



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEZCLADO PARA
FORMULACIONES DE HARINA DE TRIGO FORTIFICADA EN
LA EMPRESA MOLINOS MIRAFLORES S.A.”**

Trabajo de titulación:

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: LENIN GUILLERMO ORTIZ JÁCOME

DIRECTORA: Ing. MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA

Riobamba – Ecuador

2020

©2020, Lenin Guillermo Ortiz Jácome

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Lenin Guillermo Ortiz Jácome, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 24 de agosto de 2020.



Lenin Guillermo Ortiz Jácome

180438953-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEZCLADO PARA FORMULACIONES DE HARINA DE TRIGO FORTIFICADA EN LA EMPRESA MOLINOS MIRAFLORES S.A.”**, realizado por el señor: **Lenin Guillermo Ortiz Jácome**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Luis Santiago Carrera Almendáriz PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 LUIS SANTIAGO CARRERA ALMENDARIZ Firmado digitalmente por LUIS SANTIAGO CARRERA ALMENDARIZ Fecha: 2020.10.01 15:54:57 -05'00'	2020/ 08 / 24
Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA	2020/ 08 / 24
Ing. Daniel Antonio Chuquin Vasco MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: DANIEL ANTONIO CHUQUIN VASCO	2020/ 08 / 24

DEDICATORIA

Dedicado a mi madre Nancy Jácome, a mi padre Ricardo Ortiz y a la memoria de mi abuelita Martha Páez.

Lenin

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por apoyarme incondicionalmente, guiarme y confiar en mí. A mi abuelito Luis Ortiz por sus consejos que me han ayudado para ser una persona de bien y salir adelante en la vida. A mis tías Martha Lozano y Mirian Ortiz por brindarme su apoyo y creer en mí.

Agradezco a la empresa Molinos Miraflores S. A., de manera especial a la Lic. Elizabeth Gómez y al Ing. Gabriel Olmos por su colaboración y guía para la realización del presente trabajo de titulación.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Escuela de Ingeniería Química y a todos los docentes que formaron parte durante mi formación académica, en especial a la Ing. Mayra Zambrano.

Lenin

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1	Identificación del problema.....	2
1.2	Justificación del proyecto	2
1.3	Línea base del proyecto	3
<i>1.3.1</i>	<i>Antecedentes de la asociación.....</i>	<i>3</i>
<i>1.3.2</i>	<i>Localización del Proyecto</i>	<i>4</i>
1.4	Beneficiarios directos e indirectos	5
<i>1.4.1</i>	<i>Directos.....</i>	<i>5</i>
<i>1.4.2</i>	<i>Indirectos</i>	<i>5</i>
1.5	Objetivos del proyecto	6
<i>1.5.1</i>	<i>Objetivo General.....</i>	<i>6</i>
<i>1.5.2</i>	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>6</i>

CAPÍTULO II

2	REVISIÓN DE LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS	7
2.1	Antecedentes de la investigación.....	7
2.2	Marco teórico.....	8
<i>2.2.1</i>	<i>Harina de trigo</i>	<i>8</i>
<i>2.2.1.1</i>	<i>Características organolépticas de harina de trigo</i>	<i>8</i>
<i>2.2.1.2</i>	<i>Características fisicoquímicas de harina de trigo</i>	<i>8</i>
<i>2.2.1.3</i>	<i>Características reológicas de harina de trigo</i>	<i>9</i>
<i>2.2.1.4</i>	<i>Requisitos microbiológicos para harina de trigo</i>	<i>9</i>
<i>2.2.1.5</i>	<i>Valor nutricional.....</i>	<i>9</i>

2.2.2	Tipos de harina de trigo	10
2.2.3	Fortificación de harina de trigo	12
2.2.4	Proceso de producción de harina de trigo fortificada	13
2.2.4.1	<i>Diagrama del proceso de producción de harina de trigo fortificada</i>	15
2.2.5	Mezclado de sólidos (polvos)	15
2.2.5.1	<i>Mecanismos de mezclado</i>	16
2.2.5.2	<i>Factores que intervienen en el proceso de mezclado</i>	16
2.2.5.3	<i>Tiempo de mezcla</i>	17
2.2.6	Tipos de mezcladores	17
2.2.6.1	<i>Mezcladores móviles</i>	17
2.2.6.2	<i>Mezcladores estáticos</i>	20

CAPÍTULO III

3	MARCO METODOLÓGICO	24
3.1	Tipo de estudio	24
3.2	Métodos y Técnicas	24
3.2.1	<i>Métodos</i>	24
3.2.2	<i>Técnicas</i>	25
3.2.3	Muestreo y caracterización de harina de trigo sin aditivo	28
3.2.3.1	<i>Muestreo de harina</i>	28
3.2.3.2	<i>Caracterización de harina de trigo sin fortificar</i>	29
3.2.4	Procedimiento de obtención de harina de trigo fortificada	30
3.2.4.1	<i>Recepción de materia prima</i>	30
3.2.4.2	<i>Acondicionamiento de la materia prima</i>	30
3.2.4.3	<i>Molienda</i>	31
3.2.4.4	<i>Control de calidad de harina de trigo extraída</i>	31
3.2.4.5	<i>Premezclas</i>	31
3.2.4.6	<i>Mezclado (fortificación de harina de trigo)</i>	32
3.2.4.7	<i>Envasado y etiquetado</i>	33
3.2.4.8	<i>Transporte y almacenamiento</i>	33
3.2.4.9	<i>Descripción del procedimiento de mezclado en el Área Aseguramiento de Calidad</i> .	34
3.2.5	Variables del proceso	34
3.2.5.1	<i>Capacidad del sistema de mezclado</i>	34
3.2.5.2	<i>Densidad de harina de trigo fortificada</i>	35
3.2.5.3	<i>Volumen del mezclador</i>	35
3.2.6	Diseño del sistema de mezclado	35

3.2.6.1	<i>Análisis y selección de alternativas</i>	35
3.2.6.2	<i>Dimensionamiento de la carcasa de mezclado</i>	39
3.2.6.3	<i>Dimensionamiento del tornillo homogenizador</i>	41
3.2.6.4	<i>Dimensionamiento del eje</i>	49
3.2.7	Validación del proceso	61
3.2.8	Análisis costo del proyecto	61
3.2.8.1	<i>Costos directos</i>	61
3.2.8.2	<i>Costos indirectos</i>	62
3.2.8.3	<i>Costo total</i>	63

CAPÍTULO IV

4	RESULTADOS	64
4.1	Análisis de características físico-químicas y reológicas harina de trigo sin aditivo 64	
4.1.1	<i>Características físico-químicas de harina de trigo sin aditivo</i>	64
4.1.2	<i>Características reológicas de harina de trigo sin aditivo</i>	65
4.2	Determinación de las variables de proceso para el diseño teórico del sistema de mezclado	66
4.2.1	<i>Capacidad del sistema de mezclado</i>	67
4.2.2	<i>Densidad de harina de trigo fortificada</i>	67
4.2.3	<i>Volumen del mezclador</i>	67
4.3	Resultados del dimensionamiento teórico del sistema de mezclado	67
4.4	Validación del diseño propuesto	69
4.4.1	<i>Caracterización fisicoquímica de harina de trigo fortificada</i>	69
4.4.2	<i>Contaminantes analizados en harina de trigo fortificada</i>	70
4.4.3	<i>Caracterización reológica de harina de trigo fortificada</i>	70
	CONCLUSIONES	74
	RECOMENDACIONES	75
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Características geográficas de la empresa	5
Tabla 1-2:	Características organolépticas de harina de trigo	8
Tabla 2-2:	Características físico-químicas de la harina de trigo	8
Tabla 3-2:	Características reológicas de harina de trigo	9
Tabla 4-2:	Requisitos microbiológicos	9
Tabla 5-2:	Sustancias de fortificación.....	12
Tabla 1-3:	Análisis de parámetros físico-químicos para harina de trigo sin aditivo y fortificada	25
Tabla 2-3:	Determinación de las características reológicas de harina de trigo fortificada.....	26
Tabla 3-3:	Determinación de la presencia de ácido ascórbico	26
Tabla 4-3:	Determinación de la presencia de hierro	27
Tabla 5-3:	Determinación de Falling Number (número de caída)	27
Tabla 6-3:	Determinación de granulometría	28
Tabla 7-3:	Determinación de densidad	28
Tabla 8-3:	Ventajas y desventajas de un mezclador de cinta helicoidal	36
Tabla 9-3:	Ventajas y desventajas de un mezclador vertical de tornillo tipo cónico	36
Tabla 10-3:	Ventajas y desventajas de un mezclador de paleta	37
Tabla 11-3:	Criterios de evaluación	37
Tabla 12-3:	Ponderación de criterios de evaluación	38
Tabla 13-3:	Rating de satisfacción para cada alternativa.....	38
Tabla 14-3:	Matriz de ponderación para cada alternativa.....	39
Tabla 15-3:	Tensión de acero inoxidable AISI 304	47
Tabla 16-3:	Costo de los materiales necesarios para la construcción del sistema de mezclado	61
Tabla 17-3:	Costos del mecanizado y armado del sistema de mezclado	62
Tabla 18-3:	Costos directos totales	62
Tabla 19-3:	Costos de materiales indirectos	62
Tabla 20-3:	Costo total.....	63
Tabla 1-4:	Características físico-químicas de harina de trigo sin aditivo	64
Tabla 2-4:	Características reológicas de harina de trigo sin aditivo. Perfil Mixolab	65
Tabla 3-4:	Datos experimentales de densidad de harina de trigo fortificada	67
Tabla 4-4:	Dimensiones del sistema de mezclado	68
Tabla 5-4:	Características físico-químicas de harina de trigo fortificada	69
Tabla 6-4:	Metales pesados en harina de trigo.....	70
Tabla 7-4:	Características reológicas de harina de trigo fortificada. Perfil Mixolab	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Mapa geo referencial de Molinos Miraflores S.A.....	5
Figura 1-2:	Diagrama del proceso de producción de harina de trigo fortificada	15
Figura 2-2:	Mezclador cilíndrico de tambor	18
Figura 3-2:	Mezclador bicónico.....	19
Figura 4-2:	Mezclador tipo cónico en V	19
Figura 5-2:	Mezcladores de cinta.....	20
Figura 6-2:	Mezcladores verticales de tornillo	21
Figura 7-2:	Mezclador de paletas.....	22
Figura 8-2:	Mezclador de palas planetario.....	22
Figura 9-2:	Mezclador sigma	23
Figura 10-2:	Mezclador barra z	23
Figura 1-3:	Mezclador de tornillo de cono Nauta.....	42
Figura 2-3:	Cargas que intervienen en el eje homogenizador.....	49
Figura 3-3:	Diagrama de cuerpo libre del eje homogenizador.....	51
Figura 4-3:	Esfuerzo repetido en una dirección; caso especial del esfuerzo fluctuante.....	55
Figura 5-3:	Sensibilidad a la muesca en el caso de aceros y aleaciones de aluminio	58
Figura 6-3:	Eje redondo con filete en el hombro en torsión	59

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1-3:	Muestreo de harina sin aditivo.....	29
Fotografía 2-3:	Muestreo de harina de trigo fortificada	29
Fotografía 3-3:	Caracterización en el equipo NIR.....	30
Fotografía 4-3:	Preparación de aditivos de fortificación	32
Fotografía 5-3:	Envasado del producto final	33
Fotografía 6-3:	Almacenamiento del producto final	33
Fotografía 7-3:	Determinación densidad de harina de trigo fortificada.....	35


ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A:** Resultados de muestras de trigo y harina de trigo
- Anexo B:** Análisis físico – químico y reológico de harina de trigo sin aditivo y fortificada
- Anexo C:** Análisis proximal, reológico y granulométrico de harina de trigo
- Anexo D:** Valores de coeficiente a y b y factores K_d y K_e
- Anexo E:** Carcasa del mezclador y tornillo del homogenizador
- Anexo F:** Estructura base del sistema de mezclado
- Anexo G:** Base del motor y base de acople
- Anexo H:** Platina de soporte 1 y 2
- Anexo I:** Vistas principales del sistema de mezclado
- Anexo J:** Componentes del sistema de mezclado

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de titulación fue diseñar un sistema de mezclado para formulaciones de harina de trigo fortificada con micronutrientes en la empresa Molinos Miraflores S.A., se inició con la caracterización físico-química y reológica de harina de trigo sin fortificar extraída del proceso de molienda, encontrándose todos los parámetros dentro de la normativa que maneja la empresa. Se realizaron pruebas a nivel de laboratorio con el propósito de determinar la densidad de la harina de trigo fortificada por tratarse de una receta exclusiva y datos necesarios para el diseño respectivo, previo al dimensionamiento se efectuó la selección y análisis de las posibles alternativas de mezcladores, resultando que el que mejor se ajusta a la necesidad de la empresa es el mezclador vertical de tornillo tipo cónico, además se definió las variables que influyen en el proceso tales como la capacidad del sistema de mezclado para 5 kg puesto que es específicamente destinado para el Área de Aseguramiento de Calidad, densidad de la harina de trigo fortificada de $701,373 \text{ kg/m}^3$ y volumen del mezclador, con los datos conseguidos se dimensionó el sistema de mezclado, el cual consta de tres componentes principales: carcasa con volumen de $0,00927 \text{ m}^3$, diámetro superior e inferior de 0,20 m, y 0,06 m respectivamente, y altura de 0,637 m; tornillo homogenizador con diámetro de 0,050 m, paso de 0,033 m, y número de hélices 18 unidades; y eje con longitud total de 0,717 m, la velocidad de giro es de 70 rpm y con potencia de $\frac{1}{4}$ Hp. Finalmente se validó el diseño propuesto mediante la caracterización físico-química y reológica de harina de trigo fortificada, en el que los parámetros se encuentran dentro de los límites que exige la norma NTE INEN 616:2015. Harina de trigo. Requisitos.

Palabras claves: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <HARINA DE TRIGO>, <HOMOGENIZADOR>, <FORTIFICACIÓN>, <MOLIENDA>, <DISEÑO>, <CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA>, <SISTEMA DE MEZCLADO>.



24-07-2020

0149-DBRAI-UPT-2020

ABSTRACT

The objective of the present titling work was to design a mixing system for formulations of wheat flour fortified with micronutrients in the company Molinos Miraflores SA, it began with the physical-chemical and rheological characterization of wheat flour without fortification extracted from the milling process, finding all the parameters within the regulations that the company manages. Tests were carried out at the laboratory level to determine the density of fortified wheat flour as it is an exclusive recipe and the data necessary for the respective design. Before sizing, the selection and analysis of possible mixer alternatives were carried out. As a result, the one that best fits the company's needs is the vertical conical screw mixer, and variables that influence the process were defined, such as the capacity of the mixing system for 5 kg since it is specifically intended for Quality Assurance Area, the density of fortified wheat flour of $701,373 \text{ kg / m}^3$ and volume of the mixer, with the data obtained the mixing system was dimensioned, which consists of three main components: housing with a volume of 0.00927 m^3 , the upper and lower diameter of 0.20 m, and 0.06 m respectively, and height of 0.637 m; homogenizing screw with a diameter of 0.050 m, pitch of 0.033 m, and number of propellers 18 units; and shaft with a total length of 0.717 m, the turning speed is 70 rpm and with the power of $\frac{1}{4}$ Hp. Finally, the proposed design was validated through the Physico-chemical and rheological characterization of fortified wheat flour, in which the parameters are within the limits required by the NTE INEN 616: 2015 standard. Wheat flour. Requirements.

Key words: <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <WHEAT FLOUR>, <HOMOGENIZER>, <FORTIFICATION>, <MILLING>, <DESIGN>, <PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERIZATION>, <MIXING SYSTEM>.

INTRODUCCIÓN

Molinos Miraflores S.A., se caracteriza por ser una empresa ambateña, dedicada a la molienda de cereales, líder por más de 100 años de experiencia elaborando una diversidad de productos de panadería y pastelería cumpliendo con altos estándares de calidad. Los productos principales que ofrece la empresa son: harina de trigo, harina panadera azul, harina integral, además también subproductos como: semita, afrecho y productos comercializados como grasas y azúcar, lo cual le ha permitido posicionarse en varias ciudades del país y en la actualidad cubre el 50% del territorio nacional.

En la línea de producción de harina de trigo fortificada, específicamente en el área de Aseguramiento de Calidad, se ha presentado un inconveniente debido a que en la actualidad no poseen un sistema de mezclado que permita llevar a cabo dicho proceso, es por ello que en el presente proyecto se ha propuesto el diseño de un sistema de mezclado para formulaciones de harina de trigo fortificada en la empresa Molinos Miraflores S.A., con el objetivo de asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad.

El mezclado es una operación unitaria muy importante, debido a la aplicación en la mayoría de las industrias, así como en procesos químicos, de manera particular en la farmacéutica, alimenticia, molinera, entre otros. Cuyo objetivo principal es unir uno o más componentes con la finalidad de que cada unidad (partícula, molécula) de uno de los componentes contacte de forma más cercana posible con los demás componentes.

La importancia del equipo de mezclado en dicha área permitirá conseguir resultados de manera eficiente y en el menor tiempo posible, por tanto, el control de calidad se llevará de modo más estricto en la línea de producción, garantizando así que los productos elaborados cumplan con los requisitos legales y las exigencias de los clientes.

CAPÍTULO I

1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

La actividad industrial ecuatoriana es considerada una fuente indispensable para el crecimiento y desarrollo del país, y la industria molinera es una de ellas, puesto que la producción y comercialización de los diferentes productos derivados de trigo se constituye en un gran aporte principalmente en la alimentación básica y la economía del país.

Molinos Miraflores S.A., es una empresa ecuatoriana, con sede en la ciudad de Ambato, que se dedica a la molturación de cereales para la producción de harina de trigo para la elaboración de productos de panadería y pastelería, sémola, semolina y gránulos de trigo, siendo la harina de trigo fortificada su producto estrella. Cuenta con una capacidad de producción de 37, 8 sacos de harina/h equivalente a 907,2 sacos de harina/día, trabajando 28 días al mes se tiene una producción de 25401,6 sacos de harina/mes; cada saco pesa 50 kg.

La fortificación se puede definir como la adición de uno o más nutrientes a un alimento a fin de mejorar su calidad para las personas que lo consumen. La operación de mezclado es una operación unitaria que se lleva a cabo por medios mecánicos y que es ampliamente utilizada en el procesado de alimentos o de otros ámbitos en los que se pretenda obtener una combinación de distintos componentes.

Se ha encontrado un inconveniente en la etapa de formulaciones de harina de trigo fortificada dentro del área de Aseguramiento de Calidad en la empresa Molinos Miraflores S. A., ya que no cuenta con un equipo o sistema de mezcla para los aditivos de fortificación junto con la harina virgen extraída del proceso de producción, con el fin de obtener una mezcla homogénea en cada nueva formulación de harina de trigo fortificada.

1.2 Justificación del proyecto

Mediante la realización de este proyecto se pretende hacer el **“Diseño de un sistema de mezclado para formulaciones de harina de trigo fortificada en la empresa Molinos Miraflores S. A.”**, con la finalidad de que cada nueva formulación de harina de trigo fortificada que se desarrolla sea

homogénea entre los aditivos de fortificación y la harina virgen extraída del proceso que se desean mezclar.

Las formulaciones de harina de trigo fortificada que se desarrollan deben ser sometidas a las diferentes pruebas de laboratorio que se utilizan en el área de Aseguramiento de Calidad para determinar si cumplen o no con los estándares de calidad que se maneja en la empresa Molinos Miraflores S. A. Es por esto la importancia de la adecuada homogeneización de los aditivos de fortificación junto con la harina de trigo virgen extraída del proceso.

La justificación de este proyecto se da debido a la inexistencia de un equipo apropiado, dentro del laboratorio de Aseguramiento de Calidad en la empresa Molinos Miraflores S. A., que realice la homogeneización adecuada de la harina sin fortificar con los aditivos de fortificación que se emplean en la empresa, para el desarrollo de las distintas formulaciones de harina fortificada.

1.3 Línea base del proyecto

1.3.1 Antecedentes de la asociación

La empresa Molinos Miraflores S.A., tiene sus inicios en 1660 a cargo de una comunidad franciscana en el que molía sus granos de forma artesanal; se aprovechaba el agua del río Ambato para el movimiento de los engranes de las máquinas. Posteriormente fue adquirida en sociedad por franceses, quienes importaron maquinaria desde Francia, y a partir de allí muchas administraciones aportaron al desarrollo de esta industria (Molinos Miraflores S.A., 2019).

En 1949, se reemplazó el 70% de la maquinaria hidráulica por equipos eléctricos. Constituyéndose un paso importante en miras de aumentar la producción de la empresa.

El 14 de agosto de 1969 se constituye legalmente como Sociedad Anónima, los accionistas que forman parte de empresa pertenecen al gremio familiar y hasta la actualidad se mantiene como sociedad anónima.

En 1980 se produjo una nueva transformación: la modernización de la maquinaria: se importaron desde Inglaterra, bancos de molienda; cedazos; sistema neumático y una envasadora.

En 2008, se invirtieron alrededor de 1 millón de dólares en la adquisición de equipos de última generación para el proceso de molienda, lo cual ha permitido un incremento en la capacidad de producción de la empresa para proyectarse a nuevos mercados y alcanzar una mayor participación a nivel nacional.

Molinos Miraflores S.A., es una empresa ambateña dedicada a la molienda de cereales: producción de harina para la elaboración de productos de panadería y pastelería, semolina, sémola y gránulos de trigo, centeno, avena, maíz y otros cereales. La principal materia prima es el Trigo Canadiense, del cual se importan aproximadamente 2800 toneladas cada dos meses, además se adquieren anualmente alrededor de 100 toneladas de trigo nacional para cumplir con el convenio firmado con el Ministerio de Agricultura con el objetivo de incentivar la producción local, puesto que el Ecuador produce apenas el 1% de lo que industria molinera utiliza en el país (Molinos Miraflores S.A., 2019).

Raúl Lara gerente general de la industria molinera, para brindar un producto de calidad e inocuo ha implementado modernos laboratorios bien equipados para realizar el Control y Aseguramiento de la calidad de sus productos, garantizando así que los productos elaborados cumplan con los requisitos legales y las exigencias de los clientes, lo cual le ha permitido posicionarse en varias ciudades del país y en la actualidad cubre el 50% del territorio nacional.

La planta se encuentra situada en la Av. Miraflores 114 y Pérez de Anda de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua.

□ **Misión**

Proveemos alimentos que satisfacen los requerimientos de nuestros clientes, cumpliendo con altos estándares de eficiencia y calidad, respetando los valores y principios de la empresa.

□ **Visión**

Ser una empresa exitosa, con creciente participación en el mercado nacional, reconocida por sus clientes por la diversificación y calidad de sus productos y servicios.

1.3.2 Localización del Proyecto

El proyecto será implementado en la empresa Molinos Miraflores S. A., ubicada específicamente en la Av. Miraflores 114 y Pérez de Anda, en la ciudad de Ambato – Ecuador.

Tabla 1-1: Características geográficas de la empresa

Ubicación	Molinos Miraflores S. A. Dirección: Av. Miraflores 114 y Pérez de Anda, Ambato, Tungurahua, Ecuador.
Latitud	-1.244576
Longitud	-78.633806
Altitud	2560 m.s.n.m.

Fuente: Google Maps, 2019.

