



**Actualización tecnológica de un  
farinógrafo del laboratorio de calidad  
en la planta Bimbo de Tenjo-  
Cundinamarca.**

**Julio Edien Roa Pinzón**

**Fernando Joya Marín**

**Martín Fabian Rozo García**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Bogotá D.C, Colombia  
2019



# **Actualización tecnológica de un farinógrafo del laboratorio de calidad en la planta Bimbo de Tenjo- Cundinamarca.**

**Julio Edien Roa Pinzón**

**Fernando Joya Marín**

**Martín Fabian Rozo García**

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

Director:

José German Gutiérrez Rozo, Especialista.

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá D.C, Colombia

2019



## Resumen

El farinógrafo es un equipo que trabaja bajo principios reológicos, y como resultado se adquieren las características de la harina de trigo antes de su proceso de panificación. El laboratorio de calidad de la empresa Bimbo en Tenjo-Cundinamarca cuenta con un farinógrafo fabricado en la década de los 60, es un equipo totalmente mecánico el cual hace el farinograma por medio de tinta y papel pre impreso en la escala de unidades Brabender en función del tiempo, adicionalmente el equipo fue diagnosticado como obsoleto por la empresa alemana Brabender a la cual se le adquirió. Por tal motivo la empresa Bimbo tomó la determinación de ofrecer el equipo como opción de trabajo de proyecto de grado, en el cual, estudiantes de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Antonio Nariño realizarán una actualización tecnológica al farinógrafo, en el que se desarrollarán diversos objetivos para así brindar un instrumento funcional y útil al laboratorio de Bimbo en Tenjo-Cundinamarca.

La mejora partirá del desensamble de todo el farinógrafo, para así diagnosticar las piezas que son funcionales y hacerles el respectivo mantenimiento para poner el sistema a punto. Seguido a esto se realizará un diseño de la parte externa del equipo para darle una imagen más moderna y compacta a la que se tenía. Se diseñará un sistema el cual recopila los datos de la prueba reológica en función del tiempo a través de un PLC, este procesará los datos y los plasmará digitalmente en una pantalla HMI que permitirá a su vez establecer parámetros y manipular el farinógrafo. Se realizará una macro en Excel la cual generará los resultados de las pruebas y creará una base de datos para guardar la información de los lotes de harina de trigo que llegan a la empresa Bimbo en Tenjo-Cundinamarca.

**Palabras clave:** Farinograma, farinógrafo, sistema de control, harina de trigo.

## **Abstract**

The farinograph is an equipment that works under rheological principles, and as a result the characteristics of wheat flour are acquired before its baking process. The laboratory of the company Bimbo in Tenjo-Cundinamarca has an outdated farinograph that makes the farinogram by means of ink and letter size paper, in addition the equipment was diagnosed as obsolete by the company to which it was acquired, for this reason the Bimbo company made the determination to provide the team as an undergraduate project work option, in which students from the faculty of Electromechanics of the Antonio Nariño University, will carry out a technological update to the farinograph, in which develop various objectives to provide a functional and useful tool to Bimbo's laboratory in Tenjo-Cundinamarca.

The improvement will start from the disassembly of the entire farinograph, in order to diagnose the parts that are functional and do the respective maintenance to put the system ready. Following this, a design of the outside of the equipment is made to give a modern and compact image to the one that was. A system will be designed which collects the data of the rheological test based on time through a PLC, it processes the data and plasma digitally on an HMI display that allows in turn to set parameters and manipulate the farinograph. A macro was made in Excel which shows the results of the tests and creates a database to save the information of the batches of wheat flour that arrive to the company Bimbo in Tenjo-Cundinamarca.

**Keywords: Farinogram, Farinograph, Control system, Wheat flour.**

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>V</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>X</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XII</b>
<b>Lista de símbolos y abreviaturas</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
<b>Objetivo general</b> .....	<b>3</b>
<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>3</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>1. METODOLOGÍA</b> .....	<b>6</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>9</b>
2.1 Reología .....	9
2.2 Farinógrafo .....	10
2.2.1 Funcionamiento del farinógrafo .....	10
2.2.2 Tazón de la mezcladora .....	11
2.2.3 Dinamómetro .....	14
2.2.4 Sistema de palanca.....	15
2.2.5 Registrador .....	16
2.2.6 Bureta .....	16
2.2.7 Termostato .....	17
2.3 Actualización tecnológica.....	20
2.3.1 Mantenimiento.....	20
2.3.2 Controlador lógico programable (PLC) .....	22
2.3.3 Visual Basic .....	23
<b>3. DESARROLLO DEL PROYECTO</b> .....	<b>24</b>
3.1 Diagnóstico .....	24
3.1.1 Sistema Mecánico .....	24
3.1.2 Sistema de control .....	27
3.1.3 Sistema eléctrico.....	31
3.2 Ajuste y puesta a tiempo del sistema mecánico.....	33

---

3.2.1	Base del farinógrafo.....	34
3.2.2	Transmisión de la mezcladora.....	35
3.2.3	Mezcladora.....	37
3.2.4	Sistema de amortiguación.....	38
3.2.5	Moto reductor y soportes del sistema flotante.....	39
3.2.6	Caracterización del motor.....	40
3.2.7	Ensamble.....	45
3.3	Rediseño y construcción de la parte externa del farinógrafo.....	47
3.4	Desarrollo del algoritmo para la toma de datos.....	49
3.4.1	Rutina principal.....	52
3.4.2	Subrutina entradas al PLC.....	52
3.4.3	Subrutina alarmas de seguridad del equipo.....	53
3.4.4	Subrutina calibración de los valores máximos y mínimos.....	55
3.4.5	Subrutina cálculos para la toma de datos.....	55
3.4.6	Subrutina arranque del farinógrafo.....	58
3.4.7	Subrutina limpieza del tazón.....	58
3.4.8	Subrutina salidas del PLC.....	58
3.4.9	Subrutina resultados obtenidos.....	59
3.5	Diseño de la interfaz.....	66
3.5.1	Pantalla de inicio.....	66
3.5.2	Pantalla de menú.....	67
3.5.3	Pantalla para iniciar la calibración.....	68
3.5.4	Pantalla para dar inicio a la prueba.....	69
3.5.5	Pantalla para iniciar la limpieza.....	70
3.5.6	Curva farinográficas.....	71
3.6	Diseño de la base de datos.....	72
3.7	Construcción del farinógrafo y sus medidas de seguridad.....	76
3.8	Realización de pruebas para verificar la calibración y el funcionamiento del farinógrafo.....	79
3.9	Implementación del sistema con puesta a punto de un farinógrafo para la empresa Bimbo de Colombia.....	88
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS OBTENIDOS.....</b>	<b>92</b>
4.1	Conclusiones y recomendaciones.....	93
4.1.1	Conclusiones.....	93
4.1.2	Recomendaciones.....	94
<b>5.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>95</b>
<b>A.</b>	<b>Anexo: Factura carcasa del farinógrafo.....</b>	<b>97</b>
<b>B.</b>	<b>Anexo: Peso de muestra con base 14% de humedad.....</b>	<b>99</b>
<b>C.</b>	<b>Anexo: Técnicas de laboratorio.....</b>	<b>100</b>
<b>D.</b>	<b>Anexo: Especificaciones de los equipos para la conexión.....</b>	<b>105</b>
<b>E.</b>	<b>Anexo: Diagrama de flujo de la programación del PLC.....</b>	<b>109</b>
<b>F.</b>	<b>Anexo: Planteamiento de mejora para el control de temperatura.....</b>	<b>114</b>
<b>G.</b>	<b>Anexo: Algoritmo de la macro de Excel.....</b>	<b>126</b>



---

<b>H. Anexo: Manual del farinógrafo.....</b>	<b>131</b>
<b>I. Anexo: Despiece del farinógrafo.....</b>	<b>132</b>

## Lista de figuras.

	<b>Pág</b>
<b>Figura 1-1.</b> Diagrama de la metodología del proyecto. ....	6
<b>Figura 2-1.</b> Esquema de un farinógrafo. ....	11
<b>Figura 2-2.</b> Tazón y palas sigma de la mezcladora. ....	12
<b>Figura 2-3.</b> Despiece de la mezcladora. ....	13
<b>Figura 2-4.</b> Partes del dinamómetro. ....	14
<b>Figura 2-5.</b> Sistema de palanca del farinógrafo. ....	15
<b>Figura 2-6.</b> Partes del registrador mecánico del farinógrafo. ....	16
<b>Figura 2-7.</b> Termostato Brabender del farinógrafo. ....	18
<b>Figura 3-1.</b> Mezcladora del farinógrafo desarmada. ....	25
<b>Figura 3-2.</b> Caja de engranajes. ....	26
<b>Figura 3-3.</b> Depósito de aceite. ....	27
<b>Figura 3-4.</b> Termostato del farinógrafo. ....	29
<b>Figura 3-5.</b> Graficador del farinógrafo. ....	30
<b>Figura 3-6.</b> Accionamiento del motor. ....	31
<b>Figura 3-7.</b> Corriente del motor puesto en marcha. ....	32
<b>Figura 3-8.</b> Farinógrafo laboratorio de calidad. ....	33
<b>Figura 3-9.</b> Base del farinógrafo. ....	34
<b>Figura 3-10.</b> Caja de engranajes del farinógrafo deteriorado. ....	36
<b>Figura 3-11.</b> Mezcladora y palas sigma del farinógrafo. ....	37
<b>Figura 3-12.</b> Depósito de aceite del farinógrafo. ....	38
<b>Figura 3-13.</b> Motor reductor y soportes del farinógrafo. ....	39
<b>Figura 3-14.</b> Alimentación/dinamómetro de cuatro cuadrantes Labvolt Didactic. ....	41
<b>Figura 3-15.</b> Banco de prueba dinamómetro con moto reductor del farinógrafo. ....	43
<b>Figura 3-16.</b> Software de Labvolt Didatic de Festo. ....	44
<b>Figura 3-17.</b> Ensamble mezcladora y motor del farinógrafo. ....	46
<b>Figura 3-18.</b> Sistema de transmisión del farinógrafo con ajustes. ....	46
<b>Figura 3-19.</b> Diseño de la carcasa del farinógrafo en Solidworks. ....	47
<b>Figura 3-20.</b> Vista explosionada de la carcasa del farinógrafo. ....	48
<b>Figura 3-21.</b> Construcción del diseño del farinógrafo. ....	48
<b>Figura 3-22.</b> Conexión Ethernet/IP del farinógrafo. ....	50
<b>Figura 3-23.</b> Diagrama de flujo para la especificación de la programación. ....	51
<b>Figura 3-24.</b> Especificaciones del montaje de la celda de carga. ....	57
<b>Figura 3-25.</b> Brazo de torque y celda de carga. ....	63
<b>Figura 3-26.</b> Esquema para establecer la carga máxima de la celda de carga. ....	64
<b>Figura 3-27.</b> Pantalla de inicio del farinógrafo en la HMI. ....	67

---

<b>Figura 3-28.</b> Pantalla de menú del farinógrafo en la HMI. ....	68
<b>Figura 3-29.</b> Pantalla de calibración del farinógrafo en la HMI. ....	69
<b>Figura 3-30.</b> Pantalla inicio de prueba del farinógrafo en la HMI. ....	70
<b>Figura 3-31.</b> Pantalla de limpieza del farinógrafo en la HMI. ....	71
<b>Figura 3-32.</b> Farinograma en la pantalla HMI. ....	72
<b>Figura 3-33.</b> Hoja de inicio de la macro en Excel. ....	73
<b>Figura 3-34.</b> Cuadro para insertar datos en la macro de Excel. ....	73
<b>Figura 3-35.</b> Hoja de datos en la macro de Excel. ....	74
<b>Figura 3-36.</b> Hoja de resultados de la macro en Excel. ....	74
<b>Figura 3-37.</b> Archivo guardado desde la macro en Excel. ....	75
<b>Figura 3-38.</b> Diagrama de flujo de la macro del farinógrafo. ....	76
<b>Figura 3-39.</b> Construcción final del farinógrafo. ....	79
<b>Figura 3-40.</b> Farinógrafo de la empresa Harinas El Lobo S.A. ....	80
<b>Figura 3-41.</b> Prueba en el farinógrafo de Harinas El Lobo S.A. ....	81
<b>Figura 3-42.</b> Comparación farinógrafo de Bimbo vs el Lobo S.A. ....	81
<b>Figura 3-43.</b> Actualización tecnológica del farinógrafo implementada. ....	89
<b>Figura 3-44.</b> Presentación de la actualización del farinógrafo. ....	90
<b>Figura 3-45.</b> Presentación final del farinógrafo. ....	91

## Lista de tablas.

	Pág.
<b>Tabla 2-1.</b> Especificaciones del termostato del farinógrafo marca Brabender. ....	19
<b>Tabla 3-1.</b> Especificaciones del termostato original Brabender. ....	28
<b>Tabla 3-2.</b> Composición química del desengrasante.....	35
<b>Tabla 3-3.</b> Especificaciones de los rodamientos del sistema flotante. ....	40
<b>Tabla 3-4.</b> Tabla de especificaciones Labvolt Didactic de Festo. ....	41
<b>Tabla 3-5.</b> Datos de caracterización del motor del farinógrafo. ....	44
<b>Tabla 3-6.</b> Tabla de características del motor. ....	45
<b>Tabla 3-7.</b> Pruebas para verificación de resultados. ....	60
<b>Tabla 3-8.</b> Pruebas para verificación de resultados. ....	61
<b>Tabla 3-9.</b> Datos para el torque en el brazo del motor. ....	64
<b>Tabla 3-10.</b> Símbolos, notaciones y convenciones para evitar riesgos. ....	77
<b>Tabla 3-11.</b> Prueba de calibración # 1 con dos muestras de harina. ....	83
<b>Tabla 3-12.</b> Valores de prueba # 1 con la actualización del farinógrafo. ....	84
<b>Tabla 3-13.</b> Prueba de calibración # 2 con dos muestras de harina. ....	86
<b>Tabla 3-14.</b> Valores de prueba # 2 con la actualización del farinógrafo. ....	87

# Lista de símbolos y abreviaturas.

## Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
V	Voltaje	Voltio	$I \cdot R$
P	Potencia	Watt	$I \cdot V$
I	Corriente	Ampere	$V/R$
R	Resistencia	Ohmio	$V/I$
E	Energía	Julio	$E/t$
T	Torque	N.m	

## Abreviaturas

### Abreviatura Término

UB	Unidades Brabender.
UF	Unidades Farinográficas.
T	Unidades de tiempo.
T	Unidades de temperatura

# INTRODUCCIÓN

La empresa Bimbo de Colombia ubicada en Tenjo Cundinamarca, cuenta con un farinógrafo Brabender el cual está fuera de servicio, esto ocasiona que los procesos de medición de las características de la harina de trigo no se puedan verificar actualmente. Tal motivo ha generado que la empresa dé la oportunidad a los estudiantes para realizar la actualización tecnológica al equipo. Entre la intervención se incluirán diversas actividades para lograr su funcionamiento, alcanzando un equipo eficiente para la empresa y obteniendo un ahorro en relación a los costos de la actualización vs compra.

El farinógrafo es un equipo capaz de medir las características de la harina de trigo, por medio de mecanismos que involucran un dinamómetro, un termostato y un sistema de amortiguación, el cual gráfica por medio de un registrador una curva que genera las características de la harina de trigo.

El presente trabajo muestra el desarrollo de los diferentes sistemas diseñados para el funcionamiento del farinógrafo, entre ellos el mantenimiento general del equipo, el diseño e implementación de la estructura externa del equipo, la integración de un módulo para la adquisición de datos, el desarrollo de un algoritmo para analizar, clasificar y visualizar los datos adquiridos en una pantalla HMI, con la posibilidad de ver las curvas farinográficas en unidades Brabender o en unidades de torque, el diseño de un control de temperatura y por último la calibración del equipo, obteniendo un equipo integrado conforme a los requerimientos que solicita el laboratorio de calidad.

# OBJETIVOS

## Objetivo general.

Rediseño, construcción y puesta a punto de un farinógrafo de la empresa Bimbo Colombia.

## Objetivos específicos.

- Ajuste y puesta a tiempo del sistema mecánico (palas sigma de la mezcladora, sistemas de transmisión, motor-reductor, engranes de las palas sigma, acople de motor, enchaquetado mezcladora).
- Rediseño y construcción de la parte externa del equipo.
- Implementar un algoritmo para procesar datos obtenidos del sistema por medio de un PLC.
- Diseñar sistema de control de temperatura. Medición de temperatura con un intervalo de 15°C a 45°C
- Diseñar el sistema para adquirir con precisión datos de las variables del farinograma digital.

- Diseño para visualizar el farinograma con los datos procesados del sistema mediante una pantalla HMI
- Realizar una base de datos para guardar la información de las diferentes muestras de las pruebas de harina.
- Construcción del sistema diseñado para el funcionamiento del farinógrafo.
- Realizar pruebas para verificar la calibración y funcionamiento de todos los sistemas integrados.
- Implementación del sistema con puesta a punto de un farinógrafo, para la empresa Bimbo Colombia.



## JUSTIFICACIÓN

El laboratorio de calidad de la planta de Bimbo, tiene un farinógrafo para obtener las características de la harina de trigo provenientes de diferentes molinos, éste se encuentra fuera de servicio por presentar un desfase en las curvas obtenidas con un error que sobre pasa el 20%, la empresa por tal motivo quiere adquirir uno nuevo, se planteará realizar una actualización tecnológica al farinógrafo, por medio del uso de tecnología existente que nos permite integrarla para dejar a punto el sistema mecánico y diseñar en conjunto los sistemas capaces obtener la curva farinográficas correspondiente según el tipo de harina que se esté trabajando.

Otra razón para la actualización es el costo que implica comprar uno nuevo, el farinógrafo actual hace parte de los activos de la compañía lo que generaría una perdida adicional al momento de remplazarlo el costo de la actualización propuesta tiene un costo aproximado de \$55.000.000 (cincuenta y cinco millones de pesos) comparado con adquirir un farinógrafo nuevo que está estimado en \$180.000.000 (ciento ochenta millones de pesos).

Para el desarrollo de este proyecto se reducirán estos costos y el laboratorio de calidad tendrá a su disposición un equipo actualizado y la compañía un activo revalorizado que entrará en una nueva etapa de depreciación con un valor agregado.

# 1. METODOLOGÍA

La metodología del proyecto se presenta mediante el siguiente diagrama y posteriormente, se realiza una explicación de cada una.

**Figura 1-1.** Diagrama de la metodología del proyecto.

#### **a. Búsqueda de información sobre el farinógrafo.**

Se buscará información referente al farinógrafo y proyectos similares que se han llevado a cabo con el fin de darle una mejora al farinógrafo para la entrega de las características de la harina de trigo.

#### **b. Diagnóstico del farinógrafo.**

Con la máquina suministrada por la empresa se procederá a realizar pruebas, para determinar las partes que son funcionales y tenerlas en cuenta para reutilizarlas.

#### **c. Determinación de una actualización tecnológica.**

Con base a la investigación del funcionamiento del farinógrafo, se determina una actualización tecnológica reemplazando el sistema mecánico de adquisición de datos por uno electromecánico.

#### **d. Mantenimiento general al sistema mecánico y selección de partes funcionales.**

Se realizará una selección para el mantenimiento y puesta a punto de las partes funcionales del farinógrafo (base, dinamómetro, sistema de amortiguación, mezcladora y sistema de control de temperatura).

#### **e. Búsqueda de información para la selección del sensor.**

Adquirir información para seleccionar el sensor que más se ajuste a los requerimientos del sistema, para la obtención de datos y facilitar el procesamiento de estos.

#### **f. Selección de dispositivos del sistema de adquisición de datos.**

Con base a la información del farinógrafo se determinó utilizar un PLC para el procesamiento de las señales, una celda de carga Hardy con su respectivo módulo para la adquisición de datos y una pantalla HMI para la interfaz. Todos estos dispositivos integrados y comunicados por ethernet para agilizar la operación y registro de la prueba.

#### **g. Selección de dispositivos para el control del dinamómetro.**

El control del dinamómetro se realiza por medio de un variador, este nos permite tener arranques suaves y paradas inmediatas ante cualquier emergencia, activadas por las seguridades establecidas en el algoritmo del farinógrafo.

#### **h. Desarrollo del algoritmo para la adquisición y procesamiento de datos.**

Al adquirir los datos con los dispositivos de control ya seleccionados, se realizará un algoritmo por medio de la programación del PLC, este desarrollará los cálculos y los lleva a la interfaz para ser graficados y a su vez los almacenará en la base de datos, por medio de la macro que se desarrollará en Excel con Visual Basic para su posterior análisis.

#### **i. Diseño y programación de la interfaz de la pantalla HMI.**

Para lograr la operación con seguridad y la manipulación del equipo por el usuario, se implementará una pantalla HMI. Donde se realizará el diseño, programación y animación de los botones

y gráficos que darán la posibilidad de calibrar y desarrollar los ensayos según el nivel de permiso de cada usuario.

#### **j. Diseño y programación de la base de datos en Visual Basic.**

Para que el laboratorio de calidad logre tener una base de datos de los diferentes ensayos realizados a las harinas de trigo, se realizará una programación por medio de la herramienta de Excel "Visual Basic" que al tener comunicación directamente con el PLC, almacenará en una base de datos los resultados de las diferentes pruebas realizadas en el farinógrafo.

#### **k. Investigación y propuesta de mejoramiento del control de temperatura.**

Ya que el control de temperatura se emplea en un recipiente aparte del farinógrafo, se planteará una mejora para controlar la temperatura del agua que recirculará a través de la mezcladora y mantendrá la temperatura estable a  $30 \pm 2$  °C. Por tal motivo, se debe investigar que métodos y dimensiones se deben aplicar para garantizar el buen funcionamiento de esta transferencia de calor.

#### **l. Diseño de planos para la parte exterior del farinógrafo.**

Se debe realizar una renovación a la parte externa del farinógrafo, teniendo en cuenta en su diseño que esta debe incluir el tablero eléctrico, las partes mecánicas, los elementos de control y la ubicación de la pantalla HMI, para la interacción con el usuario de manera ergonómica, se realizarán los planos para su posterior fabricación.

#### **m. Selección del material de la carcasa del farinógrafo.**

El farinógrafo llevara a cabo pruebas con procesos alimenticios, lo cual hace que se tenga en cuenta la selección del material del cual va estar conformado la carcasa del farinógrafo garantizando la inocuidad de los procesos.

#### **n. Instalación de la carcasa del farinógrafo.**

Al terminar el ensamble de las partes mecánicas, se procederá a instalar la parte exterior del equipo, armar el tablero eléctrico, hacer la conexión de la red y la instalación de la pantalla HMI. para así darle culminación al ensamble de la máquina.

#### **o. Pruebas finales del farinógrafo.**

Al finalizar la parte de diseño y ensamble, se evidenciará el funcionamiento de todos los sistemas integrados, con pruebas de diferentes harinas provenientes desde los proveedores con su respectivo farinograma, de esta manera se comprobará que los resultados son congruentes.

#### **p. Elaboración del documento con los resultados obtenidos.**

Ordenar el documento teniendo en cuenta los procedimientos, fenómenos observados y demás variantes que se pudieron evidenciar a lo largo del desarrollo del proyecto.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Reología.

La reología es la ciencia del flujo y la deformación que estudia la parte mecánica de los materiales donde se tiene en cuenta la elasticidad, plasticidad y viscosidad de la materia, como líquidos, plásticos, sustancias asfálticas, materiales cristalinos entre otros. Por consiguiente, el campo de la reología se extiende desde la mecánica de fluidos newtonianos hasta la elasticidad de Hooke. [1]

Las propiedades reológicas de un alimento se reflejan en términos de funciones viscosas, elásticas y visco elásticas que enlazan el esfuerzo y deformación. El esfuerzo es la fuerza sobre una unidad de área, esta puede producirse por tensión, compresión o corte y se expresa en Pa ( $\text{N/m}^2$ ), la relación de deformación, medida adimensional, es la razón del cambio de longitud de deformación con la longitud original del material cuando se aplica un esfuerzo. [2]

La masa producto de la mezcla de agua y harina de trigo es un material visco elástico, sus propiedades reológicas dependen de su composición y de las condiciones de proceso utilizadas para su obtención; su comportamiento se puede valorar con diferentes tipos de medición que son de tipo empírico. Los equipos desarrollados para este fin son: el Farinógrafo, el Mixógrafo o el Extensógrafo y se aplica la Norma Técnica Colombiana NTC 5047 (está en adopción) ISO 5530-1 1997, la cual especifica un método para determinar

el comportamiento de las masas por medio de un farinógrafo, sin embargo, no dan suficiente información para interpretar el comportamiento fundamental de la reología de la masa, porque se utilizan medidas arbitrarias propias de cada equipo. [2]

## 2.2 Farinógrafo.

La determinación de la calidad de la harina de trigo se evalúa mediante pruebas reológicas y es un factor importante en la fabricación de productos derivados de esta harina. Para esto se ha desarrollado el farinógrafo, el cual es un instrumento que registra las cualidades de amasado, a través de un mecanismo apropiado.

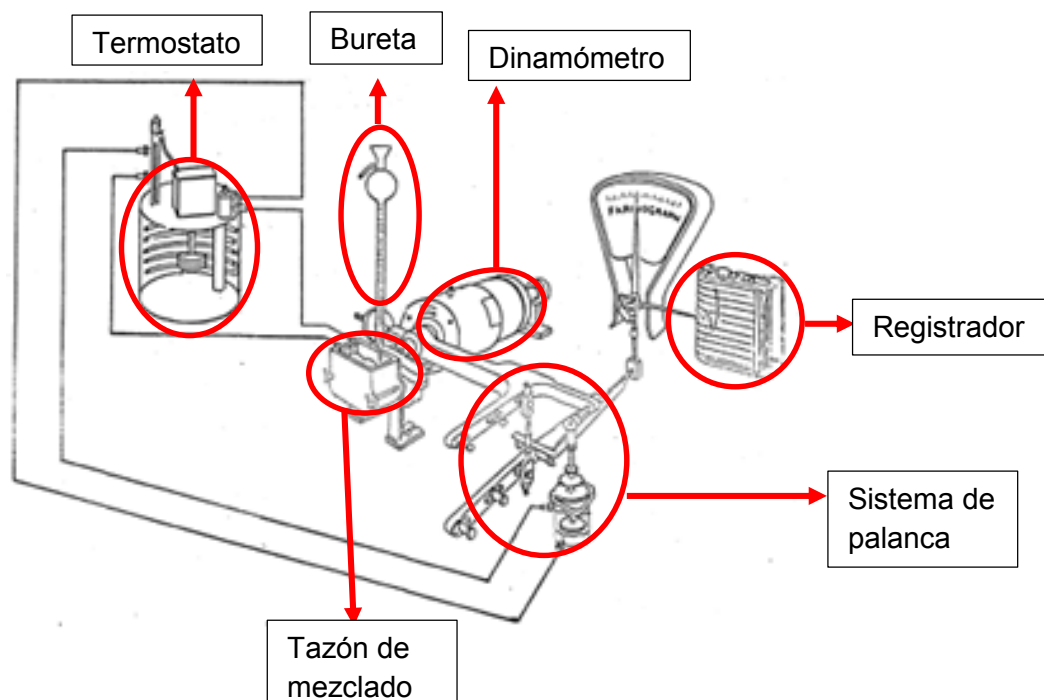
Hace menos de cuarenta años los químicos empezaban el estudio de la molienda de harina para esto se enfocaron en diluir o amplificar las diferencias entre trigos y harinas. La introducción del farinógrafo cumplió la necesidad de una comparación visual o gráfica de las propiedades físicas de la harina. [3]

El farinógrafo es esencialmente un reómetro, es decir, mide físicamente el fenómeno reológico derivado de la harina de trigo al ser mezclada con agua, esta opone una resistencia a la acción de mezclado y a través de un dinamómetro, un sistema de palanca, un sistema de amortiguación y un registrador se obtienen las características de la harina a través de una curva trazada por el farinógrafo, la resistencia al amasado se mide como par a través de un sistema mecánico, esta resistencia se registra a través del tiempo y es expresada en U.B (Unidades Brabender) para obtener como resultado un farinograma. [4]

### 2.2.1 Funcionamiento del farinógrafo.

El farinógrafo que se puede observar en la **Figura 2-1** es un equipo dinámico usado para determinar las propiedades físicas de la masa, funciona por medio de una mezcladora con una velocidad específica constante a 63 rpm, una temperatura controlada a 30°C y dos palas sigma giratoria de amasar, que someten una muestra de harina a un esfuerzo mecánico establecido que registra la resistencia de la masa frente a la acción de amasado, este depende de la consistencia de la masa y se mide como un valor de par. [5]

**Figura 2-1.** Esquema de un farinógrafo.



**Fuente:** A. Fernández, E. Rodríguez y A. Ayala. [5]

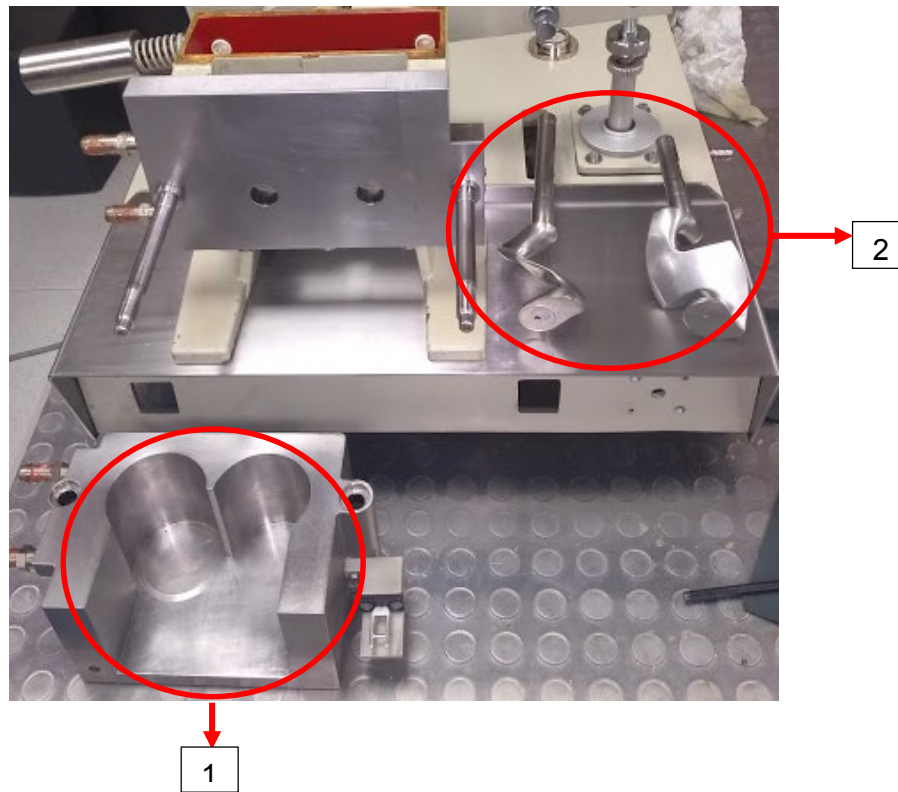
1. Tazón de mezclado.
2. Dinamómetro.
3. Sistema de palanca.
4. Registrador.
5. Bureta.
6. Termostato.

