



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**APROVECHAMIENTO DE LOS FINOS OBTENIDOS EN UN SISTEMA DE CRIBADO DE  
MAÍZ DESGERMINADO PARA UTILIZARLOS EN UN PROCESO DE EXTRUSIÓN DE  
CEREALES**

**Luis Benjamin Herrera Lemus**

Asesorado por el Ing. Marco Tulio Green Olmedo

Guatemala, abril de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**APROVECHAMIENTO DE LOS FINOS OBTENIDOS EN UN SISTEMA DE  
CRIBADO DE MAÍZ DESGERMINADO PARA UTILIZARLOS EN UN  
PROCESO DE EXTRUSIÓN DE CEREALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LUIS BENJAMIN HERRERA LEMUS**

ASESORADO POR EL ING. MARCO TULIO GREEN OLMEDO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, ABRIL DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
EXAMINADORA	Inga. Telma Maricela Cano Morales
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

### **APROVECHAMIENTO DE LOS FINOS OBTENIDOS EN UN SISTEMA DE CRIBADO DE MAÍZ DESGERMINADO PARA UTILIZARLOS EN UN PROCESO DE EXTRUSIÓN DE CEREALES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha veintisiete de enero de 2010.



**Luís Benjamín Herrera Lemus**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



Guatemala, 25 de Octubre de 2009

FACULTAD DE INGENIERÍA

Ingeniero  
Williams Guillermo Álvarez  
Director de Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que como asesor he revisado el Informe Final de Trabajo de Graduación titulado: **“Aprovechamiento de los finos obtenidos en un sistema de cribado de maíz desgerminado, para utilizarlos en un proceso de extrusión de cereales”**, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Química Luís Benjamín Herrera Lemus, carné No. 97-12444.

Sin otro particular me suscribo de usted,

Atentamente,  
Ingeniero Químico Marco Tulio Green  
No. De colegiado 1,135

**MARCO TULIO GREEN OLMEDO**  
**COLEGIADO No. 1135**



Guatemala, 04 de Noviembre de 2009  
Ref. EI.Q.567.2009

Ingeniero  
**Williams Guillermo Álvarez Mejía**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-192-09-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERO QUÍMICO al estudiante **LUIS BENJAMÍN HERRERA LEMUS**, identificado con carné No. **97-12444**, titulado: **“APROVECHAMIENTO DE LOS FINOS OBTENIDOS EN UN SISTEMA DE CRIBADO DE MAÍZ DESGERMINADO, PARA UTILIZARLOS EN UN PROCESO DE EXTRUSIÓN DE CEREALES”** el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico Marco Tulio Green Olmedo, como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice al estudiante **Herrera Lemus** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

“ID Y ENSEÑAR A TODOS”

Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.

COORDINADORA  
Tribunal que revisó el informe final  
Del trabajo de graduación



ESCUELA DE  
INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.004.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **LUIS BENJAMIN HERRERA LEMUS** titulado: **"APROVECHAMIENTO DE LOS FINOS OBTENIDOS EN UN SISTEMA DE CRIBADO DE MAÍZ DESGERMINADO PARA UTILIZARLOS EN UN PROCESO DE EXTRUSIÓN DE CEREALES"** Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
Director  
Escuela de Ingeniería Química

FACULTAD DE INGENIERIA USAC  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
DIRECTOR

Guatemala, marzo 2018

Cc: Archivo  
CSWD/ale



Universidad de San Carlos  
De Guatemala

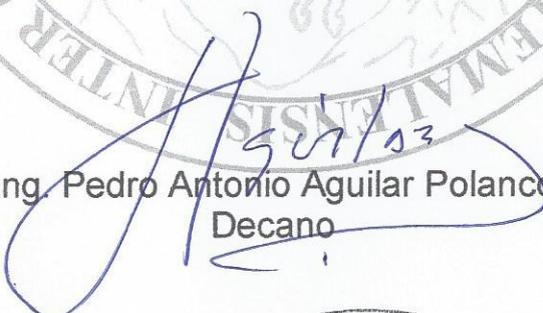


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.116.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **APROVECHAMIENTO DE LOS FINOS OBTENIDOS EN UN SISTEMA DE CRIBADO DE MAÍZ DESGERMINADO PARA UTILIZARLOS EN UN PROCESO DE EXTRUSIÓN DE CEREALES**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Benjamín Herrera Lemus**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, abril de 2018



/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** A ti señor por ser mi fuerza y mi esperanza, porque siempre estas a mi lado
- Mi hija** Por ser mí fuerza, la razón de mi vida, mi inspiración y el motivo de querer ser cada día mejor.
- Mis Padres** Por siempre confiar en mí, por alentarme en cada etapa de mi vida. Este triunfo es para ustedes porque nada de esto hubiese sido posible sin su apoyo incondicional.
- Mis hermanos** Por ser mis compañeros, mis cómplices, mis socios de la vida, los que siempre tuvieron una palabra de ánimo y además un comentario a cualquier decisión que tuve, casi siempre bueno.
- Mis amigos** Los buenos y los malos no saben cuánto les debo. Cada uno de ustedes fue mi escucha, mi consejero y mi aliado en cada proyecto de mi vida.