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

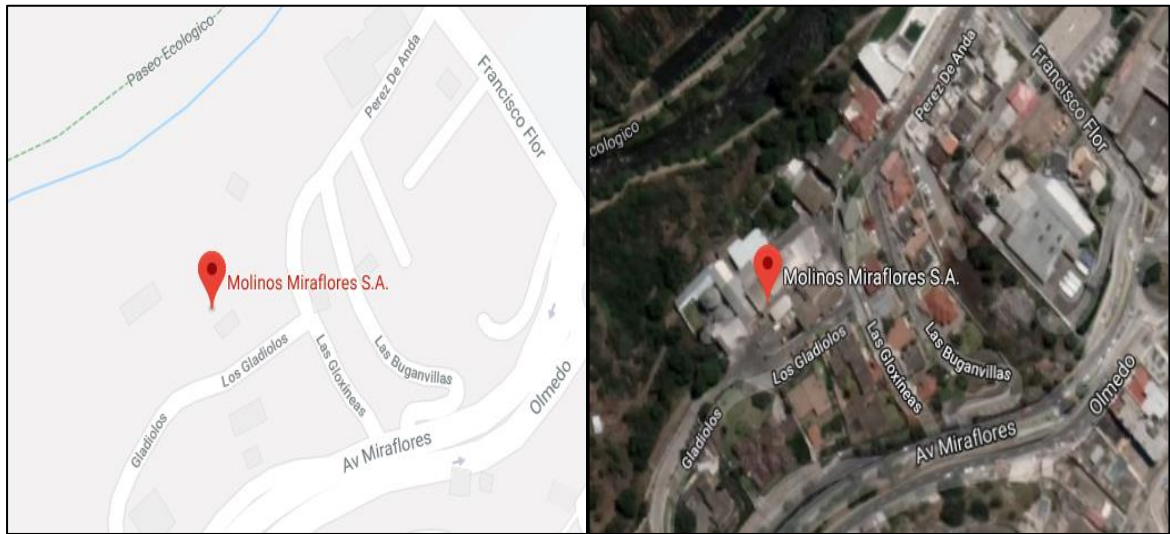


Figura 1-1: Mapa geo referencial de Molinos Miraflores S.A.

Fuente: Google Maps, 2019.

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020

1.4 Beneficiarios directos e indirectos

1.4.1 Directos

- El beneficiario directo del presente proyecto será la empresa Molinos Miraflores S. A.

1.4.2 Indirectos

- Los beneficiarios indirectos de este proyecto serán los clientes de la empresa Molinos Miraflores S. A.

1.5 Objetivos del proyecto

1.5.1 Objetivo General

- Diseñar un sistema de mezclado para formulaciones de harina de trigo fortificada en la empresa Molinos Miraflores S. A.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Determinar las características físico-químicas y reológicas de la harina de trigo sin fortificar obtenida en el proceso de producción.
- Identificar las variables de proceso para el diseño teórico del sistema de mezclado para formulaciones de harina de trigo fortificada.
- Realizar los cálculos ingenieriles para el diseño teórico del sistema de mezclado para formulaciones de harina de trigo fortificada.
- Validar el diseño propuesto mediante la caracterización físico – química y reológica de la harina de trigo fortificada basado en la norma NTE INEN 616: 2015. Harina de trigo. Requisitos.

CAPÍTULO II

2 REVISIÓN DE LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Antecedentes de la investigación

En los últimos años, la fortificación de productos alimenticios constituye un factor indispensable puesto que varios estudios han demostrado que hay carencia de vitaminas y minerales en ciertos productos provenientes de trigo y maíz.

En el año 2006, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) publicaron un estudio sobre directrices de enriquecimiento de alimentos con micronutrientes, analizadas desde el punto de vista nutricional y de salud. El documento es una guía para los gobiernos e instituciones para que implementen programas de fortificación de alimentos y considerada también como fuente de información para científicos, tecnólogos y la industria alimentaria (Organización Mundial de Salud, 2009, p.1).

En el año 2006, en el estudio “Diseño y simulación de una mezcladora (80 kg/semana) y dosificadora (1 kg) de polvos finos (café, cacao, azúcar, leche, etc.), y construcción de un modelo menciona que los mezcladores de tornillo helicoidal vertical son los más idóneos para efectuar la operación de mezclado (Gómez y Mitau, 2006: p. 159).

En 2008, alrededor de 100 célebres científicos en el área de nutrición, farmacéutica y de los cereales, así también harineros y expertos de los sectores públicos y privados de todo el mundo realizaron una reunión para brindarles asesoramiento a los países que estén considerando la fortificación de la harina de trigo y maíz a escala nacional y también con la finalidad de elaborar un manual de directrices sobre las formulaciones de premezclas preparadas en función de los intervalos habituales del consumo de harina y las directrices de buenas prácticas para la fabricación de las premezclas para la industria molinera (Organización Mundial de Salud, 2009, p.1).

En 2009, el documento fue publicado en un boletín de alimentación y nutrición y toda la información acordada en dicha reunión.

La diferencia del presente estudio con los trabajos descritos anteriormente radica en qué se realiza el diseño de un sistema de mezclado para el proceso de fortificación para las diversas formulaciones de harina de trigo en la industria molinera.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Harina de trigo

De acuerdo con la norma (NTE INEN 616:2006, p.1), la harina de trigo es el producto que se obtiene de la molienda y tamizado del endospermo del grano de trigo (*Triticum vulgare*, *Triticum durum*) hasta un grado de extracción determinado, considerando al restante como un subproducto (residuos de endospermo, germen y salvado).

Según la norma del CODEX STAN (152-1985, p.1), define como aquel producto elaborado con granos de trigo común, *Triticum aestivum L.*, o trigo ramificado, *Triticum compactum Host.*, o combinación de ellos por medio de procedimientos de trituración o molienda en los que se separa parte del salvado y del germen, y el resto se muele hasta darle un grado adecuado de finura.

2.2.1.1 Características organolépticas de harina de trigo

La harina de trigo debe presentar las características organolépticas descritas en la siguiente Tabla 1-2:

Tabla 1-2: Características organolépticas de harina de trigo

<i>Característica</i>	<i>Descripción</i>
<i>Color</i>	Blanco amarillento.
<i>Sabor</i>	Característico al grano de trigo molido, sin indicios de rancidez o enmohecimiento
<i>Olor</i>	
<i>Textura</i>	Uniformes al tacto, frescas y suaves.

Fuente: NTE INEN 616: 2006, p.2.

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

2.2.1.2 Características fisicoquímicas de harina de trigo

En la siguiente Tabla 2-2 se indica la composición físico-química de la harina de trigo para una tasa de extracción del 76%:

Tabla 2-2: Características físico-químicas de la harina de trigo

<i>Parámetros</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
<i>Almidón</i>	60 – 70	%
<i>Humedad</i>	14 – 16	%
<i>Proteínas (gluten)</i>	8 – 14	%
<i>Otros compuestos nitrogenados</i>	1 – 2	%
<i>Azúcares</i>	1 – 2	%
<i>Grasas</i>	1,2 – 1,4	%
<i>Minerales</i>	0,4 – 0,6	%
<i>Celulosa, vitaminas, enzima y ácidos.</i>	-	-

Fuente: MEMPAN, p.1-2.

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

2.2.1.3 Características reológicas de harina de trigo

Adicionalmente, es importante la determinación de las características reológicas de harina de trigo, tal como se muestra en la Tabla 3-2:

Tabla 3-2: Características reológicas de harina de trigo

Característica	Descripción	Valor	Unidad
<i>Fuerza</i>	La capacidad que tiene el gluten para resistir un determinado trabajo mecánico.	200 – 250	-
<i>Tenacidad</i>	Mide la resistencia a la deformación de la masa, confieren principalmente las gluteninas.	70 -100	mm
<i>Extensibilidad</i>	Mide la viscosidad de la masa, esto se debe a las gliadinas.	80 – 100	mm
<i>Equilibrio</i>	Permite determinar la proporción de gliadinas y gluteninas.	0,8 – 1,4	-

Fuente: (Empresas Gorbea, 2014, p.2; Food News, 2015).

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

2.2.1.4 Requisitos microbiológicos para harina de trigo

Para asegurar la inocuidad de los productos es importante considerar el análisis microbiológico, a continuación, en la Tabla 4-2 se indican los requisitos que debe cumplir la harina de trigo:

Tabla 4-2: Requisitos microbiológicos

Requisitos	Unidad	Caso	n	c	m	M
<i>E. coli</i>	UFC/g	5	5	2	<10	-
<i>Mohos y levaduras</i>	UFC/g	5	5	2	$1 * 10^3$	$1 * 10^4$

Fuente: (NTE INEN 616: 2015, p.5).

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Dónde:

n: Número de muestras del lote que deben analizarse.

c: Número de muestras defectuosas aceptables.

m: Límite de aceptación.

M: Límite de rechazo.

2.2.1.5 Valor nutricional

La harina de trigo proporciona un alto valor nutricional en la dieta alimenticia por contener principalmente carbohidratos, proteínas, lípidos, vitaminas y minerales, a continuación, se describe cada uno de ellos:

Almidón: es el polisacárido que se encuentra en mayor proporción, en la harina representa entre el 70 – 75%, fuente importante de energía dentro de la función alimenticia de pan y tiene la capacidad de absorber cerca del 40% de su peso en agua.

Está conformado por dos moléculas: amilosa y amilopectina. La amilosa constituye entre 23-25% del total de almidón, polímero de cadena lineal de D-glucopiranosas unidas mediante enlaces de α (1-4) glicosídico; mientras que la amilopectina representa el 73% del almidón, polímero que presenta cadenas ramificadas, formadas por cadenas lineales de anhídrido D-glucosa unidas por enlaces α (1-6) glicosídicos (Miralbés, 2018).

Proteínas: la proteína que resalta en su composición es el gluten, se caracteriza porque confiere a la harina la característica especial de elasticidad durante la panificación, lo cual hace que el producto final sea esponjoso y poroso. Varía conforme a la variedad de trigo, época de cosecha y grado de extracción.

Azúcares: la harina de trigo tiene en composición principalmente sacarosa y maltosa, son disacáridos no fermentables de forma directa, para lo cual requieren de la acción de enzimas para convertirlos en azúcares simples. La dextrina se encuentra presente en pequeñas proporciones (0,2 – 0,3 %).

Vitaminas: las vitaminas más importantes que se encuentran en la harina son: las del grupo B (B1, B2, B3, B6) y E, seguido la C (Riboflavina, niacina, tiamina).

Fibra: se constituye como unos de los nutrientes importantes en la dieta alimenticia.

Minerales: contiene principalmente potasio, sodio, calcio y magnesio que se encuentran en las capas externas del grano de trigo.

2.2.2 Tipos de harina de trigo

Según la (NTE INEN 616: 2006, pp.1-2) de acuerdo con su uso lo clasifica en:

Harina panificable

- Extra: es la harina elaborada hasta un grado de extracción determinado, que puede ser tratada con blanqueadores y/o mejoradores, productos málticos, enzimas diastásicas y fortificada con vitaminas, y minerales.

Harina integral

Es la harina obtenida de la molturación de granos limpios de trigo, presenta un alto grado de

extracción de más del 85% por conservar la cubierta, el germen y la capa de aleurona de trigo, se puede adicionar agentes de tratamiento de harina, mejoradores, productos málticos, enzimas diastásicas y fortificada con vitaminas y minerales conforme a los niveles permitidos por las especificaciones técnicas de las normas vigentes (NTE INEN 616:2006, p.1).

Harinas especiales

Son aquellas harinas que presentan un grado de extracción bajo, de acuerdo con las condiciones especificadas de industrialización, son destinados a la fabricación de productos de pastificio, galletería y derivados de harinas autoleudantes, suelen ser tratadas con mejoradores, productos málticos, enzimas diastásicas y fortificada con vitaminas y minerales conforme a las especificaciones técnicas de las normas vigentes, dentro de ellas se tiene:

- Harina para pastificio: es la harina que presenta un grado de extracción bajo, obtenida de granos de trigo aptos para la elaboración de este tipo de productos, suelen tratarse con blanqueadores, mejoradores, productos málticos, enzimas diastásicas y fortificada con vitaminas y minerales permitidos por las normas vigentes.
- Harina para galletas: es la harina que presenta un grado de extracción bajo, obtenido de granos de trigo blandos y suaves, puede ser tratada con blanqueadores, mejoradores, productos málticos, enzimas diastásicas y fortificada con vitaminas y minerales permitidos por las normas vigentes.
- Harina autoleudante: es la harina que presenta un grado de extracción bajo, contiene agentes leudantes, puede ser tratada con blanqueadores, mejoradores, productos málticos, enzimas diastásicas y fortificada con vitaminas y minerales permitidos por las normas vigentes (NTE INEN 616:2006, p.2).

Harina para todo uso

Es el producto obtenido de la molienda y tamizado del endospermo del grano de trigo, derivada de las variedades de trigo Hard Red Spring o Nother Springhard Red Winter, homólogos canadienses y trigos de otros orígenes que sean aptos para la fabricación de pan, fideos, galletas, etc. Suele ser tratada o no con blanqueadores y/o mejoradores, productos málticos, enzimas diastásicas y fortificada con vitaminas y minerales permitidos por las normas vigentes (NTE INEN 616:2006, p.2).

2.2.3 Fortificación de harina de trigo

La fortificación de harina de trigo es un proceso que consiste en la adición de vitaminas, minerales u otros micronutrientes sobre la harina virgen extraída del proceso de producción, con la finalidad de mejorar la calidad nutricional del producto final y garantizar una estrategia eficaz para el aporte en el estado de nutrición de los consumidores.

La fortificación de harina de trigo es considerada como una estrategia preventiva basada en la alimentación, de manera que permita mejorar los valores de micronutrientes en poblaciones a lo largo del tiempo, lo cual previene la deficiencia de vitaminas y minerales.

Según los países desarrollados indican que existen cinco micronutrientes de mayor importancia, tales como: hierro, tiamina (vitaminas B1), riboflavina (vitamina B2), ácido fólico y niacina.

De acuerdo (NTE INEN 616:2015, p.7), indica que todas las harinas de trigo, independientemente de sí, son blanqueadas, mejoradas con productos málticos, enzimas diastásicas, leudantes, etc., deberán ser fortificadas con las sustancias micronutrientes descritas en la Tabla 5-2 siguiente:

Tabla 5-2: Sustancias de fortificación

Sustancias de fortificación	Método de ensayo
Hierro	AOAC 944.02, Hierro en harina. Método espectrométrico. AOAC 999.11, Plomo, cadmio, cobre, hierro y zinc en alimentos. Espectrometría de absorción atómica tras incineración en seco.
Tiamina (vitamina B1)	AOAC 953.17, Tiamina (vitamina B ₁) en productos de granos. Método fluorométrico (rápido). AOAC 957.17, Tiamina (vitamina B ₁). Método fluorométrico.
Riboflavina (vitamina B2)	AOAC 970.65, Riboflavina (vitamina B ₂) en alimentos y preparaciones vitamínicas. Método fluorométrico. AOAC981.15, Riboflavina (vitamina B ₂) en alimentos y preparaciones vitamínicas. Método automatizado.
Ácido fólico	AOAC 944.12, Ácido fólico (ácido pteroilglutámico) en preparaciones vitamínicas.
Niacina	AOAC 975.41, Niacina y niacinamida en productos cereales. Método automatizado. AOAC 961.14, Niacina y niacinamida en medicamentos, alimentos y piensos. Método colorimétrico.

Fuente: NTE INEN 616:2015, p.7).

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Por lo tanto, toda empresa que se dedica a este tipo de actividades debe cumplir con la fortificación de sus productos, garantizando así un producto de calidad y altamente nutritivo.

2.2.4 Proceso de producción de harina de trigo fortificada

Para la transformación de trigo en harina se requiere de una serie de etapas y procesos, a continuación, se detalla cada uno de ellos:

- **Recepción de materia prima**

Consiste en recibir el trigo, dicha materia prima comienza con la descarga del trigo y este es enviado hacia los silos que posee cada empresa.

- **Limpieza del grano de trigo**

Consiste en la preparación y limpieza del trigo, este efecto se da cuando el trigo es transportado mediante un sistema que interconecta con los silos y se lleva a cabo la separación de las impurezas, material vegetal y objetos extraños que trae consigo la materia prima y en la mayoría de las industrias son eliminadas a través de un sistema de aspiración.

- **Acondicionamiento de materia prima**

Esta etapa se caracteriza por mejorar el estado físico del grano con el propósito de ajustar la humedad hasta alcanzar al 17,5% de humedad, para efectuar esta operación el grano de trigo pasa por la columna de inyección de vapor logrando alcanzar las óptimas condiciones y pueda llevarse a cabo la operación de molienda. Requiere de mayor cuidado para evitar la desnaturalización del gluten puesto que está expuesto a elevadas temperaturas.

- **Molienda y cribado**

Es una de las etapas más importantes del proceso de producción, resultado de aquello permite obtener un buen rendimiento y un producto de calidad, cuyo objetivo principal es convertir el endospermo en harina y sémolas y la separación de las cubiertas de grano y el germen.

El grano de trigo es fragmentado por los cilindros de rotura y separado el pericarpio del endospermo, esto gracias a la ayuda de los cuchillos longitudinales o estrías de las máquinas, las mismas que presentan un cierto ángulo de inclinación definida y diseñada con mucho cuidado ya que varía según el tipo de trigo a molturar.

El producto que sale de la molienda pasa por un cernidor, en el que se van separando fracciones de diferente granulometría y composición, así como el salvado (capas externas del grano), sémolas (partículas más gruesas del endospermo), semolinas (partículas medianamente gruesas del endospermo) y finalmente harina (partículas más finas del endospermo).

- **Tamizado**

La harina obtenida del proceso de molienda pasa por una serie de tamices, puesto que la harina debe cumplir con la granulometría que establecen las normas vigentes.

- **Incorporación de aditivos**

Esta etapa consiste en la adición de aditivos o sustancias de fortificación en la harina de trigo extraído en el proceso anterior.

- **Empacado**

Previo al empacado, es indispensable realizar el control de calidad mediante el análisis de parámetros físico-químicos, microbiológicos y reológicas de harina de trigo fortificada, las cuales deben encontrarse dentro de los límites que establece la norma actual vigente. Una vez determinado el cumplimiento de los requisitos son envasados en sacos dependiendo del requerimiento.

- **Transporte y almacenamiento**

Una vez obtenido el producto final, estos son transportados para el almacenamiento a un lugar libre de humedad y posterior distribución.

2.2.4.1 Diagrama del proceso de producción de harina de trigo fortificada

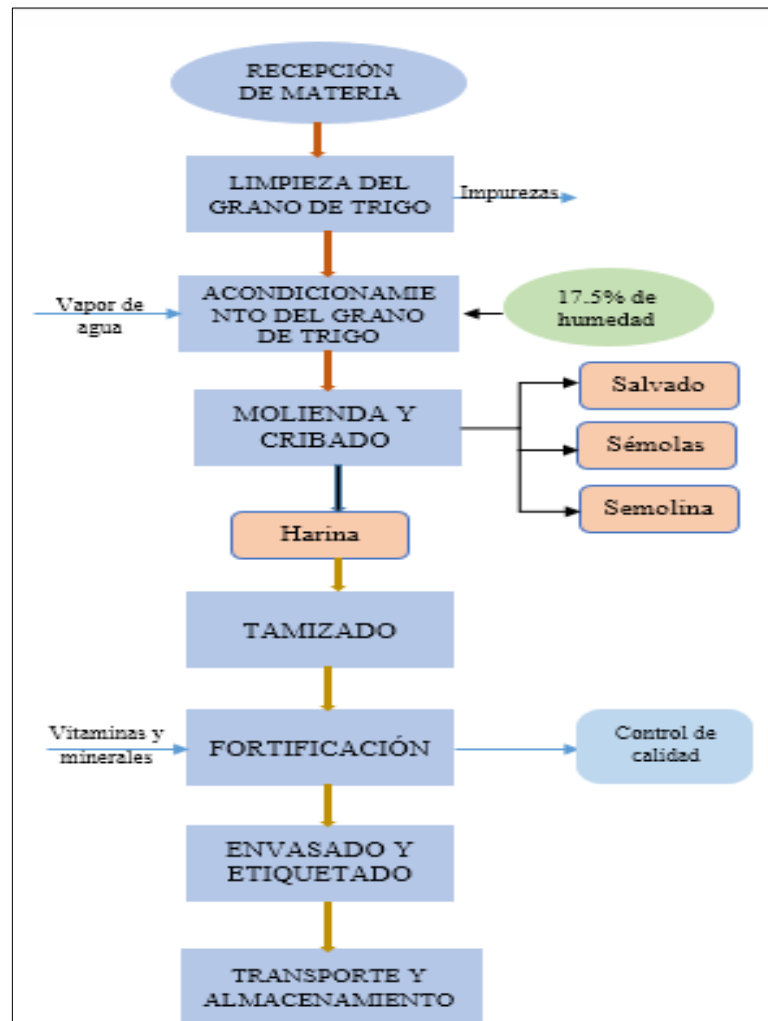


Figura 1-2: Diagrama del proceso de producción de harina de trigo fortificada

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

2.2.5 Mezclado de sólidos (polvos)

Es una operación unitaria, cuyo objetivo principal es unir uno o más componente con la finalidad de que cada unidad (partícula, molécula) de uno de los componentes contacte de forma más cercano posible con los otros componentes. Es de mucha importancia debido a que en la mayoría de las industrias es ampliamente utilizado, así como en procesos químicos, de manera particular en la farmacéutica, molinera, alimenticia, entre otros (McCabe et al, 1998: pp. 968-970).

Para el mezclado de partículas sólidas (o polvos) es importante desplazar algunas partes de la mezcla en polvo con respecto a las porciones sobrantes.

2.2.5.1 Mecanismos de mezclado

Para el mezclado de sólidos existen tres tipos de mecanismo, entre ellos se tiene:

Movimiento convectivo: ocurre cuando porciones del sistema particulado total son transportados a otra parte del espacio en el que se encuentran confinadas las mezclas, para ello suelen utilizar mezcladores de volteo o a su vez puede llevarse por arrastre mediante una hélice o un tornillo sin fin (Bermejo, 2003, p.17).

Mezclado por difusión: hace referencia al movimiento aleatorio de partículas sobre superficies con una pendiente dada, únicamente se desplazan por gravedad lo cual no requiere de energía para que se de dicho efecto.

Mezclado por cizalla: origina planos de deslizamiento en la masa de polvo en la parte interna del mezclador.

2.2.5.2 Factores que intervienen en el proceso de mezclado

Para efectuar el mezclado de las partículas es importante considerar algunos factores, entre ellos se tiene:

- **Tamaño de las partículas**

El tamaño de las partículas resulta un factor clave para el proceso de mezclado, pues para conseguir el grado óptimo de mezclado se requiere que las partículas de las sustancias sean lo más similar posible con el propósito de evitar que se produzca segregación. Por otro lado, a menor tamaño de las partículas, las fuerzas de cohesión aumentan (Altamirano, 2013).

- **Forma y rugosidad de las partículas**

Otro de los factores importantes a considerar son la forma y rugosidad de las partículas ya que si se tienen partículas esféricas estas suelen comportarse como sólidos gruesos mientras que las no esféricas presentan un comportamiento parecido a los finos.

- **Densidad de las sustancias**

La diferencia de densidad de los componentes reduce la estabilidad de las mezclas por lo que una

densidad diferente y por acción de la gravedad se generará una movilidad diferencial de las partículas, lo cual puede dar lugar a que se produzca la segregación de los componentes de la mezcla.

- **Proporción de los componentes de la mezcla**

La cantidad de los componentes influye de manera significativa puesto que cuanto más diferente sea la proporción de los componentes es más complejo conseguir la homogeneidad de la mezcla. Generalmente en la industria farmacéutica se presentan este tipo de inconvenientes (Altamirano, 2013).

- **Formación de cargas eléctricas**

Cuando se genera la formación de cargas eléctricas durante el proceso de mezclado suele generar un inconveniente puesto que no se logra alcanzar una mezcla homogénea como consecuencia a la tendencia de las partículas a aglomerar.

2.2.5.3 Tiempo de mezcla

Para realizar el proceso de mezclado es importante considerar el tiempo que se va a demorar en efectuarse dicha mezcla, puesto que la homogeneidad y uniformidad de la mezcla depende directamente de este parámetro. Para lo cual mediante ensayos se debe encontrar el tiempo óptimo e ideal para llevar a cabo dicha operación (Altamirano, 2013). El tiempo de mezclado de la mayoría de los sólidos no debe ser mayor de 15 min, por lo que las mezclas pueden segregarse.