## 2.2.2 Tazón de la mezcladora.

El tazón de la mezcladora es una de las partes más importantes del farinógrafo, en este se desarrolla la masa por medio de un sistema mecánico. Diferentes estudios determinaron que las paredes del tazón deben permanecer a una temperatura constante a 30°C, por encima de esta temperatura el gluten se debilita y daña la estructura afectando la calidad de la proteína. [6]

La mezcladora es la encargada de realizar la mezcla por medio del tazón que tiene una capacidad de 300 gr y el amasado a través de dos palas sigma como se muestra en la **Figura 2-2**, estas están montadas sobre dos cojinetes y la transmisión es ejercida por dos piñones con una relación de 3:2, el piñón de ataque gira a la velocidad del dinamómetro a 63 rpm y el segundo gira a 88.5 rpm en la **Figura 2-3** se observa el despiece de la mezcladora. Para mantener la temperatura constante, el tazón es hueco junto con el reverso de la pared con el fin de recircular agua caliente por medio de un termostato. [6]

**Figura 2-2.** Tazón y palas sigma de la mezcladora.

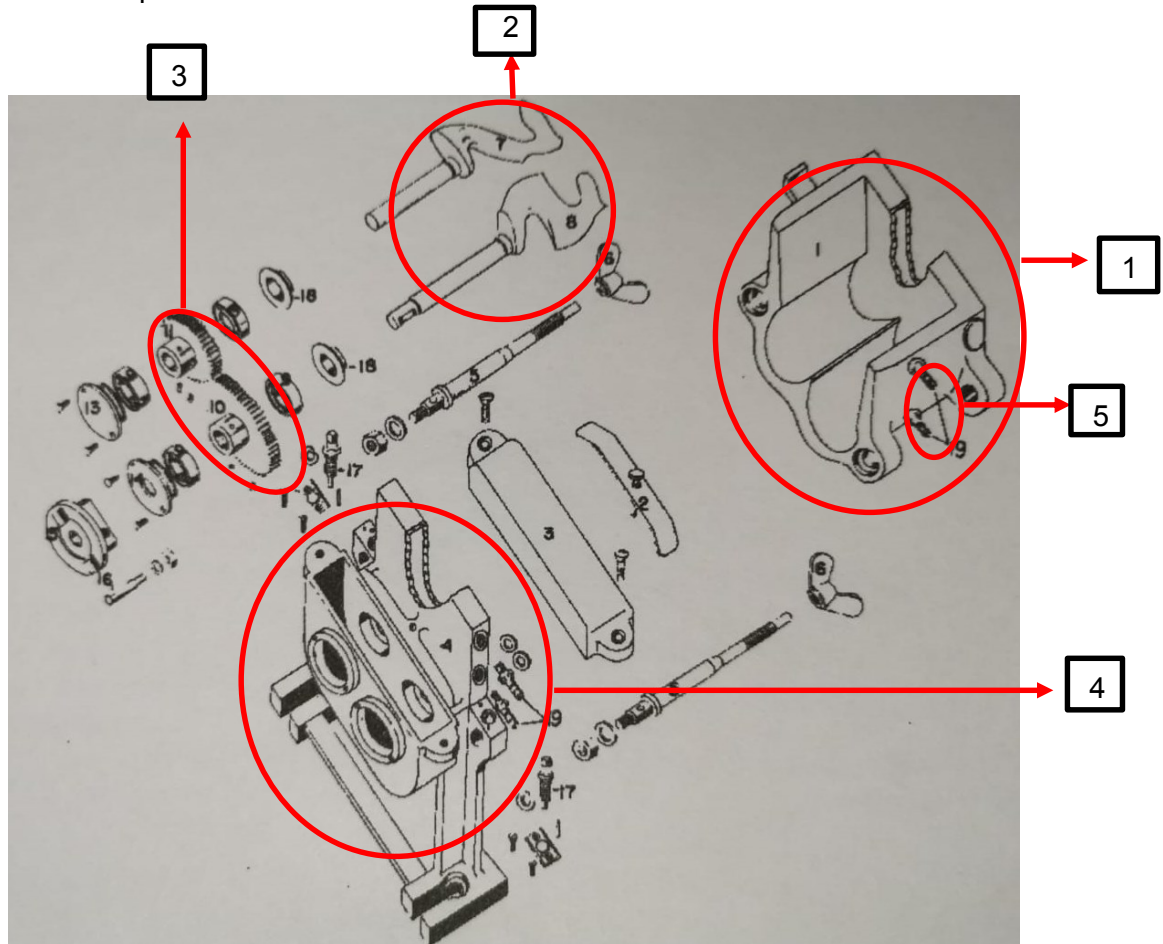


**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.



1. Tazón.
2. Palas sigma.

**Figura 2-3.** Despiece de la mezcladora.



**Fuente:** R. C. Medina Heredia y F. Peña Losada. [3]

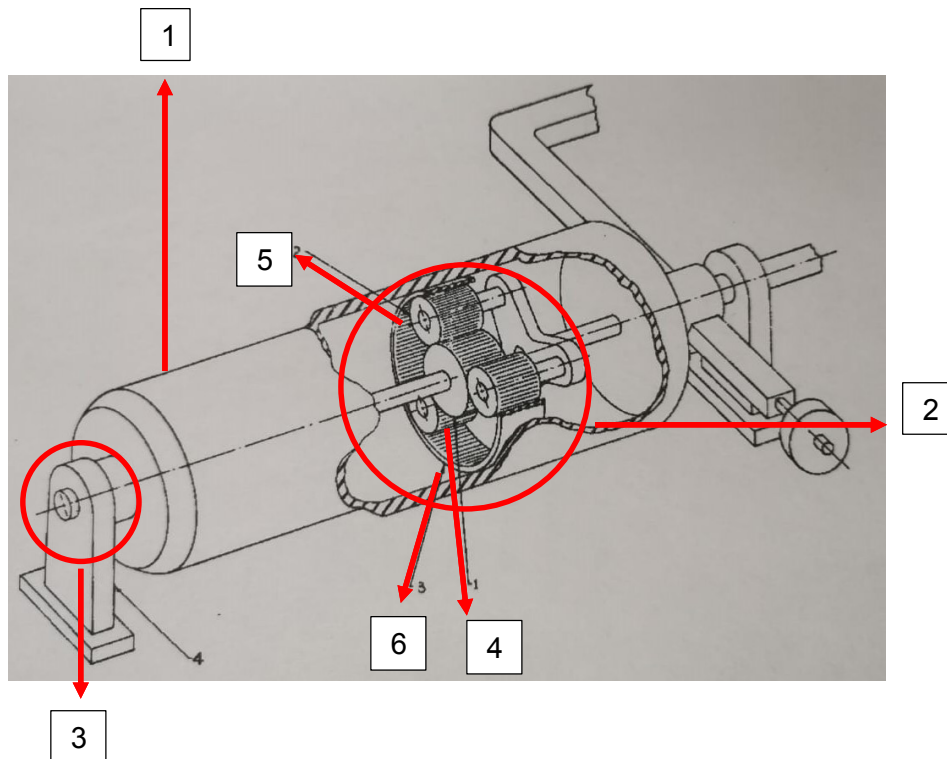
La mezcladora se conforma de cinco partes fundamentales como se muestra en la **Figura 1-3** estas son:

1. Tazón.
2. Palas sigma.
3. Caja de engranajes.
4. Piñones de transmisión.
5. Entrada y salida de agua.

### 2.2.3 Dinamómetro.

El principio del dinamómetro consiste en que la fuerza de acción y reacción son iguales y opuestas, debido a la resistencia de la masa al ser mezclada por las palas sigma, se crea un torque lo que obliga a la carcasa del dinamómetro a moverse en dirección opuesta a la de la fuerza motriz. La **Figura 2-4** indica las piezas que conforman el dinamómetro. [7]

**Figura 2-4.** Partes del dinamómetro.



**Fuente:** R. C. Medina Heredia y F. Peña Losada. [3]

Partes del dinamómetro

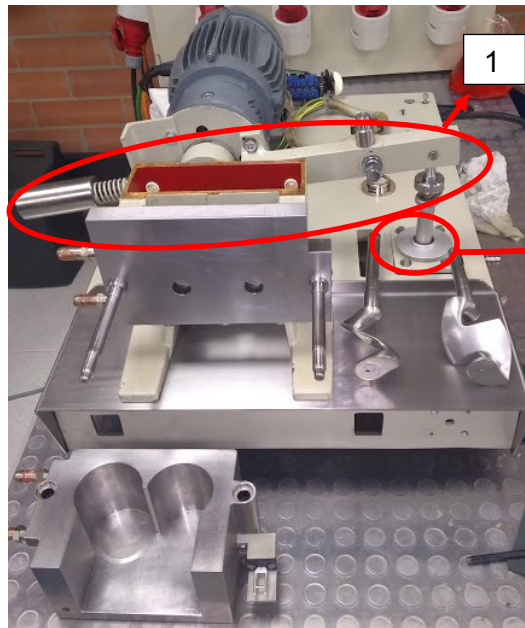
1. Motor eléctrico.
2. Bases del sistema flotante.
3. Sistema de engranajes planetarios de reducción contra-rotativos.
4. Engrane de impulso.
5. Engranajes planetarios.
6. Engrane circular (corona).

El motor de 0.5 HP impulsa el eje concéntrico del sistema de engranajes planetarios de reducción 27,4: 1, el engrane circular (corona) es el que proporciona una trayectoria y suministra una fuerza contra-rotativa. La carcasa del motor esta soportada por dos bases con rodamientos 2205ETN9 una en cada extremo lo que genera una rotación libre en cualquier dirección.

## 2.2.4 Sistema de palanca.

Este sistema se conforma de dos partes: La palanca y el sistema de amortiguación como se observa en la **Figura 2-5**. El sistema está sujeto a la base del dinamómetro, tiene la función de aumentar los movimientos de la carcasa al momento de realizar la mezcla, la resistencia que opone la masa al ser mezclada produce un torque que genera movimiento al sistema.

**Figura 2-5.** Sistema de palanca del farinógrafo.



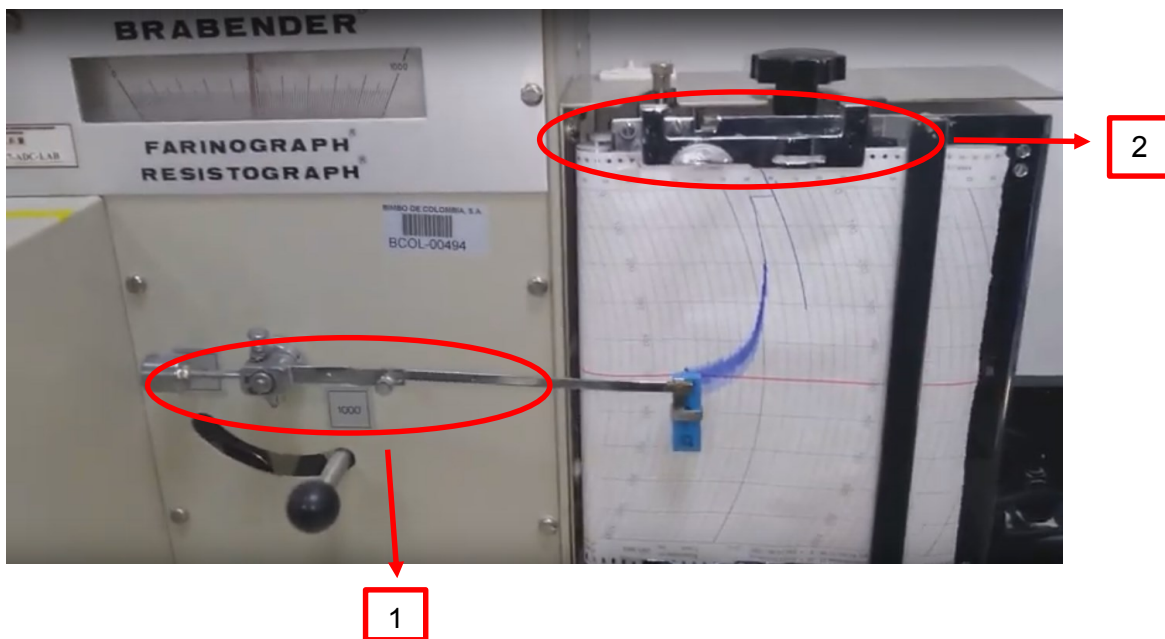
**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

1. Sistema de palanca.
2. Depósito de aceite.

## 2.2.5 Registrador.

El kimógrafo o mecanismo de registro se conforma de dos partes principales como se observa en la **Figura 2-6**, (1) el brazo graficador, este rota alrededor del punto de pivote generando un movimiento rotativo, el cual aumenta o disminuye en función del torque aplicado a la mezcla, el torque se transmite a través del sistema de palanca y (2) el mecanismo de avance del papel diagramado que es el encargado de avanzar durante el tiempo que se demora la prueba, este tiene un avance de 1 centímetro por minuto. [7]

**Figura 2-6.** Partes del registrador mecánico del farinógrafo.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

1. Brazo graficador.
2. Mecanismo de avance.

## 2.2.6 Bureta.

La bureta es la encargada de medir la cantidad de agua necesaria para la mezcla, uno de los puntos importantes para obtener los resultados del farinógrafo: es la velocidad de dosificación del agua que debe agregarse en 30 segundos para obtener un farinograma

normal y repetible, esta cuenta con una capacidad de agua de 223 mililitros y tiene doble escala, una de capacidad en mililitros y otra en porcentaje de absorción. [8]

### **2.2.7 Termostato.**

Dado que el tazón de la mezcladora es la parte más importante del farinógrafo, se estableció que la temperatura de este debe permanecer constante a 30°C. En efecto el termostato es el equipo encargado de controlar la temperatura, recirculando agua por medio de las paredes del tazón, la temperatura de la masa tiene un efecto significativo en la curva resultante (farinograma).

Las partes del termostato para su funcionamiento son: el tanque o depósito de agua, elemento de calefacción, la bomba de recirculación y controlador PID. En la siguiente **figura 2-7** se observa el termostato de la marca Brabender. [8]

**Figura 2-7.** Termostato Brabender del farinógrafo.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

A continuación, en la **Tabla 2-1** se observan las especificaciones del termostato.

**Tabla 2-1.** Especificaciones del termostato del farinógrafo marca Brabender.

<b>Termostato T 151 E</b>	
Rango de temperatura	20 - 200°C
Estabilidad de temperatura	± 0.1°C
Selección de temperatura	Teclado
Indicador de temperatura	Pantalla
Control de temperatura	PID
Sensor de temperatura	PT 1000
Capacidad de calentamiento	2000 W
<b>Bomba de circulación</b>	
Max presión	350 mbar
Max descarga	15 L/min

Conexión	
Voltaje	230 V, 50 Hz 110 V, 60Hz
Potencia máxima	2150 W
Corriente	9 A

**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

## 2.3 Actualización tecnológica.

Algunos de los componentes electrónicos de los equipos, al llegar al final de su vida útil entran en una etapa de obsolescencia, lo que dificulta el reemplazo de repuestos y partes electrónicas ya descontinuadas por parte de los proveedores.

La actualización tecnológica se realiza con dispositivos que sean compatibles con el resto del sistema, dando como resultado un desempeño eficiente, preciso del equipo, mejorando sus prestaciones, y eliminando los riesgos de seguridad para el personal.

Para la ejecución del trabajo se tuvo en cuenta un procedimiento como se muestra en la siguiente parte del capítulo. [10]

### 2.3.1 Mantenimiento.

La principal aplicación del mantenimiento industrial es favorecer el buen estado de los equipos con el paso del tiempo. con estos indicios se notan las evoluciones del área de mantenimiento acorde con la demanda industrial, las cuales son todas aquellas empresas de procesos o servicios que generan un bien común para la sociedad ya sean tangibles o intangibles. [11]



Para el mantenimiento en donde todas las fallas imprevistas se corrigen mediante el mantenimiento correctivo, como área de estudio del mantenimiento su función concreta es favorecer la funcionalidad y el mantener la estructura de un equipo productivo para que cumpla con su objetivo de producir bienes y servicios, en cada derivación de las ingenierías cambian los objetos que hay que mantener, pero prima el cuidarlos para que funcionen correctamente. [12]

El mantenimiento y reparación son detalles esenciales del objeto de estudio entendiéndose como la rama esencial para el ciclo de vida de las máquinas en sus tres etapas: mantenimiento, reparación y sustitución.

- **Mantenimiento preventivo:** Es la antítesis del mantenimiento correctivo, y se basa en evitar los fallos antes de que ocurran. De esta manera se termina con la idea de parar toda una producción porque una máquina se ha averiado, con la consecuente pérdida de tiempo del empleado y de productividad de la máquina, con el mantenimiento preventivo se evitan estas pérdidas ya que la revisión se ha hecho antes de que el daño ocurra.
- **Mantenimiento correctivo:** Es la actividad que se lleva a cabo para reparar el daño encontrado durante el mantenimiento preventivo. En general no se trata de acciones planificadas, ya que se realiza cuando un componente ha sido dañado. Su objetivo es restaurar y devolver la confiabilidad del sistema y devolverlo a su estado original.
- **Mantenimiento predictivo:** Es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda remplazarse, con base en un plan antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo del componente se maximiza. [12]

### 2.3.2 Controlador lógico programable (PLC).

Desde los inicios de la industrialización, el hombre ha tratado de encontrar la manera de agilizar un trabajo, el cual resulta bastante monótono para el operador. El componente que ha sido crucial en estos procesos es el autómata programable o PLC; este dispositivo agiliza tareas y evade al hombre de riesgos tanto para él como su entorno. [13] El principal objetivo de estos controladores, es recibir múltiples señales de entrada para convertirlos en una señal de salida por la cual fue programado. Los lenguajes de programación de PLC pueden ser símbolos, caracteres y reglas de uso. [14] Esto, debido a que puede ser usado por diferentes ramas de la ingeniería las cuales desarrollan diversas formas de comunicación, por ejemplo:

- **Lenguaje ladder:** Es uno de los primeros lenguajes en ser usados, ya que posee similitud en cuanto a los diagramas con reveladores. También se llama lenguaje de escalera, esto debido a que se desenvuelve en dos ejes verticales los cuales permiten desplegar la programación en sentido horizontal. Se caracteriza por escribir su programa desde el lado izquierdo, lo que complica la lectura en sentido contrario, por lo tanto, las señales de salida irán en el lado derecho esto con la opción de poner condiciones en paralelo en cualquiera de estos dos lados.
- **Diagrama de bloques:** En esta forma de programar, se utiliza simbología lógica la cual no requiere colocar una bobina de salida. Esta, es asignada en la salida de los bloques y la evaluación de una red culmina antes de iniciar la siguiente. [15]
- **Lista de instrucciones:** Este lenguaje se caracteriza por ser la base de todos los lenguajes ya que es el más antiguo, este es el precursor del diagrama escalera por lo que se usaba en la época que las computadoras aun no tenían la capacidad de graficar. En la actualidad se sigue haciendo uso de este ya que todo lenguaje es traducido a la lista de instrucciones haciéndolo más compacto.
- **Texto estructurado:** Está compuesto por una serie de instrucciones las cuales se ejecutan como transcurre en los lenguajes superiores. Este programa posee grandes similitudes al lenguaje de Pascal y en especial al lenguaje en C. sus principales características es tratar indistintamente las mayúsculas y minúsculas, se le puede incluir operaciones aritméticas complejas y además admite ciclos de iteración (Repeat – Until, While – do). [16]

**Los tipos de controladores son:**

- **Sistema de control distribuido:** Es un sistema de control que se aplica a procesos de la industria que son muy complejos como petroquímicos, metalurgias, plantas de tratamiento de agua. En la actualidad un sistema de control distribuido tiene la capacidad de controlar hasta 250.000 señales, donde se trabaja con una sola base de datos que así mismo integra todas las señales de alarmas, gráficos, variables, señales y muchas más. [18]
- **Controladores programables de automatización:** Esta tecnología industrial va orientado al diseño de prototipos y de medición, combinando eficientemente la fiabilidad de control del autómatas con la flexibilidad de monitoreo y cálculo. Son muy usados en casos con múltiples lazos cerrados de control independientes, adquisición de datos de precisión, análisis matemático, memoria profunda y seguridad controlada entre otras. [19]

**2.3.3 Visual Basic.**

Visual Basic es un lenguaje para la construcción productiva de aplicaciones, orientando objetos de manera segura para programar en Windows, Web y dispositivos móviles, [20] como todos los programas de Microsoft .NET escribe en Framework, lo que beneficia en seguridad y lenguaje propio. [21]

Una macro en Excel se escribe en este lenguaje que es conocido como (VBA) Visual Basic para Aplicaciones lo que permite programar con las diferentes funcionalidades de Excel dando amplio desarrollo a este programa de Office, donde por medio de comandos almacena un lugar especial de Excel. [22]

## 3. DESARROLLO DEL PROYECTO.

Para el desarrollo del proyecto se tuvieron en cuenta los principios de funcionamiento del farinógrafo, para realizar la actualización tecnológica se utilizaron sus partes aun funcionales. Estas, se eligieron por medio de un diagnóstico elaborado previamente al equipo.

Este capítulo se basa en la ejecución de las tareas propuestas en los objetivos, el proceso de la actualización tecnológica se realizó de la siguiente manera: El diagnóstico, mantenimiento, reparación y modificación.

### 3.1 Diagnóstico.

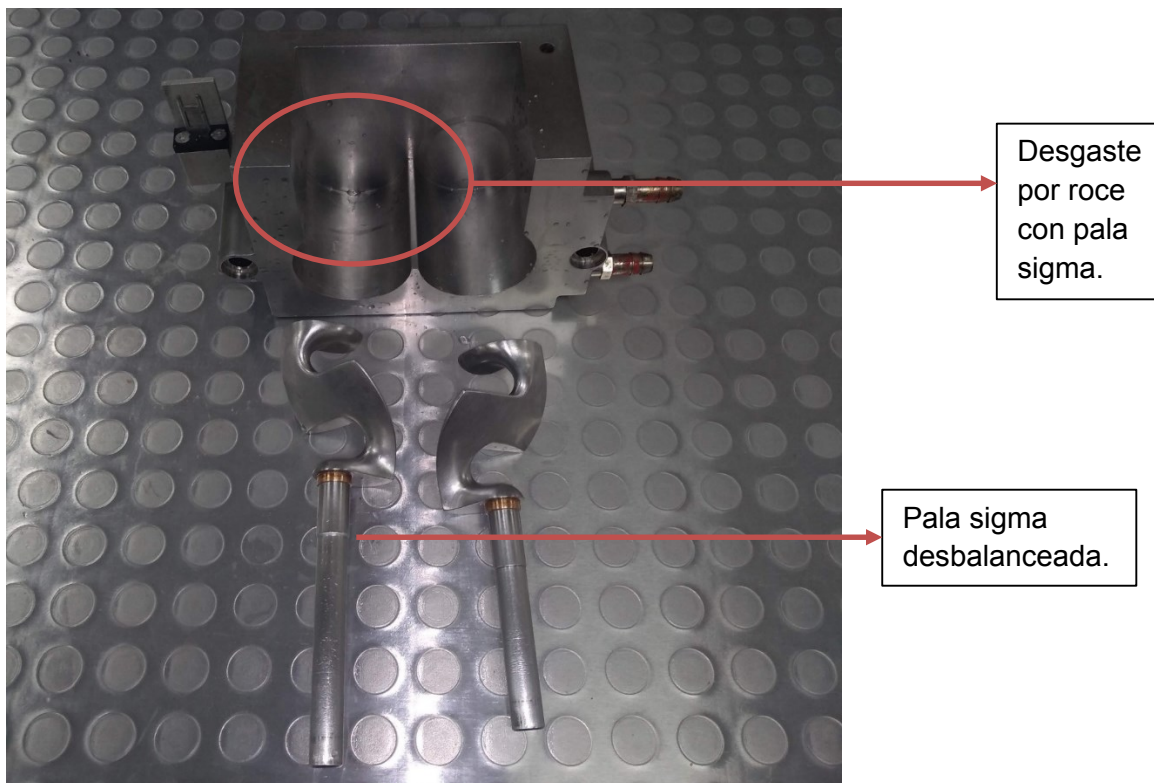
Esta etapa del proceso es una de las más importantes, se realizó una revisión de todas las partes del equipo y se determinó el estado del mismo, así como las piezas que son necesarias reemplazar o eliminar, las partes que aún se pueden reparar y las partes que se pueden utilizar para la actualización. Para elaborar el diagnóstico del farinógrafo se dividió en tres partes su sistema mecánico, sistema de control y parte eléctrica.

#### 3.1.1 Sistema Mecánico.

Para la parte mecánica se detectaron los siguientes problemas:

- Una de las palas sigma de la mezcladora como se observa en la **Figura 3-1** presentaba desbalanceo, se observó que rozaba con la estructura de la mezcladora generando una fricción alterando el resultado del farinograma y ocasionando un desgaste en la pared de la mezcladora.

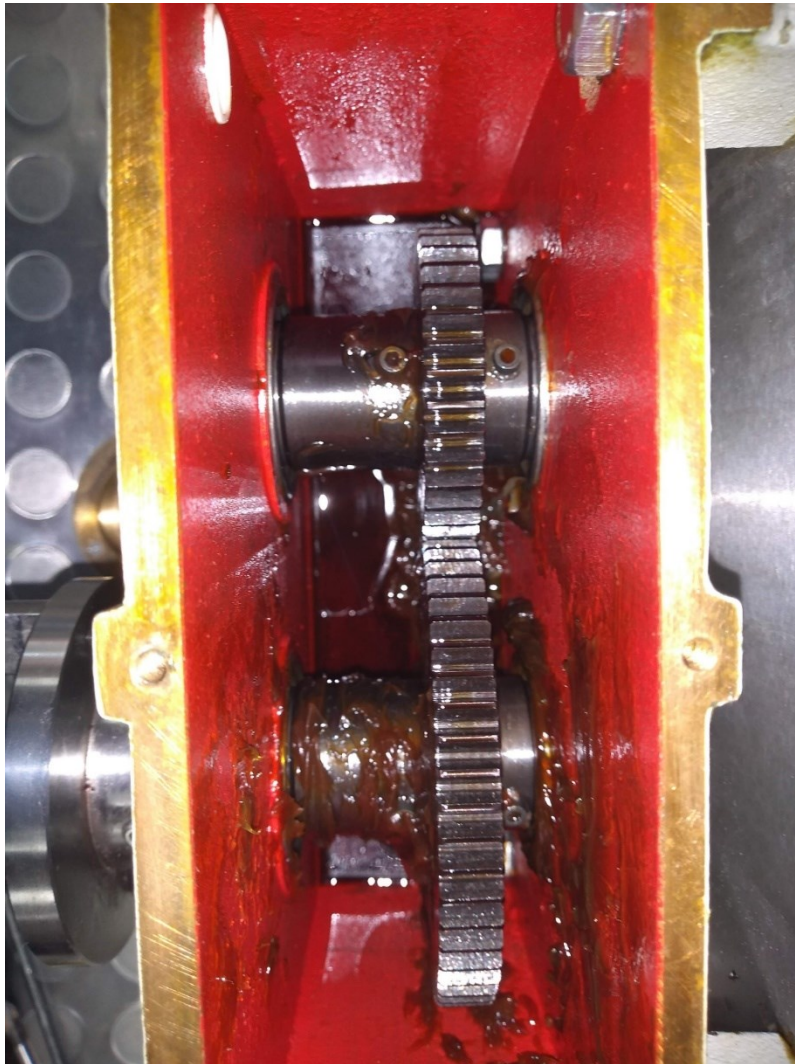
**Figura 3-1.** Mezcladora del farinógrafo desarmada.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

- Este roce producía una fuerza de fricción con la pared de la mezcladora, la cual se veía como una fuerza adicional a la resistencia que generaba la masa con las palas sigma.
- En el sistema de transmisión, el principal problema que se detectó fue el lubricante de la caja de engranajes como se observa en la **Figura 3-2** que se encontraba deteriorado, lo que dio origen al óxido en el interior, los piñones estaban picados debido a que el lubricante había perdido su vida útil, los rodamientos presentaban óxido por la mala lubricación de ellos al interior de la caja.

**Figura 3-2.** Caja de engranajes.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

- La caja de engranajes presentaba un deterioro en el lubricante perdiendo sus propiedades físico químicas, causando un desgaste pulimentado, perdiendo su línea de engrane y el perfil de los dientes ocasionando vibraciones que generaban una lectura errónea de los datos al momento de realizar la prueba.
- El sistema de amortiguación presentaba en el interior moho debido a que el empaque ya había perdido el sello ocasionando que estancara agua dentro del depósito de aceite.

**Figura 3-3.** Depósito de aceite.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

- El aceite del sistema de amortiguación visto en la **Figura 3-3** se encontraba contaminado con agua causando una oxidación y deterioro de este, evitando que el sistema funcione correctamente.

### **3.1.2 Sistema de control.**

- El termostato a temperatura constante controlado por un termostato es un sistema que funciona por separado al farinógrafo no encendía sus resistencias y el agua no recirculaba porque los conductos estaban obstruidos por corrosión como se puede observar en la **Figura 3-2**, razón por la cual se propuso diseñar un controlador de temperatura.
- Las características de este termostato original de Brabender viene con las siguientes especificaciones en la **Tabla 3-1**.

**Tabla 3-1.** Especificaciones del termostato original Brabender.

<b>Especificación</b>	<b>Valor</b>
Volumen de llenado	3-4.5 L
Estabilidad de la temperatura	$\pm 0.1$ °C
Control de temperatura	PID
Sensor de temperatura	PT 1000
Voltage	230 V 50/60Hz - 115 60Hz
Corriente	9 A
Potencia	2150 w

**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.



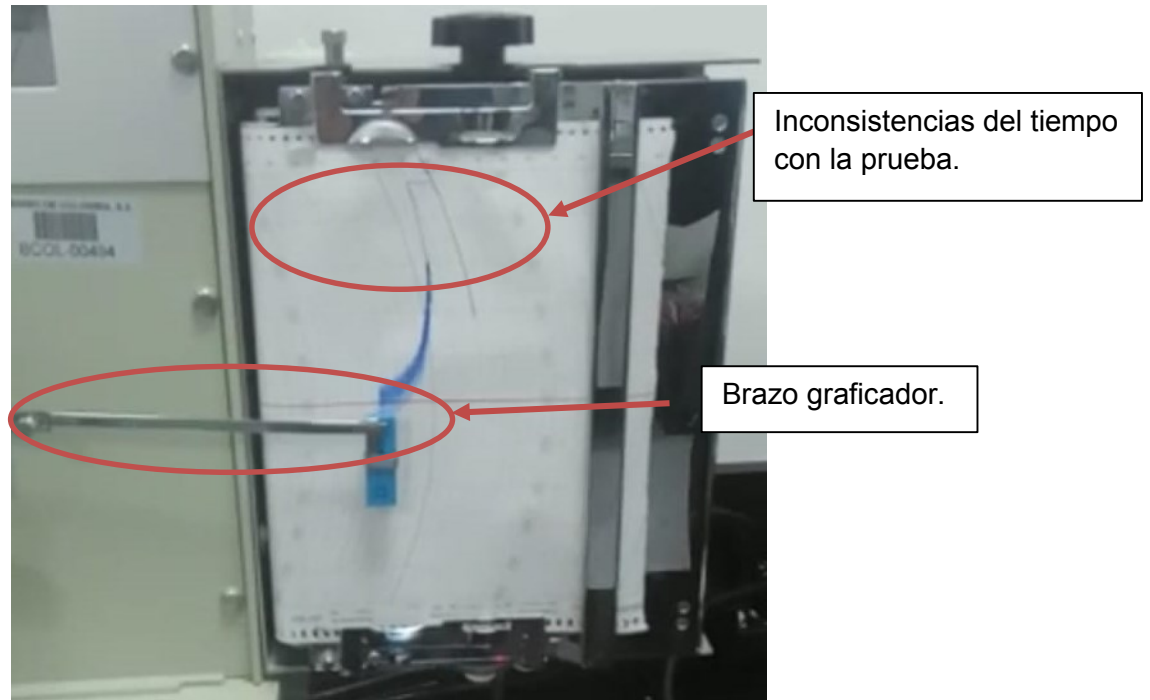
**Figura 3-4.** Termostato del farinógrafo.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

- Se plantea una mejora por la avería de este equipo, con un diseño de control de temperatura PI para mantener los  $30 \pm 2^\circ\text{C}$  y poder hacer constante la temperatura del enchaquetado de la mezcladora ver el **Anexo F**.
- El graficador se encontró descalibrado lo cual impedía que los tiempos coincidieran con la prueba, adicionalmente el brazo graficador como se puede observar en la **Figura 3-5** presentaba desgaste en sus acoples.