## AGRADECIMIENTOS A:

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi <i>alma mater</i> , por ser mi casa de instrucción de estudios y de la vida.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por recibirme en sus aulas e instruirme desde el inicio de mi carrera hasta formarme en el profesional que ahora soy.
<b>Mis catedráticos de la Facultad</b>	Por enseñarme pacientemente, por transmitir todo su conocimiento día a día con mucha vocación y aprecio.
<b>Mis amigos de la Facultad</b>	Por estar siempre a mi lado, por ser siempre una fuente de apoyo, compañerismo y tener siempre palabras de aliento y camaradería.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Proceso de elaboración de cereales a base de maíz .....	1
1.2. Separación mecánica .....	2
1.3. Tamizado.....	3
1.4. Cribado .....	4
1.4.1. Cribado fijo.....	4
1.5. Luz de malla .....	5
1.6. Colmatación de mallas en cribas.....	6
1.7. Extrusión.....	7
1.7.1. Equipos de extrusión .....	8
1.7.1.1. Monotornillo .....	8
1.7.1.2. Doble tornillo.....	9
1.7.2. Procedimiento de extrusión .....	10
1.7.2.1. Sección de alimentación.....	10
1.8. Transformación del maíz en harina .....	12
1.8.1. Molienda seca vía molino Beall .....	12
1.9. Especificaciones de la harina de maíz .....	13

2.	MARCO METODOLÓGICO .....	15
2.1.	Metodología de la investigación .....	15
2.1.1.	Flujograma .....	15
2.1.2.	Recursos físicos .....	16
2.1.3.	Recursos económicos .....	16
2.1.4.	Recursos humanos .....	16
2.2.	Metodología experimental .....	16
2.2.1.	Procedimiento de muestreo.....	16
2.2.1.1.	Muestreo materia prima.....	16
2.2.1.2.	Muestreo en sistema de cribado .....	17
2.2.1.3.	Áreas que muestrear .....	17
2.2.2.	Análisis de granulometría .....	19
2.2.2.1.	Equipo .....	19
2.2.2.2.	Procedimiento .....	20
2.2.2.3.	Cálculo .....	20
2.2.2.4.	Tabla comparativa .....	21
2.2.3.	Balance de masa.....	21
2.2.3.1.	Grano quebrado .....	22
2.2.3.2.	Flujo de finos .....	22
2.2.4.	Variación en la velocidad del flujo de alimentación al tamizador .....	22
2.2.4.1.	Comparación de resultados.....	22
2.2.4.2.	Velocidad de flujo de maíz desgerminado.....	23
2.2.5.	Análisis a finos .....	23
2.2.5.1.	Humedad.....	23
2.2.5.1.1.	Equipo .....	24
2.2.5.1.2.	Procedimiento .....	24
2.2.5.2.	Grasa.....	25

	2.2.5.2.1	Equipo .....	25
	2.2.5.2.2.	Reactivos.....	25
	2.2.5.2.3.	Procedimiento.....	26
	2.2.5.2.4.	Cálculos.....	28
2.2.5.3.	Aflatoxina .....		28
	2.2.5.3.1.	Equipo .....	28
	2.2.5.3.2.	Reactivos.....	29
	2.2.5.3.3.	Preparación de la muestra .....	29
	2.2.5.3.4.	Procedimiento.....	29
	2.2.5.3.5.	Resultados.....	31
2.2.5.4.	Material extraño .....		31
	2.2.5.4.1.	Equipo .....	31
	2.2.5.4.2.	Procedimiento.....	31
	2.2.5.4.3.	Cálculo .....	32
2.2.6.	Comparación de resultados de análisis de finos con estándares de calidad .....		32
2.2.7.	Pruebas en extrusor .....		32
2.2.8.	Origen de estadístico del número de repeticiones..		32
CONCLUSIONES .....			49
RECOMENDACIONES.....			51
BIBLIOGRAFÍA.....			53



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Flujograma .....	15
2.	Diagrama del proceso general .....	18
3.	Diagrama área de muestreo en equipo de cribado .....	19