2.2.6 Tipos de mezcladores

Los mezcladores son medios mecánicos que permiten mover las partículas de los componentes a fin de alcanzar una mezcla homogénea, por lo que cuanto mayor sea el movimiento de partículas más rápido y eficiente será el mezclado. Suelen operar creando movimiento de modo simultáneo por lo menos en dos direcciones (Castelló et al., 2017: p.4). Por lo general, para productos secos existen dos tipos de mezcladores, mismos que se diferencian en el mecanismo productor del mezclado, a continuación, se describe cada uno de ellos:

2.2.6.1 Mezcladores móviles

El mezclado de materiales suele moverse por acción de la rotación del recipiente que lo contiene

y fuerza de la gravedad. Funcionan moviendo la masa de sólidos en un tambor giratorio y suelen operar a velocidades que varían entre 20 – 100 rpm, la cual se ve influenciada del tamaño, forma del mezclador y del tipo de material a mezclar, además este tipo de equipos deben ser llenados máximo hasta el 80% de su capacidad nominal. Útil para materiales friables (Gómez y Mitau, 2006: p.5; Quiminet, 2011).

- **Cilíndrico o de tambor**

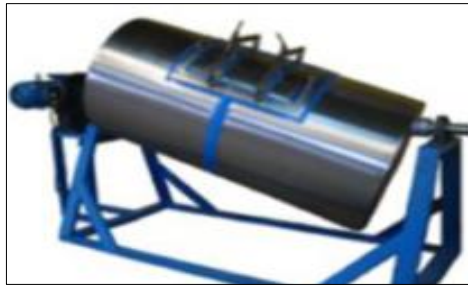


Figura 2-2: Mezclador cilíndrico de tambor

Fuente: (Quiminet, 2011)

Están constituidos por una carcasa cilíndrica que gira alrededor del eje, dicha característica permite que se genere flujo cruzado del material; el grado de homogeneidad del mezclado se determina de forma empírica y para cada producto en particular.

Comúnmente, este tipo de equipos suelen operar a velocidades moderadas, en el que la velocidad de volteo debe ser siempre inferior a la velocidad crítica (ω_c). Dicha velocidad es aquella a la que la fuerza centrífuga sobrepasa a la de la gravedad, y viene expresado mediante la siguiente ecuación:

$$\omega_c(s^{-1}) = \sqrt{\frac{g}{(4 \pi^2 R)}}$$

Los sólidos se mantienen en contacto íntimo con la superficie del tambor, esto gracias a la velocidad crítica. Al sustituir las variables numéricas conocidas se puede explicar que la velocidad máxima de giro expresada en rpm será $42,3D^{0,5}$, donde D representa el diámetro del cilindro o trommel.

De acuerdo con su forma se clasifican en:

- **Mezcladores tipo cónico:**

Este tipo de equipos tienen el mismo funcionamiento que los de tambor, pero son menos eficaces en el mezclado para lo cual se puede incrementar la inclinación del eje de rotación.

- **Mezcladores de doble cono**



Figura 3-2: Mezclador bicónico

Fuente: (Quiminet, 2011)

Son equipos que se caracterizan por poseer doble cono, el cual permite que cuando se efectúe el movimiento se mezcle homogéneamente con cada uno de los componentes. Son de fácil limpieza, y puede ser alimentado o descargado por cualquiera de los extremos. Comúnmente aplicado en algunas industrias tales como: química, alimenticia, plásticos, abonos, cosméticos, detergentes, entre otras.

- **Mezclador tipo cónico en V**



Figura 4-2: Mezclador tipo cónico en V

Fuente: (Quiminet, 2011).

Consta de dos cilindros unidos en sus extremos con un grado de inclinación que varía entre 45-90°, el cual permite que se lleve a cabo mediante un mecanismo de mezclado por convección, adicionalmente dispone de placas en el eje de rotación que generan movimientos entre los planos. Son utilizados principalmente para polvos de baja cohesividad, así para la adición de aglutinantes logrando una mezcla uniforme en tiempos cortos; suelen operar de forma fácil, de bajo consumo energético y de gran capacidad (Gómez y Mitau, 2006: pp.6-7).

2.2.6.2 Mezcladores estáticos

Son aquellos mezcladores que se mantienen estáticamente, se caracterizan porque contienen en su interior elementos que ayudan a efectuar el mezclado, así como: impulsores, tornillos, cuchillas, aire a chorro, etc., son ideales para mezclar sólidos ya que proporcionan un mezclado uniforme y de forma eficiente sin la disminución del tamaño de partículas o generación de calor. Tienen la capacidad de procesar desde 100 a 500 lb/h (Gómez y Mitau, 2006: p.7).

□ Mezcladores de cinta

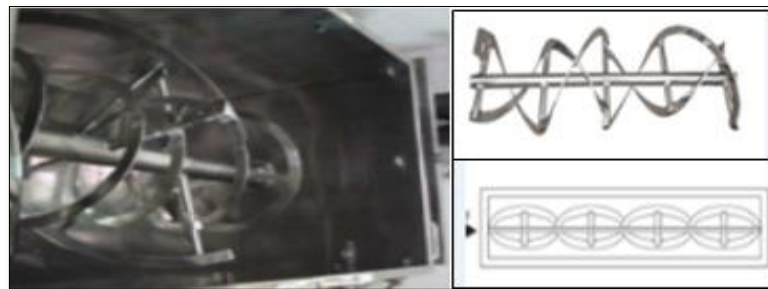


Figura 5-2: Mezcladores de cinta

Fuente: (Castelló et al., 2017: p.4); (Quiminet, 2011)

También conocidas como Ribbon Blender, son equipos que tienen una estructura central en forma de “U”, misma que en la parte interna contiene el impulsor de cintas de forma helicoidal, comúnmente son muy utilizados para el mezclado de aditivos secos finamente particulado, así como mezcla de granos de cereales (antes de la molienda), harinas, sopas deshidratadas, mezclas para pasteles, agregar ingredientes, entre otras aplicaciones. El tiempo que puede tardar en efectuarse el proceso de mezclado oscila entre 5 – 10 min, ideal para harinas, talcos y material finamente particulado, mientras que para materiales como azúcar con cacao y otros productos puede demorar aproximadamente de 20 min (Castelló et al., 2017: p.4; Quiminet, 2011).

La capacidad de carga que presentan estos equipos está entre 85 – 90% de su volumen total. Son

equipos que operan a velocidades bajas, de bajo consumo de energía, sin embargo, es difícil realizar la limpieza debido a la forma que tienen los impulsores.

Este tipo de equipos tienen dos maneras de mezclar los productos, a continuación, se describe cada uno de ellos:

- **Por cargas o lotes:** conocida también como tipo batch, por lo general se determina la carga que se desea mezclar, esta es cargada para que se dé el proceso de mezclado y habiendo terminado el mezclado es descargada para que continúe en el respectivo proceso, y así sigue el mismo procedimiento con una nueva carga definida.
- **Alimentación continua:** se caracteriza porque el proceso no se detiene para cambiar la carga debido a que el material a mezclar se alimenta de forma constante, para ello este tipo de equipos tiene una entrada y salida.

Las cintas helicoidales se encuentran montadas en el mismo eje, lo cual hace que se genere movimiento en sentido contrario, permitiendo que adquieran un mecanismo de progresión. El mecanismo de progresión consiste en que una de las cintas empuja de manera suave los sólidos hacia atrás mientras que la otra cinta los desplaza de manera rápida hacia adelante (Quiminet, 2011). Por tanto, los mezcladores de cintas helicoidales trabajan mediante un mecanismo de convección y las cintas helicoidales son las que generan el efecto de turbulencia creando movimiento de forma radial y lateral proporcionando así conseguir una mezcla uniforme y en tiempos cortos.

□ Mezcladores verticales de tornillo

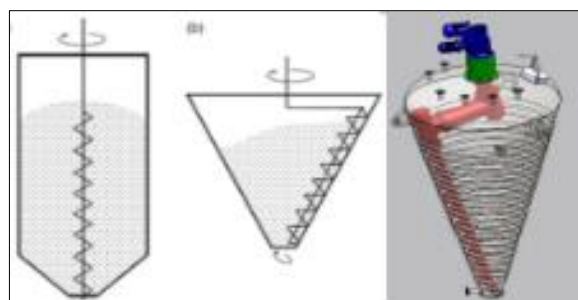


Figura 6-2: Mezcladores verticales de tornillo

Fuente: (Castelló et al., 2017: p.5)

Se caracterizan por estar constituidos por un tornillo vertical, el cual gira sobre su eje, se encuentra ubicado en el interior de un recipiente de tipo cónico, que a su vez gira sobre su eje longitudinal haciendo que el material se traslade hacia arriba y luego mediante el movimiento de cascada y

gravitacional retorne hacia el fondo. Por medio de este sistema se alcanza una intensa acción de mezclado, constituyéndose muy buenos cuando se requiere adicionar una cantidad muy pequeña de un determinado componente, como por ejemplo cuando se desea incorporar vitaminas a chocolates en polvo o cereales infantiles (Borbor y Crespo, 2012: p.31; Castelló et al., 2017: p.5).

Este tipo de mezcladores pueden ser utilizados para el mezclado de polvos, sólidos y material granulado, ideal para la industria agroalimentaria, química, cosmética y farmacéutica. Son de bajo costo y no requieren de mucho espacio; pero el tiempo de mezclado es mayor y de capacidad limitado.

□ Mezcladores de paletas



Figura 7-2: Mezclador de paletas

Fuente: (DirectIndustry, 2018).

Son equipos que están constituidos por un recipiente cilíndrico de forma vertical, el cual para efectuar la operación de mezclado en su interior contiene un agitador de palas o paletas, mismas que están unidas a un eje rotatorio central. Suelen operar de modo más lento que un mezclador de cinta, dando lugar a la generación de movimiento de forma radial y axial simultáneamente (Gómez y Mitau, 2006: pp.8-9).

□ Mezcladores de palas planetario



Figura 8-2: Mezclador de palas planetario

Fuente: (DirectIndustry, 2020).

Básicamente se asemejan a un mezclador de paletas, pero presentan una diferencia significativa ya que estas giran en sentido planetario facilitando una doble acción mezcladora; utilizados con más frecuencia cuando se requiere mezclar material sólido con líquido, así como los procesos de granulación, lo cual hace que sea empleado ampliamente para el mezclado de líquidos, sólidos y semisólidos.

□ Mezclador sigma



Figura 9-2: Mezclador sigma

Fuente: (Quiminet, 2011).

Es un equipo que está constituido por un cilindro vertical, el cual para efectuar el mezclado poseen cuchillas pequeñas propulsoras que se encuentran en el fondo del recipiente, permitiendo romper los aglomerados que se forman, sin embargo, presenta un inconveniente ya que se produce calentamiento del material y por lo tanto hay mayor consumo de energía. Comúnmente empleado para agregar sólidos en líquidos (Gómez y Mitau, 2006: pp.9).

□ Mezclador barra z



Figura 10-2: Mezclador barra z

Fuente: (Quiminet, 2011)

Formado por un recipiente de forma cilíndrica horizontal con dos ejes paralelos (cuchillas espirales) que giran en sentidos opuestos lo cual hace que se genere un movimiento tangencial de choque. Es útil y efectivo para mezclar materiales con altas viscosidades, así como masas duras, pegajosas y densas (gomas), granulados (CaCO_3), polímeros y adhesivos dentales, sin embargo, presenta dificultad para descargar y realizar la limpieza, de alto consumo de energía (Gómez y Mitau, 2006: pp.10).

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de estudio

El presente trabajo es un proyecto de tipo técnico, el cual se basa en estudios de investigación teórico y práctica, este último siendo de gran interés ya que permite recolectar datos necesarios para determinar y definir el diseño conforme a la necesidad de la empresa, por lo que se realizó varios ensayos a nivel de laboratorio.

3.2 Métodos y Técnicas

3.2.1 *Métodos*

El desarrollo del presente proyecto se sustenta en métodos deductivo, inductivo y experimental, de modo que permita alcanzar con los objetivos planteados.

- **Método deductivo**

Es un método científico que parte de principios o leyes para llegar a una conclusión específica, para ello se realizó un estudio más completo sobre la operación de mezclado y adicional a ello los sistemas de mezclado que existen para efectuar la mezcla entre harina de trigo obtenida del proceso de molienda y los ingredientes de fortificación, facilitando así definir el sistema de mezclado acorde a la necesidad de la empresa.

- **Método inductivo**

Es un método que inicia de la observación de hechos particulares para conseguir conclusiones generales, es así, en el presente estudio se inició con la observación de los inconvenientes que presentaba la empresa Molinos Miraflores S.A. al no disponer de un sistema de mezclado en el área de Aseguramiento de Calidad, pues en base a ello se realizó la caracterización fisicoquímica y reológica de la harina de trigo sin aditivo, además también la determinación de las variables que intervienen en la operación de mezclado, de manera que garantice el dimensionamiento más idóneo del sistema de mezclado.

- **Método experimental**

Este método es fundamental para realizar toda investigación, pues en base a los ensayos realizados a nivel de laboratorio se logró obtener datos reales del presente estudio y posteriormente diseñar el respectivo sistema de mezclado para la empresa Molinos Miraflores S.A.

3.2.2 Técnicas

Se sustentó en las técnicas que la empresa maneja en el área de Aseguramiento de Control de Calidad, en el que se determina el análisis proximal tanto de harina de trigo sin fortificar y fortificada, esta última en base a la norma NTE INEN 616:2015. Harina de trigo. Requisitos; así también las características reológicas que presenta el producto final. A continuación, se describe las técnicas empleadas para el desarrollo:

Tabla 1-3: Análisis de parámetros físico-químicos para harina de trigo sin aditivo y fortificada

Fundamento	Proporciona análisis NIR para alimentos, el cual permite cuantificar humedad, proteína, gluten húmedo, cenizas.
Método	Es un método que se caracteriza por tener poca o ninguna preparación de muestra, ensayo no destructivo, no se requiere de reactivos y es un método rápido, confiable y preciso. La tecnología de infrarrojo está basada en una combinación sofisticada de espectros y métodos matemáticos. La luz IR es reflejada sobre la muestra y se modifica de forma automática según la muestra.
Equipos	NIR (Tecnología de Infrarrojo Cercano)
Materiales	<ul style="list-style-type: none">• Vaso de precipitación
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none">• Encender el equipo.• Pesar cierta cantidad de muestra a analizar.• Colocar en el equipo.
Cálculo	Lectura directa en la pantalla del equipo.

Fuente: (Molinos Miraflores, 2020).

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Tabla 2-3: Determinación de las características reológicas de harina de trigo fortificada

Fundamento	Permite analizar las propiedades reológicas de la masa para asegurar el buen desarrollo del proceso de fabricación y la calidad de los productos finales. Se analizan parámetros como absorción, amasado, gluten, viscosidad, amilasas, retrogradación.
Método	Utiliza la curva Mixolab Standard y calcula el perfil típico de la harina analizada.
Equipos	Mixolab. Tiene la capacidad de evaluar los efectos combinados de estos componentes al medir el comportamiento de una masa durante el amasado sometida a un ciclo de calentamiento y después de enfriamiento al simular las tensiones que sufre la masa en el proceso de fabricación, permitiendo controlar la calidad e irregularidad de las harinas, evaluar el impacto de las enzimas e incluso desarrollar nuevas fórmulas, así como enriquecidas en fibra y sin gluten y la después de un tiempo.
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> Vaso de precipitación
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> Pesar \pm 0,1 g de harina. Dar clic en el ícono comenzar, para empezar con el ensayo. Colocar la tolva por encima de la cubeta e introducir la muestra de harina en la cubeta. Colocar la boquilla de la cubeta. La boquilla debe estar completamente limpio. Cuando todos los parámetros hayan alcanzado su valor de consigna, se lanza el ensayo. Resultado final,
Cálculo	Los resultados se pueden visualizar en la ventana del computador, el cual indica la curva del ensayo, el cuadro que resume los puntos característicos de la curva y el profiler que presenta la evaluación de las propiedades de la masa.

Fuente: (Molinos Miraflores, 2020)

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Tabla 3-3: Determinación de la presencia de ácido ascórbico

Fundamento	El ácido ascórbico es un aditivo principal para modificar el comportamiento de harina, de manera que permita reforzar las cadenas del gluten. Incrementa la retención de gas y aumenta el volumen del pan.		
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> Vidrio reloj Espátula Cronómetro Pipeta de 2 ml 	Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> Reactivo de Touber (reactivo A y B). Agua Muestra de harina
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> Pesar 15 g de muestra de harina en un vidrio reloj. Aplanar la muestra contenida en el vidrio reloj con la ayuda de una espátula. Sumergir en agua purificada durante un tiempo de 1 min. Una vez transcurrido el tiempo se procede a quitar del agua. Colocar 2 ml de reactivo Touber y dejar reaccionar durante 1 min. Contabilizar los puntos de color azul que indican la presencia de ácido ascórbico. 		
Cálculo	Lectura directa de forma visual que consiste en contabilizar los puntos formados. Nota: Mayor a 40 puntos es normal y menor a 40 indica que hay deficiencia de ácido ascórbico.		

Fuente: (Molinos Miraflores, 2020)

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Tabla 4-3: Determinación de la presencia de hierro

Fundamento	Es uno de los minerales indispensables en el proceso de fortificación, puesto que la harina de trigo debe ser enriquecido ya que la deficiencia de estos micronutrientes afecta a las personas, particularmente niños, lactantes, mujeres embarazadas, etc.		
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> • Papel filtro • Vidrio reloj • 2 pipetas de 2 ml • 1 cernidor pequeño • Placas de vidrio • Cronómetro • Vaso de precipitación 	Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> • Tiocianato de potasio • Ácido clorhídrico • Peróxido de hidrógeno (H₂O₂) con una concentración del 30%. • Muestra de harina.
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar un pedazo de papel filtro sobre una placa de vidrio. • En un vaso de precipitación colocar 2 ml de Tiocianato de potasio y 2 ml de ácido clorhídrico. • Colocar sobre el papel filtro una parte de la solución preparado en el epígrafe anterior. • Utilizando un cernidor agregar la muestra de harina sobre el papel filtro. • Añadir la solución sobrante sobre el papel filtro. • Agregar 3 gotas de peróxido de hidrógeno y cubrir con la otra placa de vidrio. • Dejar reposar durante 3 min y finalmente cuantificar los puntos formados tomando como base 1 cm² de muestra analizada. 		
Cálculo	Lectura directa de forma visual que consiste en contabilizar los puntos formados.		

Fuente: (Molinos Miraflores, 2020)

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Tabla 5-3: Determinación de Falling Number (número de caída)

Fundamento	Mide la actividad de la enzima alfa-amilasa en granos y harina para detectar daño por germinación, optimizar la actividad de la enzima harina y garantizar la solidez del grano comercializado. El alfa-amilasa es muy indispensable ya que define la calidad final del producto de pan, pasta, fideos y malta.		
Método	Falling Number estandarizado.		
Equipos	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo automático Falling Number. • Molino de laboratorio Falling Number 3100 0 120 con un tamiz de 0,8 mm. 		
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> • Cronómetro • Balanza 	Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> • Agua destilada • Muestra de trigo
Procedimiento	<p>Preparación de la muestra:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Moler 300 g de trigo utilizando un molino que posee el laboratorio. • Pesar 7.0 ± 0.05 g de muestra de harina molida y tamizada. • Introducir la muestra representativa en el tubo viscosimétrico. • Utilizando un dispersador verter 25 ± 0.2 ml de agua destilada en el tubo viscosimétrico. • Realizar el mezclado de la muestra de harina y agua, para lo cual agitar vigorosamente el tubo viscosímetro hasta obtener una suspensión homogénea • Colocar a baño maría el tubo que contiene la muestra y el agitador. Se efectúa la agitación de la muestra al cabo de 5 s y se da de forma automática. • Al transcurrir los 60 s (5+55 s) el agitador es liberado automáticamente en su posición superior e inicia el descenso debido a su propio peso. • El tiempo total (s) transcurrido desde que el aparato se activa hasta que el agitador desciende una determinada distancia queda registrado por el equipo. 		
Cálculo	Resultado directo que emite el equipo.		

Fuente: (Molinos Miraflores, 2020)

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Tabla 6-3: Determinación de granulometría

Fundamento	Consiste en medir el tamaño de las partículas de un material sólido, este parámetro permite que la composición del producto sea homogénea.		
Equipos	<ul style="list-style-type: none"> • Tamiz automático • Balanza 		
Materiales	• Vaso de precipitación	Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> • Agua destilada • Muestra de trigo
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar 100 g de muestra de harina. • Colocar la muestra de harina en el tamiz automático. • Una vez obtenido la muestra tamizada se procede a pesar. • Registrar los resultados y comparar con los estándares manejados por la empresa. 		
Cálculo	Pesar la muestra tamizada.		

Fuente: (Molinos Miraflores, 2020)

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Tabla 7-3: Determinación de densidad

Fundamento	Consiste en medir el tamaño de las partículas de un material sólido, este parámetro permite que la composición del producto sea homogénea.
Equipos	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> • Probeta de 250 ml. • Espátula. • Muestra de harina trigo fortificada.
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Encender la balanza. • Colocar la probeta bien seca y limpia en la balanza, tarar. • Colocar la muestra de harina en la probeta tarada, añadir poco a poco hasta llenar los 250 ml. • Habiendo llenado el volumen de la probeta, registrar el peso de la muestra.
Cálculo	<p>Realizar el cálculo correspondiente aplicando la fórmula de densidad.</p> $\delta_{hf} = \frac{m_{hf}}{V_{hf}}$ <p>Dónde:</p> <p>δ_{hf}: Densidad de harina de trigo fortificada, (kg/m³).</p> <p>m_{hf}: Masa de harina de trigo fortificada, (kg).</p> <p>V_{hf}: Volumen de la probeta, (m³).</p>

Fuente: (Molinos Miraflores, 2020)

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

3.2.3 Muestreo y caracterización de harina de trigo sin aditivo

3.2.3.1 Muestreo de harina

Las muestras se tomaron a la salida de los tubos por donde circula la harina antes de la dosificación de los aditivos del proceso de producción. Se efectúa mediante un muestreo aleatorio.



Fotografía 1-3: Muestreo de harina sin aditivo

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

El muestreo de harina de trigo fortificada se realizó conforme a la norma NTE INEN-ISO 24333 cereales y productos derivados. Toma de muestras.



Fotografía 2-3: Muestreo de harina de trigo fortificada

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

3.2.3.2 Caracterización de harina de trigo sin fortificar

La caracterización de harina de trigo 100% natural extraída del proceso de producción se realizó utilizando el equipo NIR que la empresa posee, el cual analiza los porcentajes de humedad, proteína, ceniza, gluten húmedo. Los resultados que emite el equipo son de forma directa mediante una pantalla, dichos datos son confiables y de forma rápido.



Fotografía 3-3: Caracterización en el equipo NIR

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

3.2.4 Procedimiento de obtención de harina de trigo fortificada

La empresa Molinos Miraflores S.A., procesa aproximadamente 45,36 toneladas de harina/ día, al utilizar la materia prima proveniente en su mayoría de otro país y de trigo ecuatoriano, lo que hace es llenar sus silos para tener stock en su bodega y con esto poder trabajar todos los días de la semana, el trigo Canadiense se importan alrededor de 2800 toneladas cada dos meses y 100 toneladas de trigo/año de Ecuador, cabe indicar que la planta opera en 3 turnos por día y trabaja 28 días al mes.

3.2.4.1 Recepción de materia prima

Una vez que los camiones ingresan a la planta estos son pesados con una báscula para determinar el contenido neto del trigo, luego el trigo pasa a un sistema de aspiración que consiste en una serie de tamices, el cual permite eliminar materiales extraños e impurezas, posteriormente se determina el contenido de humedad del trigo que debe estar entre 13 – 14% para que se conserve la calidad de la materia prima durante el almacenado, habiendo verificado aquello el trigo es guardado en los respectivos silos que dispone la empresa (Molinos Miraflores, 2019).

3.2.4.2 Acondicionamiento de la materia prima

Consiste en humedecer el grano de trigo hasta que alcance el 17,5% de humedad, para ello a medida que el trigo pasa, mediante un tubo es inyectado vapor de agua logrando obtener las condiciones adecuadas y pueda llevarse la operación de molienda sin dificultad, puesto que el

grano de trigo es duro y los molinos no podrían triturarlo. Cabe destacar que el proceso requiere tener un mayor control con el fin de evitar la desnaturalización del gluten, ya que se efectúa a elevadas temperaturas (Molinos Miraflores, 2019).