**Figura 3-5.** Graficador del farinógrafo.



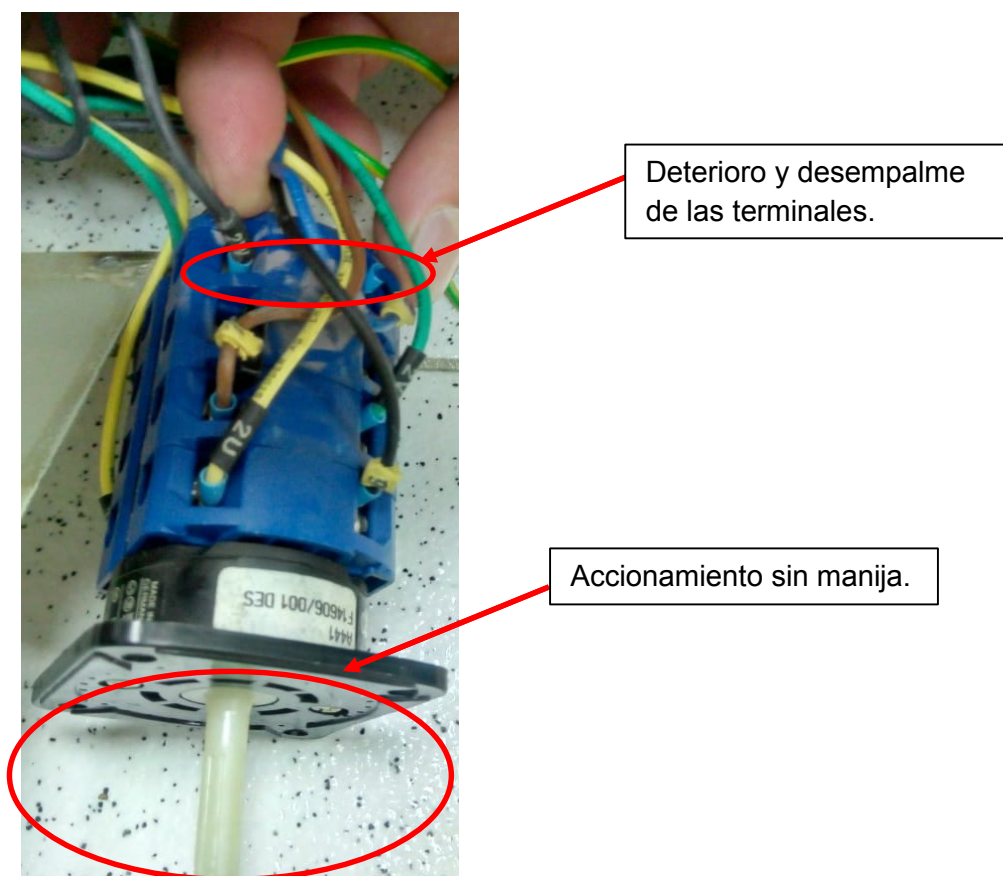
**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

- El estado del graficador fue determinante, para diseñar una interfaz que permita visualizar las características de la harina en una pantalla HMI.
- Mediante una macro en Excel se pretende recopilar las pruebas que genere el farinógrafo, generando así una base de datos para el laboratorio de calidad.
- El farinógrafo es un equipo con criterios de diseño y seguridad basados a la época de su construcción (1960), en esta década la seguridad no era prioridad ni tan enfática como lo es actualmente no tiene ningún sistema de seguridad para el equipo ni para el que lo manipule, esto hizo que sea determinante el desarrollo de un algoritmo que mediante un PLC establezca un sistema de control para su encendido, seguridad, cálculos y parametrización antes y durante la realización de una prueba.

### 3.1.3 Sistema eléctrico.

Se inspeccionó la conexión del cableado del selector de velocidad del motor como se puede observar en la **Figura 3-6** este permitía su funcionamiento, de esta manera se conoció la corriente que inicialmente se quería controlar para saber el torque que generaba la mezcla. En el desarrollo de este proyecto se muestra como se descarta esta opción y se le da una solución viable para conocer el torque que, al hacer su conversión, finalmente brinda las características de la harina de trigo.

**Figura 3-6.** Accionamiento del motor.

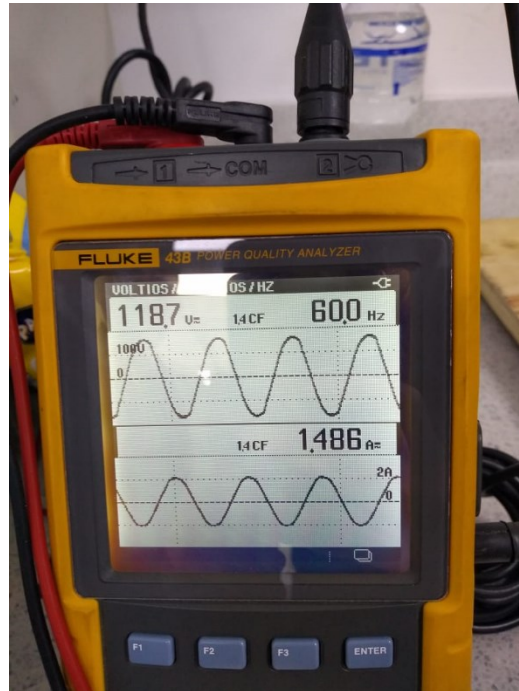


**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

- El accionamiento del motor estaba en mal estado, donde se encontró sin manija para su correcta manipulación.
- Las terminales de la conexión tenían desgaste a punto de salir de su empalme, por lo tanto, se plantea el encendido del motor por medio del control e interfaz de la

pantalla HMI que se comunica con el PLC y a través de un variador de velocidad controlar el arranque, el paro y la velocidad del motor.

**Figura 3-7.** Corriente del motor puesto en marcha.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

- En principio se midió la corriente para obtener el torque que producía el motor, con un analizador de fase que se encontraba en la universidad en el laboratorio de máquinas eléctricas como se muestra en la **Figura 3-7**, se determinó la corriente del motor puesto en marcha donde se comprobó que la corriente era constante y no variaba al momento de realizar la prueba, descartando esta opción como la toma de datos del torque.
- Se plantea una solución para saber el torque en función del tiempo, implementando una celda de carga para medir la fuerza que genera el brazo de palanca por la resistencia que hace la masa al movimiento, basados en el principio de acción y reacción del dinamómetro, se obtienen datos que son convertidos a unidades de torque y relacionados a unidades Brabender.

Una vez que se evaluaron todos los aspectos de viabilidad del proyecto, se procede a darle cumplimiento a los objetivos planteados anteriormente, donde se da como resultado una

actualización compacta y moderna para la adquisición de las características de la harina en el laboratorio de calidad previo al proceso de panificación a gran escala.

### 3.2 Ajuste y puesta a tiempo del sistema mecánico.

Para empezar, se hizo el despiece del farinógrafo donde la carcasa original se eliminó, debido a que tiene grandes dimensiones y no cumple con los requerimientos para darle una imagen moderna y compacta. Siendo este uno de los objetivos para el rediseño de la parte exterior del farinógrafo. Se presenta a continuación la máquina entregada por la empresa Bimbo en la **Figura 3-8**.

**Figura 3-8.** Farinógrafo laboratorio de calidad.



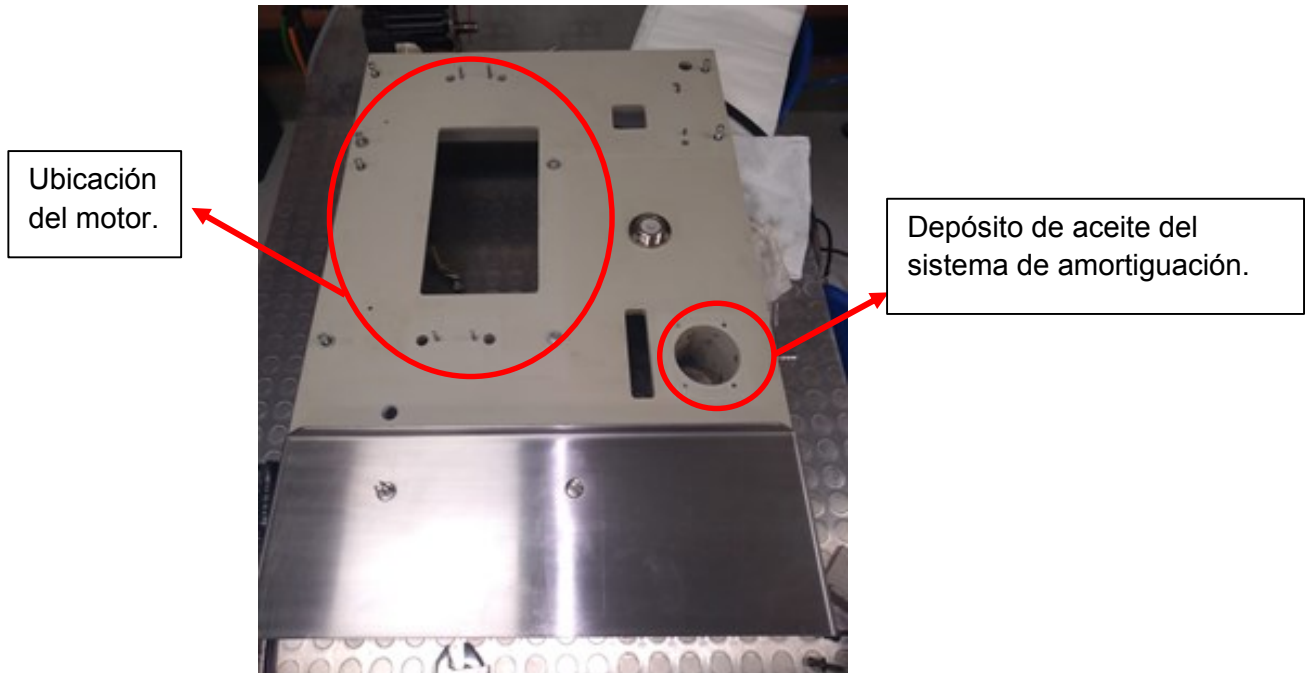
**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

Una vez desmontadas todas sus piezas se inspeccionó detalladamente cada uno de los elementos que lo componen, donde se observó un deterioro en la mayoría de estas. Posterior a esto se realizaron las respectivas correcciones mecánicas con el fin de obtener resultados favorables al momento de poner en marcha el equipo.

### 3.2.1 Base del farinógrafo.

Como primer paso, se realizó la limpieza completa de la base del equipo, donde se notó el deterioro que presentaba generado por hongos y partes en mal estado. Esta parte se determinó como funcional ya que era cuestión de mantenimiento y por lo que las partes mecánicas encajaban perfectamente. De tal manera que esta base de la **Figura 3-9** le dio un punto de partida al rediseño estructural del farinógrafo.

**Figura 3-9.** Base del farinógrafo.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

La base del farinógrafo fue completamente funcional, se le realizó una limpieza con un desengrasante industrial llamado "Degreaser H-7" el cual tiene la siguiente composición química descrita en la **Tabla 3-2**.

**Tabla 3-2.** Composición química del desengrasante.

Nombre químico	Concentración (%)
Dodecilbencenosulfonato sódico	5 - 10
Alquilsulfato etoxilado	1 - 5
Dipropilenglicol éter	1 - 5

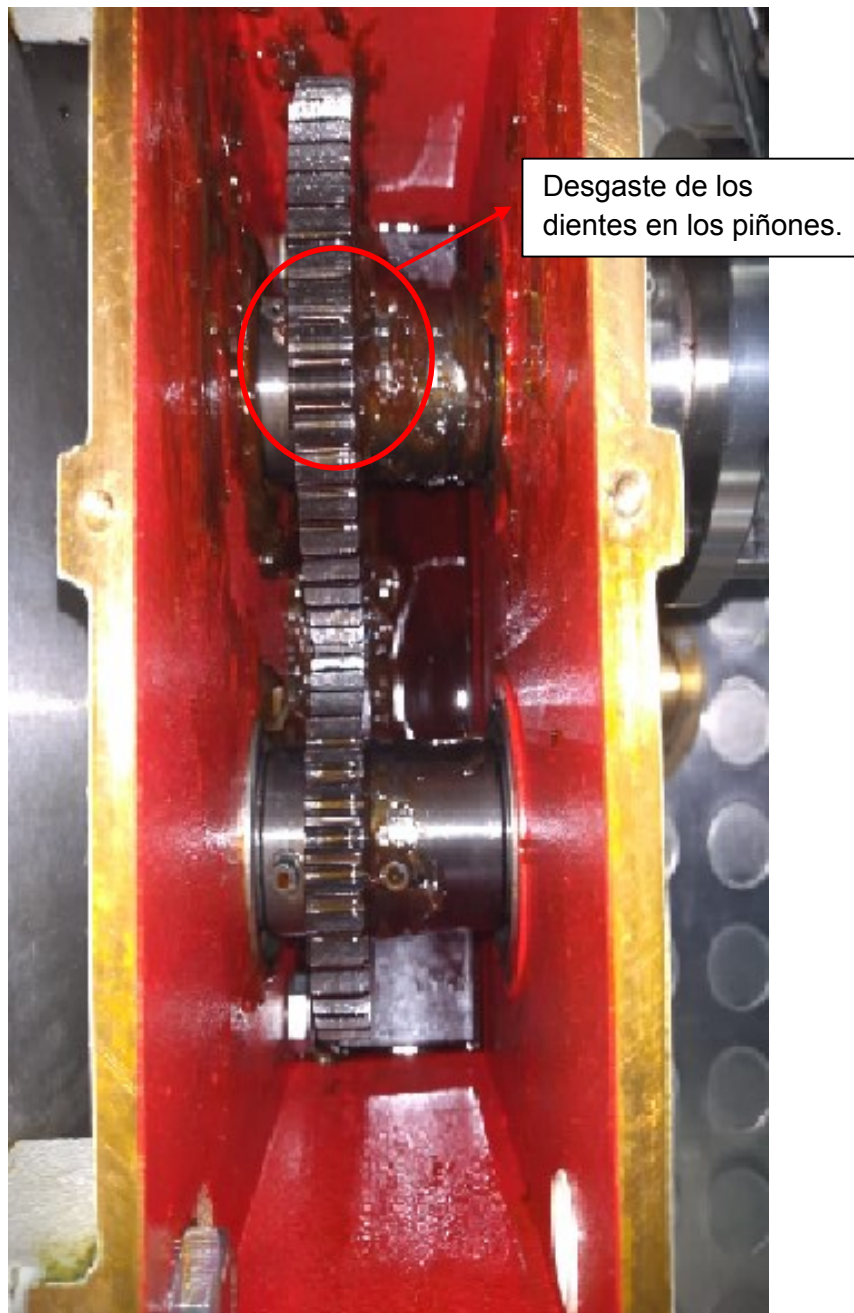
**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

Con este desengrasante se logró quitar el moho, el aceite y el óxido que habían deteriorado esta parte del farinógrafo por falta de un mantenimiento preventivo, dándole así una restauración al aspecto de la base.

### 3.2.2 Transmisión de la mezcladora.

En la verificación de la trasmisión de la mezcladora, se encontró que los rodamientos estaban al límite de su vida útil y el lubricante de los piñones presentaban residuos, por lo que se procedió a realizar la limpieza de la caja de transmisión retirando todas las partículas y el lubricante deteriorado, seguido a esto se realizó el acople de sus partes mecánicas para realizar el cambio del lubricante como se puede observar en la **Figura 3-10**.

**Figura 3-10.** Caja de engranajes del farinógrafo deteriorado.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

Por el deterioro en los dientes de los engranajes y el mal estado de su lubricante, se lubricó con grasa “superkote 2000” esta tiene unas propiedades indicadas para este tipo de trabajo.

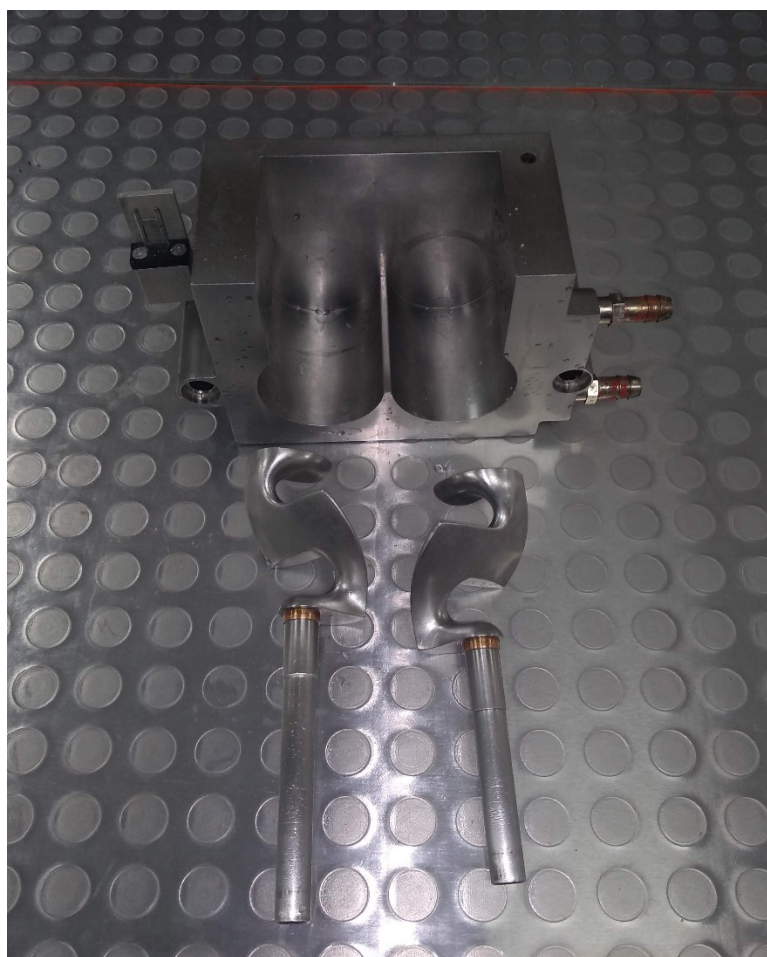


### 3.2.3 Mezcladora.

En este paso se revisó el sistema de enchaquetado de la estructura de la mezcladora, donde se realizó una limpieza por medio de una purga con ácido muriático, la cual permite eliminar cualquier partícula de óxido.

Por otro lado, se inspeccionaron las palas sigma en la **Figura 3-11** donde se encontró un desbalance en una de ellas, ocasionando un rozamiento con la pared de la estructura de la mezcladora lo que generaba una variación en el funcionamiento e impedía la calibración del equipo. Para corregir este error se efectuó un balanceo en una empresa especialista en cuanto al tema.

**Figura 3-11.** Mezcladora y palas sigma del farinógrafo.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

Estos desbalances en las palas sigma generaban rozamiento dentro de la mezcladora, lo que ocasiono algunos desgastes que fueron corregidos por la empresa a la cual se le solicitó el servicio de balanceo, esto ayudo a minimizar gastos ya que adquirir nueva esta parte del equipo tiene un costo de \$30.000.000 (treinta millones de pesos).

### 3.2.4 Sistema de amortiguación.

Se desarmó todo el sistema de amortiguación, donde se encontró un aceite degradado y el depósito de aceite del sistema desintegrándose como se puede apreciar en la **Figura 3-12**, por ello se realizó una limpieza y un ajuste a sus piezas mecánicas (tornillería, tuercas, contratuercas, entre otras).

**Figura 3-12.** Depósito de aceite del farinógrafo.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

El depósito de aceite el cual presentaba muchos índices de deterioro, se encontró con óxido y moho por el tiempo que tenía sin un mantenimiento preventivo, para realizar su

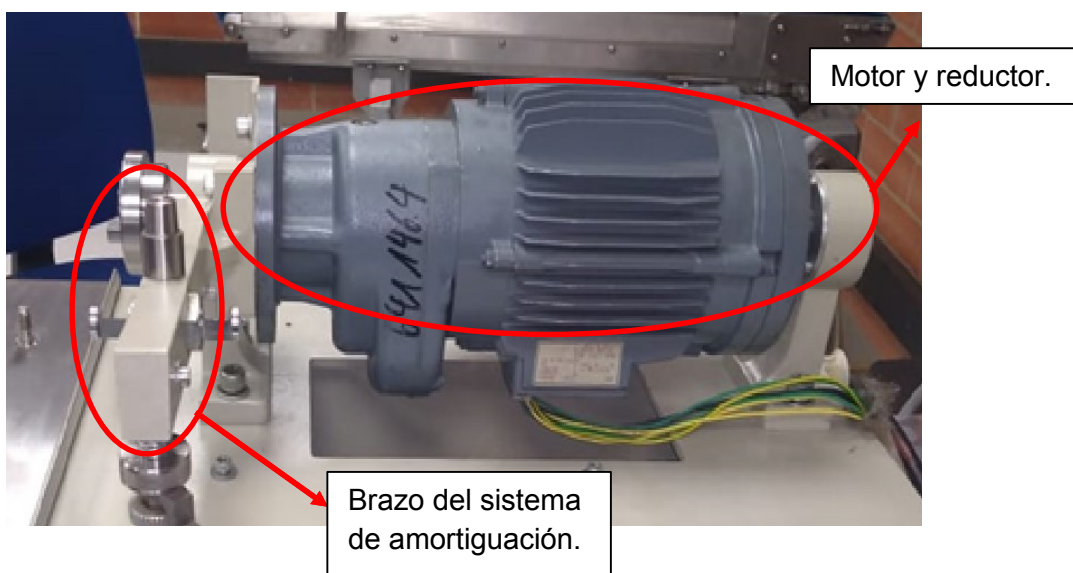
limpieza se usó un desengrasante llamado “Degreaser H-7” las propiedades del desengrasante se pueden observar en la **Tabla 3-3**.

Con este desengrasante se logró quitar el moho, el aceite y el óxido que habían deteriorado esta parte del farinógrafo, y de esta manera se procedió a llenar de nuevo con aceite “dte 26” que cumpliría con su función de amortiguar el torque que ejerce el motor al brazo pendular.

### 3.2.5 Moto reductor y soportes del sistema flotante.

Se revisó el estado del reductor y se verificó que el aceite se encuentra deteriorado por medio de un comparador de aceites, por lo que se realizó el cambio de aceite por Mobil SHC 630 para validar su lubricación y que sea eficaz su funcionamiento. Complementario a esto se generó el cambio de rodamientos a los soportes del sistema flotante de transmisión del motor, en la **Figura 3-13** se puede observar el moto reductor y soportes del sistema flotante.

**Figura 3-13.** Motor reductor y soportes del farinógrafo.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

Se reemplazaron los rodamientos del sistema flotante ya que estaban al límite de su vida útil, las especificaciones de este rodamiento 6205 se da a conocer en la **Tabla 3-3**.

**Tabla 3-3.** Especificaciones de los rodamientos del sistema flotante.

<b>Especificación</b>	<b>Valor</b>
Peso	0.133 kg
Capacidad de carga dinámica, radial	14900 N
Capacidad de carga estática, radial	7800 N
Carga límite de fatiga, radial	410 N
Velocidad limite	8000 rpm

**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

El cambio a estos rodamientos le dio buena estabilidad al sistema flotante y garantizó el buen funcionamiento con el fin evitar resultados erróneos al realizar pruebas con el farinógrafo.

### **3.2.6 Caracterización del motor.**

La universidad Antonio Nariño permitió utilizar el laboratorio de máquinas eléctricas para realizar una prueba con el dinamómetro en el banco Labvolt Didatic de Festo, en la **Figura 3-14** se mencionan las características del motor y se constató su funcionamiento por medio del banco de pruebas.

**Figura 3-14.** Alimentación/dinamómetro de cuatro cuadrantes Labvolt Didactic.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

**Tabla 3-4.** Tabla de especificaciones Labvolt Didactic de Festo.

Dinamómetro	Valor
Torque	0 – 3 N.m
Velocidad	0 – 2500 rpm
Potencia nominal	350 W
<b>Fuente de poder</b>	
Voltaje DC	0 – 150 V

---

Voltaje AC	0 – 105 V
Corriente DC	0 - 5 A
Corriente AC	0 – 3.5 A
Máxima salida de potencia	500 W
Frecuencia AC	10/120 Hz

**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

Para realizar esta prueba se diseñó un banco para el motor reductor y el dinamómetro del equipo en una base de madera, fabricando un acople entre el motor y la polea para realizar la transmisión del dinamómetro en la **Figura 3-15** se observa el montaje.

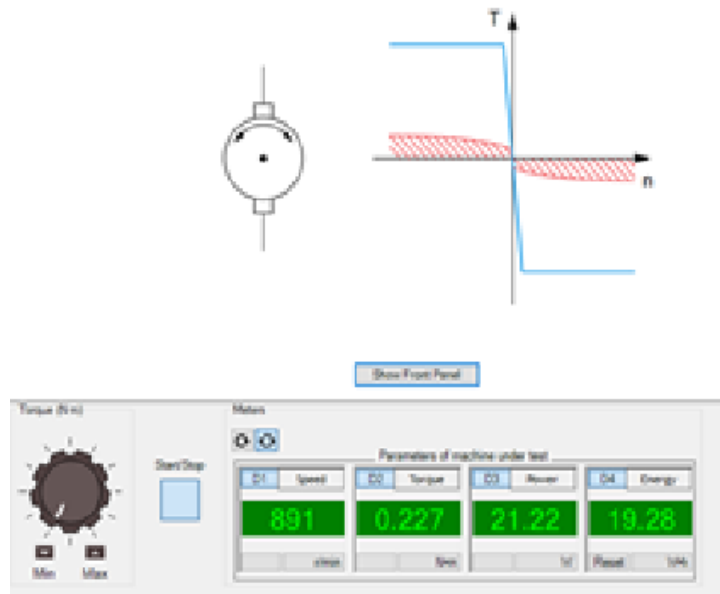
**Figura 3-15.** Banco de prueba dinamómetro con moto reductor del farinógrafo.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

En la prueba se utilizó el modo de dinamómetro de 4 cuadrantes que puede funcionar como motor principal, freno o simular diferentes cargas al motor obteniendo sus parámetros como velocidad, torque, potencia y energía por medio del software LVDAC-EMS conectado al dinamómetro. Se generó una segunda prueba, utilizando la unidad que se convierte en una fuente de alimentación de cuatro cuadrantes en la **Figura 3-16** se observan los parámetros obtenidos: voltaje, corriente, potencia eléctrica y energía.

**Figura 3-16.** Software de Labvolt Didatic de Festo.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

En la siguiente **Tabla 3-5** se representaron los parámetros obtenidos del motor mediante las pruebas con el dinamómetro.

**Tabla 3-5.** Datos de caracterización del motor del farinógrafo.

Parámetro	Valor de medición	Unidad
Velocidad	891	[rpm]
Torque	0.23	[N.m]
Corriente	1.48	[A]
Potencia	21.22	[W]
Energía	$5.89 \cdot 10^{-3}$	[W*h]



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

Una vez finalizada la prueba de la caracterización, se validaron los parámetros nominales

**Tabla 3-6.** Tabla de características del motor.

Unidad	Medida
Voltaje (V)	220
Corriente (A)	1.90/1.90
Potencia (W)	0.40/0.20
Relación del motor (rpm)	1730/125
Relación caja de engranajes N1/N2	850/63

**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

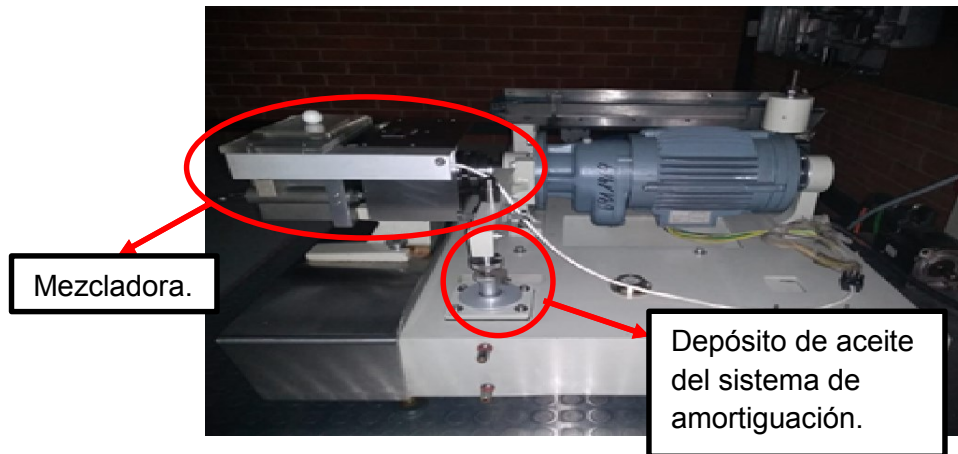
Al terminar la caracterización un dato crucial para determinar el buen estado del motor, fue el del torque ya que está estipulado que para un sistema de medición como la del farinógrafo es necesario un torque en vacío de 0.23 N.m.

### 3.2.7 Ensamble.

Una vez se elaboró el mantenimiento a cada pieza y la caracterización del motor del farinógrafo, se procedió al ensamble mecánico de las partes que lo conforman tales

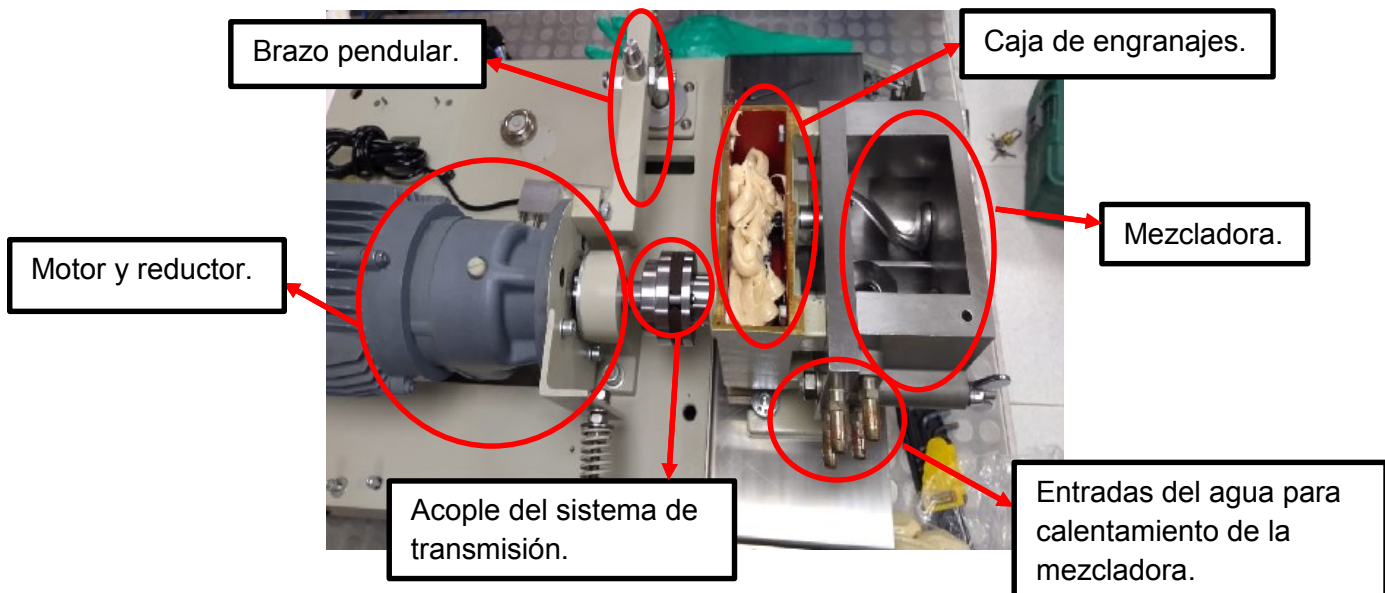
como: acoples, posición de los soportes y posición de la mezcladora alineada con el motor en la **Figura 3-17** y **Figura 3-18** se observa la transmisión del farinógrafo.

**Figura 3-17.** Ensamble mezcladora y motor del farinógrafo.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

**Figura 3-18.** Sistema de transmisión del farinógrafo con ajustes.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

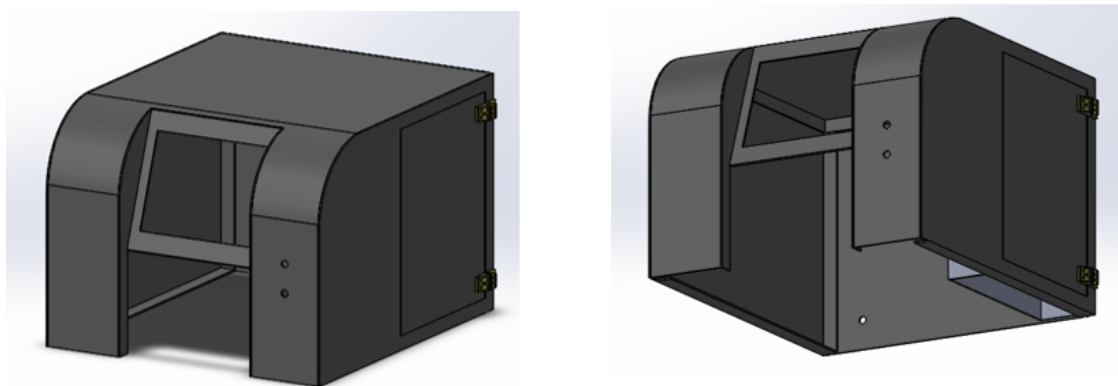
Se realizó un mantenimiento de calidad al sistema principal del farinógrafo, donde se lubricaron sus partes de transmisión y se caracterizó el motor. Esto dio fiabilidad para el

buen funcionamiento al momento de realizar las pruebas con las mezclas de harina de trigo.