### TABLAS

I.	Especificaciones de harina de maíz .....	14
II.	Especificaciones de granulometría para harina de maíz .....	14
III.	Parámetros de aceptación.....	21
IV.	Resultados granulometría para diferentes puntos muestreo 90 kg/min ..	33
V.	Resultados granulometría para diferentes puntos de muestreo 80 kg/min.....	34
VI.	Resultados granulometría para diferentes puntos de muestreo 70 kg/min.....	35
VII.	Balance de masa para maíz a distintas velocidades de cribado .....	36
VIII.	Análisis materia prima .....	37
IX.	Análisis del flujo de maíz cribado .....	38
X.	Análisis del flujo de desperdicio .....	39
XI.	Comparación de los resultados de generación de desperdicio y cantidad de finos cribados por lotes a distintas velocidades de cribado. ....	40
XII.	Resultados análisis fisicoquímicos de las muestras de harina de maíz ..	40

XIII.	Resultado análisis granulometría para muestras de harina de maíz obtenida del proceso de cribado .....	41
XIV.	Resumen resultados promedio de los análisis fisicoquímicos de las muestras de harina de maíz.....	42

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$F_e$	Flujo entrante de maíz
$F_{mo}$	Flujo de maíz a ollas
<b>Kg</b>	Kilogramos
<b>min</b>	Minutos
<b>ppb</b>	Partes por billón



## **GLOSARIO**

<b>Aflatoxina</b>	Las aflatoxinas son micotoxinas producidas por muchas especies del género de hongos <i>Aspergillus</i> , como metabolitos secundarios. Provocan cáncer en el hígado
<b>Colmatación</b>	La permeabilidad original de una malla de cribado se ha reducido sustancialmente, a causa del progresivo taponamiento de los poros existentes a lo largo del área de trabajo entre las partículas que no pudieron ser separadas.
<b>Cribado</b>	Proceso mecánico que separa materiales de acuerdo a su tamaño
<b>Espectrofotómetro</b>	Instrumento usado en la física óptica que sirve para medir, en función de la longitud de onda, la relación entre valores de una misma magnitud fotométrica relativos a dos haces de radiaciones.
<b>Granulometría</b>	Medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

<b>Grasas</b>	Término genérico para designar varias clases de lípidos. Las grasas pueden ser sólidas o líquidas a temperatura ambiente, dependiendo de su estructura y composición. Aunque las palabras "aceites", "grasas" y "lípidos" son todas usadas para referirse a las grasas.
<b>Harina</b>	Polvo fino que se obtiene de un grano molido.
<b>Humedad</b>	Contenido de agua en un cuerpo. Es la herramienta que se utiliza para el estudio de las características de una población.
<b>Muestreo</b>	Término designado al material que queda hasta el fondo de un sistema de zarandas al cribar cereales. Es el material mas fino de todo el material separado.
<b>Pan</b>	Material que contiene poros pequeños de un tamaño preciso y uniforme que se usa para la separación de partículas de distintos tamaños.
<b>Tamiz</b>	Utensilio consistente en un área agujereada de hecha de varios tipos de materiales sujeta a un marco, que se emplea para separar materiales por tamaños.
<b>Zaranda</b>	Utensilio consistente en un área agujereada de hecha de varios tipos de materiales sujeta a un

marco, que se emplea para separar materiales por tamaños.



## RESUMEN

El desarrollo del proyecto inicia con la evaluación de la capacidad del sistema de cribado de separar la mayor cantidad de finos de un flujo principal a distintas velocidades de alimentación. Se logro establecer la velocidad óptima de operación de la zaranda, logrando una alta eficiencia a una alta capacidad de trabajo.

Se tomaron muestras de distintos puntos del sistema de cribado, para caracterizar los flujos involucrados en el mismo, la cantidad de muestras se definió por medio de la regla Militar, utilizando un criterio critico. Estas muestras se analizaron a nivel laboratorio para conocer sus características fisicoquímicas, los resultados obtenidos se compararon con las especificaciones de calidad correspondientes a la harina de maíz, con el fin de evaluar la posibilidad de sustituir este ingrediente por el subproducto obtenido del proceso de tamizado.

La harina de maíz obtenida del tamizado al cumplir con las especificaciones de la materia prima, se realizaron pruebas para la elaboración de cereales extruidos utilizando este recurso. Las pruebas mostraron muy buena maquinabilidad y ningún inconveniente durante el proceso de extruido, por lo que no fue necesaria la modificación de parámetros de operación, sin embargo se mostraron ciertas variaciones en la apariencia del producto.

Para el proceso de extrusión se optó por mezclar la harina obtenida del proceso de cribado con la harina del proveedor, para evitar así variaciones notables en el producto y lograr un ahorro por el menor consumo de harina del proveedor.