3.2.4.3 Molienda

El trigo húmedo pasa a los diferentes molinos que posee la empresa, dichos molinos se encargan de realizar la molienda, como producto de la primera trituración sale una mezcla de harina (polvo blanco), salvado (parte externa que recubre el grano) y sémola (partículas más gruesas del endospermo). Este tipo de molinos se caracterizan porque en su interior disponen de una estría diferente dependiendo del tipo de molino, desde una estría dura para la primera trituración y hasta el final que dispone de una estría lisa (Molinos Miraflores, 2019).

El producto que sale de la molienda pasa por un cernidor, el cual mediante el movimiento que se produce se van separando en fracciones de diferente granulometría y composición, así como el salvado sémolas, semolinas y finalmente harina (partículas más finas del endospermo). Con el fin de obtener el 78% de extracción, aquello que no es harina vuelve nuevamente a pasar por los molinos hasta conseguir extraer toda la harina presente en el grano de trigo (Molinos Miraflores, 2019).

3.2.4.4 Control de calidad de harina de trigo extraída

Una vez obtenido la harina de trigo 100% natural es importante realizar el control de calidad, en el que se realiza el análisis de humedad, proteína, gluten húmedo, cenizas y granulometría y las características reológicas tales como: absorción, amasado, gluten, viscosidad, amilasas y retrogradación.

3.2.4.5 Premezclas

Etapa que consiste en realizar el mezclado de aditivos tales como minerales, vitaminas, entre otros, siendo necesarios incorporar en el proceso de fortificación de harina de trigo. El personal experto es el que se encarga de realizar la respectiva formulación y premezcla de dichos suplementos, no se puede describir las formulaciones correspondientes ya que son datos confidenciales de la empresa.



Fotografía 4-3: Preparación de aditivos de fortificación

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

3.2.4.6 Mezclado (fortificación de harina de trigo)

El sistema de mezclado que maneja la planta de producción es de forma automatizada, es decir a medida que la harina de trigo sale de la zona de molienda, esta pasa a un sistema de mezclado y mediante un sistema de dosificación de aditivos es incorporada en la harina, logrando obtener una mezcla uniforme de harina de trigo fortificada (Molinos Miraflores, 2019). Sin embargo, en el área de Aseguramiento de Calidad para realizar las formulaciones de harina de trigo no disponen de un sistema de mezclado (a escala piloto), es por ello la importancia de realizar el presente estudio debido a que efectúan de forma manual, de manera que permita diseñar un sistema de mezclado ideal para las diferentes formulaciones que realizan.

- Habiendo terminado el tiempo de mezclado se obtiene la harina de trigo fortificada y está listo para el envasado correspondiente.
- Finalmente se toma diferentes muestras con el objetivo de realizar el control de calidad del producto, en el que se realiza el análisis proximal siendo importante analizar: humedad, ceniza, proteína, gluten húmedo y granulometría, las características reológicas tales como: absorción, amasado, gluten, viscosidad, amilasas y retrogradación; así también los análisis microbiológicos en el que indica que hay que analizar mohos y levaduras y E. Coli. Estos análisis se efectúan bajo la norma NTE INEN 616:2015. Harina de trigo. Requisitos, el cual establece los requisitos que deben cumplir las harinas de trigo destinadas al consumo humano y al uso en la elaboración de otros productos alimenticios.

3.2.4.7 Envasado y etiquetado

Mediante una dispensadora en cada máquina que dispone la empresa, el producto final cae por efecto de la gravedad en sacos que están debidamente estandarizados y marcados para diferenciar el tipo de harina o producto, una vez que el saco este lleno con el peso establecido se procede al sellado, esto lo realizan con una cosedora.



Fotografía 5-3: Envasado del producto final

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

3.2.4.8 Transporte y almacenamiento

Una vez que esté listo el producto final, el operario coloca los sacos sobre unos pallets de madera, distribuyéndolos de forma que quede por cada pallet 25 sacos de harina que representa 1,25 toneladas, luego el operador del montacargas recoge estos casos de la zona de producción y los lleva a la bodega de almacenamiento y se ubica en el sitio que corresponde al producto (Molinos Miraflores, 2019).



Fotografía 6-3: Almacenamiento del producto final

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Finalmente, para ser comercializado el operador se dirige hacia las bodegas y recoge los pallets y los lleva a camiones que son los que se encargan de distribuirlos en las diferentes ciudades del país.

3.2.4.9 Descripción del procedimiento de mezclado en el Área de Aseguramiento de Calidad

La muestra de harina de trigo extraída del proceso de molienda se toma a la salida de los tubos por donde circula la harina previa a la dosificación de aditivos de fortificación, la cantidad de 2 kg, este a su vez es llevada al Laboratorio del Área de Aseguramiento de Calidad. El personal responsable del área se encarga de realizar las formulaciones correspondientes para 2 kg de harina de trigo 100% natural, posteriormente los aditivos se agregan y se realiza la operación de mezclado hasta obtener una mezcla uniforme. Efectúan de forma manual ya que no disponen de este sistema, es por ello la importancia del estudio propuesto.

Una vez obtenido la harina de trigo fortificado se procede a realizar los ensayos de caracterización del producto final, para lo cual es importante emplear los equipos NIR para el análisis proximal y Mixolab para determinar las características reológicas, y en base a la norma NTE INEN 616: 2015.

Finalmente, se anotan los resultados, mismos que deben ser analizados e interpretados de acuerdo con los límites que exige la norma NTE INEN 616:2015. Harina de trigo. Requisitos, garantizando así un producto de calidad.

3.2.5 Variables del proceso

Las variables del proceso que se deben considerar para realizar el diseño teórico del sistema de mezclado para formulaciones de harina de trigo fortificada son:

- Capacidad del sistema de mezclado
- Densidad de harina de trigo fortificada
- Volumen del mezclador

3.2.5.1 Capacidad del sistema de mezclado

Se considera como una variable independiente, por lo que si se modifica el valor de esta variable aumentaría directamente el volumen del mezclador.

3.2.5.2 *Densidad de harina de trigo fortificada*

Por tratarse de una receta exclusiva es indispensable considerar la densidad que presenta la harina de trigo fortificada, ya que conforme a esta variable puede verse afectado el volumen del mezclador siendo diferente para líquidos, sólidos o a su vez la combinación de los dos, en este caso se va a mezclar sólidos, por lo cual se ve influenciado directamente.



Fotografía 7-3: Determinación densidad de harina de trigo fortificada

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

3.2.5.3 *Volumen del mezclador*

Esta variable juega un papel muy importante ya que de esta depende el diseño como tal, por lo que el volumen del mezclador debe ser dimensionado minuciosamente.

3.2.6 *Diseño del sistema de mezclado*

3.2.6.1 *Análisis y selección de alternativas*

Actualmente existe una gran variedad de mezcladores industriales, pues para efectuar la operación de fortificación de harina de trigo se perfilan tres tipos de mezcladores, mismos que presentan características más ideales para llevar a cabo este proceso, entre ellos se tiene:

- Mezclador horizontal de cinta
- Mezclador vertical de tornillo de tipo cónico.
- Mezclador de paleta

- **Análisis de alternativas propuestas**

Mezclador horizontal de cinta helicoidal (alternativa 1): consiste en un recipiente horizontal, caracterizado por poseer una estructura cilíndrica, en su interior dispone un eje central en el cual está montado un agitador de dos cintas helicoidales, el cual generará el movimiento respectivo.

Tabla 8-3: Ventajas y desventajas de un mezclador de cinta helicoidal

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Ideal para materiales a granel húmedo y seco, polvos que no fluyen con facilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de espacio amplio puesto que tiene forma horizontal.
<ul style="list-style-type: none"> • Genera movimiento axial y radial, produciendo una mezcla homogénea. 	<ul style="list-style-type: none"> • La limpieza se hace un poco complejo por presentar cintas de forma helicoidal.
<ul style="list-style-type: none"> • Flexible para adaptar a un proceso continuo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alteración de la granulometría.
<ul style="list-style-type: none"> • Moderado consumo de energía. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad al momento de descargar ya que debe disponer de algún tornillo para que pueda realizar dicha función.

Fuente: (McCabe et al., 1998: pp.980-981)

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Mezclador vertical de tornillo de tipo cónico (alternativa 2): consiste en una carcasa cónica con un tornillo sin fin en la parte interior, el cual genera movimiento realizando un flujo ascendente y luego mediante el movimiento de cascada y gravitacional retorne hacia el fondo.

Tabla 9-3: Ventajas y desventajas de un mezclador vertical de tornillo tipo cónico

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Útil para el mezclado de polvos, sólidos y material granulado, ideal para la industria agroalimentaria, química, cosmética y farmacéutica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede originar abrasión por la caída libre y por choque de gránulos contra las paredes del mezclador.
<ul style="list-style-type: none"> • De bajo costo y de mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Presenta dificultad al momento de realizar la limpieza.
<ul style="list-style-type: none"> • Menor requerimiento de espacio por poseer una forma vertical cónico 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad limitada de inclusión de ingredientes líquidos.
<ul style="list-style-type: none"> • De descarga fácil y por completo ya el fondo es de tipo cónico. 	<ul style="list-style-type: none"> • La mezcla se produce lentamente.
<ul style="list-style-type: none"> • Consumo bajo de energía. 	

Fuente: (Borbor y Crespo, 2012: p. 31; Castelló et al., 2017: p.5)

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Mezclador de paleta (alternativa 3): consiste en un recipiente de estructura cilíndrica y vertical unidos a un eje rotatorio central, el cual dispone de palas o paletas y mediante la acción de estas se genera la mezcla de los diferentes componentes. El flujo de polvos se lleva a cabo en tres

dimensiones produciendo un movimiento radial y axial de manera simultáneo.

Tabla 10-31: Ventajas y desventajas de un mezclador de paleta

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> Suelen utilizar para mezclas espesas, como pastas, 	<ul style="list-style-type: none"> Mayor tiempo de mezclado.
<ul style="list-style-type: none"> De bajo costo 	
<ul style="list-style-type: none"> Generan movimiento radial y tangencialmente. 	

Fuente: (Borbor y Crespo, 2012: p. 31); (Castelló et al., 2017: p.5)

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

• **Selección de alternativas propuestas**

Para seleccionar el sistema de mezclado más idóneo y acorde a la necesidad de la empresa fue necesario emplear el método de puntaje ponderado, el cual consiste en evaluar cada una de las alternativas propuestas mediante ciertos criterios de evaluación.

Método de selección: para ello se utilizó el método de Scoring, siendo una herramienta muy útil ya que permite tomar decisiones cuando se tienen varios factores que se evalúan independientemente para distintas alternativas de acción. Consiste en elaborar una matriz el cual contendrá las alternativas, criterios, requerimientos, y parámetros de evaluación, de manera que permita encontrar la mejor alternativa para posteriormente realizar el diseño respectivo, tal como se muestra en la siguiente Tabla 11-3.

Tabla 11-3: Criterios de evaluación

Criterios de evaluación	Descripción
Ensamblaje o construcción	Se refiere al menor número de actividades que se realizan para la construcción del sistema de mezclado.
Operación	Hace referencia al método de fabricación de los productos.
Seguridad	Se refiere a los riesgos que puede generarse al momento de desarrollar el proceso de producción.
Mantenibilidad	Corresponde a las actividades que realizan al momento de dar mantenimiento y el grado de complejidad de la misma.
Ruido	Se refiere al nivel de ruido que presenta el sistema de mezclado al momento de su operación.
Costo	Representa al costo de los materiales para la fabricación final.
Disponibilidad de espacio	Se refiere al espacio que dispone la empresa.
Facilidad de carga/descarga	Hace referencia al grado de complejidad durante la alimentación y descarga del producto.
Consumo de energía	Corresponde a la cantidad de energía que consume el sistema de mezclado.

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Ponderación de criterios de evaluación: para asignar la ponderación de cada criterio se realiza conforme a una escala de 5 puntos: donde 1=deficiente, 2=insuficiente, 3=aceptable, 4=sobresaliente y 5=excelente; dependiendo del cumplimiento de los parámetros y la satisfacción de la empresa, a continuación, se indica en la Tabla 12-3.

Tabla 12-3: Ponderación de criterios de evaluación

Criterios de evaluación	Ponderación (Wi)
Ensamblaje o construcción	4
Operación	4
Seguridad	3
Mantenibilidad	5
Ruido	3
Costo	5
Disponibilidad de espacio	4
Facilidad de carga/descarga	4
Consumo de energía	5

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Rating de satisfacción para cada alternativa

Para determinar el rating de satisfacción de cada alternativa es importante evaluar en una escala de 9 puntos: 1=extra bajo, 2=muy bajo, 3=bajo, 4=poco bajo, 5=medio, 6=poco alto, 7=alto, 8=muy alto, 9= extra alto.

Tabla 13-3: Rating de satisfacción para cada alternativa

Criterios de evaluación	Mezclador horizontal de cinta helicoidal	Mezclador vertical de tornillo tipo cónico	Mezclador de paleta
Ensamblaje o construcción	4	7	3
Operación	9	9	9
Seguridad	8	8	8
Mantenibilidad	5	7	4
Ruido	3	3	3
Costo	4	8	5
Disponibilidad de espacio	6	4	6
Facilidad de carga/descarga	8	7	6
Consumo de energía	5	8	5

Fuente: (Roche y Vejo, 2005: pp. 2 – 3)

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Cálculo de ponderación para cada alternativa

La matriz de ponderación consiste en la relación que existe entre los resultados de ponderación asignada a cada uno de los criterios con el rating de satisfacción de cada alternativa.

La puntuación de cada alternativa se calcula multiplicando entre el rating de satisfacción con la ponderación de criterios de evaluación y sumando los resultados de cada criterio.

Tabla 14-3: Matriz de ponderación para cada alternativa

Criterios de evaluación	Ponderación (Wi)	Mezclador horizontal de cinta helicoidal	Mezclador vertical de tornillo tipo cónico	Mezclador de paleta
Ensamblaje o construcción	4	4	7	3
Operación	4	9	9	9
Seguridad	3	8	8	8
Mantenibilidad	5	5	7	4
Ruido	3	3	3	3
Costo	5	4	8	5
Disponibilidad de espacio	4	6	4	6
Facilidad de carga/descarga	4	8	7	6
Consumo de energía	5	5	8	5
Puntuación		211	256	199

Fuente: (Roche y Vejo, 2005: pp.2 – 3)

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Tabla 14-3, la matriz de cálculo indica que el mezclador vertical de tornillo tipo cónico corresponde a la mejor alternativa de selección ya que cumple con los requerimientos más idóneos.

3.2.6.2 Dimensionamiento de la carcasa de mezclado

Habiendo seleccionado el sistema de mezclado más idóneo se procede a realizar los respectivos cálculos de ingeniería. El sistema de mezclado se diseñará para una capacidad de 5 kg de harina de trigo, y adaptado para el área de aseguramiento de calidad y control que realiza la empresa. Se diseñará una carcasa de tipo cónica.

- **Parámetros de diseño**

Capacidad de sistema de mezclado: se determina mediante el peso de la materia prima a mezclarse y la densidad de la harina de trigo fortificada, es decir el volumen del mezclador, por lo que se propone diseñar para una masa de 5 kg.

Por tratarse de una receta exclusiva, la densidad de la harina de trigo fortificada se determinó de manera experimental en el laboratorio de la empresa, el cual consistió en pesar una determinada cantidad de muestra y el volumen que ocupa dicha muestra, obteniendo un valor promedio de $701,373 \frac{kg}{m^3}$. Los valores de los ensayos se detallan en los resultados.

– **Cálculo de volumen del mezclador**

$$V_M = \frac{m_d}{\delta_{hf}}$$
$$V_M = \frac{5 \text{ kg}}{701,373 \frac{kg}{m^3}}$$
$$V_M = 0,00713 \text{ m}^3 = 7,13 \text{ L}$$

Dónde:

V_M : Volumen de mezclador, (L).

m_d : Masa de diseño, (kg).

δ_{hf} : Densidad de harina fortificada, (kg/m³).

A fin de evitar pérdidas de muestra se considera un factor de seguridad del 30%, quedando el volumen de la siguiente manera:

$$V_{DM} = V_M + V_M * fs$$
$$V_{DM} = 0,00713 \text{ m}^3 + 0,00713 \text{ m}^3 * 0,30$$
$$V_{DM} = 0,00927 \text{ m}^3 = 9,27 \text{ L}$$

Dónde:

V_{DM} : Volumen de diseño del mezclador, (m³).

fs : Factor de seguridad, (30%).

- Altura del mezclador

Para determinar la altura del mezclador se estima un diámetro superior de 0,20 m y diámetro inferior de 0,06 m, esto conforme a la disponibilidad del espacio de la empresa, particularmente en el área de aseguramiento y control de calidad. Por tanto, es importante considerar que la carcasa donde se va a efectuar el mezclado es de forma cónica, para lo cual se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\pi * h}{3} (R^2 + R * r + r^2)$$
$$h_M = \frac{V_{DM} * 3}{\pi (R^2 + R * r + r^2)}$$
$$h_M = \frac{0,00927 \text{ m}^3 * 3}{\pi [(0,10 \text{ m})^2 + (0,10 * 0,03) + (0,03 \text{ m})^2]}$$
$$h_M = 0,637 \text{ m}$$

Dónde:

h_M : Altura del mezclador, (m).

V_{DM} : Volumen de diseño del mezclador, (m^3).

R : Radio de la parte superior, (m).

r : Radio de la parte inferior, (m).

3.2.6.3 Dimensionamiento del tornillo homogenizador

El tornillo homogenizador permite realizar el mezclado de los aditivos o ingredientes de fortificación y la harina de trigo obtenida del proceso de molienda. Está conformado por una hélice, misma que va montada sobre el eje portante del tornillo, dicho eje se caracteriza por ser el generador del movimiento giratorio al encontrarse engranado a un accionador eléctrico en uno de sus extremos, tal como se indica en la siguiente Figura 1-3.

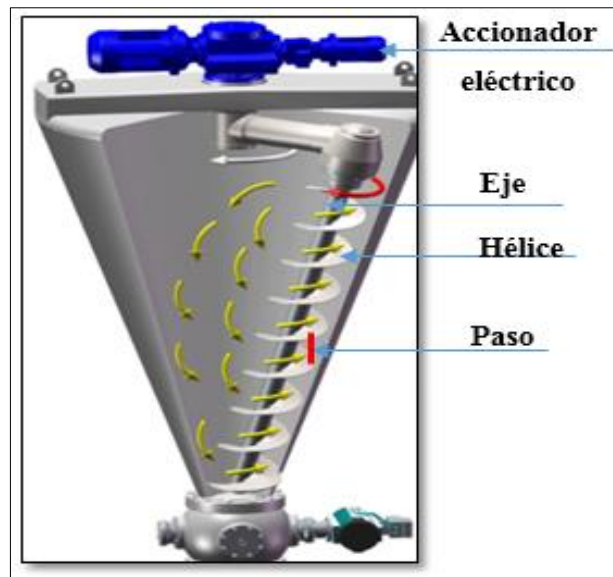


Figura 1-3: Mezclador de tornillo de cono Nauta

Fuente: (Hosokawa Micron, 2018).

- **Componentes del sistema**

- Hélice y eje
- Carcasa
- Paso y diámetro del tornillo:

Paso de tornillo o de hélice: corresponde a la distancia que existe entre 2 hélices consecutivas en la dirección del eje del tornillo (Ingemecanica, sf).

Diámetro de la hélice del tornillo: su dimensión es inversamente proporcional a la velocidad de giro, a su vez puede variar dependiendo de la velocidad de giro, por lo que para velocidades de giro del eje más elevadas será ideal un tornillo de hélices más estrechas (Ingemecanica).

- Velocidad de giro del tornillo

Básicamente la velocidad de giro del tornillo depende directamente del tipo de material a mezclar, además también del diámetro total del tornillo (eje + hélice).

- Accionador eléctrico

Es un dispositivo de accionamiento eléctrico, el cual permite que se produzca el movimiento del eje del tornillo. Está constituido por un motor-reductor, mismo que debe fijarse sobre una base

que dispone la carcasa, de manera que garantice la unión de la mangueta del reductor con el eje del tornillo sin fin mediante un acoplamiento.

- **Consideraciones para el dimensionamiento del tornillo homogenizador**

- Se establece el diámetro exterior de las hélices del tornillo homogenizador de 50 mm.
- La velocidad promedio del tornillo mezclador es de 70 rpm.

- **Volumen de un plano helicoidal**

El volumen llenado en un plano helicoidal de un tornillo de diámetro D y paso S al dar una vuelta completa alrededor del eje queda expresado mediante la siguiente ecuación:

$$V_H = \frac{\pi}{4} D^2 * S$$

Dónde:

D: Diámetro del tornillo homogenizador, (m).

S: Paso del tornillo homogenizador, (m).

Paso del tornillo homogenizador

$$S = \frac{2}{3} D$$

$$S = \frac{2}{3} (0,05 \text{ m})$$

$$S = 0,033 \text{ m}$$

Por lo tanto, el volumen de un plano helicoidal es:

$$V_H = \frac{\pi}{4} * (0,05 \text{ m})^2 * 0,033 \text{ m}$$

$$V_H = 6,48 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

- **Rendimiento volumétrico del tornillo por hora**

$$Q_{vt} = 15 * \pi * D^2 * S * n$$

$$Q_{vt} = 15 * \pi * (0,05 \text{ m})^2 * 0,033 \text{ m} * \left(70 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}\right)$$

$$Q_{vt} = 16,33 \frac{m^3}{h}$$

– **Rendimiento teórico del tornillo helicoidal**

$$Q_{tt} = 15 * \pi * D^2 * S * n * \delta_{hf}$$

$$Q_{tt} = 15 * \pi * (0,05 m)^2 * 0,033m * (70 \frac{rev}{min} * \frac{60 min}{1 h}) * 701,373 \frac{kg}{m^3}$$

$$Q_{tt} = 11452,318 \frac{kg}{h} = 11,45 \frac{ton}{h}$$

Dónde:

Q_{tt} : Rendimiento teórico del tornillo helicoidal.

n : Velocidad de rotación, (rpm).

δ_{hf} : Densidad de harina de trigo fortificada, (kg/m³).

• **Cargas en el álabe del tornillo homogenizador**

Es importante considerar las cargas y esfuerzos que actúan sobre el eje vertical al momento de accionar, ya que el eje está sometido a flexión, torsión y carga axial, con la finalidad de determinar dichos valores se establece la siguiente ecuación:

$$q_T = q_{ht} + q_{mm}$$

Dónde:

q_T : Carga total distribuida – álabe del tornillo homogenizador, (N).

q_{ht} : Carga distribuida – hélice tornillo homogenizador, (N).

q_{mm} : Carga distribuida – peso material a mezclar, (N).

Carga distribuida – hélice tornillo homogenizador:

$$q_{ht} = \frac{\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) * e_a * \delta_m}{\frac{D - d}{2}}$$

Dónde:

D : Diámetro del tornillo homogenizador, (m).

d : Diámetro interno del tornillo homogenizador, (m).

e_a . Espesor del álabe, (m). Corresponde al espesor de acero inoxidable AISI 304, para lo cual se considera el valor de 1,5 mm (Goodfellow).

δ_m : Densidad del material a utilizar, (kg/m³). Dato obtenido de la Tabla A-3-16 (Geankoplis, 1998, p.972), 7817 kg/m³ corresponde a la densidad del acero inoxidable AISI 304.

- Diámetro interno del tornillo homogenizador:

$$d = \frac{2}{10} * D$$

$$d = \frac{2}{10} * 0,05 \text{ m}$$

$$d = 0,010 \text{ m}$$

Por lo tanto, la carga distribuida - hélice de tornillo homogenizador es:

$$q_{ht} = \frac{\frac{\pi}{4} * [(0,05 \text{ m})^2 - (0,010 \text{ m})^2] * 0,0015 \text{ m} * 7817 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{\frac{0,05 \text{ m} - 0,010 \text{ m}}{2}}$$

$$q_{ht} = 1,105 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 0,575 \text{ m} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$q_{ht} = 6,227 \text{ N}$$

Carga distribuida – peso material a mezclar:

$$q_{mm} = \frac{\frac{\pi}{4} * (D^2 - d^2) * S * \delta_{hf}}{\frac{D - d}{2}}$$

$$q_{mm} = \frac{\frac{\pi}{4} * [(0,05 \text{ m})^2 - (0,010 \text{ m})^2] * 0,033 \text{ m} * 701,373 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{\frac{0,05 \text{ m} - 0,010 \text{ m}}{2}}$$

$$q_{mm} = 2,181 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 0,575 \text{ m} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$q_{mm} = 12,289 \text{ N}$$

Dónde:

S: Paso del tornillo homogenizador, (m).