### 3.3 Rediseño y construcción de la parte externa del farinógrafo.

Logrando obtener el farinógrafo ya ensamblado y con su respectivo mantenimiento, se realiza la toma de medidas teniendo en cuenta sus nuevos componentes para el diseño de la parte externa del equipo en Solidworks en la **Figura 3-19** se observa una vista del diseño, para efectuar la fabricación del prototipo.

**Figura 3-19.** Diseño de la carcasa del farinógrafo en Solidworks.

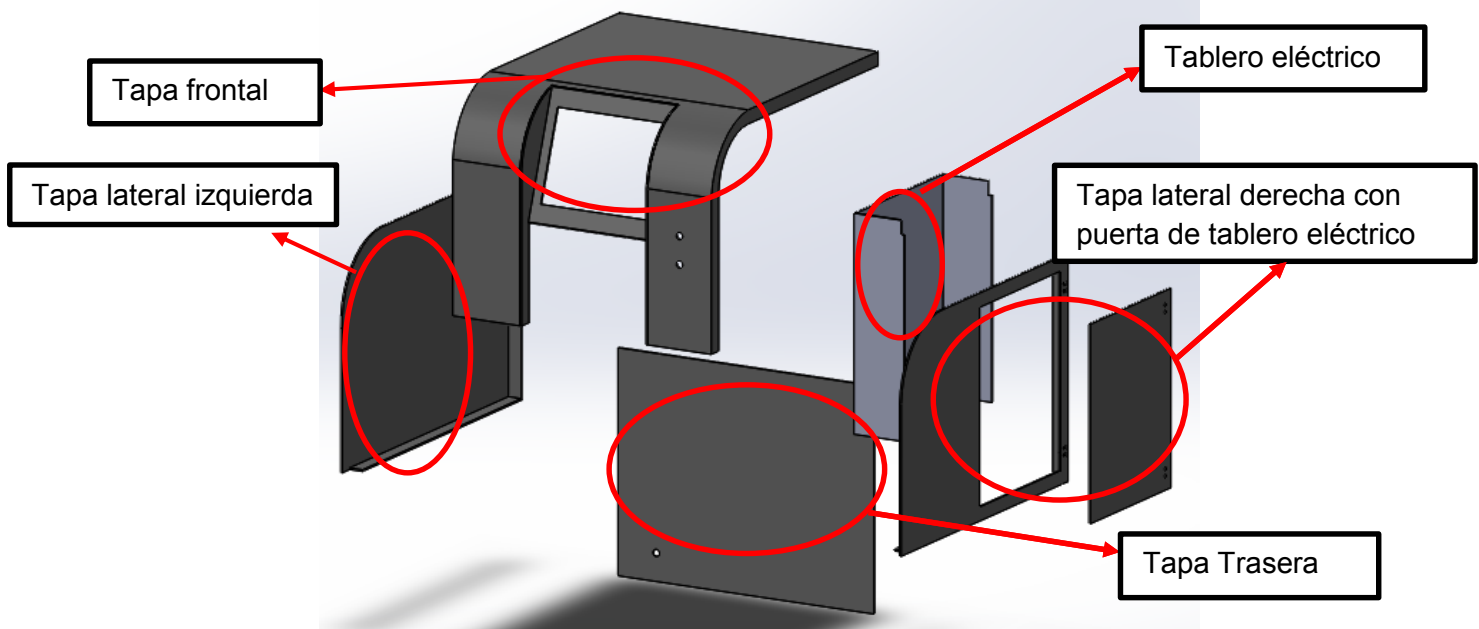


**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

Se visualiza en la vista explosionada de la carcasa las múltiples partes que la componen en la **Figura 3-20**, todas estas diseñadas en archivos aparte y se finalizó con un ensamble de todas ellas, que dieron como resultado el encaje perfecto para la vista completa de la carcasa del farinógrafo.

En la siguiente **Figura 3-21** se presenta el prototipo de la estructura externa ya instalada en el farinógrafo, la cual se elaboró con una empresa externa.

**Figura 3-20.** Vista explosionada de la carcasa del farinógrafo.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

**Figura 3-21.** Construcción del diseño del farinógrafo.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

El material que se escogió para esta carcasa es de acero inoxidable ya que soporta la temperatura a la cual va estar el equipo durante la prueba y necesita de cargas excesivas para generar pandeo o daños en la estructura. Ver **Anexo I:** Despiece del farinógrafo.

### 3.4 Desarrollo del algoritmo para la toma de datos.

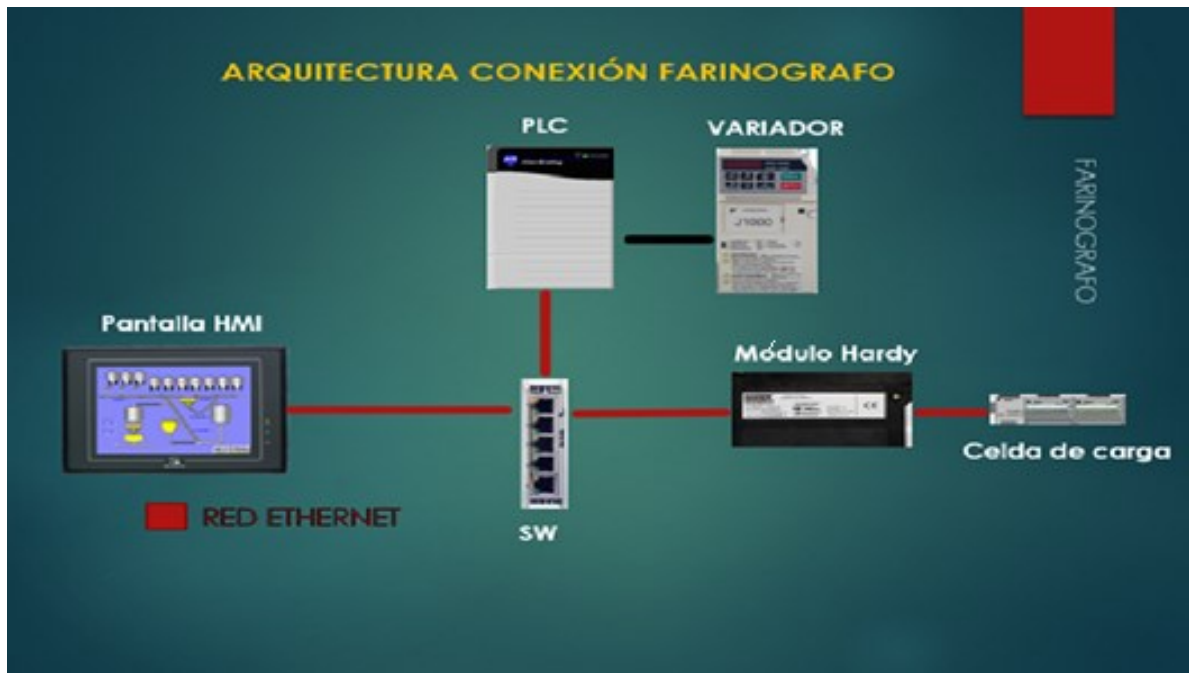
Se implementó un algoritmo por medio del software Rockwell Automation, que permite realizar la estructura del programa, se realizó un diagrama de flujo donde se tienen en cuenta todas las variables del sistema para entregar como resultado un farinograma y una tabla de resultados.

Se desarrolló la adquisición de datos por medio de un módulo Hardy el cual recibe la señal generada en la celda de carga, esta señal depende del torque aplicado por el brazo oscilador transmitido por el motor, estos datos se procesan a través del PLC, para convertirlos en unidades Brabender (U.B) y graficarlos en función del tiempo.

La red de comunicación está compuesta por una pantalla HMI la cual permite la interfaz entre el usuario y la máquina, para ingresar las variables de la harina, calibrar el equipo, limpiar la mezcladora, dar inicio a la prueba y entregar una gráfica con su tabla de resultados, de igual manera permite visualizar las alarmas del sistema advirtiendo cualquier peligro. Un módulo Hardy el cual es un procesador de peso habilitado para Ethernet/IP con un perfil adicional de Rockwell, permitiendo leer los datos de la celda de carga y transmitirlos al PLC de la familia de Rockwell Automation.

A continuación, se muestra la arquitectura de conexión Ethernet/IP del farinógrafo. **Figura 3-22.**

**Figura 3-22.** Conexión Ethernet/IP del farinógrafo.

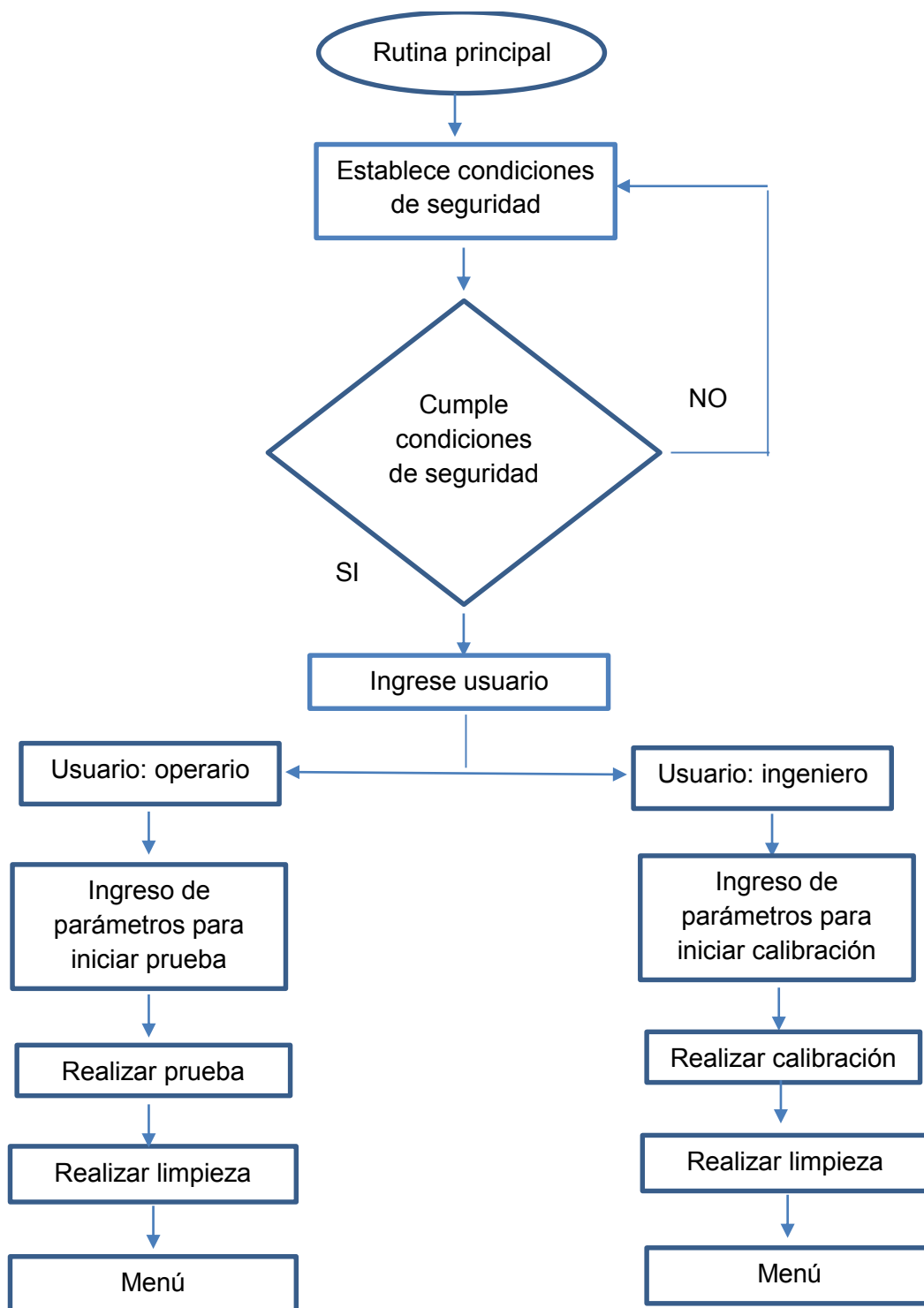


**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

Ver **Anexo D:** Especificación de equipos utilizados para la conexión.

Estos componentes fueron suministrados de la empresa, el módulo Hardy 6500 se escogió ya que tiene una conexión Ethernet/IP y la celda tiene una medida máxima de 10 kg y está dentro de las especificaciones del rango de carga.

Para especificar el funcionamiento de la programación, se realizó el siguiente diagrama de flujo en la **Figura 3-23** el cual muestra el desarrollo del programa para la interfaz hasta el PLC y así adquirir las variables de las características de la harina de trigo.

**Figura 3-23.** Diagrama de flujo para la especificación de la programación.

**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

### **3.4.1 Rutina principal.**

En la rutina principal el controlador de la familia compactLogix L27ER, que de manera constante hace el llamado secuencial a todas las subrutinas del programa, para así desarrollar las pruebas de la harina de trigo en el farinógrafo.

El menú de rutinas hace referencia a cada subrutina creada en el árbol de programación, es necesario llamar las subrutinas con la función JSR (jump to subroutine) para que se puedan ejecutar.

Lista de subrutinas

- Entradas
- Alarmas
- Calibración
- Cálculos
- Arranque
- Limpieza
- Salidas
- Resultados

Estas subrutinas se explicarán en los siguientes numerales

### **3.4.2 Subrutina entradas al PLC.**

Por cuestiones de orden y facilidad en la programación, todas las entradas digitales del PLC se encuentran en una misma subrutina y conectadas cada una a una bobina interna del controlador.

Es decir que para colocar un contacto de alguna entrada digital en cualquier subrutina se llama su correspondiente bobina auxiliar interna y no la entrada directamente, permitiendo



---

utilizar contactos normalmente abiertos o cerrados con la misma entrada digital pero ligados a una bobina auxiliar.

Este estilo de programación recibe el nombre de mapeo y permite mantener un orden lógico y conocer con mayor rapidez la ubicación y distribución de todas las entradas digitales, de tal manera que de ser necesario cambiar o remplazar una entrada digital por otra esta se realizará únicamente en la subrutina ENTRADAS asignando otra dirección.

Para asignar una entrada en el software RSLogix 5000 se debe colocar la siguiente dirección **Local 1:I.Data.1**, donde Local 1 quiere decir slot 1, I hace referencia a la entrada y Data.1 corresponde al número de la entrada.

### **3.4.3 Subrutina alarmas de seguridad del equipo.**

Al ser un equipo antiguo y no contar con ningún tipo de seguridad, se crearon 4 alarmas, esto con el fin de proteger la integridad de quien manipule el equipo, estas alarmas van ligadas a la pantalla directamente por medio de un tag o etiqueta de programación llamado alarmas de tipo entero el cual me asigna 16 bits de memoria y se abrevia con INT en el PLC, esta etiqueta permite asociar el PLC y la pantalla para visualizar el estado del equipo y la condición de falla activa.

Las alarmas asignadas para el equipo son:

Alarma. (0): Seguridad de mezcladora, se adaptó un micro de seguridad que detecta que el tazón se encuentra abierto, esta condición NO permite arrancar el equipo ya que deshabilita la bobina interna auxiliar de seguridades y esta desactiva el control del equipo.

Alarma. (1): Paro de emergencia, este al ser activado desactiva inmediatamente el control haciendo un paro instantáneo de la mezcladora, se utiliza un contacto físico normalmente cerrado para que la señal siempre esté presente en la entrada digital del PLC, se utiliza en paro de emergencia y seguridades con contactos normalmente cerrados para garantizar que siempre estén activos y que cuando su estado sea un 0 lógico es decir no esté presente no se pueda arrancar el equipo.

Alarma.(2):Esta va destinada al variador Yaskawa J1000 el cual no permite comunicación por Ethernet, se configura el variador para que cualquier tipo de falla que afecte su correcto

funcionamiento envié una señal de falla por medio de una entrada digital y esta al ser reconocida deshabilite el control del equipo hasta que el personal mantenimiento revise y corrija la causa de la falla, la pantalla solo indicara falla en variador pero no reconocerá la falla puntual del variador o el motor, sin embargo el variador si indica la falla que lo ha sacado de su normal funcionamiento.

Alarma.(3): Esta va destinada para proteger la celda de carga, la máxima fuerza que se le puede imprimir a esta es de  $(10 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2) = 98.1 \text{ N}$ , se configuró el módulo Hardy para que convierta la fuerza a unidades de masa en gramos, de esta manera se utiliza un bloque de comparación ( $A \geq B$ ), el cual va destinado a que cuando se supere o iguale un valor de 8000 gramos el sistema se detenga de inmediato y visualice una alarma de sobrecarga en la pantalla dejando una tolerancia de 2000 gramos para asegurar la integridad del sensor.

Cualquiera de las alarmas que se active genera aviso en pantalla, señal lumínica de color rojo y parpadeante y señal auditiva esta última se puede silenciar desde la pantalla para confort mientras se atiende la falla.

Una característica puntual al sistema de seguridad en el equipo para poder arrancar la mezcladora es que se requiere de las dos manos, se debe activar un botón físico con la mano derecha y al mismo tiempo confirmar el arranque con un botón virtual en la pantalla activado por la mano izquierda, esta práctica minimiza el riesgo de sufrir una lesión en las manos por atrapamiento de las palas sigma. Para el desarrollo de esta condición se toma desde el programa un botón virtual, que es un tag de una variable booleana que se crea en el programa y corresponde a la lógica interna del programa, esta variable se utilizó como un contacto normalmente abierto que va en serie con el contacto físico correspondiente a una entrada digital seguida de un contacto normalmente abierto puesto en serie que confirma el estatus del equipo en condiciones seguras, cero alarmas y cero fallas.

Seguido de esto se comunica la pantalla HMI por medio del software factory talk con el PLC, al hacer esto la pantalla reconoce los tags del PLC, una vez creado el botón se le asignan funciones, animaciones y se relaciona con alguno de los tags creados. En estos casos el botón virtual de arranque se enlaza con el start\_hmi, cada vez que se pulse va a cambiar de estado dicho contacto.

Ya que se tiene que presionar un botón en físico y uno virtual, por lo cual se requiere de las dos manos para poder arrancar la máquina, debido a la separación de dichos botones. Una con referencia a la seguridad de la mezcladora, la cual tiene un micro de seguridad para poder acceder a las palas sigma. Otra con un paro de emergencia, que al ser activado detiene la máquina inmediatamente. Una tercera alarma por falla del variador y la última para proteger la celda de carga en un esfuerzo mayor a 78.5 N.

### **3.4.4 Subrutina calibración de los valores máximos y mínimos.**

Esta subrutina se encarga de establecer valores máximos y mínimos de la curva de un farinograma tomados de una muestra de harina certificada con la cual se realiza el ensayo bajo las características indicadas por el laboratorio del cual proviene la muestra, al dar inicio a esta subrutina los valores establecidos se restablecen a cero, se genera una alarma de advertencia de arranque sonora y lumínica por 3 segundos, para el valor mínimo el sistema toma 100 datos durante un minuto y los promedia, estos datos varían a pequeña escala y son tomados mientras la mezcladora agita la harina de trigo en seco, posteriormente se adiciona el agua y a partir de este momento se toman los 50 datos más altos durante 8 minutos para promediar el punto máximo, se utilizan las funciones CTU (contador), MUL (multiplicador) del bloque de matemáticas, TON (temporizador al encendido), AVE (promedio) del bloque de archivos y MOV (mover) del bloque lógico, con esto se manipulan dentro del programa por medio de contactos y operaciones secuenciales para determinar los nuevos puntos máximos y mínimos, se permite realizar ajuste finos a estos valores para centrar la curva con la harina certificada a las 500 U.B.

### **3.4.5 Subrutina cálculos para la toma de datos.**

Se toma un dato promediado de la señal de la celda de carga cada 100 milisegundos, durante este tiempo se han tomado 10 muestras de la señal, donde se agrupan las 5 superiores y las 5 inferiores, estas se promedian para dejar un dato superior otro inferior y un tercer punto central que será el promedio de los dos primeros, estos tres puntos se

envían al gráfico para empezar a determinar las tres curvas características de la harina que se esté ensayando, se genera un nuevo punto para cada gráfica cada 100 ms, previo a esto se manipulan los datos matemáticamente para relacionar el dato del módulo Hardy (gramos) con las unidades Brabender (U.B).

$$\text{Max-Min (g)} = \text{unidad de medida (g)}$$

$$\text{Máximo valor farinograma} = X \text{ (U.B)}$$

$$\frac{\text{Máximo valor farinograma (U.B)}}{\text{Unidad de medida (g)}} = \text{Valor unidad}$$

$$\text{Valor unidad} = Y \frac{\text{(U.B)}}{\text{(g)}}$$

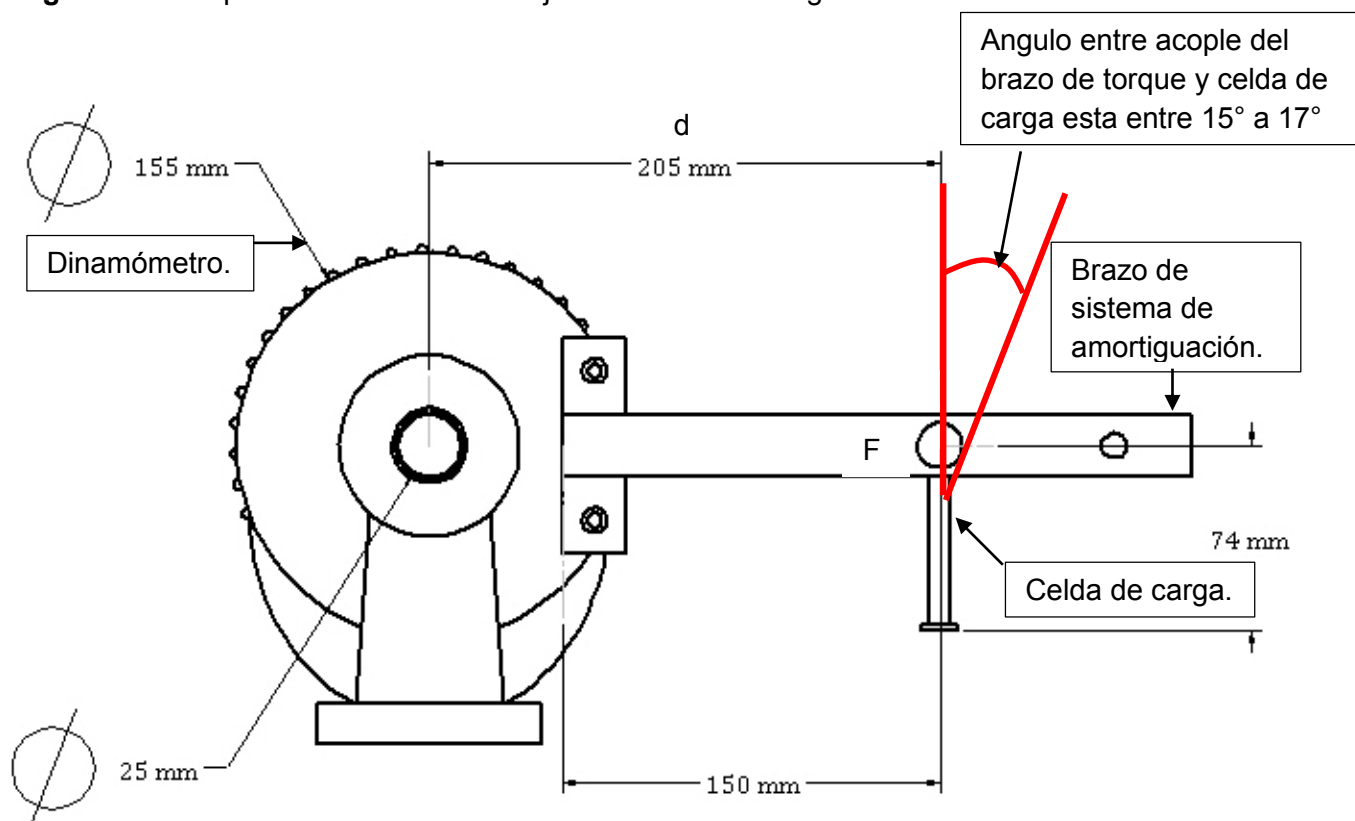
$$(\text{Dato\_celda} - \text{Min}) \frac{\text{(g)}}{\text{(g)}} * \text{Valor unidad} \frac{\text{(U.B)}}{\text{(g)}} = Z \text{ (U.B)}$$

El módulo Hardy permite una actualización de 110 datos por segundo, este módulo convierte la fuerza que se le imprime a la celda de carga en gramos, esta fuerza que le llega a la celda de carga proviene del brazo de torque del montaje pendular del motor, según la toma de datos al momento de la calibración 500 U.B se logran cuando el módulo Hardy se mantiene sobre los 596 gramos, es decir se le está imprimiendo una fuerza de y para lograr esta fuerza el motor realiza un par de:

$$F = m * g \text{ donde } F = 0.596 \text{ Kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 = 5.85 \text{ N}$$

$T = F * d * \text{sen}\theta$ , donde tenemos que el ángulo  $\theta$  se mueve en un rango de 15 a 17 grados, por la rótula que acopla el brazo de torque con la celda de carga.

**Figura 3-24.** Especificaciones del montaje de la celda de carga.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

$$\tau = F \cdot d \cdot \cos\theta = 5.85 \left[ \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \cdot 0.205 \text{ m} \cdot \cos(15^\circ) = 1.158 \text{ Nm}$$

$$\tau = F \cdot d \cdot \cos\theta = 5.85 \left[ \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \cdot 0.205 \text{ m} \cdot \cos(17^\circ) = 1.146 \text{ Nm}$$

En esta subrutina está incluida la fórmula que permite hacer la relación entre el contenido de humedad y la masa de la harina. Por último, se establecen la cantidad de agua para llevar la curva a las 500 U.B.

$$300 \text{ g} (100 - 14) = Y_g (100 - \% \text{Humedad de muestra})$$

$Y_g$  = Absorción de agua.

% Humedad de la muestra = porcentaje de humedad por peso de muestra

Los resultados de la absorción de agua se presentan en el **Anexo B**.

### **3.4.6 Subrutina arranque del farinógrafo.**

Esta subrutina se encarga de dar marcha a las subrutinas de limpieza, calibración y/o cálculos, valida que las condiciones de seguridad estén presentes una vez se realice el arranque genera una advertencia lumínica y sonora, además se encarga de reiniciar la celda de carga cada vez que se va ejecutar una prueba para garantizar repetitividad con cada ensayo, hace el paro inmediato del equipo en caso de que se active una seguridad.

### **3.4.7 Subrutina limpieza del tazón.**

En esta subrutina el sistema solicita se adiciona 150 g de harina para solidificar la masa mezclándola durante 2 minutos y facilitar la limpieza de la mezcladora, una vez transcurrido el tiempo se activa una señal sonora indicando el fin del ciclo y un aviso en pantalla que indica que ya se puede retirar la masa.

### **3.4.8 Subrutina salidas del PLC.**

Al igual que la subrutina de entradas digitales, por cuestiones de orden y facilidad en la programación, todas las bobinas correspondientes a las salidas digitales del PLC se encuentran distribuidas en una misma subrutina y conectadas cada una a un contacto de una bobina auxiliar, esta subrutina controla el arranque de la mezcladora por medio del variador Yaskawa J1000 al igual que las señales luminosas y sonoras de advertencia y estado del equipo.

### **3.4.9 Subrutina resultados obtenidos.**

Para verificar los resultados que brinda el farinograma de la actualización, se comparó la curva obtenida mediante la pantalla HMI y el farinograma con el que llega la muestra de harina patrón a la empresa Bimbo, donde se tuvieron en cuenta los parámetros ya mostrados anteriormente que son: absorción de agua, tiempo de llegada, estabilidad, decaimiento, índice de tolerancia y consistencia. Para esto se realiza una tabla comparativa **Tabla 3-7** y unos cálculos de error, donde se comprobó el funcionamiento y se ratificó los mismos datos suministrados por la empresa Harinas el Lobo S.A.

**Tabla 3-7.** Pruebas para verificación de resultados.

Certificado de calidad producto terminado harina de trigo tipo 3	
Prueba 1	Prueba 2
DATOS DEL PROVEEDOR DE LA HARINA	
Proveedor: Harinas El Lobo S.A.	
Humedad (%): 12.5	
Agua (ml): 54.9	
Harina (gr): 293.9	
Ítem	Resultado
Absorción de Agua (%)	54.90
Tiempo de llegada (minutos)	2.10
Estabilidad (minutos)	1.50
Decaimiento (U.F)	96.00
Índice de tolerancia (U.F)	118.00
Consistencia (U.F)	490.00

**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.



**Tabla 3-8.** Pruebas para verificación de resultados.

DATOS CON LA ACTUALIZACIÓN DEL FARINÓGRAFO	
Proveedor: Harinas El Lobo S.A.	
Humedad (%): 12.5	
Agua (ml):	54.9
Harina (gr):	293.9
Ítem	Resultado
Absorción de Agua (%)	55.00
Tiempo de llegada (minutos)	2.09
Estabilidad (minutos)	1.51
Decaimiento (U.B)	95.63
Índice de tolerancia (U.B)	117.80
Consistencia (U.B)	489.34

**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

El porcentaje de error con respecto a estas harinas de trigo ya caracterizadas por el proveedor se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ Error} = \frac{\text{valor real} - \text{valor experimental}}{\text{valor real}} * 100$$

**Absorción de agua:**

$$\% \text{ Error absorción de agua} = \frac{54.90 - 55.00}{54.90} * 100 = 0.18\%$$

**Tiempo de llegada:**

$$\% \text{ Error tiempo de llegada} = \frac{2.10 \text{ min} - 2.09 \text{ min}}{2.10} * 100 = 0.47\%$$

**Estabilidad:**

$$\% \text{ Error estabilidad} = \frac{1.50-1.51}{1.50} * 100 = 0.66\%$$

**Decaimiento:**

$$\% \text{ Error decaimiento} = \frac{96.00-95.63}{96.00} * 100 = 0.38\%$$

**Índice de tolerancia:**

$$\% \text{ Error índice de tolerancia} = \frac{118.00 - 117.80}{118.00} * 100 = 0.16\%$$

**Consistencia:**

$$\% \text{ Error índice de tolerancia} = \frac{490.00 - 489.34}{490.00} * 100 = 0.13\%$$

Se obtuvieron los resultados de las características de la harina de trigo, las cuales se le hicieron un porcentaje de error para garantizar que los resultados eran congruentes con la gráfica de comparación.

El diagrama de flujo que especifica la programación del PLC se adjunta en el **Anexo E**.

Como se ha especificado a lo largo del presente documento, la lectura del torque del motor es de total importancia ya que permite definir la consistencia de la harina de trigo en condiciones de prueba. En esta etapa se planificó tomar la variable de corriente del motor, realizando diferentes pruebas, como la toma de corriente por medio del instrumento Fluke 43B analizador monofásico de calidad eléctrica como se observó en la **Figura 3-7** en el capítulo 1. Esta herramienta permitió analizar la corriente y se observó que no variaba mediante la realización de la prueba del farinógrafo; puesto que esta corriente permanecía constante, no se tuvo en cuenta en la adquisición de datos.

De acuerdo al estudio del funcionamiento del farinógrafo, se optó por medir el peso que ejerce el motor por medio del brazo pendular del sistema de amortiguación como se puede

apreciar en la **Figura 3-25**, mediante una celda de carga que permite hacer la conversión a U.B que va asociado al torque del motor.