## **OBJETIVOS**

### **General**

- Evaluar el uso del subproducto del sistema de cribado como harina de maíz, para la producción de cereales extrudidos.

### **Específicos**

1. Cuantificar mediante un balance de masa los flujos de finos, desgerminado y desperdicio en el sistema para determinar así la generación de finos por choques entre granos y paredes del equipo.
2. Evaluar el sistema a distintas velocidades de alimentación al tamizador para determinar la velocidad que separe mayor cantidad de finos y genere menos desperdicio
3. Comparar mediante pruebas a nivel laboratorio los finos y verificar que cumplan con las especificaciones de calidad de la harina de maíz según los estándares de calidad de la planta para su uso en un proceso de extrusión de cereales.
4. Comparar el comportamiento del equipo de extrusión al utilizar los finos obtenidos del proceso de cribado con el comportamiento utilizando harina común del proceso, así como las características del producto extruido final.



## INTRODUCCIÓN

Los procesos industriales que se desarrollan en una empresa siempre generan subproductos que generalmente no son útiles para el proceso y se desechan como desperdicio disminuyendo así la eficiencia del proceso y provocan pérdidas por grandes cantidades de desperdicio.

En este trabajo de graduación se expone el procedimiento para aprovechar el subproducto que se genera a partir de la separación por cribado de maíz para utilizarlo como harina de maíz, para la producción de cereales extruidos.

Para establecer el uso de este subproducto como ingredientes para la elaboración de cereales extruidos, se analizará la granulometría de la materia prima antes de ingresar al sistema de cribado y se comparará con la granulometría de finos con el fin de conocer el tamaño de partícula de los finos que se generan por el proceso.

Para cuantificar la cantidad de finos que se genera por el proceso se llevará un control del mismo para distintas velocidades de agitación de la zaranda que forma parte del sistema de cribado, hasta establecer la velocidad de operación que genere mayor cantidad de finos y menor cantidad de desperdicio.

Con la velocidad de operación establecida se le harán análisis de humedad, porcentaje en grasa, granulometría, análisis de aflatoxina y material extraño, de los cuales se compararán los resultados obtenidos con las especificaciones y parámetros de calidad de la empresa, y si éstas cumplen se procederá a realizar pruebas en el extrusor como ingrediente para la elaboración de extruidos para concluir si es posible el uso de este subproducto como harina de maíz. Para la elaboración de cereales listos para el desayuno.

# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. Proceso de elaboración de cereales a base de maíz**

Este proceso se realiza a partir de granos de maíz desgerminado, estos granos son sometidos a un sistema de cribado para extraer los finos que vienen como parte de la materia prima ya que estos se generan como consecuencia el proceso de desgerminar el maíz y del transporte desde el país proveedor hasta Guatemala, estos finos se desechan por los inconvenientes que provoca durante el proceso como la absorción de sabor el cual debería estar destinado únicamente para el grano y por la acumulación en las etapas del proceso haciendo necesarias limpiezas programadas periódicamente. Luego el maíz cribado pasa por un sistema de ollas donde el maíz es cocinado a base de vapor en el cual se agrega sabor y vitaminas termolábiles.

La segunda etapa es un alimentador el cual distribuye una cama de producto uniforme, desde este punto el proceso deja de ser por batch y se vuelve continuo.

La tercera etapa es la de secado en el cual la humedad es removida de manera gradual, el secado se trabaja con una cama uniforme de maíz cocido sobre bandas perforadas por las cuales se hace circular aire caliente.

La cuarta etapa comprende el temperado del maíz, que en otras palabras es un proceso que homogeniza el producto en humedad y temperatura, ya que la etapa siguiente necesita que estos parámetros estén uniformes y controlados.

La quinta etapa de este proceso es el laminado de los granos, esto se hace por medio de dos rodillos entre los cuales es pasado el maíz temperado, en esta etapa el maíz adopta la forma de hojuelas que luego son transportadas por medio de un sistema neumático hacia la siguiente etapa.

La sexta etapa corresponde horneado en la cual el material es pasado por un cilindro rotatorio en el cual la hojuela adquiere la textura crujiente que caracteriza a este producto.

## **1.2. Separación mecánica**

Los procedimientos para separar los componentes de una mezcla se clasifican en dos grupos, el que constituyen las denominadas operaciones difusionales, que implican cambios de fases o transporte de materia de una fase a otra y el que comprende a aquellos métodos llamados separaciones mecánicas, útiles para separar partículas sólidas o gotas líquidas.