δ_{hf} : Densidad de harina de trigo fortificada, (kg/m³).

Por lo tanto, la carga total distribuida-álabe del tornillo homogenizador queda:

$$q_T = 6,227 N + 12,289 N$$

$$q_T = 18,516 N$$

- **Reacción en el apoyo – álabe de tornillo homogenizador**

$$R_a = q_T$$

$$R_a = 18,516 \frac{kg * m}{s^2}$$

$$R_a = 18,516 N$$

- **Momento flector – álabe de tornillo homogenizador**

$$M_f = -q_t * L_h$$

$$M_f = -18,516 N * 0,575 m$$

$$M_f = -10,647 N.m$$

- **Fuerza cortante y momento flector – álabe del tornillo homogenizador**

Esfuerzo flector – álabe tornillo homogenizador

$$\sigma = \left| \frac{M_f * y}{I} \right|$$

Dónde:

M_f : Momento flector, (N.m).

y : Distancia de la línea neutra a la fibra de análisis, (m). ($d/2$).

I : Momento de inercia de la sección, (m^4).

- Inercia de la sección rectangular

$$I = \frac{1}{12} * L_h * d^3$$

$$I = \frac{1}{12} * (0,575 m) * (0,010 m)^3$$

$$I = 4,792 * 10^{-8} m^4$$

Dónde:

d : Diámetro interno del tornillo homogenizador, (m).

L_h : Longitud de hélice, (m).

Considerando que la distancia desde la línea neutra de la sección hasta el punto de análisis será la mitad del diámetro interno del tornillo homogenizador, esto como consecuencia de que el esfuerzo flector es máximo en la fibra superior:

$$\sigma = \left| \frac{(-10,647 \text{ N.m}) * (0,005 \text{ m})}{4,792 * 10^{-8} \text{ m}^4} \right|$$
$$\sigma = 1,11 * 10^6 \text{ Pa}$$

Habiendo determinado el esfuerzo flector máximo en la sección de análisis, se procede a realizar la comparación entre el esfuerzo obtenido y la resistencia a la fluencia del material (en este caso como se trata de alimentos se empleará acero inoxidable AISI 304), de manera que permita calcular el factor de seguridad, cerciorándose así que la sección no fallará por flexión.

Tabla 15-3: Tensión de acero inoxidable AISI 304

Resistencia (a la tensión)					
Número	Material	Condición	Fluencia (Sy) (Mpa)	Última (Sut)	
				(Mpa)	(Kpsi)
304	Acero inoxidable	Recocido	276	568	82,4

Fuente: (Budynas y Nisbett, 2012; p.1007).

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

- **Factor de seguridad por flexión – álabe tornillo homogenizador**

Hace referencia a la razón que existe entre la resistencia a la fluencia y el esfuerzo flector máximo

$$FS_f = \frac{S_y}{\sigma}$$
$$FS_f = \frac{276 * 10^6 \text{ Pa}}{1,11 * 10^6 \text{ Pa}}$$
$$FS_f = 248,65$$

Dónde:

FS_f : Factor de seguridad por flexión

- **Esfuerzo cortante – álabe tornillo homogenizador**

$$\tau = \frac{3}{2} * \frac{R_a}{A}$$

Dónde:

R: Fuerza cortante, (N).

A: Área transversal de la sección, (m²).

Área sección transversal – álabe tornillo homogenizador

$$A_{st} = e_a * (\pi * d)$$

$$A_{st} = (0,0015 \text{ m}) * (\pi * 0,010 \text{ m})$$

$$A_{st} = 4,712 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

Por tanto, el esfuerzo cortante es:

$$\tau = \frac{3}{2} * \frac{18,516 \text{ N}}{4,712 * 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$\tau = 5,89 * 10^5 \text{ Pa}$$

Resistencia al cortante AISI 304

$$S_{Sy} = 0,506 * S_y$$

$$S_{Sy} = 0,506 * 276 * 10^6 \text{ Pa}$$

$$S_{Sy} = 1,397 * 10^8 \text{ Pa}$$

- **Factor de seguridad por cortante – álabe tornillo homogenizador**

$$F_{S_c} = \frac{S_{Sy}}{\tau}$$

$$F_{S_c} = \frac{1,397 * 10^8 \text{ Pa}}{5,89 * 10^5 \text{ Pa}}$$

$$F_{S_c} = 237,18$$

Como se puede apreciar los valores de factores de seguridad por flexión y por cortante son elevados, dichos datos indican que el valor del espesor del álabe considerado es muy elevado, sin

embargo, es importante tomar en cuenta que el material es expuesto a la soldadura por lo que el espesor queda bien definido.

- **Número de hélices**

$$N_h = \frac{L_h}{S}$$

$$N_h = \frac{0,575 \text{ m}}{0,033 \text{ m}}$$

$$N_h = 17,42 \cong 18$$

El tornillo homogenizador contendrá 18 hélices.

3.2.6.4 Dimensionamiento del eje

Eje: se constituye como un elemento no giratorio, que no transmite par de torsión y que se emplea para soportar ruedas rotatorias, poleas y elementos similares. El material que se debe utilizar para dimensionar los ejes es acero inoxidable AISI 304, por lo que se utilizará las propiedades que presenta. Además, el diámetro del eje homogenizador corresponde al diámetro interno del tornillo homogenizador, mismo que se determinó en el dimensionamiento del tornillo homogenizador, siendo de 0,010 m.

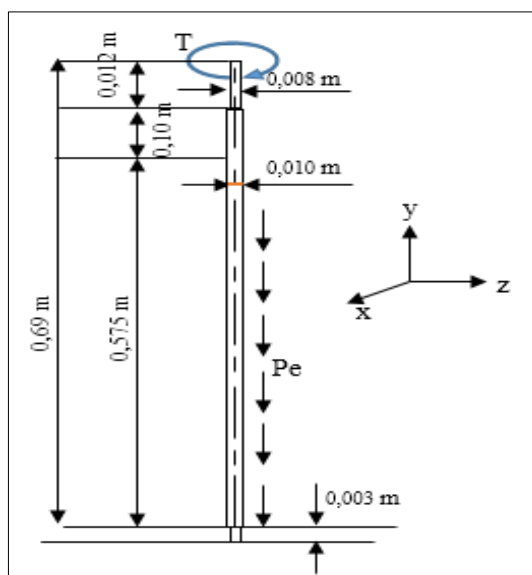


Figura 2-3: Cargas que intervienen en el eje homogenizador

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

- Torque del eje de mezclado

El torque es la fuerza que actúa sobre el eje y produce el movimiento de este. Con la finalidad de hacer girar el eje de mezclado se requiere una potencia de $1/4 \text{ Hp} = 186,5 \text{ W}$, conociendo que la velocidad máxima de giro es de 70 rpm, por lo tanto, el torque del eje de mezclado es:

$$T = \frac{P}{\omega_e}$$

$$T = \frac{186,5 \frac{N * m}{s}}{7,33 \frac{rad}{s}}$$

$$T = 25,44 \text{ N.m}$$

Dónde:

T : Torque, (N.m).

P : Potencia, (W).

ω_e : Velocidad angular, (rad/s). Dato determinado con 70 rpm.

- Esfuerzo cortante permisible

El esfuerzo cortante hace referencia a la fuerza interna que desarrolla un cuerpo como respuesta a una fuerza cortante y que es tangencial a la superficie sobre la que actúa.

$$\tau = \frac{S_y}{fs}$$

$$\tau = \frac{276 \text{ MPa}}{2.5}$$

$$\tau = 110,4 \text{ MPa}$$

$$\tau = 1,104 * 10^8 \text{ Pa}$$

Dónde:

τ : Esfuerzo cortante permisible, (Mpa).

S_y : Límite de fluencia, (Mpa).

fs : Factor de seguridad.

- Carga total que ejerce el eje del homogenizador

Por lo general, el eje a diseñarse es considerado como una viga de voladizo, en el que produce una carga axial generada por la resistencia que ejerce el material al realizar el mezclado y el torque producido por el motor, el cual debe tener la capacidad a fin de vencer el torque de resistencia generado por la inercia propia del tornillo y por la resistencia que ejerce el material a homogenizar al giro del tornillo. Para analizar y determinar la carga que ejerce el eje del homogenizador es importante considerar la siguiente Figura 3-3:

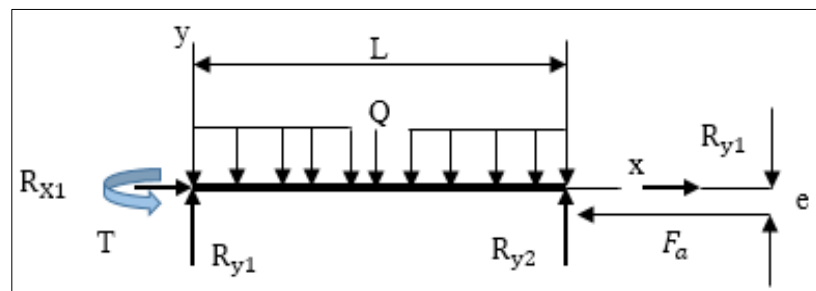


Figura 3-3: Diagrama de cuerpo libre del eje homogenizador

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Al analizar la Figura 3-3 existen tres cargas que intervienen en el eje homogenizador, tal como se indica en la siguiente ecuación:

$$Q_{te} = q_{hm} + q_D + q_d$$

Dónde:

Q_{te} : Carga total del eje, (N).

q_{hm} : Carga distribuida debida a la hélice y material.

q_D : Carga distribuida debida al peso del eje con diámetro mayor, (N).

q_d : Carga distribuida debida al peso del eje con diámetro menor, (N).

Carga distribuida debida a la hélice y material

- Carga distribuida ejercido por el peso de la hélice

$$q_h = \frac{\frac{\pi}{4} * (D^2 - d^2) * e_a * \delta_m}{\left(\frac{D - d}{2}\right)}$$

$$q_h = \frac{\frac{\pi}{4} * (0,010^2 - 0,008^2 \text{ m}^2) * 0,0015 \text{ m} * 7817 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{\left(\frac{0,010 - 0,008}{2}\right) \text{ m}}$$

$$q_h = 0,332 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,69 \text{ m}$$

$$q_h = 2,245 \text{ N}$$

- Carga distribuida ejercido por el peso de la hélice

$$q_m = \frac{\frac{\pi}{4} * (D^2 - d^2) * S * \delta_{hf}}{\left(\frac{D - d}{2}\right)}$$

$$q_m = \frac{\frac{\pi}{4} * (0,010^2 - 0,008^2 \text{ m}^2) * 0,033 \text{ m} * 701,373 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{\left(\frac{0,010 - 0,008}{2}\right)}$$

$$q_m = 0,654 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,69 \text{ m}$$

$$q_m = 4,422 \text{ N}$$

Por lo tanto, la carga distribuida debida a la hélice y el material queda:

$$q_{hm} = 2,245 \text{ N} + 4,422 \text{ N}$$

$$q_{hm} = 6,667 \text{ N}$$

Carga distribuida debida al peso del eje con diámetro mayor

$$q_D = \frac{V_{eD} * \delta_m * g}{L_{eD}}$$

Dónde:

V_{eD} : Volumen del eje homogenizador con diámetro mayor, (m^3).

δ_m : Densidad del material a utilizar, (kg/m^3).

g : Gravedad, (m/s^2).

L_{eD} : Longitud del eje homogenizador con diámetro mayor, (m).

- Volumen del eje homogenizador con diámetro mayor

$$V_{eD} = \frac{\pi}{4} * d_{eD}^2 * L_{eD}$$

$$V_{eD} = \frac{\pi}{4} * (0,010 \text{ m})^2 * 0,675 \text{ m}$$

$$V_{eD} = 5,301 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

Por lo tanto, la carga distribuida debida al peso del eje con diámetro mayor es:

$$q_D = \frac{5,301 * 10^{-5} \text{ m}^3 * 7817 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,675 \text{ m}}$$

$$q_D = 6,016 \text{ N}$$

Carga distribuida debida al peso del eje de diámetro menor

$$q_d = \frac{V_{ed} * \delta_m * g}{L_{ed}}$$

V_{ed} : Volumen del eje homogenizador con diámetro menor, (m^3).

δ_m : Densidad del material a utilizar, (kg/m^3).

g : Gravedad, (m/s^2).

L_{ed} : Longitud del eje homogenizador con diámetro menor, (m).

- Volumen del eje homogenizador con diámetro menor

$$V_{ed} = \frac{\pi}{4} * d_{ed}^2 * L_{ed}$$

$$V_{ed} = \frac{\pi}{4} * (0,008 \text{ m})^2 * 0,012 \text{ m}$$

$$V_{ed} = 6,032 * 10^{-7} \text{ m}^3$$

Por lo tanto, la carga distribuida debida al peso del eje con diámetro menor es:

$$q_d = \frac{6,032 * 10^{-7} \text{ m}^3 * 7817 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,012 \text{ m}}$$

$$q_d = 3,851 \text{ N}$$

Por lo tanto, la carga total distribuida en el eje del homogenizador es:

$$Q_{te} = 6,016 \text{ N} + 3,851 \text{ N} + 6,667 \text{ N}$$

$$Q_{te} = 16,534 \text{ N}$$

La carga total aplicada sobre el eje homogenizador es igual a la reacción en el elemento de sujeción R_y .

- Resistencia a la fatiga del eje

La resistencia a la fatiga es la capacidad del material a resistir cargas de fatiga, luego de haber sido sometido de una cantidad de ciclos de carga.

Las cargas que intervienen en elementos de máquinas generan esfuerzos conocidos como esfuerzos variables, repetidos o fluctuantes, es decir, se da cuando los esfuerzos son repetidos un gran número de veces, y a este fenómeno se conoce como falla por fatiga, pues de allí la importancia de realizar un análisis de resistencia por fatiga, por lo que es necesario recurrir a métodos que ayuden a definir y determinar aspectos relacionados con fallas por fatiga (Budynas y Nisbett, 2012; pp.254-263).

Básicamente en el eje homogenizador se encuentran presentes 2 esfuerzos, una carga axial que es generado por el peso propio de la hélice y del material en la sección del menor diámetro, y un cortante producido por el torque ejercido por el motor.

Esfuerzo axial sobre el eje de mezcla

$$\sigma_{ae} = \frac{R_y}{\frac{\pi * d^2}{4}}$$

$$\sigma_{ae} = \frac{16,534 N}{\frac{\pi * 0,008^2}{4}}$$

$$\sigma_{ae} = 3,289 * 10^5 Pa = 0,3289 MPa$$

Dónde:

R_y : Fuerza axial, (N).

d : Diámetro menor del eje, (m).

En su mayoría los esfuerzos fluctuantes sobre los equipos adoptan la forma de un patrón sinusoidal debido a la naturaleza de ciertos equipos rotatorios, por lo que es importante considerar los picos en el lado alto (máximo) y en el lado bajo (mínimo)

Esfuerzos máximo y mínimo

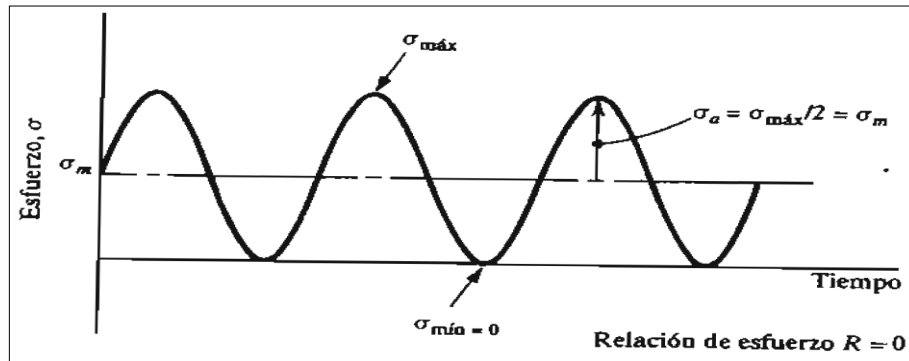


Figura 4-3: Esfuerzo repetido en una dirección; caso especial del esfuerzo fluctuante

Fuente: (Mott, 2006, p.168).

$$\tau_{máx} = 1,104 * 10^8 Pa$$

$$\tau_{mín} = 0$$

- Esfuerzo cortante medio del eje homogenizador

$$\tau_m = \frac{\tau_{máx} + \tau_{mín}}{2}$$

$$\tau_m = \frac{1,104 * 10^8 Pa + 0}{2} = 5,52 * 10^7 Pa = 55,2 MPa$$

- Esfuerzo cortante alternante del eje homogenizador

$$\tau_a = \left| \frac{\tau_{máx} - \tau_{mín}}{2} \right|$$

$$\tau_a = \left| \frac{1,104 * 10^8 - 0}{2} \right| = 5,52 * 10^7 Pa = 55,2 MPa$$

Límite de resistencia a la fatiga

Por lo general, el límite de resistencia a la fatiga para un punto específico se calcula mediante la ecuación establecida por Marín, dicha expresión es aplicable cuando no se dispone de ensayos de resistencia a la fatiga de partes:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e'$$

Dónde:

K_a : Factor de modificación por la condición superficial.

K_b : Factor de modificación por el tamaño.

K_c : Factor de modificación por la carga.

K_d : Factor de modificación por la temperatura.

K_e : Factor de confiabilidad.

K_f : Factor de modificación por efectos varios

S_e' : Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

S_e : Límite resistencia la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

- Factor de superficie (K_a)

El factor de modificación depende de la calidad del acabado de la superficie de la parte, así como de la resistencia a la tensión, mediante los datos recolectados por Lipson y Noll y este a su vez reproducidos por Horger se puede encontrar este factor, mediante la siguiente ecuación:

$$K_a = a * S_{ut}^b$$
$$K_a = 4,51 * 568^{-0,265}$$
$$K_a = 0,839$$

Dónde:

S_{ut} : Resistencia mínima a la tensión, (Mpa).

a y b : Coeficientes. Dato obtenido de la tabla 6-2 de (Budynas y Nisbett, 2012; p.274), al considerar un acabado superficial maquinado o laminado en frío.

- Factor de tamaño (K_b)

El factor de tamaño para flexión y torsión cuando el diámetro del eje homogenizador cumple la condición de $2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm}$, entonces la ecuación a emplear es:

$$K_b = \left(\frac{d_{eh}}{7,62}\right)^{-0,107}$$
$$K_b = \left(\frac{10}{7,62}\right)^{-0,107}$$
$$K_b = 0,971$$

- Factor de carga (K_c)

Se refiere al tipo de carga que va a tener el eje homogenizador, por lo que existen cargas cuando se produce flexión, torsión y axial, tal como se indica a continuación:

$$K_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0,85 & \text{axial} \\ 0,59 & \text{torsión} \end{cases}$$

Para la torsión pura se determina que $K_c \text{ torsión} = 0,577$, caso contrario si la torsión está combinada con la flexión, $K_c = 1$. En este caso se considera $K_c = 0,577$.

- Factor de temperatura (K_d)

El factor de temperatura se refiere a la temperatura de operación, en este caso la temperatura es la del ambiente (20°C), puesto que se da únicamente el mezclado de la harina obtenida del proceso de molienda y los aditivos de fortificación, hasta la obtención de harina fortificada, puesto que el límite de resistencia a la fatiga de los aceros aumenta a medida que incrementa la temperatura y luego comienza a disminuir en el intervalo de 400 a 700 °F (Budynas y Nisbett, 2012; p.277).

$$K_d = 1$$

Dicho dato es obtenido de la tabla 6-4 de (Budynas y Nisbett, 2012; p.278) a temperatura de 20°C, el cual relaciona la resistencia a la tensión a la temperatura de operación (S_T) y la resistencia a la temperatura de operación (S_{RT}).

- Factor de confiabilidad (K_e)

El factor de modificación de la confiabilidad se determina considerando como un factor estadístico y depende de la confiabilidad deseada, por lo que para este caso se estima una confiabilidad del 50%.

$$K_e = 1$$

Donde K_e es obtenido de tabla 6-5 de (Budynas y Nisbett, 2012; p.279) al considerar una confiabilidad del 50%.

- Factor de concentración de esfuerzos a fatiga (K_f)

Por lo general, el factor de concentración de esfuerzos a fatiga se utiliza cuando existen irregularidades o discontinuidades en la pieza, así como orificios, ranuras o muescas que generan el aumento significativo de los esfuerzos teóricos en la cercanía inmediata de la discontinuidad.

$$K_f = 1 + q(K_{ts} - 1)$$

Dónde:

q : Factor de sensibilidad a la muesca

K_f : Factor de concentración de esfuerzos.

- Factor de sensibilidad a la muesca (q)

Tomando en cuenta, el material a utilizarse es de acero inoxidable AISI 304, la resistencia mínima a la tensión es de 82,4 Kpsi, y mediante la figura 5-3 se determinó la sensibilidad a la muesca. Adicionalmente, se considera un radio de muesca de 1,25 mm.

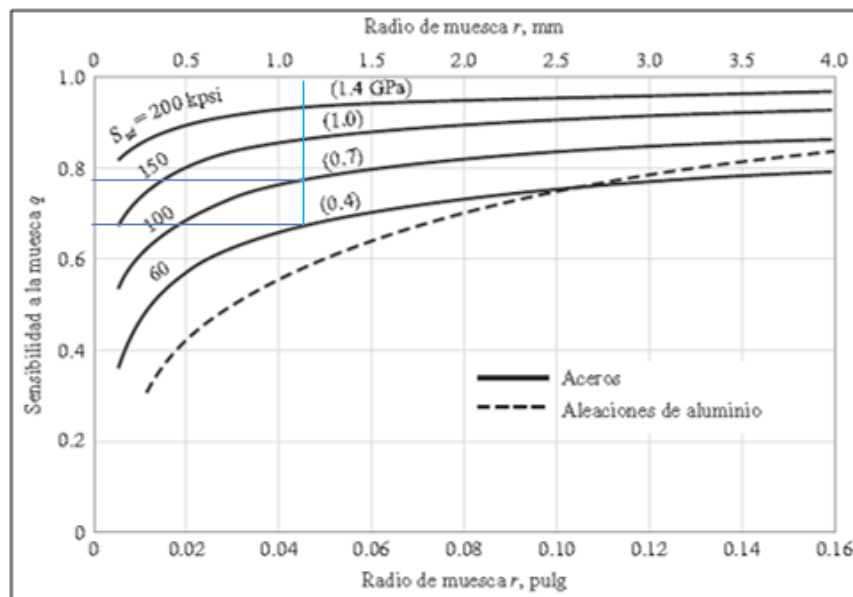


Figura 5-3: Sensibilidad a la muesca en el caso de aceros y aleaciones de aluminio

Fuente: (Budynas y Nisbett, 2012; p.293).

Por lo tanto, mediante interpolación se encuentra $q = 0,7287$.