**Figura 3-25.** Brazo de torque y celda de carga.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

Se realizaron los cálculos teóricos del torque con la distancia y la fuerza que se le aplicaba a la celda de carga, tomando la información de la **Figura 3-24**. El diagrama de la **Figura 3-26** especifica el procedimiento cómo se calculó el torque con diferentes tiempos, donde se realiza la conversión a unidades brabender sabiendo que la cantidad de torque aplicado para llegar a las 500 U.B equivalen a 1.1 N.m **Tabla 3-9**, con la siguiente ecuación:

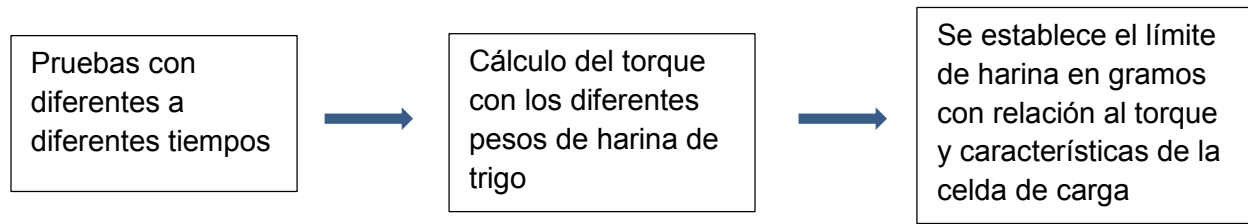
$$\text{Torque} = F * d \cos \alpha$$

Donde:

d = Distancia.

F = Fuerza.

**Figura 3-26.** Esquema para establecer la carga máxima de la celda de carga.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

**Tabla 3-9.** Datos para el torque en el brazo del motor.

U.B	Fuerza (N)	Torque teórico (N.m)	Torque real (N.m)
500	5.84	1.158	1.067
400	4.67	0.926	0.870
300	3.50	0.694	0.639
200	2.36	0.463	0.472
100	1.17	0.231	0.243

**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

Al hacer este análisis de torque real vs el calculado se encontró que de 0 a 200 U.B el torque real es mayor que el calculado, y por encima de 300 U.B el torque real tiende a ser mayor al calculado, esto debido al cambio del ángulo de aplicación de la fuerza.

La implementación de la celda de carga, que se ubicó entre el depósito de aceite y el motor con las medidas de la **Figura 3-24**. Permitted establecer variables al motor midiendo en

---

peso y entregando una salida en voltaje, la cual se procesó por medio de un módulo Hardy para así programar con el PLC y visualizar el farinograma.

Para la conversión del torque del motor a unidades del farinograma, se halló el rango de la altura de la curva. Para esto, se restó el valor mínimo del valor máximo para obtener lo que se denominó como unidad de medida, estos máximos y mínimos se obtienen de la calibración que se le realiza al equipo con una harina certificada, cuyas unidades están en masa (gramos) que es el dato que se capturó de la celda de carga a través del módulo Hardy.

Luego de obtener la unidad de medida, se procedió a dividir el máximo del farinograma con el valor que se obtuvo de la curva de la harina certificada y se ingresa directamente al programa por la pantalla HMI. Para obtener el valor de la unidad, con esto se halló la equivalencia entre la unidad Brabender y los gramos que registra la celda de carga.

Finalmente, para la gráfica entonces se tomó el valor de la celda de carga y se le resta el valor mínimo de la calibración, este resultado se multiplica por el valor de la unidad obteniendo finalmente el valor en unidades Brabender. En una escala de 0 a 1000 siendo 500 el valor de consistencia ideal de una masa para panificación.

De esta manera se hizo el cálculo y se estableció la conversión de la siguiente manera:

Max= dato máximo en g en el farinograma

Min= Dato mínimo en g en el farinograma

X = Máximo valor del farinograma de la harina para realizar calibración

Y = Valor unidad

Z = Dato a graficar en (U.B)

$$\text{Max-Min (g)} = \text{unidad de medida (g)}$$

$$\text{Máximo valor farinograma} = X \text{ (U.B)}$$

$$\frac{\text{Máximo valor farinograma (U.B)}}{\text{Unidad de medida (g)}} = \text{Valor unidad}$$

$$\text{Valor unidad} = Y \frac{\text{(U.B)}}{\text{(g)}}$$

$$(\text{Dato\_celda} - \text{Min}) \frac{\text{(g)}}{\text{(g)}} * \text{Valor unidad} \frac{\text{(U.B)}}{\text{(g)}} = Z \text{ (U.B)}$$

Para realizar el diseño de la visualización del farinograma, se implementó una aplicación por medio del software FactoryTalk View, desarrollada en un terminal panel view plus 700 que permite conectarse a la red EtherNet/IP.

En este diseño se crearon las pantallas necesarias para ingresar las variables del proceso de la prueba del farinógrafo y la visualización del farinograma, lo cual se describirá a continuación.

### **3.5 Diseño de la interfaz**

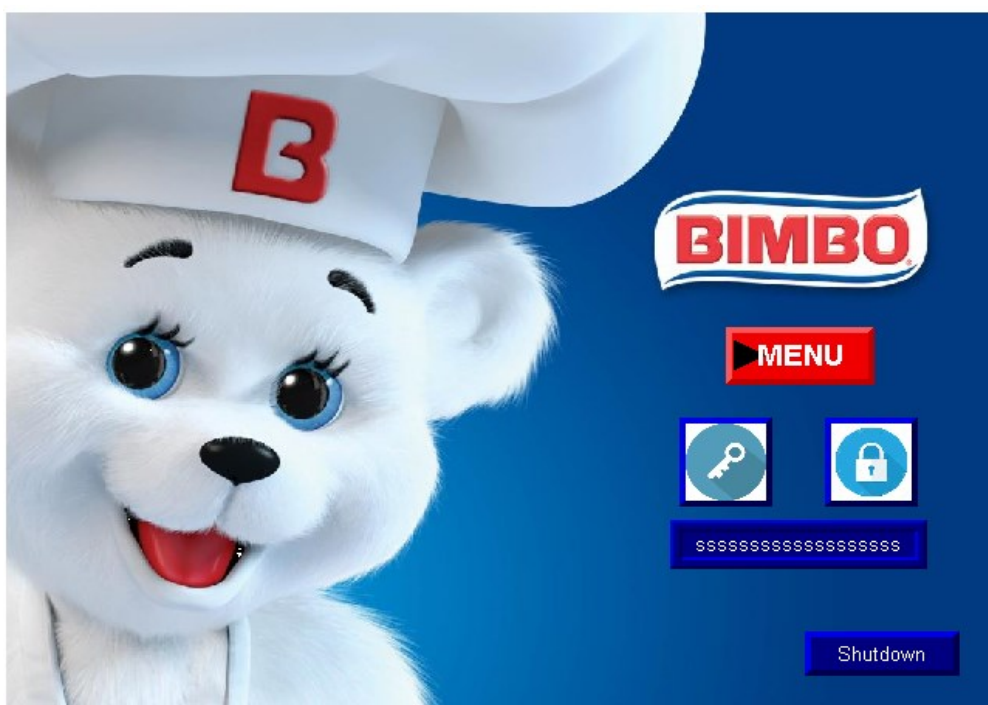
El diseño de la interfaz se realizó con el fin de que la manipulación del equipo tenga una mejor interacción con el usuario al momento de realizar pruebas y no presente ningún inconveniente con los parámetros necesarios para obtener resultados puesto que es importante seguir con los pasos del procedimiento de la prueba.

A continuación, se explica el desarrollo de las diferentes pantallas creadas para la manipulación del equipo.

#### **3.5.1 Pantalla de inicio**

En la **Figura 3-27** se encuentra la pantalla de inicio de la aplicación del farinógrafo. Donde podemos ingresar el usuario y la clave para que nos de ingreso al menú.

**Figura 3-27.** Pantalla de inicio del farinógrafo en la HMI.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

Esta pantalla inicia el programa, el cual solicita un usuario y contraseña para deshabilitar algunas de las pantallas posteriores a esta en el equipo con el fin de tener una mayor confiabilidad con el tema de seguridad, esto para que ninguna persona pueda utilizar el farinógrafo sin autorización y sin antes haber leído el manual de funcionamiento.

### 3.5.2 Pantalla de menú.

En esta pantalla **Figura 3-28** se encuentran los botones de calibración, inicio de prueba y limpieza en la pantalla.

**Figura 3-28.** Pantalla de menú del farinógrafo en la HMI.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

1. Calibración.
2. Inicio de prueba.
3. Limpieza.
4. Retorno a pantalla de inicio.

Esta pantalla es el menú principal del programa, pulsando alguno de los botones direcciona a los diferentes modos de trabajo del farinógrafo. Se puede ingresar al modo de calibración (1), seguido de este botón se encuentra el botón de inicio de prueba (2), el botón de limpieza (3) y por último el botón de regreso al inicio del programa (4).

### **3.5.3 Pantalla para iniciar la calibración.**



Con este botón se podrá dar inicio al proceso de calibración del equipo. Es importante que se realice después de 20 pruebas para dar la fiabilidad del mismo. La calibración consiste en realizar 3 pruebas con sus respectivos parámetros, donde el farinógrafo tomará un promedio para realizar su autoajuste. **Figura 3-29.**

**Figura 3-29.** Pantalla de calibración del farinógrafo en la HMI.



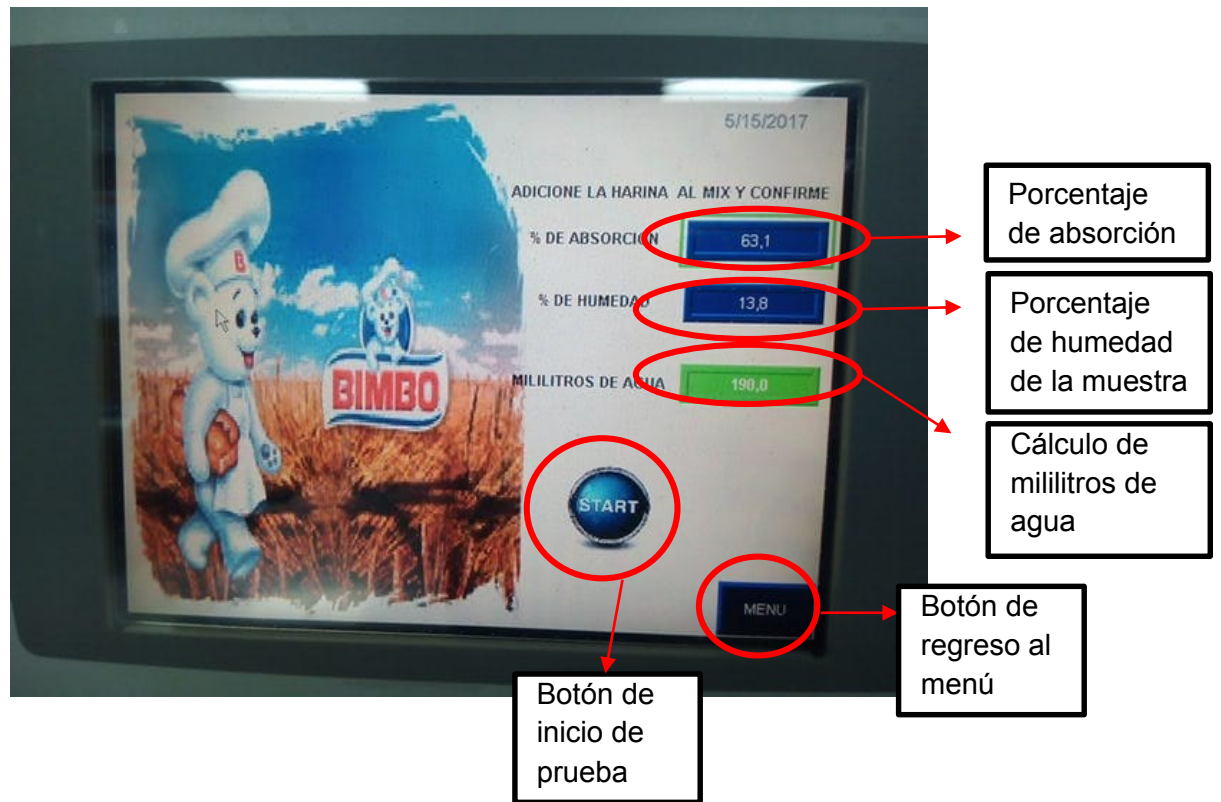
**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

En esta parte del programa se encuentra el procedimiento para realizar la calibración del equipo, es necesario que la muestra de harina tenga el certificado proveniente del molino del fabricante, para designar el punto máximo y el punto mínimo del Farinograma.

### 3.5.4 Pantalla para dar inicio a la prueba.

En esta pantalla se describe la humedad de la harina y la absorción, calculando los mililitros de agua necesarios para alcanzar la consistencia óptima **Figura 3-30.**

**Figura 3-30.** Pantalla inicio de prueba del farinógrafo en la HMI.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

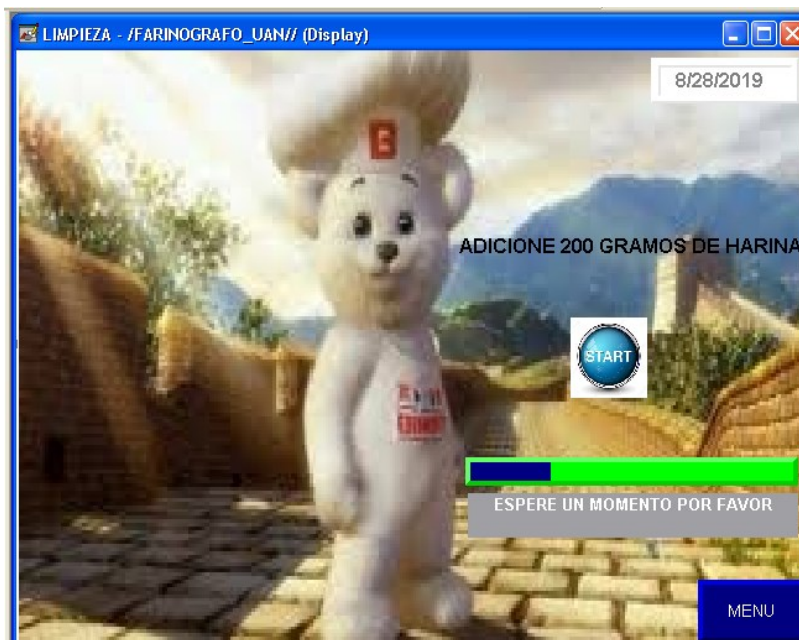
En esta pantalla es necesario ingresar el valor del porcentaje de absorción de la muestra de harina enviado por el molino, haber medido el porcentaje de humedad de la harina para que el programa realice el cálculo de la cantidad de agua necesaria y obtener una consistencia de 500 U.B, para dar inicio a la prueba es necesario pulsar el botón de la pantalla en simultaneo con el botón físico en la estructura del farinógrafo, esto con el fin de dar seguridad al operador.

### 3.5.5 Pantalla para iniciar la limpieza.

Esta pantalla indica el procedimiento para realizar la limpieza de la mezcladora después de haber realizado la prueba **Figura 3-31**.

Consiste en agregar doscientos gramos (200 g) de harina a la mezcla con el fin de obtener una masa más dura, que permita realizar la limpieza con mayor facilidad.

**Figura 3-31.** Pantalla de limpieza del farinógrafo en la HMI.



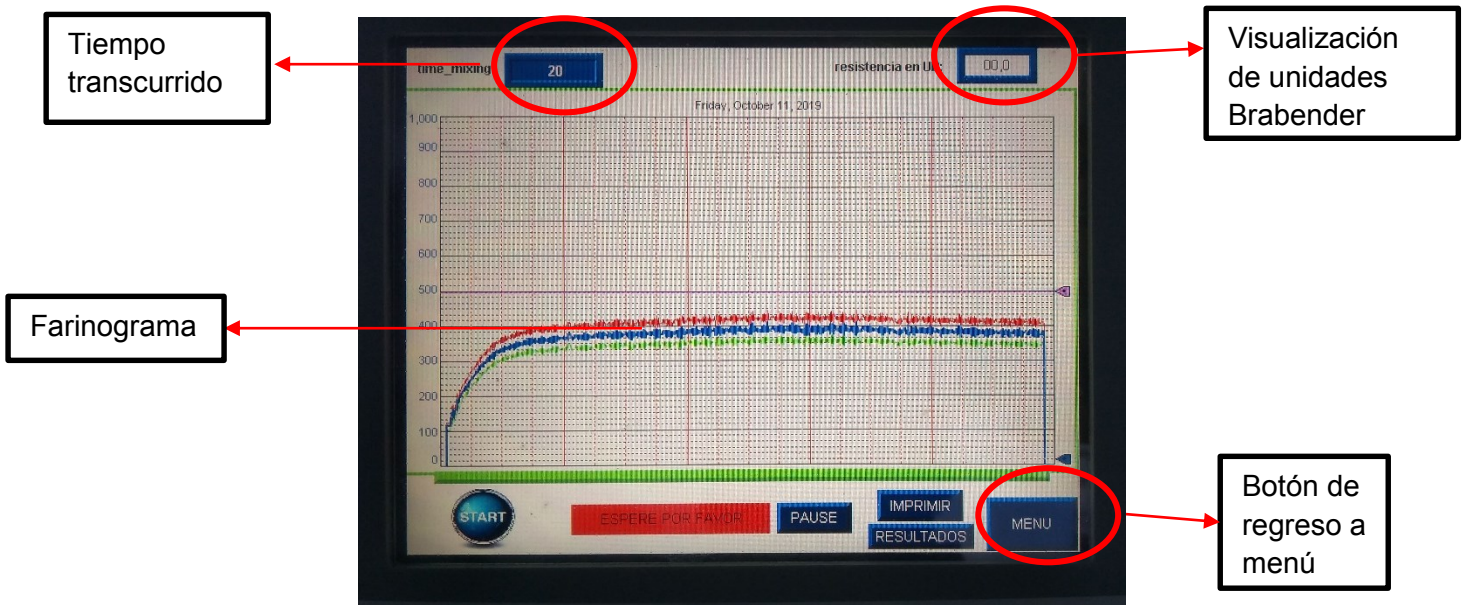
**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

Este procedimiento consiste en agregar doscientos gramos (200 g) de harina a la mezcla con el fin de obtener una masa más dura, que permita realizar la limpieza con mayor facilidad.

### 3.5.6 Curva farinográficas.

En esta pantalla se representa la curva por medio de los datos suministrados por la prueba realizada, para ver el comportamiento en tiempo real del farinograma **Figura 3-32.**

**Figura 3-32.** Farinograma en la pantalla HMI.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

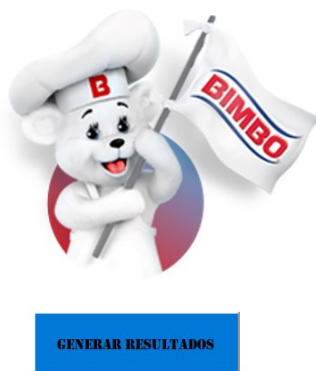
En esta pantalla observamos el farinograma que es el resultado de la prueba a la muestra de harina, donde se encuentran las unidades Brabender en el transcurso de la prueba, de igual manera se observa el tiempo transcurrido de la prueba y en la parte inferior se encuentra el botón de regreso al menú.

### 3.6 Diseño de la base de datos

Con la ejecución de un programa en Visual Basic el cual toma los datos de las pruebas que se realizan en el farinógrafo, con el fin de tener una base de datos. Se realizó un algoritmo y se programó una macro en Excel, se escogió esta opción de Microsoft Office ya que es una herramienta conocida y que facilita su uso en cualquier ámbito especialmente si es para los laboratoristas de la empresa Bimbo, facilitando la operación de los datos para la interpretación de las variables, obtenidas por medio del sistema de adquisición procesados en el PLC.

La macro cuenta con una pantalla de "Inicio" donde primeramente se observa una imagen del logo de Bimbo y un botón de generar resultados **Figura 3-33.**

**Figura 3-33.** Hoja de inicio de la macro en Excel.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

Al hacer click en el logo de Bimbo se despliega un cuadro donde se ingresan los datos suministrados por el proveedor de la harina de trigo **Figura 3-34**.

**Figura 3-34.** Cuadro para insertar datos en la macro de Excel.

formulario ×

# BIENVENIDO

TIPO DE HARINA :	<input type="text"/>		PROVEEDOR :	<input type="text"/>
CANT. AGUA :	<input type="text"/>		HUMEDAD :	<input type="text"/>
CANT. HARINA :	<input type="text"/>		FECHA :	<input type="text"/>

INSERTAR DATOS

CERRAR

**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

En este cuadro se deben llenar todos los espacios de texto ya que si no se hace al dar “click” en el botón “insertar datos” dará como resultado un error y pedirá ingresar todos los datos de nuevo.

Al insertar los datos completos y cerrar con el botón este cuadro de especificaciones, se procede a dar click en “generar resultados”.

La segunda hoja la cual es llamada “Data” es donde se encuentran los datos adquiridos por el PLC **Figura 3-35**, esta tiene tres columnas donde se especifica el número de datos la fecha y hora que se toma el dato en unidades Brabender (U.B).

**Figura 3-35.** Hoja de datos en la macro de Excel.

No. muestra	Fecha y hora	(UB) o Par	Llegada	Minimos	Maximos
0	-	0	500	0	0
1	6/10/2019 12:31:15 PM	0	500	0	0
2	6/10/2019 12:31:16 PM	0	500	0	0
3	6/10/2019 12:31:17 PM	0	500	0	0
4	6/10/2019 12:31:18 PM	0	500	0	0
5	6/10/2019 12:31:19 PM	0	500	0	0
6	6/10/2019 12:31:20 PM	0	500	0	0
7	6/10/2019 12:31:21 PM	0	500	0	0
8	6/10/2019 12:31:22 PM	0	500	0	0
9	6/10/2019 12:31:23 PM	0	500	0	0
10	6/10/2019 12:31:24 PM	0	500	0	0
11	6/10/2019 12:31:25 PM	115	500	47	284
12	6/10/2019 12:31:26 PM	132	500	64	203
13	6/10/2019 12:31:27 PM	146	500	78	215
14	6/10/2019 12:31:28 PM	168	500	100	237
15	6/10/2019 12:31:29 PM	184	500	116	253
16	6/10/2019 12:31:30 PM	198	500	130	267
17	6/10/2019 12:31:31 PM	219	500	151	288
18	6/10/2019 12:31:32 PM	233	500	165	302
19	6/10/2019 12:31:33 PM	247	500	179	316
20	6/10/2019 12:31:34 PM	265	500	197	334
21	6/10/2019 12:31:35 PM	283	500	215	352
22	6/10/2019 12:31:36 PM	305	500	237	374
23	6/10/2019 12:31:37 PM	342	500	274	411
24	6/10/2019 12:31:38 PM	365	500	297	434
25	6/10/2019 12:31:39 PM	378	500	310	447

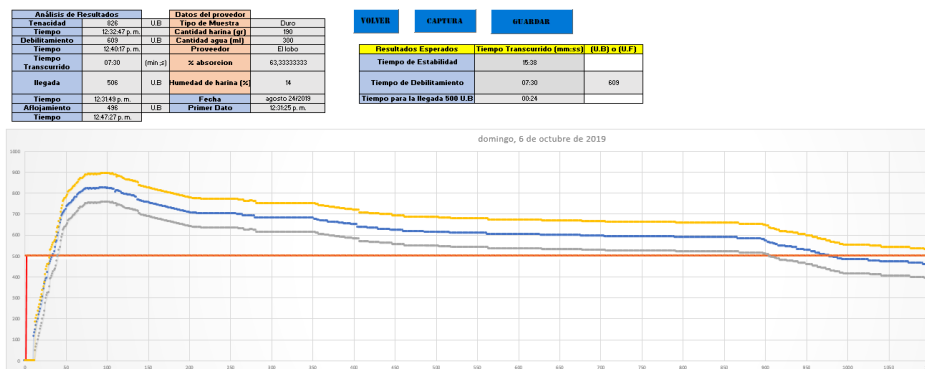
Tiempo total h:mm:ss 0:20:42

**LIMPIAR DATOS**

**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

Se generan los resultados abriendo la tercera hoja llamada “Grafico” donde se visualiza el farinograma generado por las unidades Brabender (U.B) en función del tiempo **Figura 3-36**.

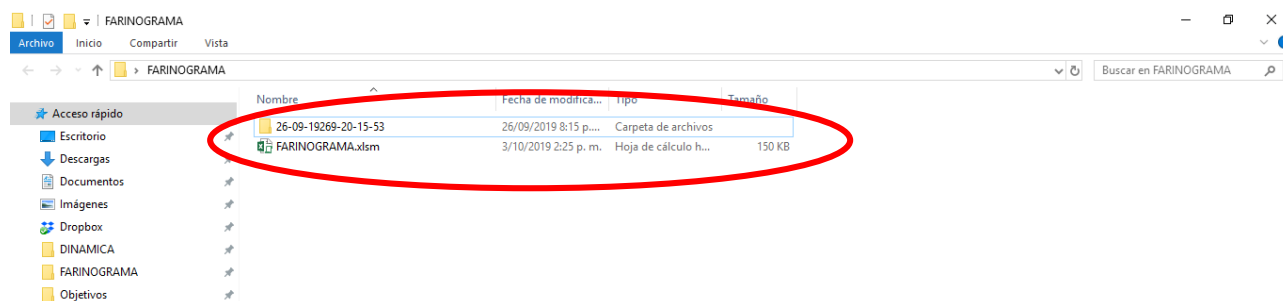
**Figura 3-36.** Hoja de resultados de la macro en Excel.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

En la hoja “Grafico” se visualizan las características de la harina más su farinograma, y al hacer click en el botón “Guardar” se guarda este archivo de Excel en su propia carpeta, esto garantiza que no se va alterar la macro de pruebas **Figura 3-37**.

**Figura 3-37.** Archivo guardado desde la macro en Excel.

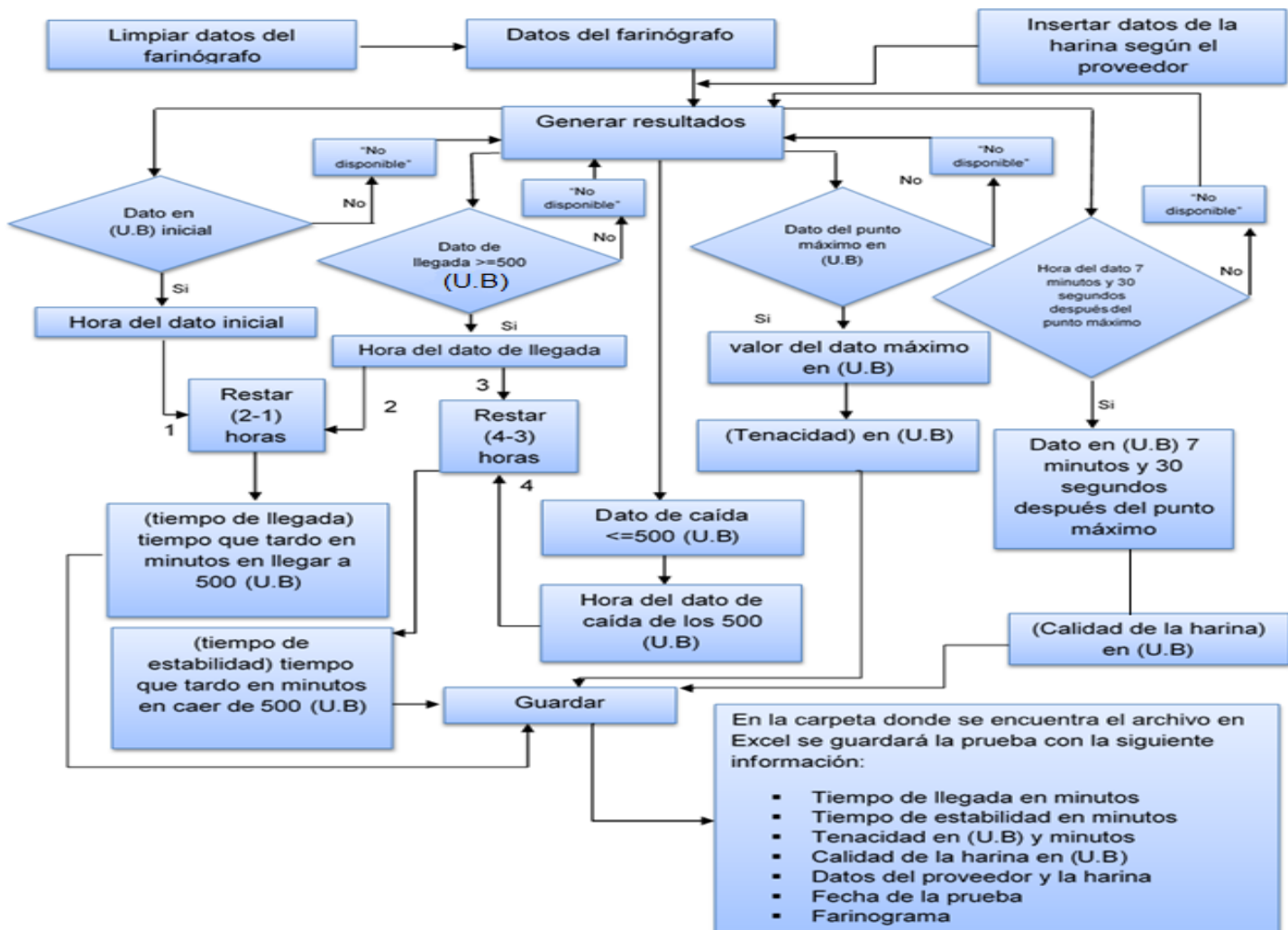


**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

La macro facilitó procesar los resultados del farinograma lo cual la hace una herramienta rápida para conocer las características de la harina de trigo que se le realicen pruebas con actualización del farinógrafo.

Se realizó un diagrama de flujo **Figura 3-38** que especifica el funcionamiento de la macro en Excel y el algoritmo que se desarrolló para esta macro se especifica en el **Anexo G**.

Figura 3-38. Diagrama de flujo de la macro del farinógrafo.



Fuente: Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

### 3.7 Construcción del farinógrafo y sus medidas de seguridad


Partiendo de los elementos ya implementados para la construcción del farinógrafo, es necesario tener en cuenta los peligros latentes descritos en el manual de funcionamiento del farinógrafo **Anexo H** página 5 y 6, teniendo en cuenta que un mal procedimiento puede llegar a ser letal.



**Tabla 3-10.** Símbolos, notaciones y convenciones para evitar riesgos.

Símbolo	Mensaje	Contenido
	Riesgo de Atrapamiento	El símbolo de riesgo de atrapamiento alerta de las condiciones peligrosas inmediatas por la máquina en movimiento.
	Peligro Eléctrico	El símbolo de precaución ante peligro eléctrico alerta de las posibles situaciones en las que podría existir riesgo de descarga eléctrica
	Consulte el manual del equipo	Este símbolo será utilizado típicamente en documentación del equipo independiente, como guía de consulta para el operario, en las que exista una información adicional sobre un tema particular tratado en la documentación principal del equipo.
	Bloqueo/ Etiquetado	Este símbolo se utiliza principalmente en guías rápidas de consulta y otros procedimientos en

---

		los que se recomienda un bloqueo/desmarque.
---	--	---

**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

Identificando estos peligros como base para la implementación del sistema de seguridad en el PLC, se realizó la programación de un micro de seguridad en la guarda de la mezcladora, seguido a esto se instaló el botón de paro o bloqueo y un botón auxiliar de limpieza.

Por otra parte, la estructura del farinógrafo se tuvo en cuenta a la hora del diseño, para eliminar cualquier peligro durante el funcionamiento para el equipo de trabajo **Figura 3-39**.

**Figura 3-39.** Construcción final del farinógrafo.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

Se obtuvo como resultado un equipo compacto con todos los estándares y requerimientos de la empresa.

### **3.8 Realización de pruebas para verificar la calibración y el funcionamiento del farinógrafo**

Para verificar que los resultados de la calibración eran congruentes se realizó una visita a la planta de Harinas El Lobo S.A, En este lugar tienen un farinógrafo **Figura 3-40** con el cual realizan pruebas y caracterizan las harinas de trigo antes de ser llevadas a sus

clientes, con este se hicieron comparaciones con la actualización del farinógrafo en Tenjo-Cundinamarca.