Las separaciones mecánicas son aplicables a mezclas heterogéneas y no a disoluciones homogéneas. Las técnicas están basadas en las diferencias físicas entre las partículas, tales como tamaño, forma o densidad. Son aplicables a la separación de sólidos de gases, de gotas líquidas de gases, sólidos de sólidos y sólidos de líquidos. Dos métodos generales son la utilización de un tamiz, tabique o membrana, tales como una criba o un filtro, que retienen uno de los componentes y dejan pasar el otro; y la utilización de la diferencia en las velocidades de sedimentación de partículas o gotas cuando se desplazan en el seno de un líquido o un gas

### **1.3. Tamizado**

El tamizado es un método de separación de partículas basado exclusivamente en el tamaño de las mismas. En el tamizado industrial los sólidos se sitúan sobre la superficie del tamiz. Los finos pasan a través del tamiz, mientras que los de mayor tamaño no pasan. Un solo tamiz puede realizar una separación en dos fracciones. Dichas fracciones se dice que no están dimensionadas, ya que si bien se conocen los límites superior o inferior de los tamaños de partícula de cada una de las fracciones, no se conocen los demás límites de tamaños. El material que se hace pasar a través de una serie de tamices de diferentes tamaños se separa en fracciones clasificadas por tamaños, es decir, fracciones en las que se conocen los tamaños máximo y mínimo de las partículas. Ocasionalmente el tamizado se realiza en húmedo pero es más común realizar este procedimiento en seco.

Los tamices industriales se construyen con tela metálica, telas de seda o plástico, barras metálicas, placas metálicas perforadas, o alambres de sección transversal triangular. Se utilizan diferentes metales, siendo el acero al carbono y el acero inoxidable los más frecuentes. Los tamaños de los tamices normalizados están comprendidos entre 4 pulg. Y 400 mallas, y se dispone de tamices comerciales de tela metálica con aberturas tan pequeñas como 1 prnt. Los tamices más finos, aproximadamente de 150 mallas, no se utilizan habitualmente debido a que con partículas muy finas generalmente resultan más económicos otros métodos de separación. La separación en el intervalo de tamaños entre 4 y 48 mallas recibe el nombre de, tamizado fino y para tamaños inferiores a 48 mallas el tamizado se considera ultra fino.

## **1.4. Cribado**

El cribado es un proceso mediante el cual se clasifican y separan por tamaños los materiales sólidos, sean en grano, en polvo o en suspensión acuosa. El procedimiento del cribado se efectúa haciendo pasar el material por una malla de acero tejida que dispone de una abertura determinada, llamada luz. Es esta luz la que establece el tamaño del grano a clasificar. Durante el proceso de cribado existe un movimiento con amplitud horizontal y amplitud vertical de agitación que hace más eficiente el proceso de separación

El cribado está bajo los mismo principios que el tamizado, buscan el mismo objetivo el cual es separar mezclas de ingredientes, siendo el tamizado el procedimiento más eficiente. Los tipos de cribado se clasifican de la siguiente forma.

### **1.4.1. Cribado fijo**

Se realiza el cribado sobre superficies de barra fija con perfiles adaptado al material a cribar, y colocados en posición inclinada en sentido del flujo del material. Es de gran sencillez y robustez idóneas para servicio o sólidos pesados, instalándose normalmente al inicio de una trituración primaria.

### **1.1.1. Cribado móviles**

El procedimiento consta de realizar el cribado en condiciones similares a las de cribado fijo pero con movimiento de las barras alternas, por excéntrica y biela.

### **1.1.2. Cribado por rodillos**

Se hace pasar un flujo de materiales a través de una barrera permeable formada por una serie de cilindros que giran sobre ejes horizontales y paralelos y perfilados para formar la superficie de cribado. Puede emplearse también como alimentador o transportador horizontal.

### **1.1.3. Cribado vibratorio**

Es un cribado que se realiza sobre cribas dotadas de un movimiento oscilatorio rápido y regular, que se consigue por medio de accionamientos diversos que determinan el tipo de oscilación, y en, consecuencia, la forma de sacudida y avance del material a clasificar. En general son máquinas de buen rendimiento empleados para tamaño intermedio.

### **1.1.4. Cribado giratorio**

El cribado se realiza sobre una superficie de forma cilíndrica o cónica. El tambor giratorio puede ser de eje horizontal o ligeramente inclinado, con una o más superficies de cribado, o bien, con una sola y varios calibres, con paso de cribado crecientes puede trabajar en húmedo o seco. Se trata de máquinas económicas robustas.

## **1.5. Luz de malla**

Se entiende por luz de malla la distancia del lado de cada cuadrado libre que forma el tejido de una malla cuadrada, o el diámetro de los orificios de una plancha cribada con agujeros circulares. Aquí nos referiremos solamente a las mallas hechas con alambres que forman agujeros cuadrados, es decir lo que

comúnmente se llama 'malla cuadrada'. Se necesitan dos parámetros para definir una malla; uno es la luz de malla y la otra la superficie abierta, que se mide como la proporción de la superficie total de la malla que queda libre, o sea que no forma parte de la estructura de hilos o alambres.