- Factor de concentración de esfuerzos (K_t)

Considerando las gráficas de factores teóricos de concentración del esfuerzo K_t , $D/d = 10,55/8 = 1,32$ y $r/d = 1,25/8 = 0,15625$ y se lee en la Figura 6-3:

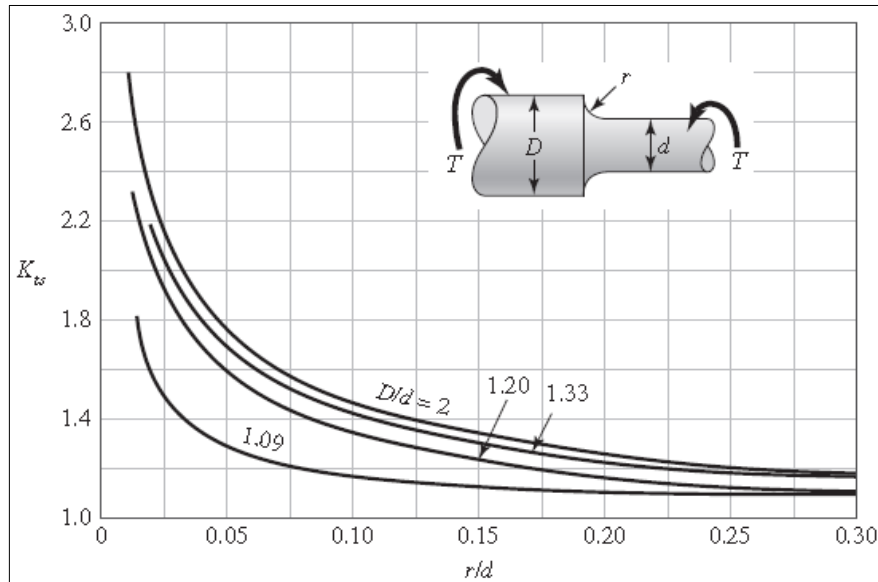


Figura 6-3: Eje redondo con filete en el hombro en torsión

Fuente: (Budynas y Nisbett, 2012; p.992).

La relación entre $D/d = 1,32$, por lo que en la Figura 6-3 no existe una curva que se ajuste a ese valor se realizó mediante interpolación, encontrando $K_{ts} = 1,245$.

Por tanto, el valor de K_f es:

$$K_f = 1 + 0,7287(1,245 - 1)$$

$$K_f = 1,1785$$

- Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria (S_e')

La resistencia a la fatiga para una viga rotatoria es considerada como el 50% de la resistencia a la tracción del material de esta, y sabiendo que la resistencia mínima a la tensión del acero inoxidable AISI 304 es de 568 MPa, por tanto, se tiene:

$$S_e' = 0,5 * S_{ut}$$

$$S_e' = 0,5 * 568 \text{ MPa}$$

$$S_e' = 284 \text{ MPa}$$

Por tanto, el límite de resistencia a la fatiga es:

$$S_e = (0,839)(0,971)(0,577)(1,1785)(284 \text{ MPa})$$

$$S_e = 157327604,8 \text{ MPa}$$

$$S_e = 1,57 * 10^8 \text{ Pa}$$

- Criterio de falla por fatiga ante esfuerzos variables

Con el propósito de verificar si el diámetro seleccionado es el adecuado y cumple con las condiciones de diseño se aplica el criterio de Soderberg, empleado cuando el eje está sometido a flexión totalmente invertida debido a la rotación de este y el esfuerzo de torsión debe ser constante. Siendo aplicable para ejes en rotación sometidos a esfuerzos de flexión y torsión únicamente, sin embargo, es importante considerar que el valor del esfuerzo axial obtenido es pequeño respecto al esfuerzo cortante, por lo que, siendo despreciable para este caso, de modo que se puede aplicar el criterio mencionado sin ningún inconveniente, mediante la siguiente ecuación:

$$n_f = \frac{S_e * S_y}{S_y * \tau_a + S_e * \tau_m}$$

$$n_f = \frac{1,57 * 10^8 \text{ Pa} * 276 * 10^6 \text{ Pa}}{276 * 10^6 \text{ Pa} * 5,52 * 10^7 \text{ Pa} + 1,57 * 10^8 \text{ Pa} * 5,52 * 10^6 \text{ Pa}}$$

$$n_f = 2,69$$

Dónde:

n_f : Factor de seguridad de fatiga.

S_e : Límite de resistencia a la fatiga, (Pa).

S_y : Límite de fluencia, (Pa).

T_a : Esfuerzo cortante alternante del eje homogenizador, (Pa).

T_m : Esfuerzo cortante medio del eje homogenizador, (Pa).

Conforme al resultado obtenido del factor de seguridad se puede apreciar que es un valor ideal para evitar fallas por fatiga, puesto que para determinar el esfuerzo cortante se estimó un factor de seguridad de 2,5, en ese caso el valor es próximo a este.

3.2.7 Validación del proceso

Una vez efectuado el proceso de mezclado entre harina de trigo sin aditivo y los ingredientes o aditivos de fortificación se realizó la respectiva caracterización físico – química y reológica de la mezcla obtenida, en este caso es la harina de trigo fortificada, esto permitió validar el diseño propuesto correspondiente, para lo cual se analizó conforme a la norma NTE INEN 616:2015. Harina de trigo. Requisitos, dichos resultados se encuentran detallados en el capítulo de resultados.

3.2.8 Análisis costo del proyecto

Con el propósito de determinar la factibilidad del proyecto se realizó el análisis de costos, esto implica los costos de material de fabricación, instalación, y los elementos mecánicos requeridos para la construcción del sistema de mezclado, así como también mano de obra.

3.2.8.1 Costos directos

- Costo de materiales que se requieren para la construcción del sistema de mezclado

El costo de los materiales, equipos y accesorios necesarios para la construcción del sistema de mezclado es un valor aproximado ya que depende al momento de implementar, pues para estimar el precio se recurrió al sitio web (<https://spanish.alibaba.com>, 2020), donde se logra definir los precios actuales. A continuación, se detallan en la siguiente Tabla 16-3:

Tabla 16-3: Costo de los materiales necesarios para la construcción del sistema de mezclado

Descripción	Especificaciones	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Carcasa del mezclador	Plancha de acero inoxidable AISI 304, de espesor de 2 mm.	7 kg	3,80	26,60
Eje del homogenizador	Acero inoxidable AISI 304, de 50 mm de diámetro y longitud de 1 m.	1 u	40	40
Hélices	Plancha de acero inoxidable AISI 304, de espesor de 1,5 mm.	0,076 kg	3,80	0,29
Estructura base	Tubo rectangular de 120x80x8, acero inoxidable AISI 304.	58,8 kg	3,80	223,44
Platina de soporte 1	Base triangular e=5 mm	0,097 kg	2,20	0,21
Platina de soporte 2	Base triangular e= 5 mm	0,048 kg	2,20	0,11
Tubo transversal	Tubo cuadrado 40x40x4	0,855 kg	5,00	4,28

Mesa porta mezclador	Base rectangular e=20 mm	16,04 kg	2,15	34,49
Motor eléctrico	De potencia de ¼ Hp	1 u	194,74	194,74
Base del motor	Base circular, espesor de 53 mm	12,60 kg	4,50	56,70
Perno ALLEN	Cabeza hexagonal d=4mm; L=65mm, material acero inoxidable 316.	1 u	33,814	33,81
Perno	IS1364HHS (Grade B)-M16X30-N)	7 u	4,56	31,92
Rodamiento de bolas	6282Z-SKF-8x24x8mm	1 u	4,00	4,00
Válvula de mariposa	T – Smart 7	1 u	120	150
Total				800,59

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

- Costo de mano de obra

El costo de mano de obra se realizó conforme a la tabla de salarios mínimos establecidos por el Ministerio de Trabajo.

Tabla 17-3: Costos del mecanizado y armado del sistema de mezclado

Descripción	Cantidad	Costo unitario \$	Costo total \$
Técnico del sector de metal mecánica	1	207,54	207,54
Total			207,54

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Tabla 18-3: Costos directos totales

Descripción	Costo total \$
Materiales necesarios para la construcción del sistema de mezclado.	800,59
Mano de obra	207,54
Total	1008,13

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

3.2.8.2 Costos indirectos

Tabla 19-3: Costos de materiales indirectos

Descripción	Cantidad	Costo unitario \$	Costo total \$
Rollo de electrodo para proceso MIG	1	65,00	65,00
Transporte	1	40	40,00
Alquiler de maquinaria	-	200,00	200,00
Total			305,00

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

3.2.8.3 Costo total

Tabla 20-3: Costo total

Descripción	Costo total \$
Costos directos	1008,13
Costos indirectos	305,00
Imprevistos 3%	39,40
Total	1352,53

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Para la implementación y construcción del sistema de mezclado se requiere de \$1352,53, este valor abarca los costos directos (materiales, equipos, accesorios, mano de obra) e indirectos.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS

4.1 Análisis de características físico-químicas y reológicas de harina de trigo sin aditivo

A continuación, se indican los resultados obtenidos de la caracterización físico-química y reológica de la harina de trigo sin aditivo:

4.1.1 Características físico-químicas de harina de trigo sin aditivo

Para asegurar un producto de calidad es importante realizar la caracterización físico-química en ciertos puntos de la línea de producción, tal es el caso en el proceso de molienda previo a la fortificación, en el cual se determinó los parámetros que se indica en la siguiente Tabla 1-4:

Tabla 1-4: Características físico-químicas de harina de trigo sin aditivo

Muestra: harina de trigo sin aditivo					
N° Datos	Parámetro	Unidad	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
19	Humedad	%	13,759	0,22	1,6
18	UCDS	%	28,067	1,082	3,85
9	Granulometría	%	96,06	2,4	2,52
19	Gluten húmedo	%	34,947	0,403	1,15
19	Proteína	%	11,388	0,133	1,16
19	Cenizas	%	0,68442	0,02367	3,46
3	Falling Number	-	322	6,56	2,04

Fuente: (Molinos Miraflores, 2019)

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Los resultados detallados en la Tabla 1-4 corresponden a la producción que inició el 23 de agosto de 2019 y finalizó el 13 de noviembre del mismo año, esto concierne desde el día en que fue recolectado la materia prima en los silos que posee la empresa hasta el momento de procesamiento de la misma, obteniéndose harina con humedad promedio de 13,759%, granulometría 96,06%, UCDS 28,067%, gluten húmedo 34,947%, proteína 11,388%, cenizas 0,68442% y Falling Number 322, dichos parámetros se encuentran dentro de la normativa que maneja la empresa.

A fin de analizar y verificar la variabilidad de datos se emplea herramientas estadísticas, así como la media, desviación estándar y el coeficiente de variación, lo cual garantiza la confiabilidad de estos. En efecto, en la Tabla 1-4 se puede observar que al analizar 19 muestras para determinar humedad, gluten húmedo, proteína y cenizas se obtienen una desviación estándar de 0,22, 0,403, 0,133 y 0,02367 respectivamente, dichos valores indican que los datos obtenidos varían muy poco, es decir hay poca dispersión de datos; para UCDS son analizadas 18 muestras, obteniéndose una desviación estándar de 1,082, este valor indica que los datos encontrados varían poco; para granulometría son ensayadas 9 muestras con lo cual se obtiene una desviación estándar de 2,4, como se puede apreciar este valor indica que hay una variación considerable entre los datos conseguidos, este parámetro puede variar debido a las condiciones de operación, naturaleza del cereal y de las características del equipo utilizado; y para Falling Number son analizados 3 muestras, obteniendo una desviación estándar de 6,56, dicho valor indica que existe una dispersión significativa de datos, sin embargo, conforme al coeficiente de variación indica que hay poca variación de datos, puesto que esta variable estadística es evaluada en un intervalo de 0–1, de modo, si tiende a 1 hay variabilidad en los datos, mientras que si tiende a 0 indica que existe poca variabilidad, en este caso está expresada en %, por lo que se deduce que hay poca variación de datos, e incluso en los otros parámetros analizados.

4.1.2 Características reológicas de harina de trigo sin aditivo

Las propiedades reológicas de harina de trigo sin aditivo se determinaron en el equipo Mixolab, el cual mide la consistencia de una masa sometida a la doble presión del amasado y al incrementar la temperatura, permitiendo así analizar la calidad de las proteínas y del almidón. Este equipo mide en tiempo real el torque (Newton x metro) que se produce durante el amasado de harina de trigo con el agua, registrándose la variación del esfuerzo durante las 5 etapas, tal como se puede observar en la Tabla 2-4:

Tabla 2-4: Características reológicas de harina de trigo sin aditivo. Perfil Mixolab

Muestra: harina de trigo sin aditivo				
N	Parámetro	Unidad	Media	Criterios de evaluación
2	Hidratación	-	66,7	-
2	Humedad	%	13,4	-
2	C1	Nm	1,148	-
2	C2	Nm	0,434	-
2	C3	Nm	1,423	-
2	C4	Nm	1,173	-
2	C5	Nm	1,811	-
2	C1 Esta.	Min	6,85	-

2	Índice de absorción	-	9	Cuanto mayor es el valor, > será la absorción de agua.
2	Índice de amasado	-	3	Cuanto mayor es el valor, > estabilidad durante el amasado.
2	Índice de gluten +	-	2	Cuanto mayor es el valor, el gluten es más resistente al calor.
2	Índice de viscosidad	-	2	Cuanto mayor es el valor, aumenta la viscosidad de la masa ante el calor.
2	Índice de amilasas	-	4	Cuanto mayor es el valor, < actividad amilásica.
2	Índice de retrogradación	-	4	Cuanto mayor es el valor, < tiempo de duración de conservación del producto.

Fuente: (Molinos Miraflores, 2019)

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Los resultados de la Tabla 2-4 se obtuvo mediante el software integrado que brinda el equipo Mixolab que dispone la empresa, dicho equipo emite una curva estándar, y estos a su vez son transformados en 6 índices los cuales se evalúan en un rango entre 0 – 9, entre ellos se tiene: absorción de 9, este valor indica que la harina de trigo extraída del proceso de molienda puede absorber mayor cantidad de agua; amasado de 3, siendo poco inestable durante el amasado; gluten+ de 2, siendo menos resistente al calor ya que presenta un valor bajo; viscosidad de 2, indicando que disminuye la viscosidad de la masa ante el calor ya que se obtuvo un valor bajo; amilasa de 4, presentando una actividad amilásica media ya que se obtuvo un valor intermedio; y finalmente retrogradación de 4, este valor indica que el tiempo de duración de conservación del producto final es considerable, ya que mientras mayor valor se obtenga el tiempo tiende a disminuir.

Además, también se puede apreciar el análisis de C1, que indica el comportamiento durante el amasado), C2 representa la calidad de las proteínas, C3 representa la gelatinización del almidón, C4 corresponde a la actividad amilásica y C5 se refiere a la retrogradación del almidón, dichos parámetros son ensayados en función de la temperatura, es decir los valores corresponden a los resultados cuando se realizan ensayos o pruebas durante el amasado de harina de trigo con el agua.

4.2 Determinación de las variables de proceso para el diseño teórico del sistema de mezclado

Básicamente, las variables más importantes para el dimensionamiento teórico del sistema de mezclado son:

4.2.1 Capacidad del sistema de mezclado

Tomando en consideración que el requerimiento del sistema de mezclado es específicamente para el área de Aseguramiento de Control de Calidad de la empresa se consideró para una capacidad de 5 kg, esta variable siendo de mayor relevancia para el dimensionamiento del equipo.

4.2.2 Densidad de harina de trigo fortificada

La densidad de la harina de trigo fortificada se determinó de forma experimental ya que se trata de una receta y mezcla exclusiva, encontrando los siguientes valores:

Tabla 3-4: Datos experimentales de densidad de harina de trigo fortificada

N° de repeticiones	Volumen (ml)	Masa (g)	Densidad (g/ml)
1	250	175,3426	0,701370
2	250	175,3431	0,7013724
3	250	175,3437	0,7013748
Promedio			0,7013725

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), indica que la densidad aparente de harina se encuentra en el intervalo de 500-800 kg/m³, conforme a la Tabla 3-4 se obtuvo una densidad de 701,373 kg/m³, por lo que se destaca que la harina obtenida se encuentra dentro del rango que establece dicha entidad.

4.2.3 Volumen del mezclador

Al momento de dimensionar los equipos, el volumen del mezclador es una variable muy importante, por lo que se determinó mediante la relación entre la masa y volumen, en este caso como se obtuvo la capacidad de mezclado de 5 kg y la densidad de harina de trigo fortificada de $701,373 \frac{kg}{m^3}$ se encontró el volumen a diseñar, adicionalmente se consideró un factor de seguridad del 30%, resultando que el mezclador debe tener un volumen de $0,00927 m^3 = 9,27 L$.

4.3 Resultados del dimensionamiento teórico del sistema de mezclado

Previo al dimensionamiento del sistema de mezclado se realizó la selección y análisis de las posibles alternativas de mezcladores, ya que hoy en día existe una variedad de equipos para este

fin, pues para ello se obtuvo tres tipos siendo el mezclador horizontal de cinta, mezclador vertical de tornillo de tipo cónico y de paleta, y habiendo realizado el respectivo análisis se determinó que el que mejor se ajusta a la necesidad de la empresa es el mezclador vertical de tornillo de tipo cónico.

El dimensionamiento se realizó para una capacidad de 5 kg, puesto que el diseño del sistema de mezclado es específicamente destinado para el laboratorio de Aseguramiento de Calidad de la empresa, esto con fines de realizar formulaciones de harina de trigo fortificada. Para efectuar el respectivo diseño y por tratarse de una receta exclusiva se determinó utilizando la densidad de la mezcla (harina de trigo extraída del proceso de molienda y los aditivos de fortificación). A continuación, en la Tabla 4-4 se indica las dimensiones del sistema de mezclado:

Tabla 4-4: Dimensiones del sistema de mezclado

Carcasa del sistema de mezclado			
Descripción	Simbología	Valor	Unidad
Volumen de diseño del mezclador	V_{DM}	0,00927	m^3
Diámetro superior	D	0,20	m
Diámetro inferior	d	0,06	m
Altura del mezclador	h_M	0,637	m
Tornillo homogenizador			
Diámetro del tronillo homogenizador	D	0,050	m
Paso del tornillo homogenizador	S	0,033	m
Longitud de hélice	L_h	0,575	m
Velocidad de rotación	n	70	rpm
Número de hélices	N_h	18	<i>unidad</i>
Espesor del álabe o hélice	e_a	1,5	mm
Potencia del motor	P_m	1/4	Hp
Eje del tornillo homogenizador			
Diámetro mayor del eje	D	0,010	m
Diámetro menor del eje	d	0,008	m
Torque	T	25,44	$N.m$
Longitud del eje	L_e	0,69	m
Longitud de eje de diámetro mayor	L_{eD}	0,675	m
Longitud de eje de diámetro menor	L_{ed}	0,012	m
Límite de resistencia a la fatiga	S_e	1,5710 ⁸	Pa

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Cabe resaltar, el material que se debe emplear para la construcción del sistema de mezclado es de acero inoxidable AISI 304, puesto que para el dimensionamiento se consideró dicho material, además por tratarse de alimentos.

4.4 Validación del diseño propuesto

Con el propósito de validar el diseño teórico del sistema de mezclado se caracterizó la harina de trigo fortificada, en el que se determinó parámetros físicos, químicos y reológicas, y en base a la norma NTE INEN 616:2015. Harina de trigo. Requisitos se evaluó el cumplimiento de los estándares de calidad. El análisis se efectuó en el Laboratorio de Aseguramiento de Calidad de Molinos Miraflores S.A., debido a la disposición de equipos altamente tecnológicos, el cual ha permitido brindar productos de calidad de manera eficiente.

4.4.1 Caracterización fisicoquímica de harina de trigo fortificada

Tabla 5-4: Características físico-químicas de harina de trigo fortificada

Muestra: harina de trigo con fórmula						
N° Datos	Parámetro	Unidad	Valor obtenido	NTE INEN 616	Desviación estándar	Coeficiente de variación
				Harina para todo uso		
386	Humedad	%	13,636	14,5, máx.	0,281	2,06
377	UCDS	%	28,078	-	1,018	3,62
384	Ascórbico N° pts.	-	36,859	-	11,88	32,23
383	Hierro	ppm	51,932	-	4,82	9,28
100	Granulometría	%	96,93	95, mín.	0,937	0,97
386	Gluten húmedo	%	35,19	25, mín.	0,435	1,24
386	Proteína	%	11,466	9, mín.	0,142	1,24
386	Cenizas	%	0,6415	0,8 máx.	0,02045	3,19
58	Falling Number	-	328,93	-	16,39	4,98

Fuente: (Molinos Miraflores, 2019).

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Tabla 5-4, destaca que la harina de trigo fortificada obtenida presenta una humedad de 13,636%, granulometría de 96,93%, gluten húmedo de 35,19%, proteína de 11,466% y cenizas de 0,6415%, estos valores al ser comparados con la norma NTE INEN 616:2015. Harina de trigo. Requisitos, indica que todos los parámetros se encuentran dentro del límite que establece la norma, por lo cual la harina de trigo fortificada es de calidad y apto para consumo humano. Además, al analizar las diferentes muestras se puede observar que existe muy poca dispersión de datos, esto conforme a la desviación estándar y coeficiente de variación.

4.4.2 Contaminantes analizados en harina de trigo fortificada

Tabla 6-4: Metales pesados en harina de trigo

Metal	Método	Resultado	Unidad
Cadmio	Absorción atómica	<0,05	$\frac{mg}{kg}$
Plomo	Absorción atómica	<0,05	$\frac{mg}{kg}$

Fuente: (LACONAL, 2019)

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Según los resultados de la Tabla 6-4, la harina de trigo producida en la empresa presenta valores bajos con respecto al límite que establece para granos de trigo, por tanto, el producto final obtenido se encuentra bajo norma.

4.4.3 Caracterización reológica de harina de trigo fortificada

Para corroborar las características de la masa durante el amasado y calidad de proteínas y de almidón que se encuentran presentes en la harina de trigo fortificada se determinó las características reológicas de la misma, pues para ello se empleó el equipo Mixolab, dichos resultados se indica a continuación:

Tabla 7-4: Características reológicas de harina de trigo fortificada. Perfil Mixolab

Muestra: harina de trigo con formulación					
N	Parámetro	Unidad	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
71	Hydration	-	65,592	0,532	0,81
71	Humedad	%	13,635	0,273	2
71	C1	Nm	1,0973	0,027	2,46
71	C2	Nm	0,3151	0,01946	6,18
71	C3	Nm	1,3061	0,0497	3,81
71	C4	Nm	1,0872	0,0557	5,12
71	C5	Nm	1,5977	0,0895	5,6
71	C1 Esta.	min	8,9949	0,4532	5,04
71	Índice de absorción	-	8,1268	0,3351	4,12
71	Índice de amasado	-	4,0141	0,5208	12,97
71	Índice de gluten +	-	0,831	0,3774	45,42
71	Índice de viscosidad	-	2,0563	0,2322	11,29
71	Índice de amilasas	-	3,8028	0,4666	12,27
71	Índice de retrogradación	-	3,0845	0,2801	9,08

Fuente: (Molinos Miraflores, 2019)

Realizado por: Ortiz Jácome, Lenin, 2020.

Según la Tabla 7-4 la harina de trigo fortificada presenta:

Hidratación del 65,592%, este valor al compararlo con los resultados reportados por (Álvarez, 2012, p.) específicamente para harina de trigo importada obtuvo el 63,1%, lo cual indica que los valores encontrados son similares, ya que en la empresa utilizan como materia prima trigo importado.

C1, representa el comportamiento de absorción de agua durante el amasado, se obtuvo el valor de 1,0973 Nm, este dato al compararlo con 1,07 Nm reportado por (Álvarez, 2012, pp.53-54) se aproxima, como se puede observar se encuentra dentro del intervalo normal, por lo tanto, la harina presenta características adecuadas para el proceso de panificación.

C2, se refiere a la calidad de proteína, con valor de 0,3151 Nm, dicho valor muestra que la harina en su composición tiene proteína de calidad ya que se encuentra por debajo de 0,5 Nm, permitiendo así conseguir una masa con tenacidad ideal y panes voluminosos, esto debido a la acción térmica en la que la temperatura aumenta y la consistencia disminuye; lo contrario ocurre cuando es superior a 0,6 Nm, ya que proporcionará una masa con tenacidad elevada y un pan de poco volumen.

C3, representa la gelatinización del almidón, con 1,3061 Nm, indica que el almidón presente en la harina es muy bueno, esto debido a la comparación con los resultados obtenidos por (Álvarez, 2012, p.55) en el que obtuvo 1,45 Nm. Este parámetro suele verse afectado por la calidad de almidón y la actividad amilásica, es decir, mientras mayor sea la calidad de almidón y una baja actividad amilásica se tendrá un C3 más alto, mientras tanto, si el valor o par es bajo da lugar a un pan de poco volumen y de miga pegajosa, lo cual afectaría la textura del mismo.