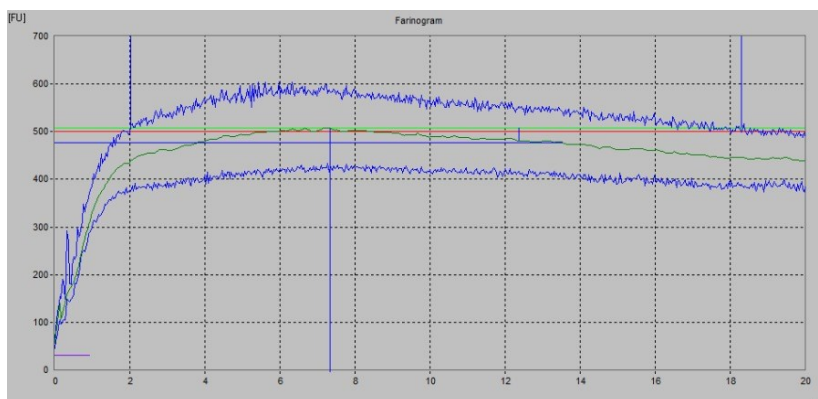
**Figura 3-40.** Farinógrafo de la empresa Harinas El Lobo S.A.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

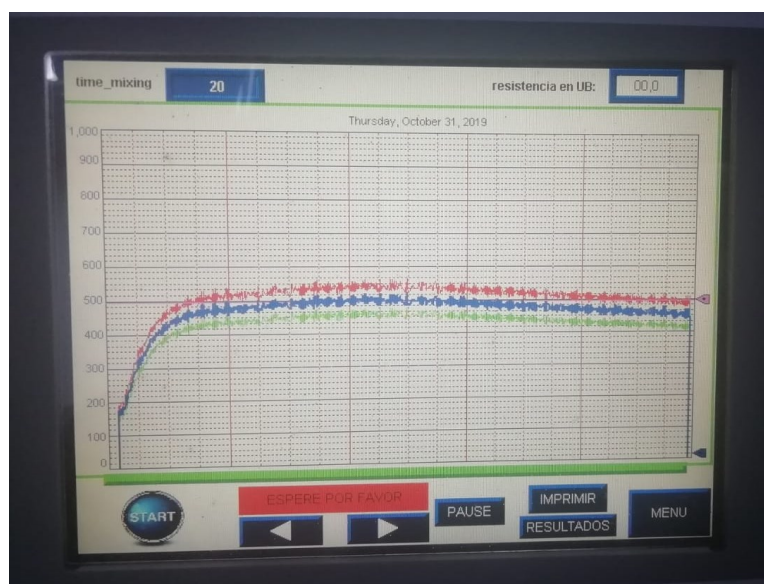
La prueba que se realizó, se comparó y se tuvieron similitudes en el tiempo de llegada, estabilidad y debilitamiento lo que dio el visto bueno de la actualización del farinógrafo en Bimbo de Tenjo-Cundinamarca **Figura 3-41.**

**Figura 3-41.** Prueba en el farinógrafo de Harinas El Lobo S.A.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

**Figura 3-42.** Comparación farinógrafo de Bimbo vs el Lobo S.A



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

**Tiempo de llegada:**

$$\% \text{ Error tiempo de llegada} = \frac{2.45 \text{ min} - 2.44 \text{ min}}{2.45} * 100 = 0.4\%$$

**Estabilidad:**

$$\% \text{ Error estabilidad} = \frac{3.42-3.43}{3.42} * 100 = 0.29\%$$

**Decaimiento:**

$$\% \text{ Error decaimiento} = \frac{69-68.5}{69} * 100 = 0.72\%$$

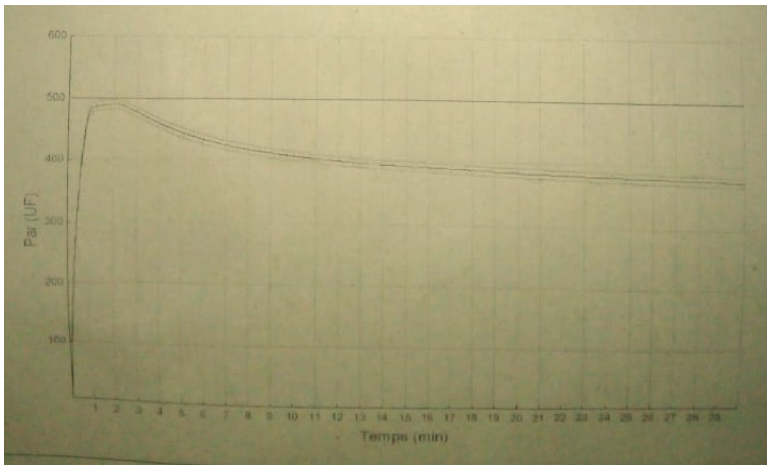
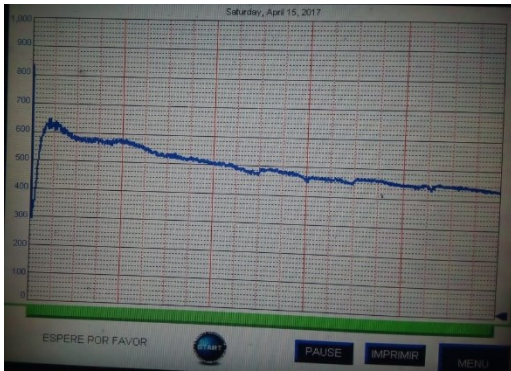
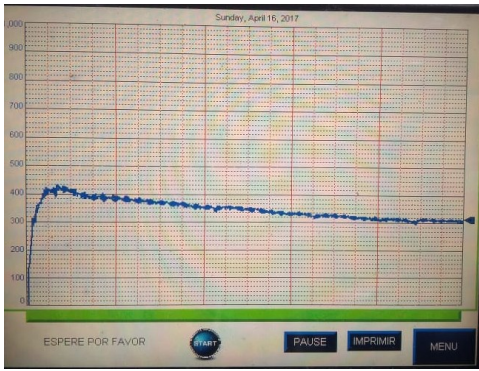
Los resultados de las pruebas con la actualización del farinógrafo, concordaron con los resultados de Harinas El Lobo S.A. por lo tanto, se logró la calibración necesaria para adquirir las características de la harina con precisión.

Se ejecutaron las pruebas verificando el funcionamiento de los sistemas integrados en el farinógrafo. Para esto, se obtuvieron del laboratorio de calidad los certificados que llegan de las muestras de harina con sus respectivas características establecidas por el proveedor: Harinas El Lobo S.A. **Tabla 3-11** y **Tabla 3-12**.

Se utilizaron estos certificados con el fin de evaluar el funcionamiento del farinógrafo, por medio de las pruebas que se realizaron para la calibración y validación de los resultados fueran congruentes con los certificados. Para realizar la prueba se tienen en cuenta los procedimientos establecidos en el manual.

En las siguientes figuras se observan las curvas del farinograma de las muestras de harina, realizadas en el farinógrafo ya implementado.

**Tabla 3-11.** Prueba de calibración # 1 con dos muestras de harina.

Certificado de calidad producto terminado harina de trigo tipo 3	
	
Prueba 1	Prueba 2
	
DATOS DEL PROVEEDOR DE LA HARINA	
Proveedor: Harinas El Lobo S.A.	
Humedad (%): 12.5	
Agua (ml): 54.9	
Harina (gr): 293.9	
Ítem	Resultado
Absorción de Agua (%)	54.90
Tiempo de llegada (minutos)	2.10
Estabilidad (minutos)	1.50
Decaimiento (U.B)	96.00
Índice de tolerancia (U.B)	118.00

Consistencia (U.B)	490.00
--------------------	--------

**Tabla 3-12.** Valores de prueba # 1 con la actualización del farinógrafo.

DATOS CON LA ACTUALIZACIÓN DEL FARINÓGRAFO	
Proveedor: Harinas El Lobo S.A.	
Humedad (%): 12.5	
Agua (ml):	54.9
Harina (g):	293.9
Ítem	Resultado
Absorción de Agua (%)	55.00
Tiempo de llegada (minutos)	2.09
Estabilidad (minutos)	1.51
Decaimiento (U.B)	95.63
Índice de tolerancia (U.B)	117.80
Consistencia (U.B)	489.34

**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

El porcentaje de error con respecto a estas harinas de trigo ya caracterizadas por el proveedor se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ Error} = \frac{\text{valor real} - \text{valor experimental}}{\text{valor real}} * 100$$

**Absorción de agua:**

$$\% \text{ Error absorción de agua} = \frac{54.90 - 55.00}{54.90} * 100 = 0.18\%$$

**Tiempo de llegada:**

$$\% \text{ Error tiempo de llegada} = \frac{2.10 \text{ min} - 2.09 \text{ min}}{2.10} * 100 = 0.47\%$$

**Estabilidad:**

$$\% \text{ Error estabilidad} = \frac{1.50 - 1.51}{1.50} * 100 = 0.66\%$$

**Decaimiento:**

$$\% \text{ Error decaimiento} = \frac{96.00 - 95.63}{96.00} * 100 = 0.38\%$$



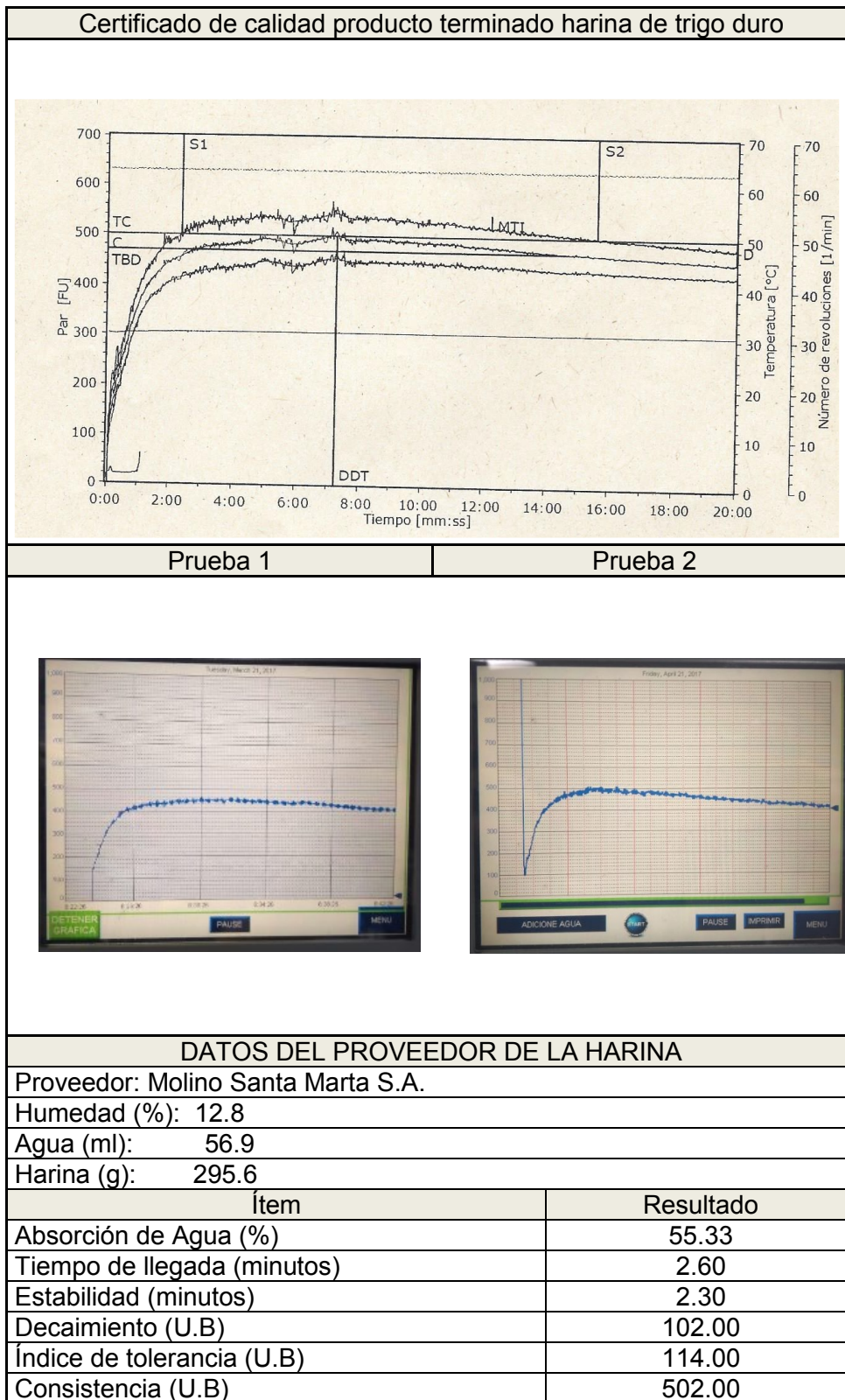
**Índice de tolerancia:**

$$\% \text{ Error índice de tolerancia} = \frac{118.00 - 117.80}{118.00} * 100 = 0.16\%$$

**Consistencia:**

$$\% \text{ Error índice de tolerancia} = \frac{490.00 - 489.34}{490.00} * 100 = 0.13\%$$

**Tabla 3-13.** Prueba de calibración # 2 con dos muestras de harina.



**Tabla 3-14.** Valores de prueba # 2 con la actualización del farinógrafo.

DATOS DE LA ACTUALIZACIÓN DEL FARINÓGRAFO	
Proveedor: Molino Santa Marta S.A.	
Humedad (%): 12.8	
Agua (ml): 56.9	
Harina (g): 295.6	
Ítem	Resultado
Absorción de Agua (%)	55.12
Tiempo de llegada (minutos)	2.62
Estabilidad (minutos)	2.32
Decaimiento (U.B)	102.09
Índice de tolerancia (U.B)	114.11
Consistencia (U.B)	502.57

**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

**Absorción de agua:**

$$\% \text{ Error absorción de agua} = \frac{55.33 - 55.12}{55.33} * 100 = 0.37\%$$

**Tiempo de llegada:**

$$\% \text{ Error tiempo de llegada} = \frac{2.60 - 2.62}{2.60} * 100 = 0.76\%$$

**Estabilidad:**

$$\% \text{ Error estabilidad} = \frac{2.30 - 2.32}{2.30} * 100 = 0.86\%$$

**Decaimiento:**

$$\% \text{ Error decaimiento} = \frac{102.00 - 102.09}{102.00} * 100 = 0.08\%$$

**Índice de tolerancia:**

$$\% \text{ Error índice de tolerancia} = \frac{114.00 - 114.11}{114.00} * 100 = 0.09\%$$

**Consistencia:**

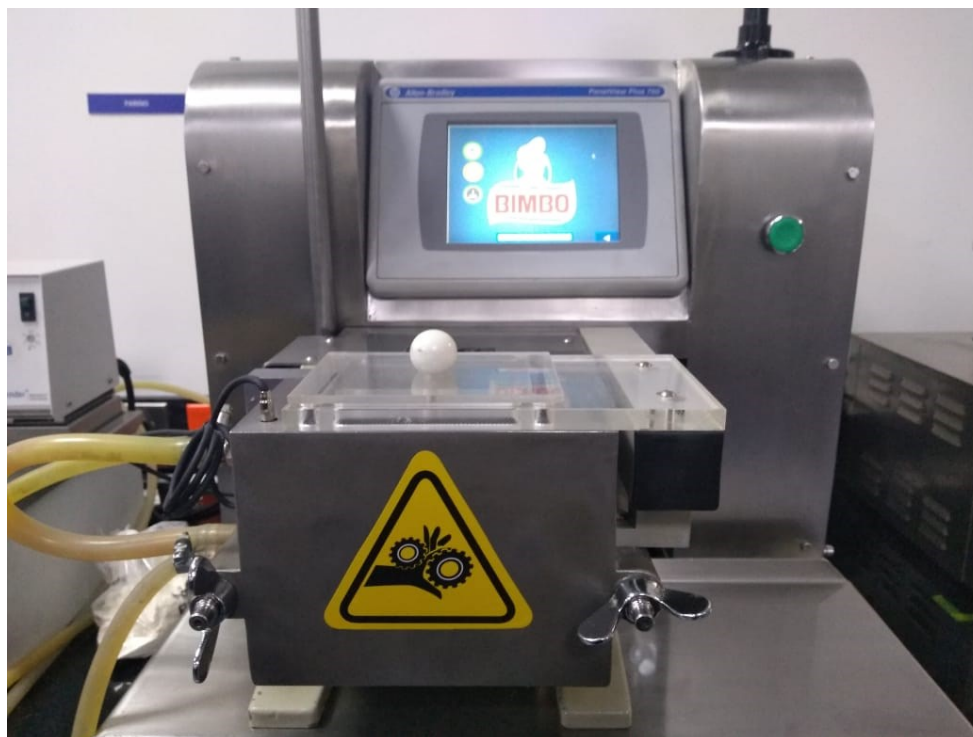
$$\% \text{ Error índice de tolerancia} = \frac{502.00 - 502.57}{502.00} * 100 = 0.11\%$$

Las pruebas hechas con las harinas ya parametrizadas por los proveedores, dieron como resultado un porcentaje de error mínimo, lo cual ratificó el funcionamiento de la actualización del farinógrafo para obtener las características de la harina de trigo.

### **3.9 Implementación del sistema con puesta a punto de un farinógrafo para la empresa Bimbo de Colombia**

Se realizó la entrega del farinógrafo con la actualización tecnológica implementada en la **Figura 3-43**. se observó el equipo armado, con la puesta a punto de su sistema mecánico, con todos sus sistemas comprobados y funcionando, para la ejecución de las respectivas pruebas de calidad de las diferentes muestras de harina de trigo en el laboratorio de calidad de la empresa de Bimbo de Colombia.

**Figura 3-43.** Actualización tecnológica del farinógrafo implementada.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

El farinógrafo con una presentación moderna y una estructura compacta adquiere y entrega los datos completamente digitales adicionalmente, con la opción de tener una base de datos para todas las muestras de harina de trigo que se le deseen hacer pruebas. Se realiza la entrega del farinógrafo con manual de uso y contraindicaciones para operar correctamente la máquina, los planos para detallar cada una de sus partes y de igual manera es notorio el desempeño y la entrega del grupo por hacer una herramienta útil para la industria en Colombia **Figura 3-44** y **Figura 3-45**.

**Figura 3-44.** Presentación de la actualización del farinógrafo.



**Fuente:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

**Figura 3-45.** Presentación final del farinógrafo.



**Fuentes:** Julio Roa, Fernando Joya, Martín Rozo.

## 4. RESULTADOS OBTENIDOS.

- Se puso a punto el sistema mecánico para garantizar el buen funcionamiento de la parte de transmisión de la máquina.
- El diseño externo del equipo, le dio a la máquina una apariencia completamente moderna donde se compactan todos los sistemas de recopilación y hace una mejor interacción entre hombre y máquina.
- La implementación del algoritmo captó las variables por medio del PLC para así brindar las características de la harina de trigo en una pantalla HMI.
- El control de temperatura PID permitió establecer el rango de la temperatura del agua que circula a través de las paredes de la mezcladora para así mantener la mezcla a  $30 \pm 2$  grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Se diseñó un sistema que adquiere los datos de la mezcla por medio del motor donde se empieza con una celda de carga y por medio de una red Ethernet se dio comunicación con el PLC y de esta manera transformar el par del motor en unidades Brabender (U.B).
- Se diseñaron pantallas para la HMI por medio de una máquina virtual donde se le agregaron cada uno de los botones y el aspecto visual y de esta manera manipular los parámetros de pruebas desde el touch.
- La implementación de una macro en Excel dio la facilidad de conocer los resultados y de igual manera guardar en una base de datos de las características de la harina de trigo que llegan a la empresa Bimbo en Tenjo-Cundinamarca.
- Por medio de la calibración del farinógrafo se verifican los sistemas integrados, obteniendo un resultado satisfactorio donde se compara con los certificados de las muestras de harina enviadas por los proveedores. En la comparación se puede verificar que los datos obtenidos son congruentes.
- Se realizaron pruebas donde se verificaron los resultados con harinas de trigo ya parametrizadas por varios de los proveedores y con un margen de error se dio un visto bueno del funcionamiento del farinógrafo.
- Se implementó el farinógrafo completamente actualizado donde facilita y ahorra tiempo en los procesos para conocer las características de la harina de trigo en el laboratorio de calidad de Bimbo en Tenjo-Cundinamarca.



---

## 4.1 Conclusiones y recomendaciones

### 4.1.1 Conclusiones

- En el diseño de la estructura del farinógrafo se determinó que el material más apropiado para la fabricación fue el acero inoxidable, puesto que este material tiene una elevada resistencia a la corrosión adicional presenta una superficie totalmente compacta y una óptima capacidad de limpieza y en consecuencia un elevado grado de eliminación de bacterias.
- Para la actualización tecnológica se diagnosticó que el sistema mecánico presentaba desgaste en la mayoría de las partes, adicional se pudo observar en las pruebas que cualquier vibración (golpe, movimiento de la base) afectaba directamente el resultado, este se reemplazó por un sistema de muestreo equipado con un sistema de control por PLC, para asegurar una entrega uniforme y eficiente de la señal.
- Con el mantenimiento correctivo que se realizó al sistema de transmisión del farinógrafo, se dio un veredicto efectivo de que partes se necesitaban reparar para el buen funcionamiento del equipo.
- En el desarrollo del algoritmo se tuvo en cuenta y con gran prioridad un sistema de seguridad, puesto que el farinógrafo actual no poseía ninguna seguridad para la integridad del personal y el cuidado del equipo, básicamente se conforma de dos elementos en cuales encontramos el riesgo personal y el cuidado del farinógrafo.
- Se diseñó un control de temperatura como una opción de mejora o en caso de fallo en el sistema del termostato original del farinógrafo, como lo presentaba actualmente.
- Se diseñó un sistema de adquisición datos por medio de una celda de carga la cual permitió la conversión de unidades para digitalizar las características con un porcentaje menor al 1% de error en comparación con los certificados de la harina de trigo.
- Se diseñó una interfaz gráfica con una pantalla HMI que facilitó la manipulación y parametrización antes y durante la prueba del farinógrafo, adicional con opción de generar una base de datos con las diferentes muestras de harina por medio de Visual Basic.

- Se entregó un farinógrafo actualizado totalmente funcional capaz de verificar las características de la harina de trigo, dándole al laboratorio de calidad una herramienta con los requerimientos solicitados por este.

#### **4.1.2 Recomendaciones**

- Este tipo de proyectos deja como incentivo a la industria, el brindar oportunidades a los estudiantes para poder mostrar todas las habilidades adquiridas durante su etapa de aprendizaje.
- Es conveniente para la manipulación del equipo tener en cuenta el manual de instrucciones (**Anexo H**) para así no ocasionar daños tanto físicos en el operario, como en el farinógrafo.
- Una vez concluido el presente trabajo de grado, se pone a consideración del lector y la comunidad educativa investigar sobre otros aspectos relacionados con Reología.
- Extender los estudios expuestos en este trabajo de grado, para el estudio de otro tipo de alimentos.
- Se recomienda a la empresa Bimbo y a la Universidad Antonio Nariño mejor acompañamiento en este tipo de trabajos para así afianzar un mejor vínculo entre ellas.

---

## 5. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] J. S. R. Navas, Fundamentos de Reología de Alimentos, Cali: Suramérica, 2006.
- [2] E. R. Sandoval, A. Quintero Fernández y A. Aponte Ayala, «Modelos reológicos aplicados a masas de trigo y maíz,» *Ingeniería e Investigación* , pp. 87-93, 2005.
- [3] R. C. Medina Heredia y F. Peña Losada, *Automatización electrónica del farinógrafo*, Bogotá, 1999.
- [4] Icontec, *Harina de trigo características físicas de la masa. Determinación de la absorción y las propiedades reológicas usando un farinógrafo.*, Bogotá D.C, 2002.
- [5] A. Fernández, E. Rodríguez y A. Ayala., «Modelos reológicos aplicados a masas de trigo y maíz,» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2005.
- [6] A. E. Leon y C. M. Rosell, De tales harinas, tales panes., Córdoba : Alberto Edel Leon/Cristina M. Rosell editores, 2007.
- [7] Bimbo, «Prácticas de laboratorio,» Bimbo, Tenjo, 2016.
- [8] Brabender, instrucciones de uso Farinograph®-E, Duisburg - Alemania : Brabender GmbH & Co. KG, 2009.
- [9] D. G. Y. B. Bird B, «The rheology of scoplactic material,» University of wisconsin, Wisconsin, 1983.
- [10] H. Velásquez, «Reología de los fluidos y su aplicación en el area de los alimentos,» Universidad Nacional de Colombia , Medellín, 2006.
- [11] L. A. Mora, «Mantenimiento, planeacion, ejecucion y control,» de *Mantenimiento, planeacion, ejecucion y control*, Mexico, Alfaomega, 2009, p. 528.
- [12] J. Gualda, S. Martínez y P. Martínez, *Electronica Industrial*, Ciudad de México : Boixareu, 1995.
- [13] R. Automation, *Terminales Panelview Plus 7 Performance*, Milwaukee: Rockwell Automation, Inc., 2019.
- [14] K. Ogata, «Ingeniería de control moderna,» Pearson, Madrid, 2010.

- [15] M. Á. M. P. A. L. Galo Sandoval, «Estudio reológico de las mezclas de harinas,» *Universidad nacional de trujillo trujillo, peru* , p. 7, (2012).
- [16] J. S. Ramírez, «Introducción a la reología de alimentos,» Universidad del valle, Cali, 2006.
- [17] M. adoal, M. ALvarez y M. Paredes, «Estudio reológico de las mezclas de harina,» Universidad Nacional de Trujillo , Trujillo, 2012.
- [18] C. d. i. y. d. e. criotecnología, «Manual de usuario del farinógrafo Brabender,» *Manual de usuario del farinógrafo Brabender*, p. 12, 2011.
- [19] B. H.A, H. J.F y Walters, «An introductio to rheology,» Elsevier, Amsterdam, 1989.
- [20] R. jacobson, «Microsoft Excel, Visual basic paso a paso.,» McGraw-Hill, Madrid, 1996.
- [21] J. Ceballos, «El lenguaje de programación Visual Basic.NET,» Alfaomega, Mexico D.F, 2003.
- [22] Microsoft, «docs.microsoft.com,» 26 10 2019. [En línea]. Available: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/visual-basic/>.
- [23] RockwellAutomation, CompactLogix Controllers Specifications, Icerenkoy: Rockwell Automation Publication, 2018.
- [24] R. L. Controls, 105 TX Industrial Ethernet Switch, Pennsylvania: Red Lion Controls, Inc., 2017.
- [25] H. P. Solutions, Weight Processor, San Diego: Hardy Process Solutions, Inc., 2013.
- [26] YASKAWA, YASKAWA Variador CA J1000, Waukegan: YASKAWA, Inc., 2015.
- [27] J. P. Holman, Transferencia de Calor, Mexico: Editorial Continental, 1999.

## A. Anexo: Factura carcasa del farinógrafo.

		<b>IMPORTACION, DISTRIBUCION Y FABRICACION DE PRODUCTOS INDUSTRIALES</b> <b>NIT 900,730,262-1      CRA 24 2A-15 TEL 9277797-3209055165</b>			
COTIZACION			5001FJ		
EMPRESA	BIMBO DE COLOMBIA		CLIENTE	FERNANDO	
NIT			CONDICION DE PAGO	CREDITO	
DIRECCION			FECHA COTIZACION	23/07/2019	
TELEFONO			OFERTA	15 DIAS	
OBS	ITEM	Descripción	UND	VR Unitario	Total
	1	CAJA EN FIBRA DE VIDRIO SEGÚN PLANO	1	\$ 2.200.000	\$ 2.200.000
	2	CAJA EN ACRILICO DE 6MM DE ESP	1	\$ 1.100.000	\$ 1.100.000
		<b>TIEMPO DE ENTREGA: 10 DIAS HABILES</b>		\$ 35.000	
COTIZADO			SUBTOTAL		\$ 3.300.000
		RUBY DURANGO	IVA		\$ 627.000
			TOTAL		\$ 3.927.000



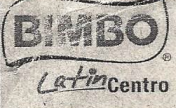
## B. Anexo: Peso de muestra con base 14% de humedad.

### FARINOGRAMA EN HARINAS (MUESTRA)

PESO DE MUESTRA EN BASE 14% DE HUMEDAD PARA LA AMASADORA DE 300 GR

% DE HUMEDAD	PESO (GR.)	% DE HUMEDAD	PESO (GR.)	% DE HUMEDAD	PESO (GR.)
10.0	286.7	12.0	293.2	14.0	300.0
10.1	287.0	12.1	293.5	14.1	300.4
10.2	287.3	12.2	293.9	14.2	300.9
10.3	287.6	12.3	294.2	14.3	301.1
10.4	287.9	12.4	294.5	14.4	301.4
10.5	288.3	12.5	294.9	14.5	301.7
10.6	288.6	12.6	295.2	14.6	302.1
10.7	288.9	12.7	295.5	14.7	302.5
10.8	289.2	12.8	295.9	14.8	302.8
10.9	289.6	12.9	296.2	14.9	303.2
11.0	289.9	13.0	296.6	15.0	303.5
11.1	290.2	13.1	296.9	15.1	303.9
11.2	290.6	13.2	297.2	15.2	304.3
11.3	290.9	13.3	297.6	15.3	304.6
11.4	291.2	13.4	297.9	15.4	305.0
11.5	291.5	13.5	298.3	15.5	305.3
11.6	291.9	13.6	298.6	15.6	305.7
11.7	292.2	13.7	299.0	15.7	306.1
11.8	292.5	13.8	299.3	15.8	306.4
11.9	292.9	13.9	299.6	15.9	306.8

## C. Anexo: Técnicas de laboratorio.

	TECNICAS DE LABORATORIO		CODIGO	
			PSM-LAC-BCOC-I-169	
	VERSIÓN	Página	1	13 de 37

**Cálculos:**

Reportar el valor de absorción, al 0.1% más cercano, usando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de absorción} = \frac{(x + y - 300)}{3}$$

Donde:

x = mililitros de agua necesarios para centrar el desarrollo máximo de la curva en la línea de 500 UB.

y = gramos de harina usados, equivalentes a 300 g en base a 14 % de humedad.

**Interpretación de los resultados:**

**Absorción.-** Es el porcentaje de agua, base harina, necesario para centrar el desarrollo máximo de la curva sobre la línea de 500 UB.

**Tiempo de llegada.-** Es el tiempo requerido para que la parte superior de la curva intercepte la línea de 500 UB, una vez que la amasadora esté trabajando y se haya agregado el agua. Reportar al 0.5 minutos mas cercano.

**Tiempo de desarrollo máximo.-** También es llamado "tiempo pico" o "tiempo de mezclado". Este valor representa el tiempo que transcurre desde la primera adición de agua a la harina, en el minuto cero hasta el punto de máxima consistencia de la masa, justo antes de la primera señal de debilitamiento. Reportar al 0.5 minutos mas cercano.

**Estabilidad.-** Es la diferencia entre el tiempo de llegada y el tiempo de salida. Reportar al 0.5 minutos mas cercano.

**Índice de tolerancia al mezclado (I.T.M.).-** Es la diferencia, en unidades Brabender (UB), de la parte superior de la curva en el punto de desarrollo máximo, a la parte superior de la curva después de 5 minutos del punto de desarrollo máximo.

**Tiempo de salida.-** Es el tiempo que transcurre desde que empieza la primera adición de agua a la harina, hasta donde la parte superior de la curva deja la línea de 500 UB. Esto es igual a la suma del tiempo de llegada mas el tiempo de estabilidad. Reportar al 0.5 minutos mas cercano.

**Tiempo de caída.-** Es el tiempo que pasa desde el comienzo del mezclado, hasta el decrecimiento, en 30 unidades Brabender (UB), del pico de la gráfica. Este se determina dibujando una línea horizontal, a través del centro del trazo en el punto de máximo desarrollo y una línea paralela 30 UB abajo y se mide el tiempo desde el principio del mezclado, hasta que el centro de la curva descendente cruza la línea más baja. Reportar al 0.5 minutos mas cercano.

**Tiempo de tolerancia.-** Es la diferencia entre el tiempo de caída y el tiempo de desarrollo máximo. Reportar al 0.5 minutos mas cercano

**Referencias:**

AACC 54-21 8Ed. 1991.





## TECNICAS DE LABORATORIO

CODIGO	
PSM-LAC-BCOC-I-169	
VERSIÓN	Página
1	12 de 37

### Objetivo:

Medir la resistencia al mezclado de una masa formada de agua y harina, por medio de un Farinógrafo, el cual evalúa la absorción de las harinas y determina la estabilidad y otras características reológicas durante su mezclado.