De esa forma lo que se define como 'número de malla', que en estos tamices normalizados se denomina 'número de *mesh*' utilizando la palabra *mesh* que dignifica malla en inglés, es la cantidad de hilos por pulgada lineal que tiene la malla, pero manteniendo constante la superficie abierta, que en ASTM es del 60%. Es decir que cuanto más grande es el *mesh* más finos deberán ser los hilos.

#### **1.6. Colmatación de mallas en cribas**

La colmatación de las mallas es uno de los problemas comunes cuando se acometen tareas de cribado. Entendemos por colmatación el proceso en que el producto que se está cribando o clasificando obtura o ciega las aberturas de las mallas que se utilizan, sean estas metálicas o de materiales sintéticos. Si la malla se colmata o ciega totalmente, deja de ser efectiva y ninguna partícula más fina que la luz o abertura puede pasar a través de la tela. Llegados a este punto el cribado deja de ser efectivo.

En general hay dos clases de colmatación. La primera es la que se produce cuando la medida (muy cercanas a la luz de malla) y la forma de las partículas (lascas o similares) hacen que algunas de ellas se queden atrapadas en una abertura de malla. Si no se dispone de una vibración adecuada o un sistema de limpieza automático, con el transcurso del tiempo más y más aberturas quedan ocupadas por las mencionadas partículas, llegándose a una colmatación total de la malla.

La segunda colmatación es por la agregación de material fino y húmedo en los alambres que forman la tela. El material fino va “creciendo” lentamente hasta ocupar toda la abertura de malla y, con tiempo, ocupando toda la superficie de esta. En este segundo caso, la solución es más problemática, debiéndose secar previamente el material para evitar la colmatación de la malla. Naturalmente el proceso de secado puede ser costoso en términos de energía.

### **1.7. Extrusión**

Es uno de los procesos más innovadores de las últimas décadas. Se desarrolló inicialmente para el desarrollo y producción de plásticos así como también aplicaciones químicas en los principios de los años 1940.

Se puede definir como el proceso de forzar el paso de un material o materia prima a través de un orificio utilizando tornillos bajo condiciones de presión definidas. Expandiéndonos en este principio básico que permite crear una gran variedad de productos con diferentes formas, colores y sabores. La extrusión en alimentos realiza varios procesos al mismo tiempo dentro de los cuales está mezclado, cocinado, da forma, expande, texturiza entre otros.

El proceso de extrusión tiene varias aplicaciones en la industria alimenticia como la producción de hojuelas expandidas de forma directa, snacks, pellets, ingredientes, cocción de extrusión a altos contenidos de humedad, análogos de carne, alimento y golosinas para mascotas, saborizantes, colorantes, aromas y especializados como caseína, confitería y extracción de aceite de semillas.

### **1.7.1. Equipos de extrusión**

El equipo utilizado para realizar la extrusión tiene por nombre extrusor este esta conformado por distintas partes, una de estas es el tornillo que es una pieza individual o un eje ranurado y con distintas configuraciones que mueve los materiales a través del canal. Existen dos clasificaciones de extrusor: monotonillo y doble tornillo. Cada aplicación representa o implica un módulo térmico regulado.

#### **1.7.1.1. Monotonillo**

Extrusión por monotonillo fue la primera tecnología en ser usada para la industria alimenticia. Se usó por primera vez en la industria alimenticia en el año 1950, se utilizó al inicio para aplicaciones sencillas como la producción de pastas y después se utilizó para aplicaciones mas sofisticadas como la texturización de proteínas vegetales.

El extrusor monotonillo es una sola unidad de proceso, donde el rendimiento de la misma es directamente proporcional a la velocidad del tornillo, por lo tanto para una mezcla el extrusor monotonillo se caracteriza por un único punto operacional.

El tornillo tiene como función mover los materiales a través del un canal de profundidad decreciente, generando un flujo de arrastre. La dinámica de flujo en el canal del tornillo nos muestra que las partículas de fluido viajan a distintas velocidades y que no interactúan, lo que resulta en una dispersión de los tiempos de permanencia y una mezcla deficiente.

En consecuencia, la transferencia de calor así como la entrada de energía mecánica en la sección de cocción son muy limitadas. En un monotornillo la mezcla es muy deficiente lo que limita la transferencia de calor, entrada de energía mecánica y genera heterogeneidades de las propiedades de fusión.