C4, representa la actividad amilásica, con 1,0872 Nm, este valor al ser comparado con el dato obtenido por (Álvarez, 2012, pp.53-55), para harina de trigo de 1,39 Nm es cercano al valor encontrado. Las enzimas amilásicas son encargadas de desdoblar el almidón en dextrinas y estas empezarán a actuar durante el proceso de cocción al llevarse a cabo la gelificación del almidón donde al enfriarse la masa aumenta su consistencia.

C5, representa la retrogradación del almidón de 1,5977Nm, este valor al ser comparado con el dato obtenido por (Núñez, 2017, 23) de 1,49 Nm para harina de trigo 100% indica que es un valor similar al encontrado. Corresponde a la fase de enfriamiento donde el almidón logra estructurarse de nuevo luego de la gelatinización, lo cual indica el tiempo de vida útil del producto final.

C1 Esta., representa el tiempo de desarrollo de la masa, obteniendo un período de 8,9949 min, se considera como el tiempo adecuado para llevar a cabo el amasado, además este parámetro suele verse afectado por la calidad del gluten.

Índice de absorción de 8,1268, al comparar con los resultados reportados por (Álvarez, 2012, pp.39-40) para harina de trigo importado obtuvo 8, y Lascano (2010) destaca que debe encontrarse entre 7 - 8, encontrándose entre los valores establecidos, por lo que se considera como un valor ideal para el proceso de panificación. En efecto, según Clair (2009), menciona mientras más alto es el valor de absorción de agua cuanto mayor será su rendimiento, por lo que este parámetro indica el rendimiento de harina en la producción de pan.

Índice de amasado de 4,0141, este valor al comparar con los resultados obtenidos por (Álvarez, 2012, p.41) para harina de trigo importado y nacional de 5 y 2 respectivamente, se encuentra dentro de ese intervalo. Este parámetro suele variar principalmente por la cantidad de gluten que se encuentra presente en la harina, es decir, a mayor cantidad de gluten existe mayor resistencia a la acción del amasado.

Índice de gluten + de 0,831, dicho valor resultó ser bajo en comparación con los datos obtenidos por (Álvarez, 2012, p.42) en el que obtuvo 3,5 para harina de trigo importado. Este parámetro suele variar por la operación de secado al utilizar flujos de aire caliente con temperaturas mayor a 60°C, y como consecuencia de ello puede afectar a las proteínas formadores de gluten como son las gluteninas y gliadinas presentes en el trigo, ya que son las encargadas de proporcionar elasticidad, extensibilidad y estructura de la masa.

Índice de viscosidad de 2,0563, de igual forma al comparar con los datos de (Álvarez, 2012, p. 43) para harina de trigo importada obtuvo 4,5, mientras que, para harina de trigo nacional de 2, por lo que se deduce que podría tratarse de una mezcla con trigo nacional, o a su vez podría haber variado debido a la cantidad de almidón presente en la harina, relación entre amilosa/amilopectina y actividad amilásica, ya que estas influyen directamente a este parámetro.

Índice de amilasas de 3,8028, conforme a los resultados encontrados por (Álvarez, 2012, pp. 43-44) para harina de trigo importada de 7 y según (Dubat, 2013) de 5, indica que la actividad amilásica es un valor casi intermedio, por lo cual el índice de viscosidad se vio afectada por este parámetro. Este inconveniente se debe probablemente por la humedad del grano de trigo, lo que ocasiona la germinación de este y activa las enzimas amilásica; también durante la molienda, que podría producirse una elevada cantidad de almidón neto y como consecuencia de ello facilita la acción

enzimática, a fin de evitar este inconveniente se puede aplicar un adecuado proceso de acondicionamiento de trigo.

Índice de retrogradación de 3,0845, este valor según el criterio de (Clair, 2009) indica que el producto final tendrá mayor tiempo de vida útil, puesto que cuanto mayor es el valor, menor será el tiempo de vida útil del producto. Este parámetro podría verse afectado por el índice de gluten ya que influye de forma directa.

CONCLUSIONES

- Se determinó las características físico – químicas de harina de trigo sin fortificar, tales como humedad 13,759%, granulometría 96,06%, gluten húmedo 34,947%, proteína 11,388%, cenizas 0,68442%, UCDS 1,082 y Falling Number 322, y también las características reológicas, donde se analizó índices de absorción 9, amasado 3, gluten+ 2, viscosidad 2, amilasa 4 y retrogradación 4, dichos parámetros se encuentran dentro del rango que maneja la empresa.
- Para realizar el diseño teórico del sistema de mezclado para formulaciones de harina de trigo fortificada se identificó las variables de proceso, siendo las más importantes la capacidad de mezclado, la densidad de la harina de trigo fortificada y el volumen del mezclador, permitiendo dimensionar de acuerdo con la necesidad de la empresa.
- Se realizó los cálculos ingenieriles respectivos para un mezclador vertical de tornillo tipo cónico, carcasa con volumen de $0,00927 m^3$, diámetro superior e inferior de 0,20 m, y 0,06 m respectivamente, y altura de 0,637 m; tornillo homogenizador con diámetro de 0,050 m, paso de 0,033 m, y número de hélices 18 unidades; y eje con longitud total de 0,717 m, la velocidad de giro es de 70 rpm y con potencia de $\frac{1}{4}$ Hp, diseñado en material de acero inoxidable AISI 304 por tratarse de alimentos, constituyéndose así en el equipo más idóneo para realizar las formulaciones de harina de trigo fortificada en el área de Aseguramiento de la Calidad.
- Mediante la caracterización de harina de trigo fortificada se validó el diseño teórico, en el cual se determinó las características físico-químicas como humedad 13,636%, UCDS 28,078%, ácido ascórbico 36,859, hierro 51,932 ppm, granulometría 96,93, gluten húmedo 35,19%, proteína 11,466%, cenizas 0,6415% y Falling Number 328,93, y metales como plomo y cadmio ambos con valor de $<0,05$, comprobándose el cumplimiento que rige la norma NTE INEN 616:2015. Harina de trigo. Requisitos; y reológicas tales como índice de absorción 8,1268, índice de amasado 4,0141, índice de gluten + 0,831, índice de viscosidad 2,0563, índice de amilasas 3,8028 e índice de retrogradación 3,0845.

RECOMENDACIONES

- Realizar la construcción del sistema de mezclado para que pueda ser utilizado en el área de Aseguramiento de Control de calidad de la empresa, esto permitirá tener datos y resultados más confiables y en el menor tiempo posible.
- Seleccionar de manera adecuada los elementos mecánicos necesarios para la construcción del sistema de mezclado, lo cual permitirá el correcto funcionamiento del equipo, además dichos elementos deben ser estandarizados.
- Los componentes y todo el sistema de mezclado deben ser construidos en material de acero inoxidable AISI 304, lo cual garantiza la seguridad alimentaria.
- Tomar en cuenta que la capacidad del sistema de mezclado está diseñada para 5 kg, por lo que es importante no sobrecargar, esto permitirá que el equipo funcione normalmente y garantice la vida útil del mismo.

GLOSARIO

A

Amilopectina: es un polisacárido de estructura ramificada, cuya molécula está constituida de varias unidades de glucosa, se caracteriza por ser fuente de energía y se encuentra en forma de almidón (Contreras , 2016).

Amilosa: es un polisacárido de cadena lineal, constituido por unidades de glucosa, cuya función es fuente de reserva, y se encuentra almacenada en las raíces de las plantas, tubérculos, semillas, así como el trigo, maíz, arroz, etc. (Contreras , 2016).

E

Esfuerzo cortante: es la fuerza interna que desarrolla un cuerpo como respuesta a una fuerza cortante y que es tangencial a la superficie sobre la que actúa (Budynas & Nisbett, 2012).

Exceso de actividad: es un fenómeno que se caracteriza por el aumento de humedad en los granos o semillas, lo cual provoca germinación de estas, y posteriormente se da el aumento excesivo de las enzimas α -amilasas y estas a su vez hace que haya incremento del índice de maltosa (Molinos Victoria, s.f.).

Extensibilidad: se refiere a la capacidad de estiramiento que tiene la masa sin romperse (Lascano, 2010).

F

Fatiga: es la tendencia de un material a romperse cuando es sometido a esfuerzos repetitivos (Budynas & Nisbett, 2012).

Fortificación: proceso que consiste en la adición de aditivos o ingredientes en la harina de trigo extraída del proceso de molienda, cuyo objetivo es enriquecer con elementos nutrientes, así como las vitaminas y minerales necesarios para evitar la deficiencia nutricional (FAO, 2020).

Fuerza axial: es aquella fuerza que actúa directamente sobre el centro axial de un objeto en la dirección del eje longitudinal (Budynas & Nisbett, 2012).

Fuerza tangencial: es la fuerza que actúa a lo largo de un paralelo perpendicularmente a las fuerzas meridianas de compresión en la parte superior y de tracción en la inferior (Budynas & Nisbett, 2012).

G

Gelatinización: es el proceso donde los gránulos de almidón que son insolubles en agua fría y caracterizados por poseer estructuras bien definidas, son calentadas a temperaturas entre 60 - 70°C dando lugar al proceso de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas que son de estructura poco organizadas y más accesibles (Gelatinización , s.f.).

Gluten: es una proteína que se encuentra en la semilla de muchos cereales como el maíz, trigo, cebada, centeno y algunas variedades de avena. En panificación, es el responsable de la elasticidad de la masa de harina, facilitando la fermentación y la consistencia elástica y esponjosa de los panes y masa horneados (FACE, 2018).

H

Hélice: es un dispositivo propulsor formado por palas o aspas, cuya función principal es transmitir energía cinética a un fluido, creando una fuerza de tracción o viceversa (FAO, 2018).

I

Índice de absorción: es la capacidad que tiene la harina para absorber o retener agua, de manera que permita formar una masa con la consistencia óptima. Además, indica el rendimiento en la producción de pan (Lascano, 2010).

T

Torque: hace referencia a la capacidad de giro que tiene una fuerza aplicada sobre un objeto (Valcarce, 2014).

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ PULLUQUITÍN, Miryam Alexandra. Utilización de mejoradores en la harina de trigo nacional (*Triticum aestivum*) para la elaboración de pan [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis de pregrado) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2012.pp. 41-63. [Consulta: 2020-04-15.]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/3091>.

BENAVIDES DOMÍNGUEZ, José Leonardo, & GUANGA CUADRADO, Diego Ricardo. Diseño y construcción de un equipo automático mezclador de resinas adhesivas para la empresa Parquet Los Pinos [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis de pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2013. [Consulta: 2020-03-15]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2958?mode=full>.

BORBOR HIDALGO, Anell Isabel, &

CRESPO

ORDÓÑEZ, Alex Geovanny. Diseño de una línea de producción de fertilizantes pulverizados usando molino de pines [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis de pregrado) Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. 2012. [Consulta: 2020-01-24]. Disponible en: [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/21428/2/TESIS DE GRADO.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/21428/2/TESIS%20DE%20GRADO.pdf).

BUDYNAS, Richard, & NISBETT, Keith. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Novena edición. México: Mc Graw Hill, 2012. pp. 269-296.

CASTILLO HIDALGO, Juan Elías. Caracterización reológica y determinación de tiempo óptimo de mezclado (T.O.M) en mezclas de polvos para uso veterinario [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis de pregrado) Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador. 2011. [Consulta: 2020-02-04]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/fcc352c/doc/fcc352.pdf>.

CATELLÓ GÓMEZ, Marisa; et al. *Mezcla de sólidos* [blog]. 2017. [Consulta: 2020-01-23]. Disponible en: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/1025/82133/Castelló%3BBarrera%3BPérez-Mezclade sólidos.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/1025/82133/Castelló%3BBarrera%3BPérez-Mezclade%20sólidos.pdf?sequence=1).

FOODS NEWS. *Las propiedades reológicas de la harina de trigo.* [En línea] 2015-01-14. [Consulta: 2020-01-20]. Disponible en: <https://www.foodnewslatam.com/paises/86-nicaagua/1836-las-propiedades-reológicas-de-la-harina-de-trigo.html>.

GEANKOPLIS, Christie. *Procesos de transporte y operaciones unitarios.* Tercera edición. México: Continental, S.A. DE C.V.1998.p. 972.

GÓMEZ DE LA TORRE MALDONADO, Armando, & MITAU CARIDE, Joaquín. Diseño y simulación de una mezcladora (80 kg/semana) y dosificadora (1 kg) de polvos finos (café, cacao, azúcar, leche, etc.), y construcción de un modelo [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis de pregrado) Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador. 2006. pp. 32-61. [Consulta: 2020-01-21]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/277/6/T-ESPE-014378.pdf>.

GOODFELLOW. *Acero Inoxidable AISI 304* [blog]. [Consulta: 2020-03-12]. Disponible en: <http://www.goodfellowusa.com/s/Acero-Inoxidable-AISI-304-Hoja.html>.

HOLGUÍN BURGOS, Bertha Patricia, & ALVARADO AGUAYO, Allan Alberto. *Comportamiento de la producción de harina de trigo en Ecuador* [blog]. 2017. [Consulta: 2020-01-28]. Disponible en: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ec/2017/produccion-harina-trigo.html>.

INGEMECÁNICA. *Cálculo de transportadores de tornillo sin fin* [blog]. [Consulta: 2020-03-13]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>.

LASCANO SUMBANA, Alexandra Virginia. Estudio reológico de mezclas de harinas de cereales: cebada (*Hordeum Vulgare*), maíz (*Zea mays*), quinua, (*Chenopodium quinoa*), trigo (*triticum vulgare*) y tubérculo: papa (*Solanum tuberosum*) nacionales con trigo (*Triticum vulgare*) importado para orientar su uso en la elaboración de pan y pastas alimenticias [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis de pregrado) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2010. [Consulta: 2020-04-15]. Disponible en: <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/867>.

MCCABE, Warren; et al. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química.* Cuarta edición. España: Mc Graw-Hill, 1998.pp. 980-981.

MEMPAN. *Harina de trigo panadera* [blog]. [Consulta: 2020-01-20]. Disponible en: <http://www.uco.es/dptos/bromatologia/tecnologia/bib-virtual/bajada/mempan.pdf>.

MIRALBÉS, Carlos. *El almidón* [blog]. 2018. [Consulta: 2020-01-20]. Disponible en: <http://panypizza.com/tecnica/el-almidon/>.

MIRALBÉS, Carlos. *Proteínas de trigo: composición y funcionalidad* [blog]. 2017. [Consulta: 2020-01-20]. Disponible en: <http://panypizza.com/tecnica/proteinas-del-trigo-composicion-funcionalidad/>.

MOLINOS MIRAFLORES S.A. *Molinos Miraflores S.A. Harina de trigo*. [En línea] 2019. [Consulta: 2020-01-16]. Disponible en: <http://www.molinosmiraflores.com>.

MORETA, Modesto. *48 000 toneladas de harina consume el país*. [En línea] 2015-11-29. [Consulta: 2020-01-28]. Disponible en: <https://www.revistalideres.ec/lideres/consumo-harina-ecuador-toneladas-molinos.html>.

MOTT, Robert L. *Diseño de elementos de máquinas*. Cuarta edición. México: s.n., 2006. [Consulta: 2020-03-18]. Disponible en: https://jorgegonzalezconeo.files.wordpress.com/2010/11/disec3b10_mecanico_mott_4ed.pdf.

NÚÑEZ VÁSQUEZ, Bolívar Enrique. Efecto de aceites de soya (*Glycine max*), oliva (*Olea europaea*) y palma (*Arecaceae*) en la reología de la masa e índice de oxidación en cupcakes de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y trigo (*Triticum aestivum*) [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis de pregrado) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2017. pp. 21-23. [Consulta: 2020-04-15]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26309>.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Recomendaciones sobre la fortificación de las harinas de trigo y maíz*. [En línea]. 2009. [Consulta: 2020-01-21]. Disponible en: https://www.who.int/nutrition/publications/micronutrients/wheat_maize_fort_es.pdf

PINEDA VÁSQUEZ, Sara Estefanía. Utilización de harina de malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) en la obtención de productos de panificación [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis de pregrado) Universidad Técnica Equinoccial, Quito, Ecuador. 2013. pp. 49-56. [Consulta: 2020-04-15]. Disponible en: http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5042/1/53961_1.pdf


QUIMINET. *Las mezcladoras de cintas helicoidales para mezclar polvos y granulados* [blog]. 2011. [Consulta: 2020-01-23]. Disponible en: <https://www.quiminet.com/articulos/las-mezcladoras-de-cintas-helicoidales-para-mezclar-polvos-y-y-granulados-2638621.htm>.

ROCHE, Hugo, & VEJO, Constantino. *Material de apoyo. Análisis multicriterio* [blog]. 2005. [Consulta: 2020-02-06]. Disponible en: https://www2.buddyplay.net/?chatbot=true&proactivechat=true&assistantSid=UAcb3324225b2d7fa61613a9b2cba42aoa&utm_expid=.WHdTWDigS8qtdMQ_b50EEg.1&utm_referrer=https%3A%2F%2Fsignup.buddyplay.net%2Fen%2Fhtml%22Fs%2Fregistration%2Feone.html.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Recomendaciones sobre la fortificación de las harinas de trigo y de maíz.* [En línea] 2009. [Consulta: 2020-01-21]. Disponible en: https://www.who.int/nutrition/publications/micronutrients/wheat_maize_fort_es.pdf.

ANEXOS

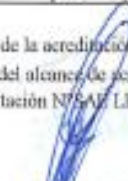

ANEXO A: Resultados de muestras de trigo y harina de trigo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
LABORATORIO DE CONTROL Y ANÁLISIS DE ALIMENTOS

"Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE con acreditación N°: SAE LEN 18-009" **0000273**

CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

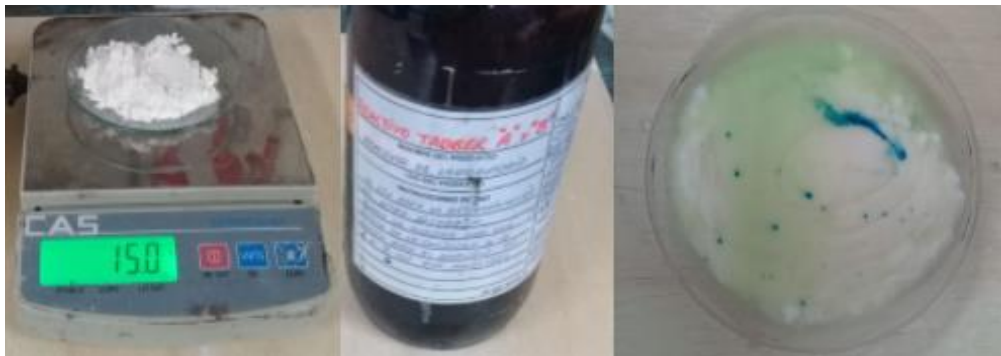
Certificado No: 19-282		E01-18-01				
Solicitud N°: 19-282		Pág. 1 de 1				
Fecha recepción:	09 de diciembre de 2019	Fecha de ejecución de ensayos: 10 de diciembre del 2019 al 08 de enero de 2020				
Información del cliente:						
Empresa:	Molinos Miraflores	C.I./RUC: 1890104195001				
Representante:	Mariana Pinta	Tel: 032823510 - 032422057 ext. 100				
Dirección:		Celular:				
Ciudad:	Ambato	E mail: compras@molinosmiraflores.com				
Descripción de las muestras:						
Producto:	ver código cliente	Peso: 600 g, 600 g				
Marcas comercial:	n/a	Tipo de envase: funda plástica				
Lote:	n/a	No de muestras: dos				
F. Elb.:	n/a	F. Esp.: n/a				
Conservación: Ambiente: X Refrigeración: Congelación Almac. en Lote						
Cierres seguridad: Ninguno: X Intactos: Rotos: Muestreo por el cliente: 10 de diciembre de 2019						
RESULTADOS OBTENIDOS						
Muestras	Código del laboratorio	Código cliente	Ensayos solicitados/ Técnica	Métodos utilizados	Unidades	Resultados
Muestra 1 Harina de trigo	28219565	REG_3804	§Plomo por AA*	Absorción Atómica	mg/kg	<0,05
			§Cadmio por AA*	Absorción Atómica	mg/kg	<0,05
			*Azúcar (trigo), Potasio oxácido	PREN 921	% ácido sulfúrico	0,029
			Gras (extracción directa), Cromatografía	PE13-5-4-PQ AOAC Ed 20, 2016 2003.06	%	0,79
Muestra 2 Trigo	28219566	G4566_78	§Plomo por AA*	Absorción Atómica	mg/kg	<0,1
			§Cadmio por AA*	Absorción Atómica	mg/kg	<0,05
			E. Cell, Compact Dry	PE01-5-4-MB AOAC RL 110402 Ed 20, 2016	UFC/g	<10
			Salmonella, Petrifilm	PE08-5-4-MB AOAC 2014-01 Ed 21, 2016	Em 25g	No detectado
Conds. Ambientales: 21,1 °C; 55,4%HR			Nota: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE. Los análisis subcontratados marcados con § no forman parte del alcance de acreditación de LACONAL y fueron suministrados por el Laboratorio LASA, con número de acreditación N° SAE LEN 18-009, que no está acreditada para realizar dichas actividades.			
 Ing. Gladys Risuelo Directora de Calidad						
Autorización para transferencia electrónica de resultados: Si			Fecha de emisión del certificado: 13 de enero de 2020			
<small>Nota: Los resultados consignados se refieren exclusivamente a la muestra recibida. El Laboratorio no es responsable por el uso incorrecto de estos resultados. No es un documento negociable. No se permite su reproducción sin fines de lucro y siempre referirse a la fuente. Toda información que se está tratando en confidencial, exclusivamente para su destinatario, y no puede ser revelada. Si usted no es el destinatario de esta información por favor destruir el documento. La distribución o copia del mismo está prohibida y será sancionada según el proceso legal pertinente.</small>						

ANEXO B: Análisis físico – químico y reológico de harina de trigo sin aditivo y fortificada

a.



b.



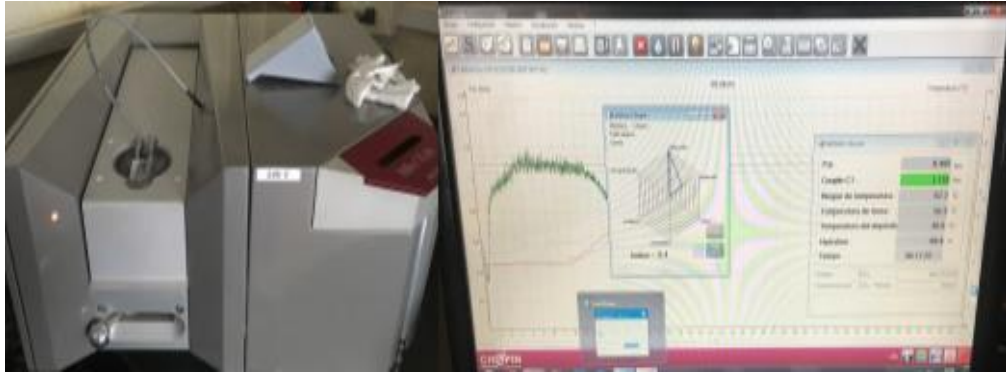
c.



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	TOMA DE MUESTRA Y ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE HARINA DE TRIGO		
			ESCALA	FECHA	LÁMINA
a. Muestreo de harina de trigo	Certificado Aprobado	Realizado por: Lenin Ortiz	A4	2020-07-30	1
b. Determinación de hierro.	Por aprobar Por calificar				
c. Determinación de características reológicas.	Aprobado				

ANEXO C: Análisis proximal, reológico y granulométrico de harina de trigo

d.



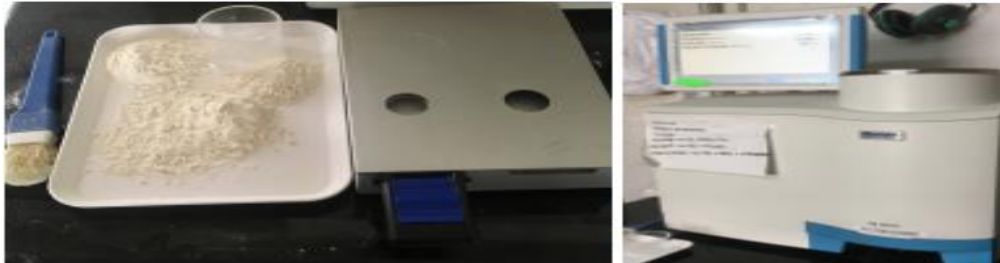
e.



f.



g.