### Equipo y Materiales:

1. Farinógrafo Brabender con tazón mezclador de 300 g y baño de temperatura constante.
2. Balanza granataria, con sensibilidad de +/- 0.1 g.
3. Espátula de plástico
4. Agua destilada

### Descripción del método:

Método de peso constante en harina:

1. Encender el termostato y la bomba de recirculación del baño de agua, al menos 1 hora antes de usar el Farinógrafo. La temperatura de la mezcladora deberá estar en  $30 \pm 0.2$  °C.
2. Determinar el contenido de humedad de la muestra.
3. Colocar en el tazón el equivalente a  $300 \pm 0.1$  g de harina en base 14% de humedad.
4. Llenar la bureta con agua destilada, asegurándose que la punta esté llena y que el ajuste a cero automático funcione adecuadamente.
5. Colocar la plumilla del graficador en la línea de los 9 minutos del papel carta. Encender el Farinógrafo y mezclar por 1 minutos a 63 r.p.m. cuando la plumilla cruce la línea del minuto cero, agregar el volumen necesario de agua de la bureta en la esquina frontal derecha del tazón para llevar la curva a 500 UB. Cuando la masa comience a formarse, bajar la masa de las paredes del tazón, con la ayuda de una espátula de plástico, empezando en el lado derecho, al frente y seguir en sentido contrario a las manecillas del reloj. Cubrir el tazón con la tapa para evitar la evaporación del agua. Si la consistencia es muy alta, agregar un poco mas de agua para centrar la curva en  $500 \pm 20$  UB en su desarrollo máximo. Apagar el Farinógrafo y limpiar el tazón.
6. El primer intento muy raras veces produce una curva de máxima resistencia centrada en la línea de 500 UB. Por lo tanto, en las siguientes titulaciones ajustar la absorción hacia arriba o abajo, hasta centrar la curva en  $500 \pm 20$  UB. Como guía para corregir la titulación preliminar, se ha establecido que la diferencia entre cada línea horizontal (20 UB) corresponde a aproximadamente 0.6 a 0.8 % de absorción (1.8 a 2.4 ml de agua), dependiendo de la harina.
7. En la titulación final, agregar toda el agua dentro de los primeros 25 segundos después de abrir la llave de la bureta. Continuar con el mezclado 12 minutos mas después del tiempo de desarrollo máximo o hasta que las características de la curva sean reveladas. Después de este tiempo levantar la plumilla del papel graficador, agregar harina seca al tazón y proceder con la limpieza.



## TECNICAS DE LABORATORIO

CODIGO	
PSM-LAC-BCOC-I-169	
VERSIÓN	Página
1	11 de 37

### Objetivo:

Determinar el número de caída en harinas, basándose en la habilidad que tiene la  $\alpha$ -amilasa para poder licuar el almidón gelatinizado. La fuerza de la enzima es medida por el número de caída (FN), el cual es definido como el tiempo en segundos requeridos para agitar y permitir a un embolo caer una distancia conocida a través del gel acuoso y caliente de harina durante la licuefacción.

### Equipo y Materiales:

- 1.-Aparato Falling Number
- 2.-Tubos de vidrio con tapones específicos para Falling number, con tolerancias de 0.2mm de diámetro interno y 0.3 mm de diámetro exterior y 0.3mm de longitud.
- 3.-Pipeta Volumétrica de 25 ml +/- 0.3 ml
- 4.-Balanza Analítica

### Descripción del método:

- 1.-Llenar el tanque del aparato Falling Number con agua destilada hasta el nivel y encenderlo para elevar la temperatura hasta ebullición constante.
- 2.-Pesar 7.00 +/- 0.05 g de harina en base 14% de humedad y colocarlos dentro del tubo.
- 3.-Agregar 25 ml de agua destilada a 22° +/- 2° C, colocar el tapón de hule y agitarlo en posición vertical de 20 a 30 veces o más si fuera necesario para un buen mezclado.
- 4.-Bajar la muestra que quedo adherida a las paredes del tubo con ayuda del émbolo.
- 5.-Colocar el tubo con el embolo dentro del aparato de tal forma que éste empiece a funcionar automáticamente, hacer esto dentro de 30 a 60 segundos después del mezclado.
- 6.-Tomar la lectura que aparece en el display, cuando se activa el zumbador que hace contacto con el control del tiempo.
- 7.-Retirar inmediatamente el tubo del aparato y colocar el tubo bajo el chorro del agua quitar el émbolo, el gel del almidón deberá removerse con la ayuda de un escobillón.

### Cálculos:

#### Corrección por altura sobre nivel del mar

Si la ciudad donde se encuentra esta a menos de 762 m, sobre el nivel del mar **NO** deberá corregir la lectura registrada en el display.

Si la ciudad donde se encuentra el laboratorio se encuentra arriba de 762 m, sobre el nivel del mar deberá usar la siguiente fórmula:

$$\text{Número de Caída} = -849.41 + [0.4256 \times 10^{-5} \times E \times E] + [454.19 \times \text{Log}_{10}(\text{Lectura}) - [0.2129 \times 10^{-5} \times \text{Log}_{10}(\text{Lectura}) \times E_2]$$

Donde :

E= Altura sobre el nivel del mar, en pies (1 pie =0.3048 m)

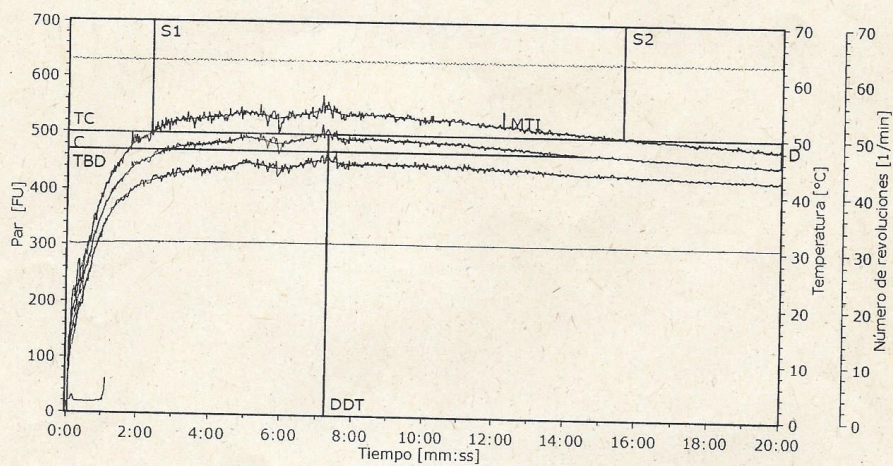
### Referencias:

AACC.56-81-B 8 Ed. 1991

Brabender®

Farinograph®-TS

Muestra	Harina trigo duro	ID	B34c8upuelqe
Orden	Lote: 29191G005B, F.P:10/07/2019	Fecha	10/07/2019 1:42
Usuario	Molinos Santa Marta S.A.S		
Método	AACC 300		
Evaluación	AACC	Número de revoluciones	63,0 1/min
Amasadora	300	Tiempo de medición	20:00 mm:ss
Peso de muestra	299,3 g		
Humedad de la harina	13,8 %	Humedad de harina estándar	14,0 %
WA (como predefinido)	63,1 %	Consistencia estándar	500 FU
Observaciones			



■ Marcha previa	■ Valor medio	■ Valor medio (alisado)	■ Mínimo
■ Min. (alisado)	■ Máximo	■ Máx. (alisado)	■ Número de revoluciones
■ Temperatura de dosificación	■ Temperatura de la amasadora	■ Temperatura de la masa	

Punto	Valor	Unidad	Descripción
T	20:00	mm:ss	Tiempo de medición
DT	-/-	°C	Temperatura de dosificación
DDT	07:15	mm:ss	Tiempo de desarrollo de masa
C	500	FU	Consistencia
WZ	63,1	%	Adición de agua
WAC	63,1	%	Corregir absorción de agua a consistencia estándar
WAM	62,9	%	Corregir absorción de agua a humedad de harina estándar
S	13:15	mm:ss	Estabilidad
MTI	27	FU	Índice de tolerancia (MTI)
FQN	146	mm	Número de calidad Farinograph
D	46	FU	Drop-off
TBD	14:36	mm:ss	Tiempo hasta breakdown

ID: B34c8upuelqe

Página 1 de 1



Molinos Santa Marta S.A.S.

**MOLINOS SANTA MARTA S.A.S.**  
GESTIÓN DE CALIDAD  
CERTIFICADO DE CALIDAD

Molinos Santa Marta S.A.S.

Planta Santa Marta:  
Km. 12.5 Vía alterna al Puerto, Zona Bureche  
Santa Marta, Colombia  
Tel. (575) 438 18 30 Fax. (575) 438 18 44

Planta Buga:  
Carretera Central frente al SENA,  
Guadalajara de Buga - Valle  
Tel. (572) 228 14 40 Fax. (572) 228 14 45

PRODUCTO: HARINA TRIGO DURO  
CLIENTE: BIMBO DE COLOMBIA S.A.  
LOTE: 29191G005B (100 % IMPD 05B19)  
PROCEDENCIA: 100 % CWRS  
PLACA: TRN-047 CISTERNA: 04861

FECHA DE PRODUCCION: 10-07-19  
FECHA DE VENCIMIENTO: 07-11-19  
FECHA DE DESPACHO: 11-07-19  
FECHA DE EMISION: 11-07-19  
DESTINO: TENJO No. 281-19

	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES	METODO
<b>FISICOQUIMICAS</b>			
% HUMEDAD	13,80	Max. 14,00	Análisis del NIR
% PROTEINA ( N x 5.7 )	12,87	Min. 12,00	
% CENIZAS	0,49	Max. 0,55	
% ALMIDON DAÑADO	6,94	Max. 7,00	
% GLUTEN SECO	11,82	Min. 10,00	
pH	5,93	5,80 - 6,00	Determinación de pH al TPV y a la harina de trigo.
% GLUTEN HUMEDO (14%)	30,91	27 - 32	Determinación del gluten
INDICE DE GLUTEN	93,46	Min. 85	
% GRANULOMETRIA (que pasa por una malla tamiz 70 (212 micras))	99,7	Min. 98	Determinación de Granulometría Referente AOAC 965.22
<b>REOLOGICAS (Farinograma)</b>			
ESTABILIDAD (MINUTOS)	13,15	12,00 - 15,00	Determinación del farinograma.
INDICE DE TOLERANCIA (U.B)	27	20,00 - 30,00	
% ABSORCION DE AGUA	63,1	60,00 - 65,00	
TIEMPO DE DESARROLLO (MINUTOS)	7,15	7,0 - 10,0	
<b>REOLOGICAS (Alveograma)</b>			
FUERZA (W)	364	Min. 300,00	Determinación del alveograma.
TENACIDAD (P)	98	80 - 100	
EXTENSIBILIDAD (L)	116	90 - 120	
EQUILIBRIO (P/L)	0,84	0,65 - 1,0	
P/G	4,08	3,50 - 5,00	
<b>METALES PESADOS</b>			
PLOMO (Pb) mg/kg	< 0,001	Max. 2,00	Laboratorio externo
ARSENICO (As) mg/kg	< 0,001	Max. 1,00	
<b>TRANSCRIPCIÓN RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS LABORATORIO EXTERNO</b>			
Fecha de Producción:			
REC. MESOFILOS AEROBIOS		Max. 300.000 UFC/g	NTC 4519
REC. STAPHYLOCOCCUS AUREUS		Max. 100 UFC/g	NTC 4779
REC. BACILLUS CEREUS		Max. 150 UFC/g	NTC 4679
REC. MOHOS		Max. 5.000 UFC/g	NTC 4132
REC. LEVADURAS		Max. 5.000 UFC/g	NTC 4132
REC. DE COLIFORMES TOTALES		Max. 1000 UFC/g	NTC 4458
DETECCION DE E. COLI /g		Ausencia	NTC 4899
DETECCION DE SALMONELLA /25 g		Ausencia	NTC 4574
DETECCION DE AFLATOXINAS ug/kg	< 2,0	Max. 20	Determinación de Aflatoxinas

Observaciones: \* La harina de trigo se encuentra fortificada con los micronutrientes y en las cantidades reglamentarias de acuerdo al decreto 1944 de Octubre de 1996 expedido por el ministerio de salud.

\* La harina de trigo se encuentra exenta de sustancias tóxicas como adulterantes, preservantes, drogas o medicamentos, plaguicidas, libre de impurezas y excrementos de animales de acuerdo con las BPM.

\* La harina durante el proceso pasa por diferentes tipos de mallas, siendo 132 micras el menor diametro de abertura.

Los análisis de Plomo, Arsenico y Aflatoxinas se realizan cada 6 meses.

Harina con 10 ppm de mejorador (ADA 100%)

Absorción de agua corregida (14%): 62,9 %

FALLING NUMBER: 356 Segundos

Grupo Empresarial Nutresa



Responsable:

*[Signature]*  
Gestión de Calidad

Fecha de Creación: 01/05/2011

Fecha de Modificación: 01/02/2019

F-010

VIGILADO  
SISTEMA NACIONAL DE CALIDAD

## D. Anexo: Especificaciones de los equipos para la conexión.

PLC MICRO LOGIX 1769-L27ERM-QBFC1B	
Marca	Allen-Bradley
Tensión de alimentación	24 V DC
Cantidad de entradas	24
Entradas digitales	16
Entradas analógicas	4
Tipo de entrada analógica	Corriente, Voltaje, RTD, Resistencia, Termocupla, mV
Entradas de contador de alta velocidad	4
Tipo de entrada digital	24 V DC
Rango de tipo de entrada digital	10.. .28 V DC
Cantidad de salidas	22
Salidas digitales	16
Salidas de contador de alta velocidad	4
Tipo de salida digital	24 V DC
Rango de tipo de salida	10.. .28 V DC
Cantidad de salidas analógicas	2
Tipo de salidas analógicas	Corriente/ Voltaje
Número de nodos Ethernet / IP, máxima	16

RockwellAutomation, CompactLogix Controllers Specifications [23]



PANEL VIEW PLUS700	
Marca	Allen-Bradley
Tensión de alimentación	120 V AC
Tipo de entrada	Táctil
Tamaño de la pantalla	6,5 Pulgadas
Tipo de pantalla	Colores
Sistema operativo	Windows CE
Modelo	Performance
Red	Ethernet
Otros	Tarjeta SD opcional

Conmutador Ethernet 105TX	
Marca	N-TRON
Tensión de alimentación	10-30 V DC
Corriente de entrada constante	215mA A 24V
Conector	RJ 45

Controls, 105 TX Industrial Ethernet Switch, Pennsylvania: Red Lion Controls. [24]

Módulo Hardy HI6500-WP-10-EIP	
Marca	Hardy
Tensión de alimentación	12-27 VDC
Número de canales	1
Frecuencia de actualización	110 veces por segundo (peso procesado, pantalla, comunicaciones)
	Peso sin procesar (conversión A / D) 4800 veces por segundo
Conexión	Ethernet/IP (-EIP models), Profibus-DP (-PB models), Ethernet UDP, Ethernet TCP/IP (Embedded Webserver), Modbus RTU, Modbus TCP, Analog 4-20mA (HI 6510 models)

Celda de carga Type PC42-10kg-U-C3	
Marca	Flyntec
voltaje de excitación	5..15 V
Capacidad Max	10 kg
Material celda de carga	Aluminio
Protección según EN 60 529	IP 67
Salida nominal	2 ± 10%(mV/V)

Variador Yaskawa J100	
Marca	Yaskawa
Modelo	J1000
Tensión de alimentación	220V AC
Tipo de alimentación	Trifásica
Potencia	1 HP
Entradas multifuncionales digitales	Si (5)
Entradas analógicas	si (1)

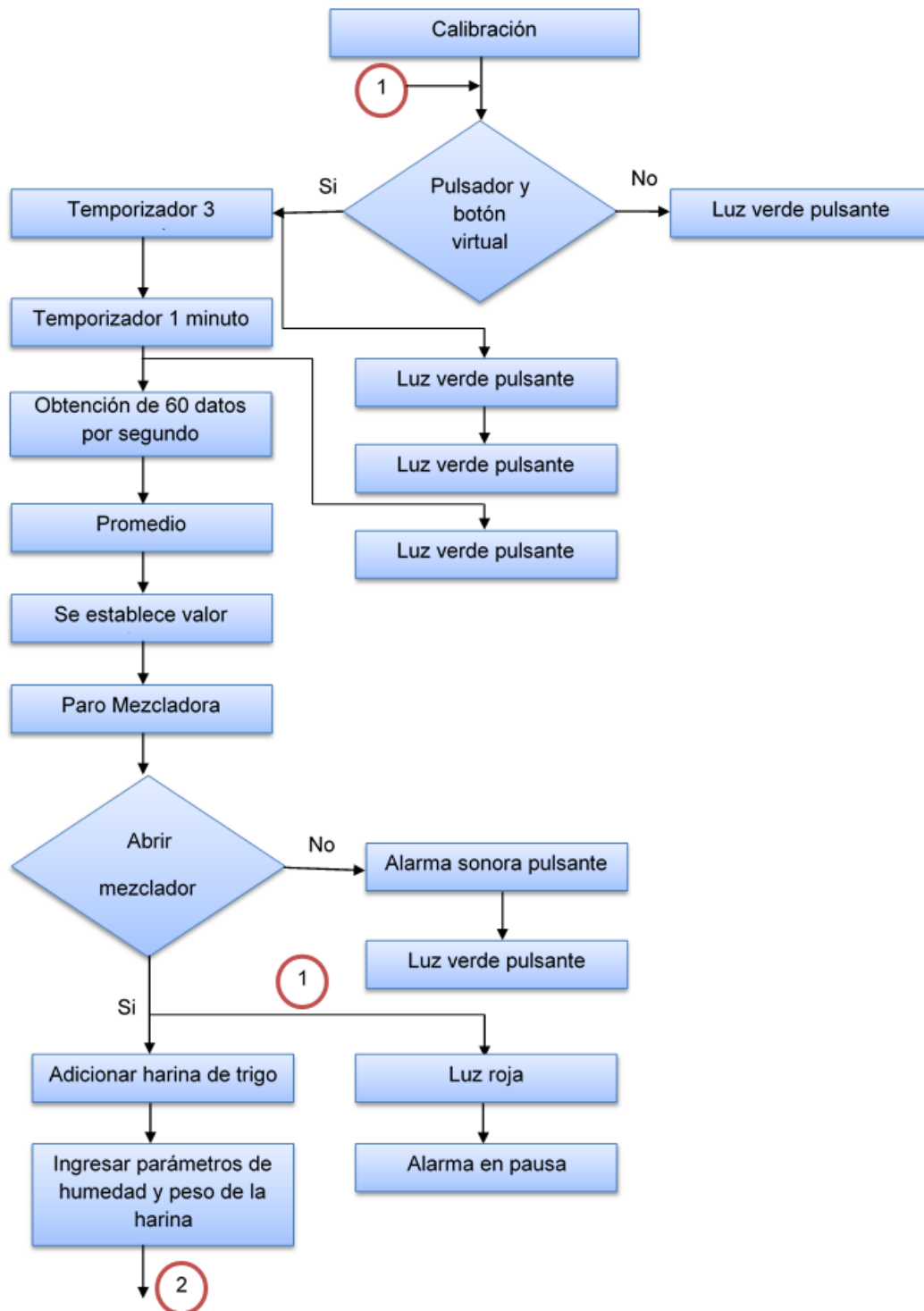
YASKAWA, YASKAWA Variador CA J1000, Waukegan: YASKAWA. [26]

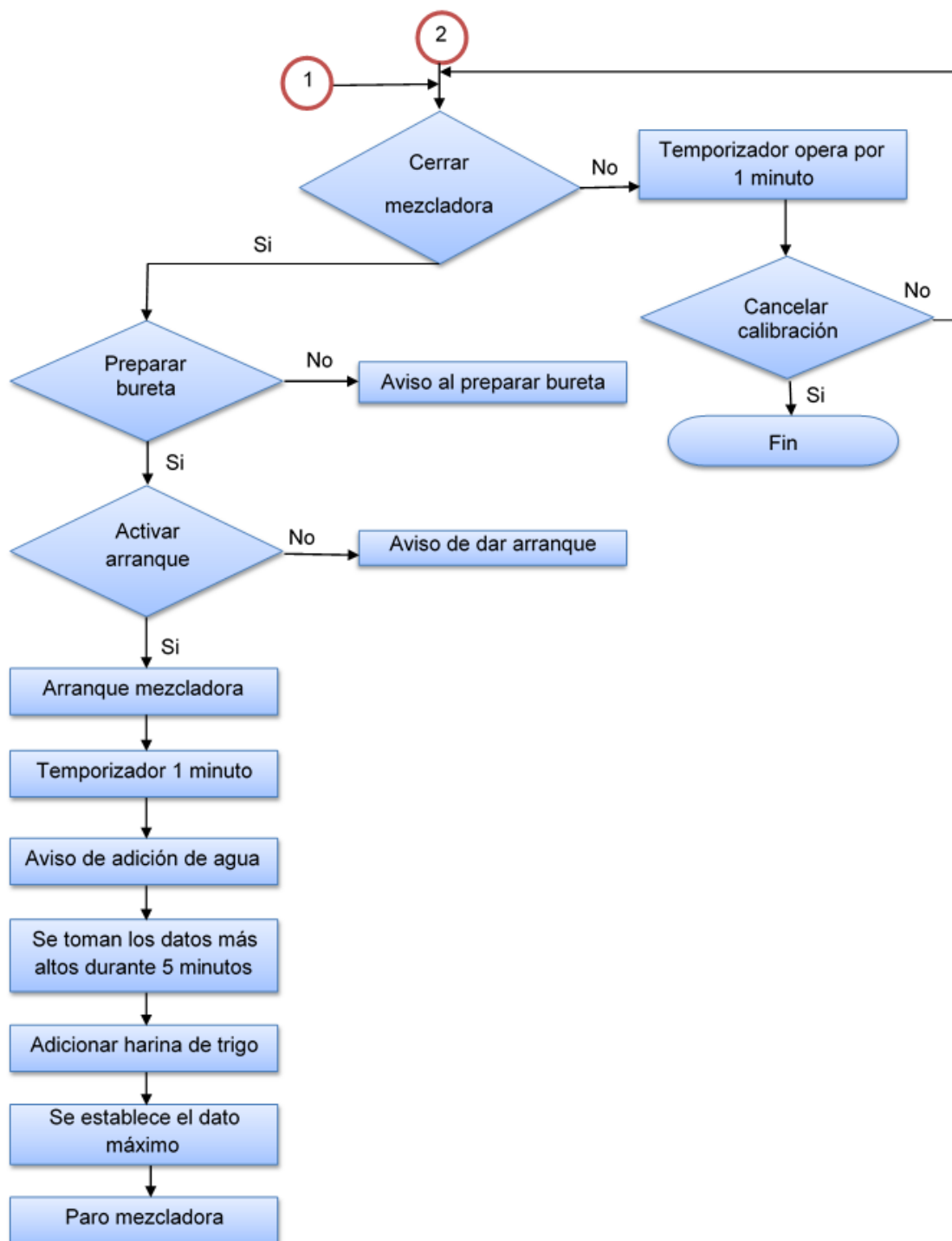
Motor	
Marca	Brabender
Tensión de alimentación	220 V AC
Tipo de alimentación	Trifásica
Potencia	0,40 kW
Corriente nominal	1,90 A
Reducción	1730/850
RPM	125/63
Frecuencia	60 Hz
IP	54

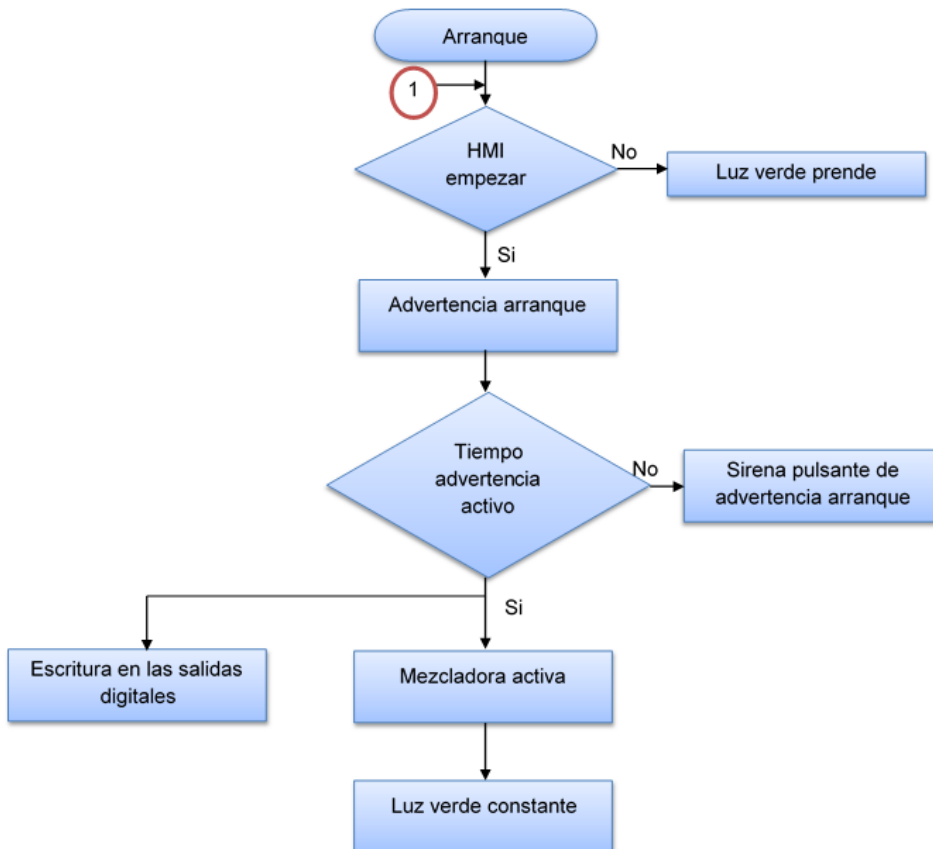
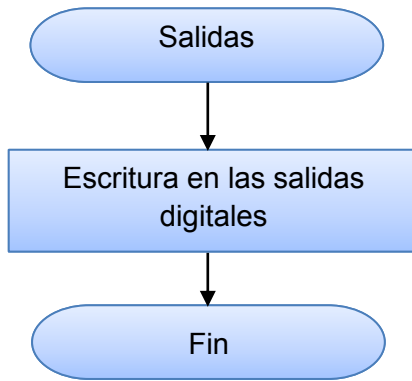


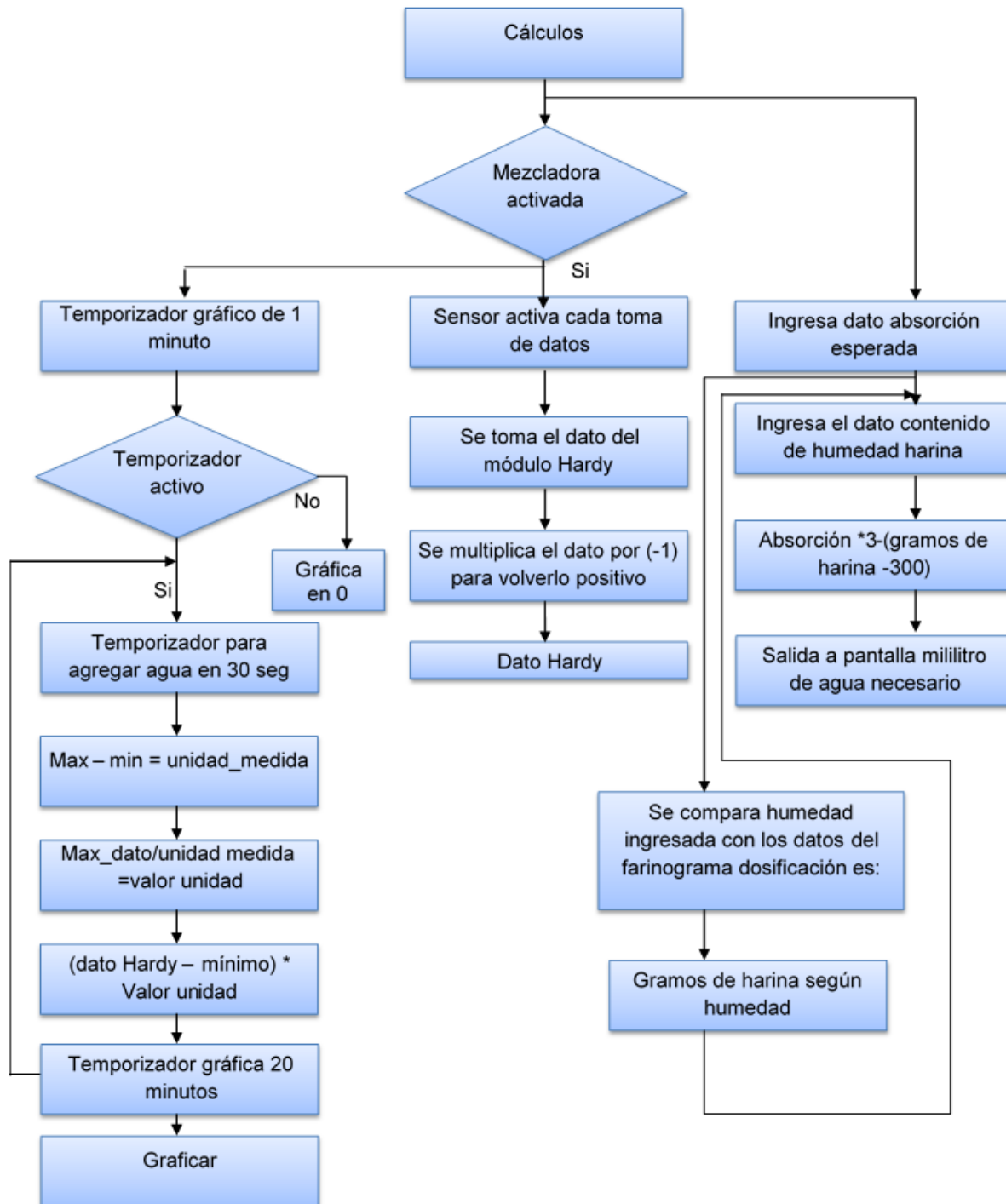
## E. Anexo: Diagrama de flujo de la programación del PLC.









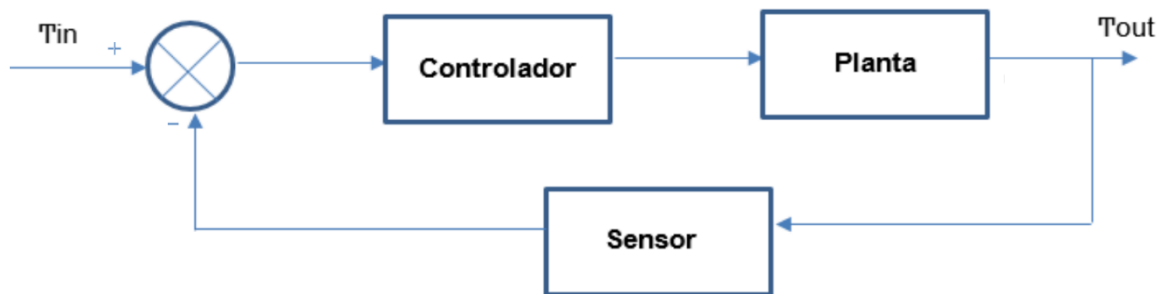


---

## F. Anexo: Planteamiento de mejora para el control de temperatura.

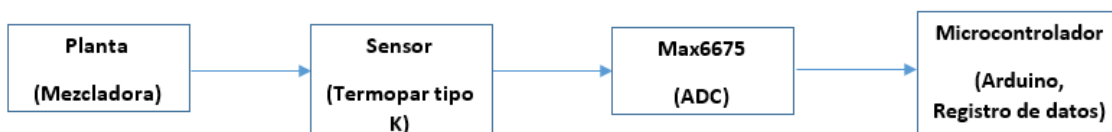
Para el desarrollo del planteamiento de control de temperatura, se realizó la sintonización de un controlador por medio de Matlab. Para encontrar el modelo matemático del proceso fue necesario implementar un sensor de temperatura, este permitió registrar los datos de temperatura en función del tiempo para conseguir de manera experimental la función de transferencia de la planta, aplicando las herramientas del software se calcularon los parámetros del controlador y se realizó una simulación por diagrama de bloques del sistema en Simulink para observar el comportamiento de este.

Esquema de control.



Se realizó la sintonización de un controlador PID por medio de Matlab. El desarrollo fue de tipo experimental, el cual implicó diseñar un sensor de temperatura que consta de un micro controlador (Arduino UNO), un módulo Max6667 y un termopar tipo K, este módulo es un conversor análogo-digital el cual tiene la capacidad de amplificar la respuesta del termopar.

