available: [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6856/LOPEZ\\_RENZO\\_DISE%c3%91O\\_SISTEMA\\_CONTROL\\_TEMPERATURA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6856/LOPEZ_RENZO_DISE%c3%91O_SISTEMA_CONTROL_TEMPERATURA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[52] Muñoz, J., Castañeda, J., & Ruíz, G. (2006). *Diseño e Implementación de un Controlador de Temperatura y Monitoreo de Señales para la automatización de equipos de refrigeración* (Doctoral dissertation, Tesis de Ingeniería electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Buenaventura, Bogotá, DC, Colombia). Available: <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/36624.pdf>

[53] Benítez Cadena, V. M., & Zalamea Balladares, J. M. (2003). *Construcción de un módulo didáctico de control de nivel de líquidos* (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2003). Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5034/1/T2176.pdf>

[54] Cevallos Fernández, N. O. (2000). *Control del nivel de un tanque por medio de una servoválvula* (Bachelor's thesis, Quito: EPN, 2000.). Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11640/1/T1603.pdf>

[55] Ferdeghini, F., Brengi, D., & Lupi, D. (1998, August). Sistema de detección combinado para sensores ultrasónicos. In *XVI Congreso Argentino de Control Automático, AADECA* (Vol. 2, pp. 514-519). Available: [https://www.researchgate.net/profile/Diego-Brengi/publication/267838754\\_SISTEMA\\_DE\\_DETECCION\\_COMBINADO\\_PARA\\_SEN\\_SORES\\_ULTRASONICOS/links/546f594b0cf216f8cfa9d7df/SISTEMA-DE-DETECCION-COMBINADO-PARA-SENSORES-ULTRASONICOS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Diego-Brengi/publication/267838754_SISTEMA_DE_DETECCION_COMBINADO_PARA_SEN_SORES_ULTRASONICOS/links/546f594b0cf216f8cfa9d7df/SISTEMA-DE-DETECCION-COMBINADO-PARA-SENSORES-ULTRASONICOS.pdf)

- [56] Gwirc, S., Ferdeghini, F., Comastri, A., & Lupi, D. (1998). Sensores ultrasónicos: respuesta a distintas formas de onda De emisión. *Centro de Investigación y Desarrollo en Electrónica e Informática (CITEI) Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)*. Available: [https://www.researchgate.net/profile/Sergio-Gwirc/publication/266355440\\_SENORES\\_ULTRASONICOS\\_RESPUESTA\\_A\\_DISTINTAS\\_FORMAS\\_DE\\_ONDA\\_DE\\_EMISION/links/5f525ed9458515e96d2c2c72/SENORES\\_ULTRASONICOS-RESPUESTA-A-DISTINTAS-FORMAS-DE-ONDA-DE-EMISION.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Sergio-Gwirc/publication/266355440_SENORES_ULTRASONICOS_RESPUESTA_A_DISTINTAS_FORMAS_DE_ONDA_DE_EMISION/links/5f525ed9458515e96d2c2c72/SENORES_ULTRASONICOS-RESPUESTA-A-DISTINTAS-FORMAS-DE-ONDA-DE-EMISION.pdf)
- [57] Hualpa Medina, J. C., & Huby Rodríguez, S. A. (2016). Diseño, simulación e implementación de un prototipo de medición de niveles de líquidos mediante técnicas de control difuso utilizando sensores ultrasónicos. Available: [https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/2307/hualpa\\_mjc.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/2307/hualpa_mjc.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [58] Figueroa, R. A. T., & Valderrama, W. (2020). Control de velocidad y sentido de giro para un motor DC. *Infometric@-Serie Ingeniería, Básicas y Agrícolas*, 3(1), 103-115. Available: <http://www.infometrica.org/index.php/syh/article/view/129/152>
- [59] Lledó Sánchez, E. (2012). *Diseño de un sistema de control domótico basado en la plataforma Arduino* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València). Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/18228/Memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [60] Fuentes, M., Aguilar, J. D., Almonacid, F., & Rus, C. (2010). Guía interactiva para el manejo del programa de simulación electrónica. In *IX Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, TAAE*. Available: <http://taee.etsist.upm.es/actas/2010/papers/2010S13B02.pdf>
- [61] Talens Oliag, P. (2018). Cómo caracterizar el comportamiento viscoelástico de un alimento. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/103393/Talens%20-%20C%C3%B3mo%20caracterizar%20el%20comportamiento%20viscoel%C3%A1stico%20de%20un%20alimento.pdf?sequence=1>
- [62] Salinas Ramírez, J. L. (2000). *Viscoelasticidad dinámica de las barbotinas cerámicas* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León). Available: <http://eprints.uanl.mx/818/1/1020129207.PDF>
- [63] Aragonés, J. B., Gómez, C. G., Zaragoza, B. Z., Martínez, A. G., Campos, D. M., & Llinares, A. G. (2003). Sensores de temperatura. *Recuperado el*, 3, 2003-04. Available: <https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/349/1259/6572/6629/78932.pdf>
- [64] Ñiacasha Utreras, N. L. (2004). *Desarrollo de un dispositivo que mida la distancia a un objeto emulando el efecto de un bastón blanco para personas invidentes* (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2004). Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5096/1/T2274.pdf>