El rendimiento del extrusor monotornillo se ve afectado por el desgaste del mismo y por los factores de lubricación en la composición de la mezcla generando escurrimiento, reduciendo la proporción de la mezcla y la adición de energía mecánica.

Los extrusores monotornillo solo trabajan con materias primas que cumplen con especificaciones exactas como lo son tamaños de partícula y composición analítica.

#### **1.7.1.2. Doble tornillo**

En un extrusor de doble tornillo se producen productos directamente expandidos de diferentes formas, texturas, colores y sabores. Este tipo de extrusores cuenta con dos tornillos corrotatorios.

Este tipo de extrusores cuenta con múltiples secciones de proceso en serie como lo es: fusión, cocción, extracción de gases, bombeo de desplazamiento positivo entre otros, esto se debe gracias a las distintas restricciones generadas por el trabajo de los tornillos. Las secciones de proceso muestran altos niveles de mezcla, transferencia de calor y adición de energía mecánica.

Los dobles tornillos funcionan como bomba de desplazamiento positivo, gracias a la interpenetración de los tornillos. Esto permite trabajar con

materiales viscosos, aceitosos, pegajosos o muy húmedos, con el mismo nivel de eficiencia de bombeo.

La tasa de flujo de un extrusor doble tornillo se compone de un flujo de arrastre y un flujo de presión, ésta tasa de flujo y la velocidad de los tornillos opera de forma independiente en un amplio rango de operaciones. El rendimiento del extrusor y la velocidad del tornillo son independientes.

Por lo tanto, para una mezcla formulada en este tipo de extrusor se caracteriza por sus múltiples puntos operativos. Además, el perfil del tronillo puede variar extensivamente para modular la adición de energía mecánica

En este tipo de extrusor se observa una mezcla muy intensa en la zona de acople de los tornillos, en consecuencia el coeficiente de transferencia de calor en las secciones completamente llenas es alto. Se pueden obtener fusiones homogéneas, la expansión se logra consistentemente, lo que genera una excelente densidad, textura y forma del producto, así como un color final uniforme.

## **1.7.2. Procedimiento de extrusión**

El procedimiento de extrusor se desarrolla a lo largo del extrusor, en distintas secciones, las cuales tienen su operación o función principal. Siendo estas secciones las siguientes.

### **1.7.2.1. Sección de alimentación**

El material es comprimido y se densifica en función de los efectos de compresión de los tornillos, esto se da en el canal de tornillo con una

profundidad variable. Al mismo tiempo, la materia prima es calentada por una fracción inter-particular y por calor conductivo hasta que se da la fundición o el derretimiento ocurre. En esta sección el material cambia de ser una partícula sólida a un fluido viscoso. En esta sección los tamaños de los elementos del tornillo decrecen.

#### **1.1.1.1. Sección de compresión o de transición**

El material es comprimido y se densifica en función de los efectos de compresión de los tornillos, esto se da en el canal de tornillo con una profundidad variable. Al mismo tiempo, la materia prima es calentada por una fracción inter-particular y por calor conductivo hasta que se da la fundición o el derretimiento ocurre. En esta sección el material cambia de ser una partícula sólida a un fluido viscoso. En esta sección los tamaños de los elementos del tornillo decrecen.

#### **1.1.1.2. Sección de mezclado y procesado**

El denso y viscoso material esta preparado para ser transformado. Esta sección involucra distintos diseños del tornillo dependiendo del resultado deseado de este proceso. La intensidad de mezclado y rompimiento de la materia prima esta en función de las características geométricas de los elementos del tornillo. La presión en esta sección del extrusor depende del ordenamiento de los elementos del tornillo a lo largo del canal.

Para el procesado del material la energía mecánica es disipada y transformada en energía térmica y es utilizada para modificar la estructura física y química de la materia prima, para llevarlo a condiciones óptimas para provocar una buena forma en el producto procesado

### **1.1.1.3. Sección de moldeado**

En esta sección se logra pasar el material ya mezclado y procesado para darle la forma deseada, logrando ya una mezcla homogénea se lograran los resultados deseados, siempre y cuando las condiciones de presión en la trayectoria del canal de tornillo sean las adecuadas y permitan la expansión del producto ya con una figura y color definido.

## **1.8. Transformación del maíz en harina**

A continuación, se detallan los pasos de elaboración de harina de maíz:

### **1.8.1. Molienda seca vía molino Beall**

Para iniciar este procedimiento se realiza una limpieza previa del maíz. Las impurezas que acompañan el maíz son similares a las que se encuentran en otros cereales. Las que se adhieren al grano pueden ser eliminadas con aire seco que las arrastra y las de mayor tamaño o menor tamaño, se separan por medio de tamices o cribas de material perforado. El material ferroso que pueda perjudicar las maquinarias sucesivas, se desechan por vía magnética. Las piedras y arena son eliminadas en las llamadas mesas de gravedad o máquinas de flotación de aire, las que separan el material por diferencia de densidad.