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	TOMA DE MUESTRA Y ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE HARINA DE TRIGO		
			ESCALA	FECHA	LÁMINA
d. Caracterización reológica de harina.	Certificado Aprobado Por aprobar	Realizado por: Lenin Ortiz	A4	2020-07-30	2
e. Equipo de Falling Number.	Por calificar Aprobado				
f. Determinación de granulometría.					
g. Análisis proximal.					

ANEXO D: Valores de coeficiente a y b y factores Kd y Ke

h.

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

i.

Tabla 6-4

	Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero.*	20	1.000	70	1.000
	50	1.010	100	1.008
	100	1.020	200	1.020
(S_T = resistencia a la tensión a la temperatura de operación, S_{RT} = resistencia a la tensión a temperatura ambiente; $0.099 \leq \hat{\sigma} \leq 0.110$)	150	1.025	300	1.024
	200	1.020	400	1.018
	250	1.000	500	0.995
	300	0.975	600	0.963
	350	0.943	700	0.927
	400	0.900	800	0.872
	450	0.843	900	0.797
	500	0.768	1 000	0.698
	550	0.672	1 100	0.567
	600	0.549		

j.

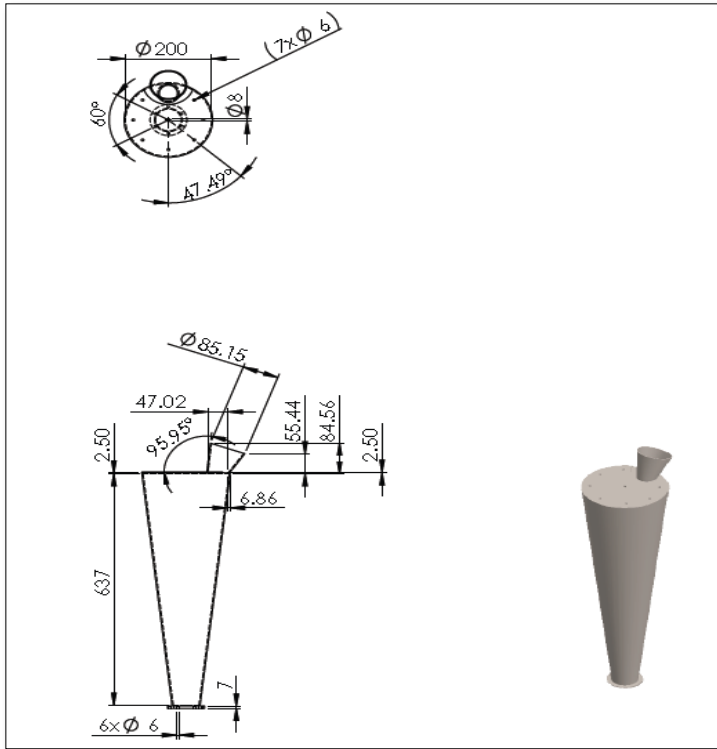
Tabla 6-5

	Confiabilidad, %	Variación de transformación z_α	Factor de confiabilidad k_α
Factores de confiabilidad k_α correspondientes a 8 desviaciones estándar porcentuales del límite de resistencia a la fatiga.	50	0	1.000
	90	1.288	0.897
	95	1.645	0.868
	99	2.326	0.814
	99.9	3.091	0.753
	99.99	3.719	0.702
	99.999	4.265	0.659
	99.9999	4.753	0.620

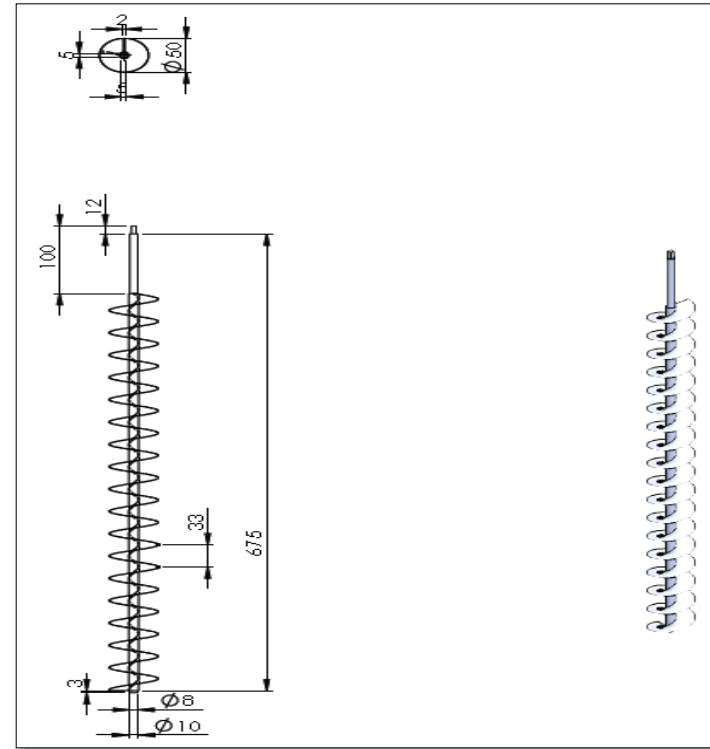
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	TOMA DE MUESTRA Y ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE HARINA DE TRIGO		
			ESCALA	FECHA	LÁMIN A
h. Valores de factor de superficie y tamaño.	Certificado	Realizado por: Lenin Ortiz	A4	2020-07-30	3
i. Datos de factor de temperatura.	Aprobado				
j. Datos de factor de confiabilidad.	Por aprobar				
	Por calificar				
	Aprobado				

ANEXO E: Carcasa del mezclador y tornillo del homogenizador

k.

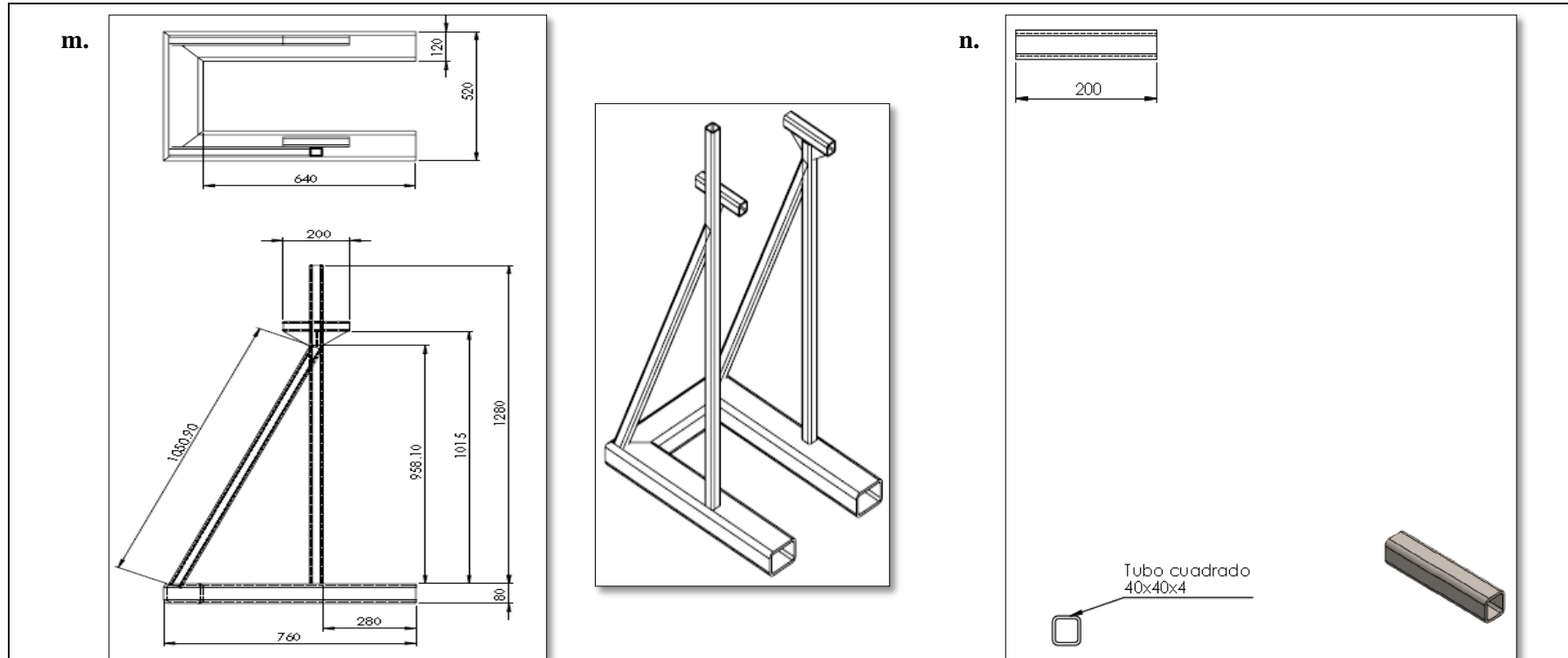


l.



NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Lenin Ortiz	“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEZCLADO PARA FORMULACIONES DE HARINA DE TRIGO FORTIFICADA EN LA EMPRESA MOLINOS MIRAFLORES S.A.”		
k.	Carcasa del mezclador.	Certificado	Por eliminar		ESCALA	FECHA	LÁMINA
l.	Tornillo homogenizador.	Aprobado	Por calificar		1:1	2020-07-30	4
		Por aprobar	Información				

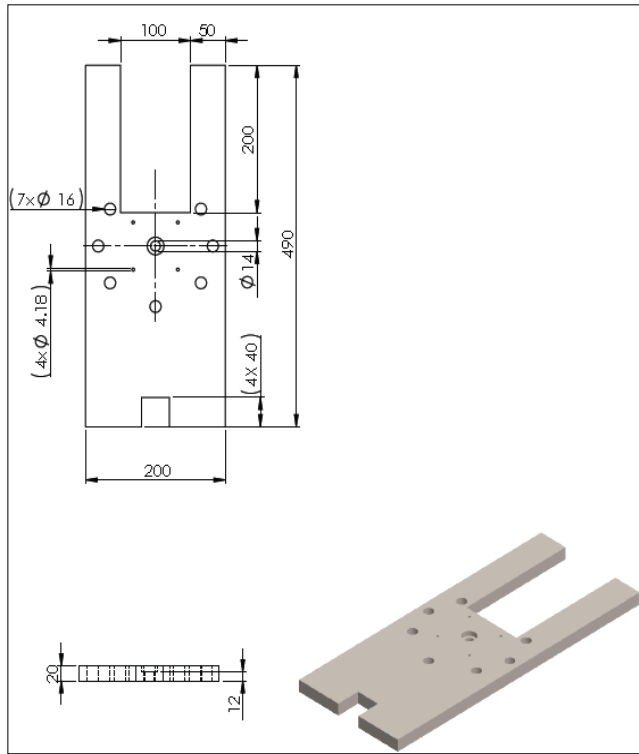
ANEXO F: Estructura base del sistema de mezclado



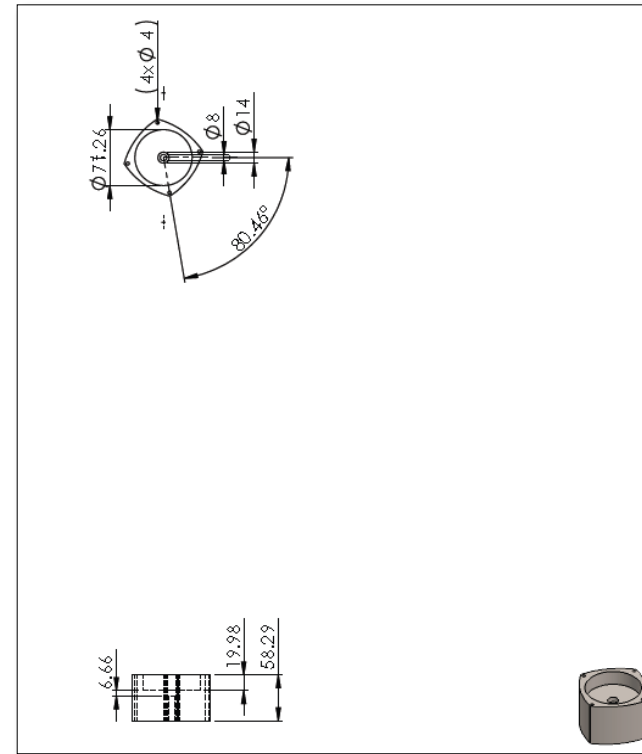
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEZCLADO PARA FORMULACIONES DE HARINA DE TRIGO FORTIFICADA EN LA EMPRESA MOLINOS MIRAFLORES S.A.”					
m. Estructura base.			ESCALA	FECHA	LÁMINA			
n. Tubo transversal	Certificado	Por eliminar				1:1	2020-07-30	5
	Aprobado	Por calificar						
	Por aprobar	Información	Lenin Ortiz					
		<p align="center">ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p>						

ANEXO G: Base del motor y base de acople

o.



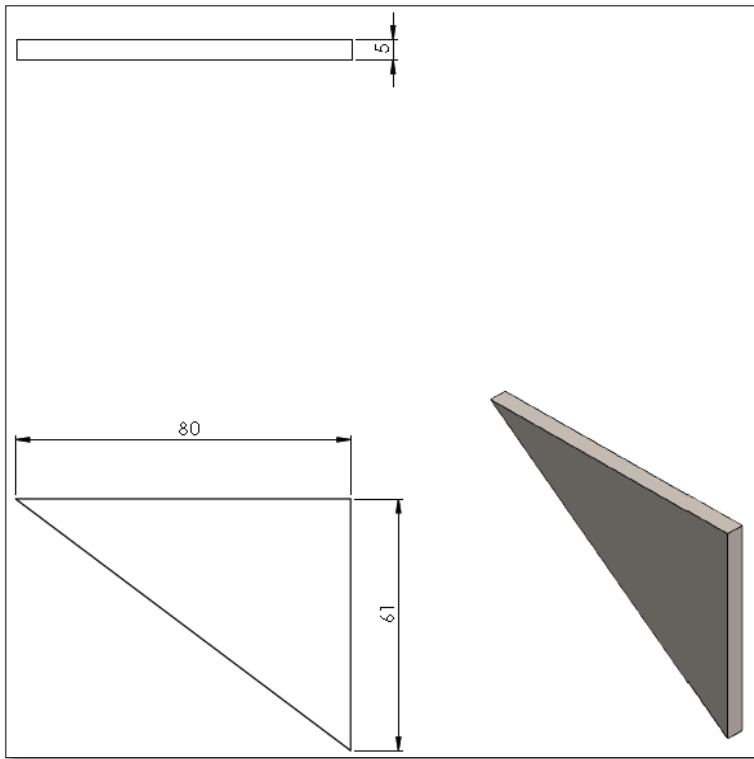
p.



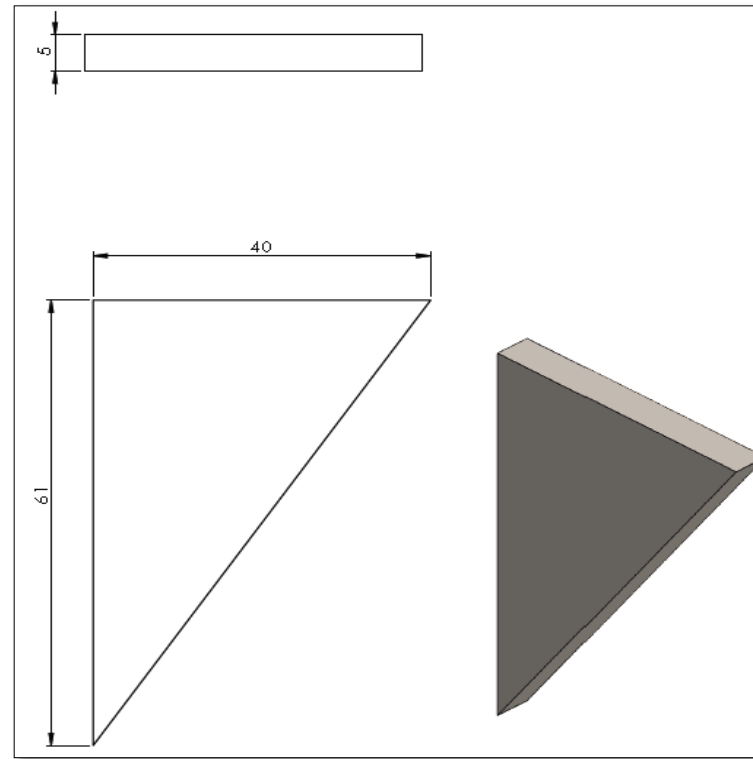
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Lenin Ortiz</p>	<p style="text-align: center;">“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEZCLADO PARA FORMULACIONES DE HARINA DE TRIGO FORTIFICADA EN LA EMPRESA MOLINOS MIRAFLORES S.A.”</p>		
o. Base del motor. p. Base de acople motor-tornillo homogenizador.	Certificado Por eliminar Aprobado Por calificar Por aprobar Información		ESCALA	FECHA	LÁMINA
			1:1	2020-07-30	6

ANEXO H: Platina de soporte 1 y 2

q.

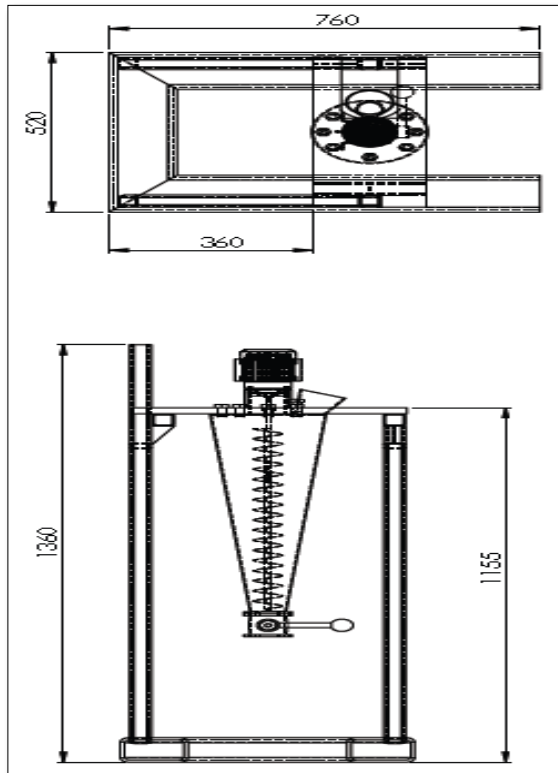


r.

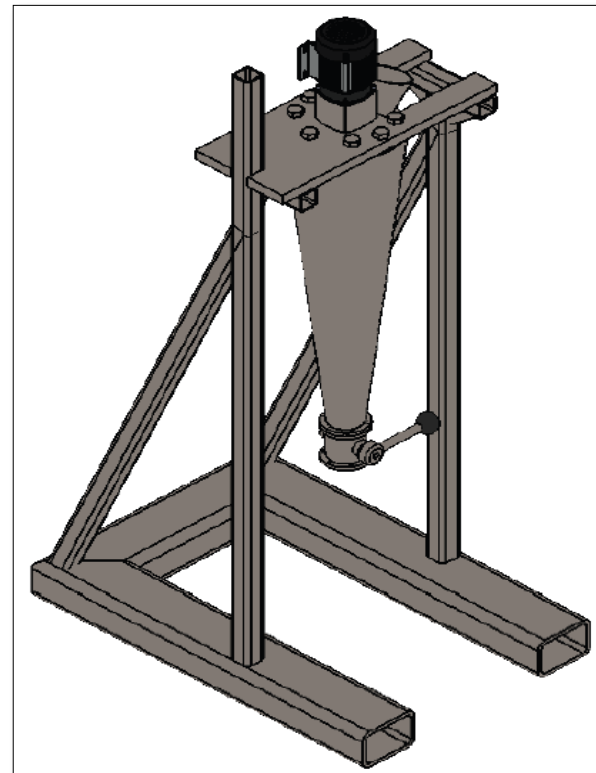


NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA			“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEZCLADO PARA FORMULACIONES DE HARINA DE TRIGO FORTIFICADA EN LA EMPRESA MOLINOS MIRAFLORES S.A.”			
q. Platina de soporte 1.		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Lenin Ortiz					
r. Platina de soporte 2.	Certificado Aprobado Por aprobar						Por eliminar Por calificar Información

ANEXO I: Vistas principales del sistema de mezclado



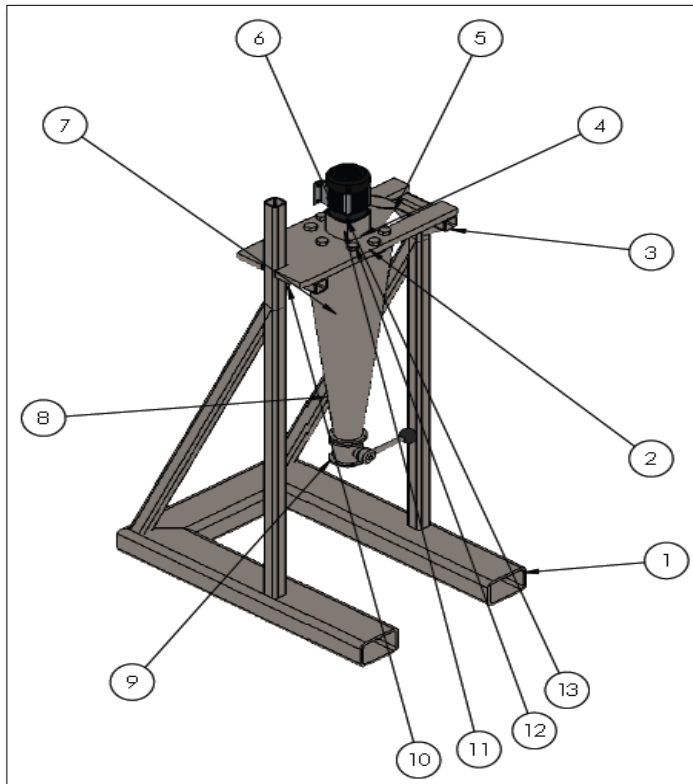
S.



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">Realizado por: Lenin Ortiz</p>	<p style="text-align: center;">“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEZCLADO PARA FORMULACIONES DE HARINA DE TRIGO FORTIFICADA EN LA EMPRESA MOLINOS MIRAFLORES S.A.”</p>		
s. Vista principal del sistema de mezclado.	Certificado Por eliminar Aprobado Por calificar Por aprobar Información		ESCALA	FECHA	LÁMINA
			1:1	2020-07-30	8

ANEXO J: Componentes del sistema de mezclado

t.



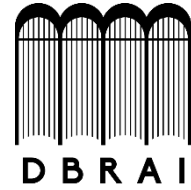
COMPONENTES DEL SISTEMA DE MEZCLADO:

1. Estructura base del sistema de mezclado.
2. Mesa porta mezclador.
3. Tubo transversal.
4. Base del motor.
5. Platina de soporte 1.
6. Motor.
7. Tornillo homogenizador.
8. Carcasa del mezclador.
9. Válvula de mariposa.
10. Platina de soporte 2.
11. Rodamiento de bolas.
12. Perno IS1364HHS (Grade B).
13. Perno ALLEN.

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p>	<p style="text-align: center;">“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MEZCLADO PARA FORMULACIONES DE HARINA DE TRIGO FORTIFICADA EN LA EMPRESA MOLINOS MIRAFLORES S.A.”</p>		
t. Sistema de mezclado.	Certificado Por eliminar Aprobado Por calificar Por aprobar Información		<p style="text-align: center;">ESCALA</p>	<p style="text-align: center;">FECHA</p>	<p style="text-align: center;">LÁMINA</p>
				1:1	2020-07-30



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**



**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS PARA
EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

Fecha de entrega: 11 /08 / 2020

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Lenin Guillermo Ortiz Jácome
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniero Químico
f. Analista de Biblioteca responsable: Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.



11-08-2020

0149-DBRAI-UPT-2020