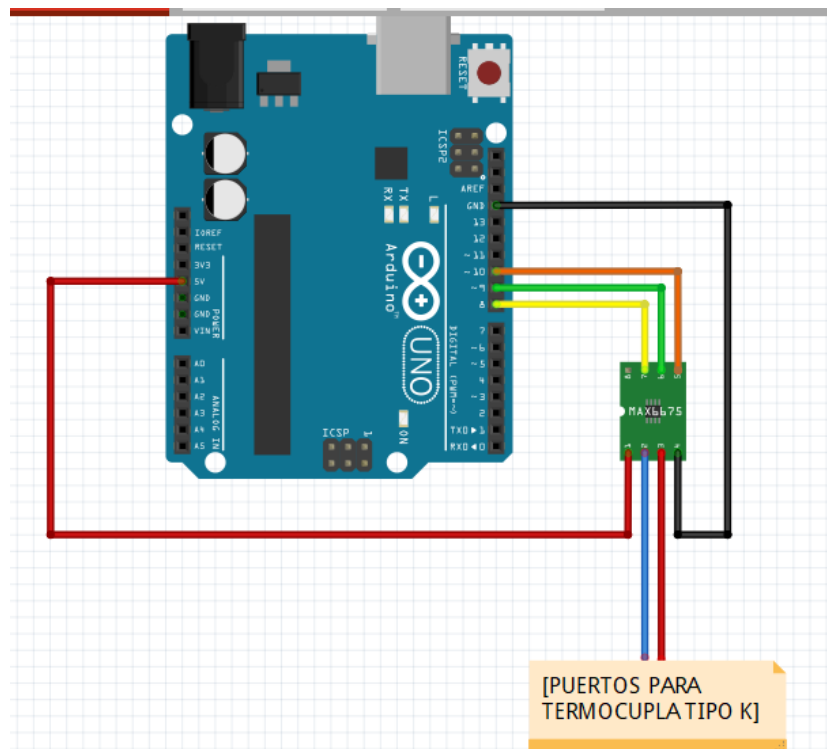
Esquema del sensor de temperatura.



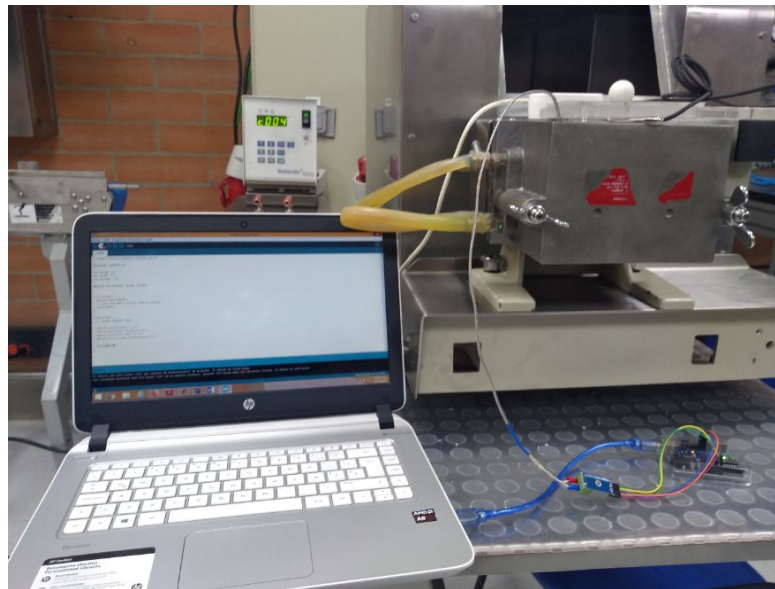
El módulo Max6675 tiene una resolución de  $0.25^{\circ}\text{C}$  con un rango de temperatura que va desde  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $+80^{\circ}\text{C}$ , este posee las características necesarias para realizar la toma de datos del sistema térmico del enchaquetado de la mezcladora. Para el desarrollo del programa fue necesario descargar la librería max6675.h de arduino, este módulo maneja un puerto de comunicación SPI, para la conexión del bus se definen tres pines (SO, CS, CLK) del micro controlador los cuales se guardan en una variable de tipo entero para asignarlos a la librería del módulo Max6675, para visualizar el registro de la temperatura en la función loop utilizamos la oración Serial.print() el cual nos permite utilizar la herramienta de arduino Serial Monitor y sensor.readCelsius() envía el valor de la temperatura, finalmente utilizamos la función delay () para fijar el intervalo de tiempo de cada registro, cual permitió guardar los datos en una hoja de Excel para importarlos a Matlab.

Para finalizar se realizó una prueba al sistema térmico del farinógrafo para la toma de los datos reales y almacenarlos en el modelamiento del sistema a través de unas funciones de Matlab.

Conexión del sensor al arduino para toma de datos.



Toma de datos a la mezcladora del farinógrafo.

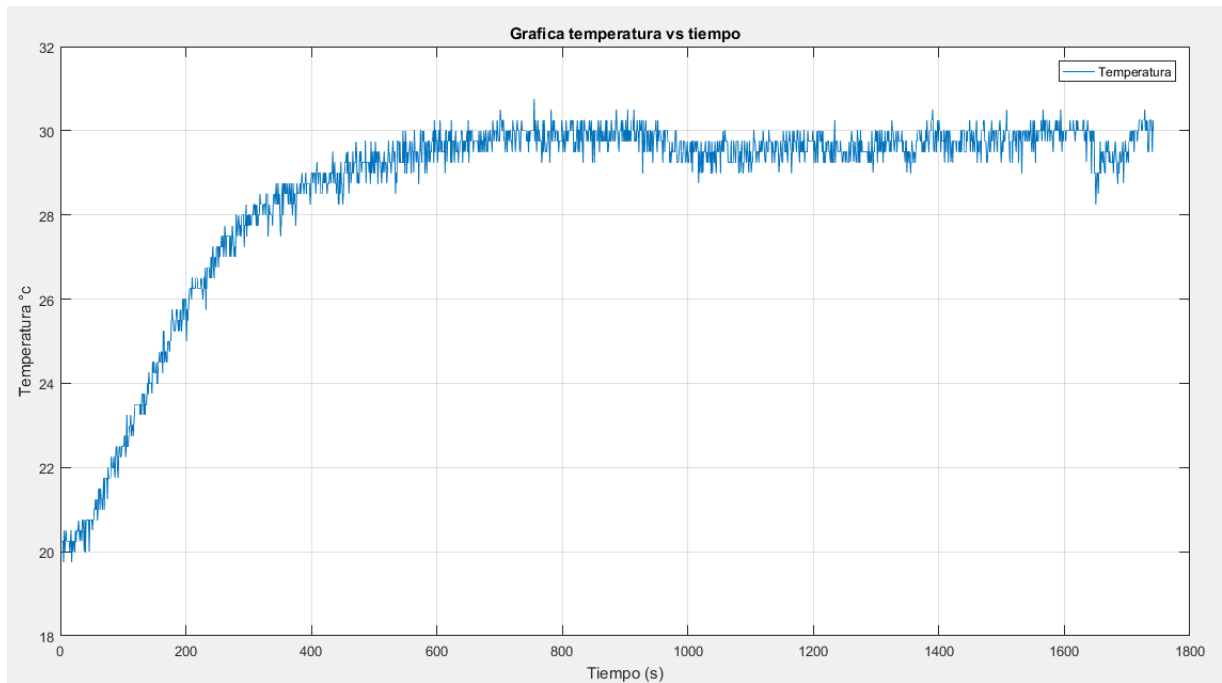


Para la identificación de la planta, inicialmente se tomaron los datos de respuesta de la planta obtenidos durante la prueba hecha a la mezcladora guardados en una hoja de Excel



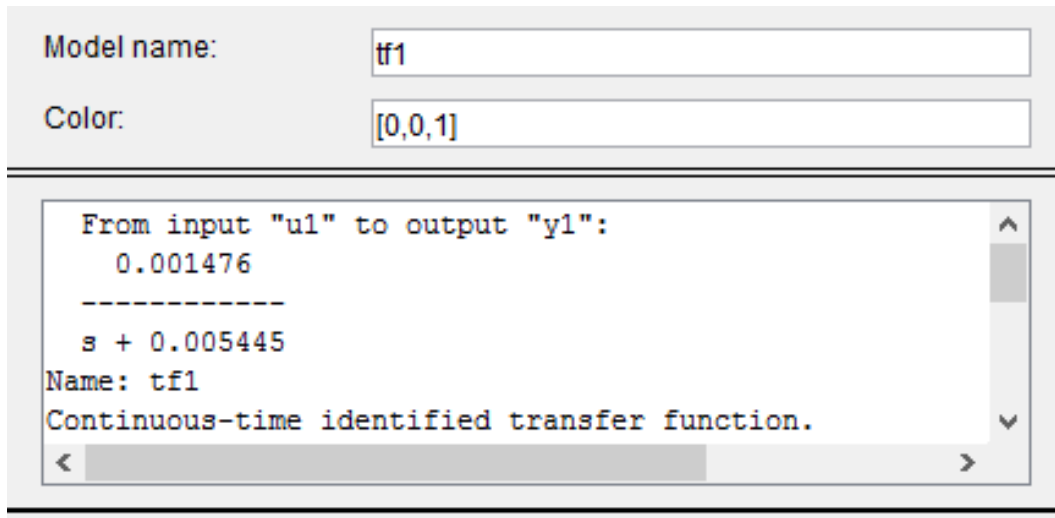
previamente, estos datos se registran en grados Celsius y se grafican en función del tiempo obteniendo la curva de temperatura de la mezcladora del farinógrafo.

Gráfica de temperatura de la mezcladora.



Para determinar la función de transferencia del sistema se utilizó la función "Ident" de Matlab, Se toma la opción de importar los datos en el dominio del tiempo Figura 6-5, se ingresan los datos de entrada y de salida de la planta, en este caso la entrada es el voltaje del al termostato del termostato (110 VAC) y los datos de salida es la respuesta del termostato medidos en grados Celsius, se ingresan los datos de información: nombre del proyecto, tiempo de inicio y el tiempo de muestreo de los datos.

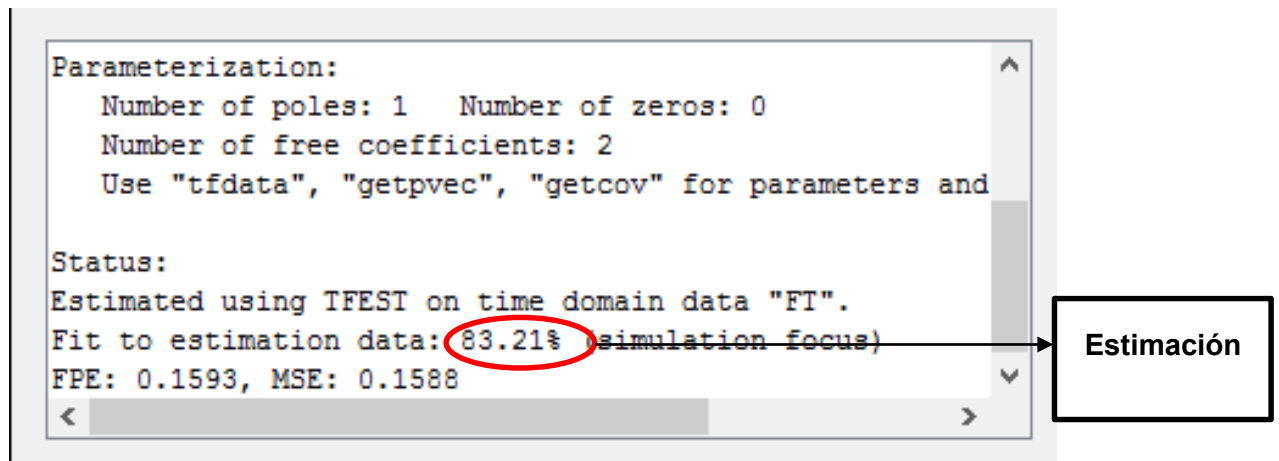
Función de transferencia de la planta.



Esta función dio como resultado el modelado matemático del sistema dinámico a partir de los datos de entrada-salida medidos. Se caracteriza por ser un sistema de primer orden.

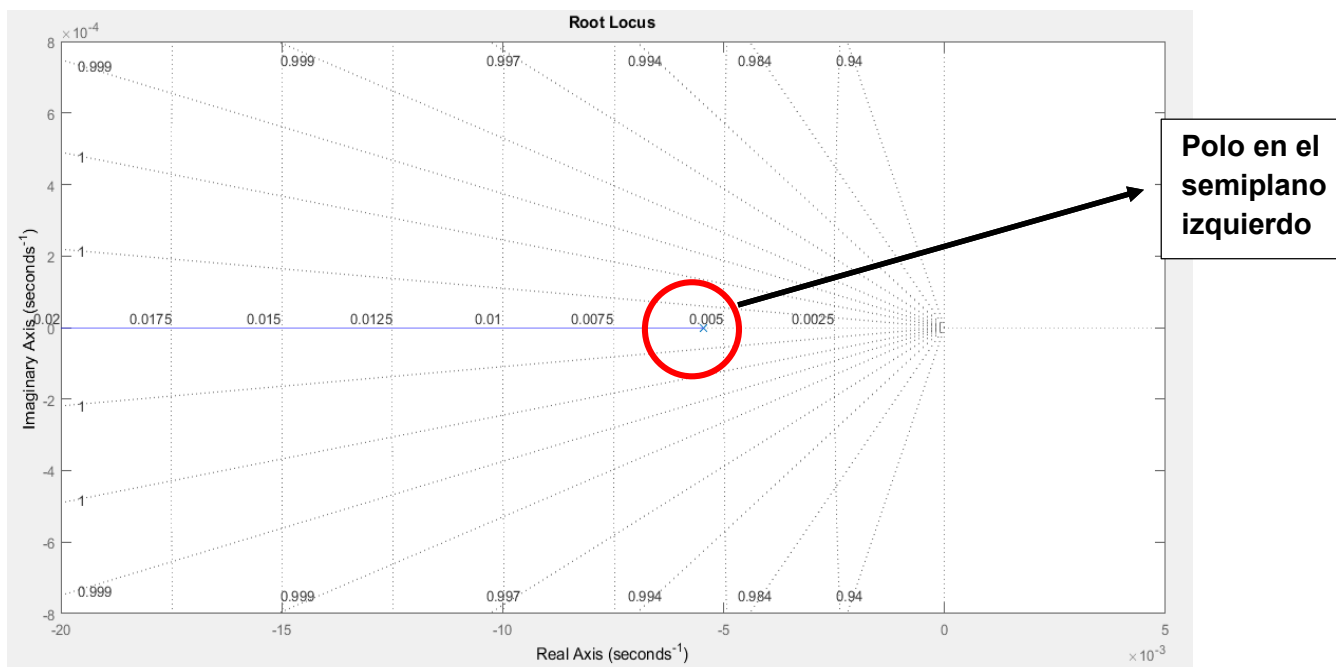
$$G(s) = \frac{0.001476}{s + 0.005445}$$

Estimación de la función de transferencia de la planta.



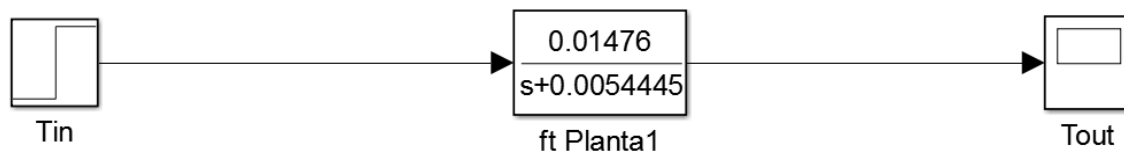
La estimación del modelo matemático obtuvo un 83.21% esto nos indica que tenemos un resultado aproximado al real.

Polo de función de transferencia.



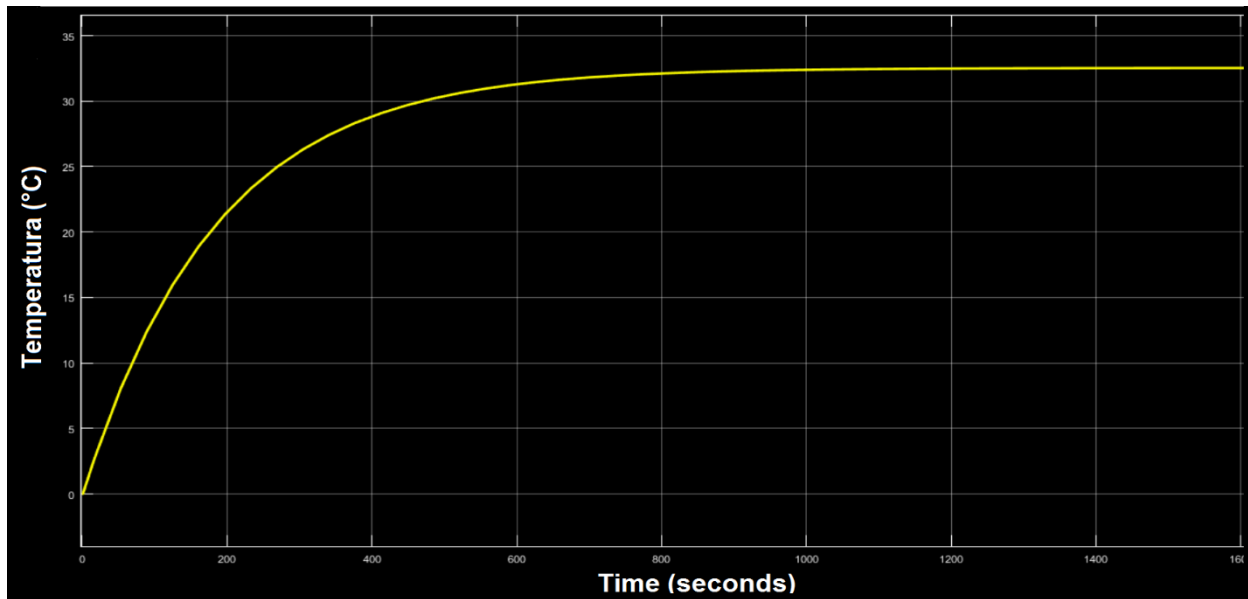
Se observo que el polo esta ubicado en el semiplano izquierdo el cual nos confirma que el sistema es estable.

Sintonizacion del controlador.



---

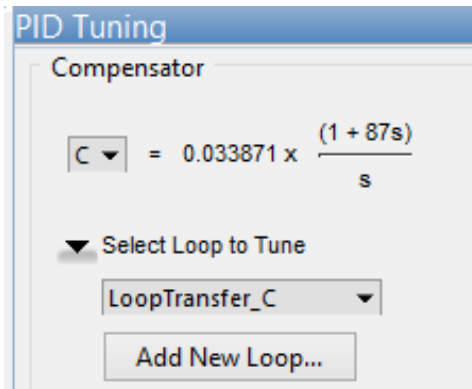
### Gráfica de sintonización del controlador.



Para realizar la sintonización del controlador se ingresó el coeficiente del numerador y el denominador como una función de transferencia (ft) en la ventana de comandos de Matlab, se utilizó la función de "Sisotool" que facilitó el diseño del controlador, este trabajó de forma gráfica y pudo mostrar en tiempo real las variaciones de la respuesta del sistema.

En la ventana del diseñador de sistemas de control de la función "Sisotool" seleccionamos la opción de métodos de sintonización y se eligió la sintonización PID, se ajustaron los parámetros para obtener la función de transferencia del controlador.

Sintonización del controlador.



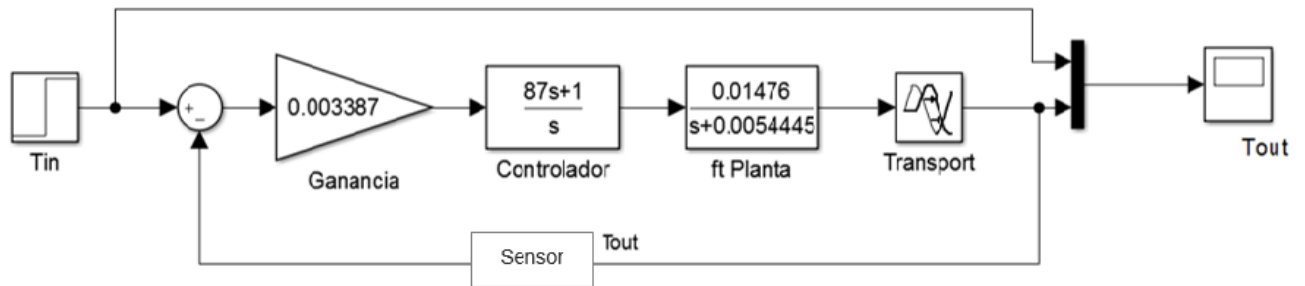
De esta manera se estimó la función de transferencia del controlador PID:

$$F(S) = 0.033671 \times \frac{(1+87s)}{s}$$

A partir de esta función de transferencia se determinó que el controlador es un PI debido a que la dinámica del sistema térmico es lento, esto ocasiona que disminuya la constante de Td acercándose a cero. Con las funciones de transferencia de la planta y del controlador, se realizó la simulación en “Simulink” del sistema, en la se observó la respuesta del controlador.

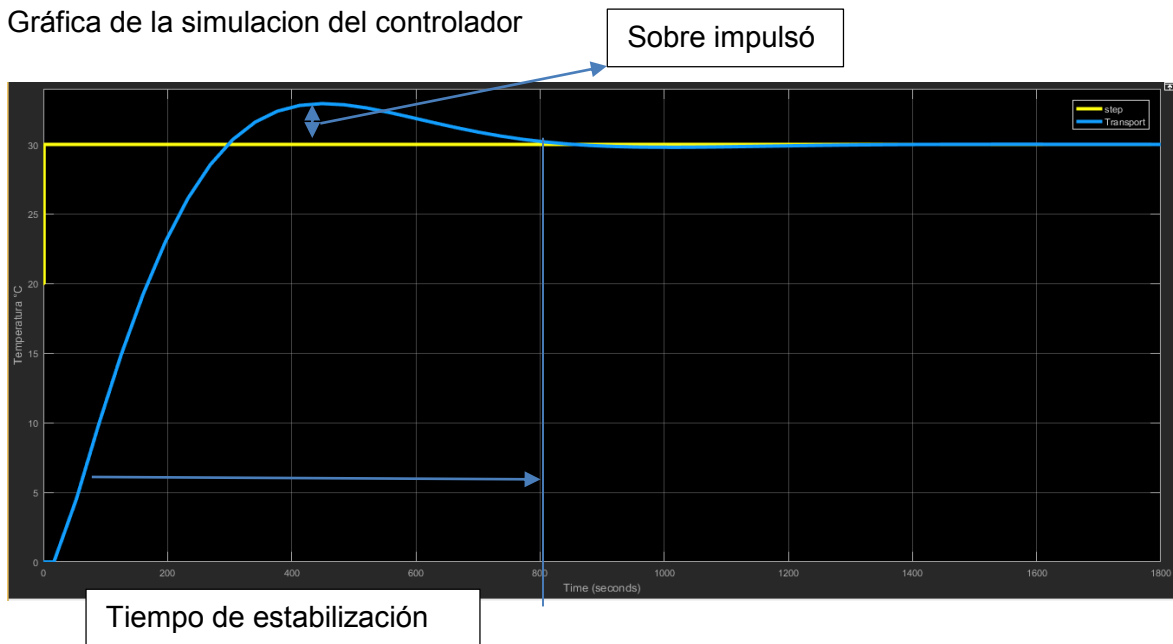
Se realizó la simulación de la respuesta en el tiempo de la entrada de una señal de paso utilizando la función “step”, un punto de suma para tener una comparación de las dos señales, se aplicó la ganancia del controlador y la función de transferencia continuando con el bloque del controlador el cual da paso a la función de transferencia de la planta, por ultimo un bloque de “transport delay” que retrasa la entrada en un tiempo específico para ver la gráfica de la función de transferencia controlada por este PID. Se usó solamente el tiempo integral ya que es un sistema térmico.

Simulación del controlador.



Se utilizó la programación en bloques ya que es más evidente y facilita la interacción con el software.

Gráfica de la simulación del controlador



Se observó que el controlador tiene un sobre impulso de 15 % pero el tiempo de estabilización está cerca de los 10 minutos en comparación con el termostato del farinógrafo.

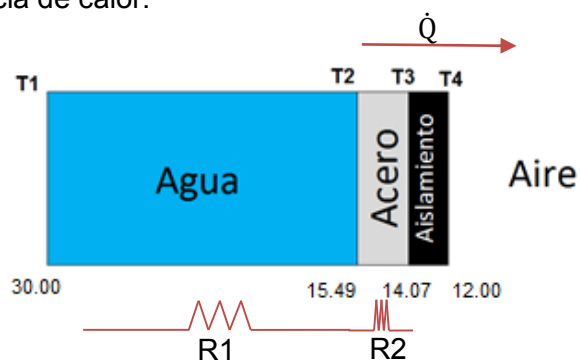
Para implementar el diseño del controlador PID se planteó la opción de comprar un módulo analógico FLEX I/O 1794 el cual es compatible con cualquier PLC Allen Bradley, esto para la lectura de datos del termopar y la salida analógica del actuador. No se implementó el control PI debido a que el mantenimiento que se le realizó al termostato original presentó

buenos resultados al momento de su labor en cuanto a la estabilización de la temperatura en el enchaquetado de la mezcladora.

### Análisis de transferencia de calor.

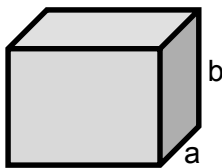
Una vez asegurada una temperatura en estado estable de 30°C mediante el lazo de control, se procede a analizar la transferencia de calor del recipiente donde se almacenan los 4 litros de agua que circularán en la mezcladora. Para este caso se planteó un esquema donde se visualiza la ubicación de las temperaturas y los materiales que se involucran en este sistema.

Esquema de transferencia de calor.



Teniendo en cuenta el texto “Transferencia de Calor” de J.P Holman, [27] se realizan los cálculos empleando la resistencia de  $18 \Omega$  del recipiente y el voltaje de la fuente 120 V, de esta manera se analizó cada una de las partes que conforman dicho recipiente.

Recipiente de acero inoxidable.



$$a = 35 \text{ cm}$$

$$b = 15 \text{ cm}$$

$$\text{Área} = 0.0525 \text{ m}^2$$

---

$$\dot{Q} = \text{Potencia de la resistencia} = \frac{V^2}{R}$$

$$\dot{Q} = 800 \text{ W}$$

Se tomó como guía las tablas por convección y conductividad de solidworks y se encontraron los valores para el agua y el acero inoxidable.

Al hacer el análisis de transferencia de calor se tiene que el sistema cuenta con dos resistencias, R1 la cual corresponde a la transferencia de calor por convección del agua, R2 hace referencia al calentamiento por conducción. Por otra parte, T3 la cual hace referencia a la temperatura entre el material del recipiente y el recubrimiento, T4 es la temperatura ambiente. Se planteó calcular la transferencia de calor de este sistema, teniendo en cuenta los siguientes datos:

e = Espesor del acero inoxidable = 0.0014 m.

$K_a$  = Conductividad térmica del acero inoxidable = 16 W/m\*°C.

Área de la cara lateral del termostato = 0.0525 m<sup>2</sup>.

$h_{\text{agua}}$  = Coeficiente de convección del agua = 1050 W/m<sup>2</sup>\*°C.

Con las ecuaciones de conducción y convección se obtienen las ecuaciones de resistencia de cada parte del termostato analizado para así definir las temperaturas de cada parte del recipiente.

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_t}$$

$$\dot{Q} = \frac{K_a}{e} \Delta T$$

$$R_{\text{conducción}} = \frac{e}{K_a * \text{Área}}$$

$$R_{\text{conducción}} = \frac{0.0014 \text{ m}}{1050 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * \text{°C} * 0.0525 \text{ m}^2} = 0.0018 \text{ °C/W}$$

Y por la parte de convección:



$$\dot{Q} = h \cdot A \cdot \Delta T$$

$$\frac{\Delta T}{\dot{Q}} = \frac{1}{h \cdot \text{Área}}$$

$$R_{\text{convección}} = \frac{1}{h \cdot \text{Área}}$$

$$R_{\text{convección}} = \frac{1}{16 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°C}} \cdot 0.0525 \text{m}^2} = 0.0181 \text{ °C/W}$$

De esta manera para el análisis del sistema se tiene que las temperaturas son:

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R_1}$$

$$T_2 = 15.49 \text{ °C}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_2 - T_3}{R_2}$$

$$T_3 = 14.07 \text{ °C}$$

Por lo tanto, en el recipiente se analizaron las temperaturas ideales junto con el agua y su recubrimiento que haciendo una semejanza con el original de brabender, las temperaturas no cambian en gran proporción con las reales.

---

## **G. Anexo: Algoritmo de la macro de Excel.**

Sub cmb\_GenerarResultados\_Click()

Dim Uf As Long

Dim x As Object

Dim y As Object

Dim B As Long

Dim C As Long

Dim D As Long

Dim Dm As Long 'Almacena Dato Máximo

Dim DmFh As Date 'Almacena fecha y hora del Dato Máximo

Dim SumaDtm As Date

Dim FechaB As String

Dim T730 As Date 'Almacena 7 mins 30 segs

Dim FB As Object 'Busca fecha de la columna B

Dim FilaFB As Long ' Detecta la fila de la Variable de la Col B

Dim cont As Integer

Dim FilaHB As Range

Dim FilaD As Range

Dim Rango As Range

---

Dim RangoUB As Range 'Rango de la Columna C hoja Data

Dim RangoFH As Range 'Rango de la Columna B hoja Data

Dim HD As Date

Dim HB As Date

Set x = Hoja1

Set y = Hoja2

Uf = x.Range("C" & Rows.Count).End(xlUp).Row

T730 = Format("00:07:30", "hh:mm:ss")

Dm = Application.WorksheetFunction.Max(x.Range("C2:" & "C" & Uf))

'Avisa cuando llega a 500

For cont1 = 2 To Uf

    If x.Cells(cont1, 3).Value > 0 Then

        y.Range("F10").Value = Format(x.Cells(cont1, 2).Value, "hh:mm:ss AM/PM")

        Exit For

    Else

        y.Range("F10").Value = "No disponible"

    End If

Next cont1

For cont = 2 To Uf

    If x.Cells(cont, 3).Value >= 500 Then

---

```
y.Range("C8").Value = x.Cells(cont, 3).Value  
y.Range("C9").Value = Format(x.Cells(cont, 2).Value, "hh:mm:ss AM/PM")  
Exit For  
Else  
y.Range("C8").Value = "No disponible"  
y.Range("C9").Value = "No disponible"  
End If  
Next cont  
For cont2 = cont To Uf  
If x.Cells(cont2, 3).Value <= 500 Then  
y.Range("C10").Value = x.Cells(cont2, 3).Value  
y.Range("C11").Value = Format(x.Cells(cont2, 2).Value, "hh:mm:ss AM/PM")  
Exit For  
Else  
y.Range("C10").Value = "No disponible"  
y.Range("C11").Value = "No disponible"  
End If  
Next cont2  
Set RangoFH = x.Range("B2:" & "B" & Uf)  
For cont = 2 To Uf  
If x.Cells(cont, 3).Value = Dm Then  
DmFh = CDate(x.Cells(cont, 2).Value)
```

---

```
'DmFh = Format(x.Cells(cont, 2).Value, "d/mm/yyyy hh:mm:ss AM/PM")

SumaDtm = CDate(DmFh) + CDate(T730)

y.Range("C3").Value = x.Cells(cont, 3).Value

y.Range("C4").Value = Format(x.Cells(cont, 2).Value, "hh:mm:ss AM/PM")

FechaB = Format(SumaDtm, "d/mm/yyyy hh:mm:ss AM/PM")

Set FB = Hoja1.Range("B:B").Find(What:=FechaB, LookIn:=xlValues,
lookAt:=xlWhole)

If FB Is Nothing Then

    MsgBox "El dato correspondiente al tiempo transcurrido de 7 mins 30 segs a
partir del tiempo UB max no existe:" & FechaB & vbNewLine & _
        "digite este valor o corrija los tiempos ingresados en la base de datos."

    y.Range("C5").Value = "No disponible"

    y.Range("C6").Value = "No disponible"

    y.Range("C7").Value = "No disponible"

    y.Activate

Exit Sub

Else

FilaFB = FB.Row

y.Range("C5").Value = x.Cells(FilaFB, 3).Value

y.Range("C6").Value = Format(x.Cells(FilaFB, 2).Value, "hh:mm:ss AM/PM")

y.Range("C7").Value = T730

End If
```

---

y.Activate

cont = Uf + 1

End If

Next cont

End Sub

## **H. Anexo: Manual del farinógrafo.**

---

## **I. Anexo: Despiece del farinógrafo.**