- [65] Ferdeghini, F., Brengi, D., & Lupi, D. (1998, August). Sistema de detección combinado para sensores ultrasónicos. In *XVI Congreso Argentino de Control Automático, AADECA* (Vol. 2, pp. 514-519). Available: [https://www.researchgate.net/profile/Diego-Brengi/publication/267838754\\_SISTEMA\\_DE\\_DETECCION\\_COMBINADO\\_PARA\\_SEN\\_SORES\\_ULTRASONICOS/links/546f594b0cf216f8cfa9d7df/SISTEMA-DE-DETECCION-COMBINADO-PARA-SENSORES-ULTRASONICOS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Diego-Brengi/publication/267838754_SISTEMA_DE_DETECCION_COMBINADO_PARA_SEN_SORES_ULTRASONICOS/links/546f594b0cf216f8cfa9d7df/SISTEMA-DE-DETECCION-COMBINADO-PARA-SENSORES-ULTRASONICOS.pdf)
- [66] Contreras, J. F. T. (1999). Diseño De Un Circuito Integrado Sensor De Nivel Inteligente. *Electrónica-UNMSM*, (2), 47-59. Available: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/electron/article/view/4473/3556>
- [67] Benavides, F. G., Delclos, J., Benach, J., & Serra, C. (2006). Lesiones por accidentes de trabajo, una prioridad en salud pública. *Revista Española de Salud Pública*, 80(5), 553-565. Available: <https://scielo.isciii.es/pdf/resp/v80n5/colaboracion9.pdf>
- [68] Cárdenas, M. M., Barrios, P. P., Moreno, K. M. G., Arismendy, J. F. S., & Ávila, M. C. O. (2015). Diseño y Construcción del Prototipo de un Brazo Robótico con Tres Grados de Libertad, como Objeto de Estudio. *Ingeniare*, (18), 87-94. Available: <https://revistas.unilivre.edu.co/index.php/ingeniare/article/view/542/422>
- [69] Malpartida, E. A. S. (2011). *Sistema de visión artificial para el reconocimiento y manipulación de objetos utilizando un brazo robot*. Pontificia Universidad Católica del Perú-CENTRUM Católica (Peru). Available: <https://www.proquest.com/openview/1012aed86f88feec968e80c5af36dbb6/1?pq-origsite=gscholar&cbl=51922&diss=y>
- [70] García Haro, J. M. (2011). *Desarrollo de un controlador para motores DC brushless basado en CompactRIO y LabVIEW de National Instruments para el estudio de nuevos algoritmos de control* (Bachelor's thesis). Available: [https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/13615/PFC\\_JuanMiguel\\_Garcia\\_Haro.pdf](https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/13615/PFC_JuanMiguel_Garcia_Haro.pdf)
- [71] Meza Weber, F. J., & Ramos Morales, P. D. (2015). *Modelo matemático motor DC conexión independiente* (Bachelor's thesis). Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10257/1/UPS-GT001352.pdf>
- [72] Correa Eras, A. Y., & Remache Ortega, E. P. (2006). *Sistema para controlar la velocidad de un motor DC utilizando modulación de ancho de pulso* (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2006). Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1930/1/CD-0202.pdf>