En el acondicionamiento se adiciona agua hasta que el grano alcance 22-25% de humedad. De esta forma la membrana que cubre el germen permanece adherida al salvado, evitando la presencia de pecas que contaminen el grit, además permite un mayor porcentaje de trozos gruesos.

Con el molino Beall se procede a desgerminar y debido a las protuberancias del rotor, se desprende la cáscara y germen rompiendo el endospermo en 2 ó 3 pedazos. Luego se baja la humedad a 15-15.5% , en tubos rotatorios calentados a temperatura de 60-71C, enfriándolo luego a 32-38 C por aspiración con aire frío, para luego cernir y separar el germen. En este punto se pasa una sección de molinos de cilindros que pueden constar hasta 16 de éstos.

En los primeros molinos se separa germen que aún queda y se fragmentan trozos grandes, hasta que al final de la serie se dimensionan del tamaño requerido. Todo el sistema se acompaña de cernidores planos que ayudan a la clasificación. El rendimiento general para este proceso para la producción de harina de fina de maíz es de 15% y del 42% para la producción de Grit.

### **1.9. Especificaciones de la harina de maíz**

La harina de maíz debe recibirse bajo las mejores condiciones de manejo y debe procesarse bajo condiciones de buenas prácticas de manufactura. Además, debe cumplir con todos los estándares para consumo humano y con todos los aspectos de las regulaciones del Gobierno de Guatemala y Fritolay.

La harina de maíz no debe transportarse en vehículos que hayan sido utilizados para productos perfumados, jabones, detergentes, basura, soluciones de limpieza o químicos volátiles aromáticos, y tampoco debe almacenarse cerca de ellos.

La temperatura de almacenamiento recomendada es de 24 a 30 °C. Este material tiene una vida útil de: 6 meses. Aplicación: la harina de maíz refinada es utilizada en la elaboración de aros y otros cereales extruidos.

Para que una harina se considere útil y pueda ser aprovechada para los procesos de producción es necesario que estas cumplan con las siguientes especificaciones:

Tabla I. **Especificaciones de harina de maíz**

<b>Propiedades</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Humedad	%	12	14.5
% Grasa	%		1.1
Aflatoxina	ppb		20

Fuente: Manual de calidad de materiales Fritolay

Tabla II. **Especificaciones de granulometría para harina de maíz**

<b>Propiedades</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Granulometría			
Retenido 850 micrones	%	---	5
Retenido 700 micrones	%	---	10
Retenido 355 micrones	%	10	40
Retenido 175 micrones	%	50	85
Fondo			20

Fuente: Manual de *calidad de materiales* Fritolay.

La harina de maíz debe ser de un color amarillo, con sabor a maíz y libre de olores a fermentación o rancio.

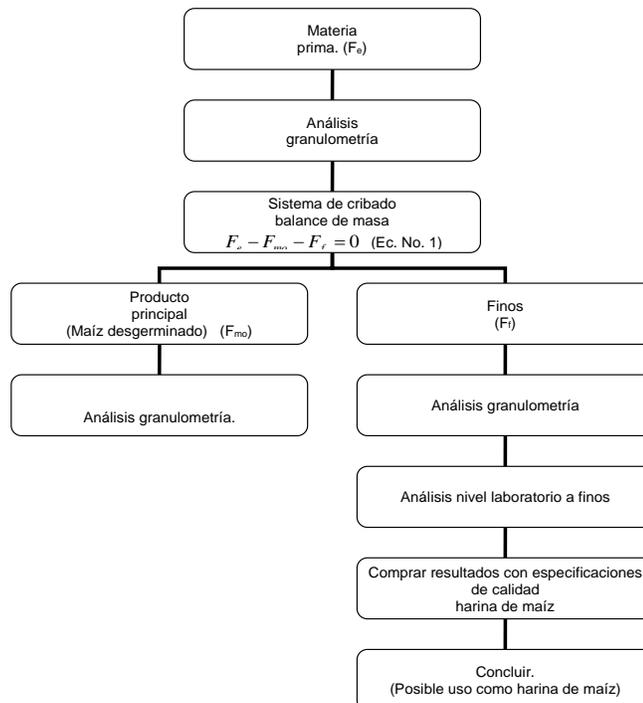
## 2. MARCO METODOLÓGICO

### 2.1. Metodología de la investigación

A través del siguiente flujograma se explica la técnica de análisis desde el muestro hasta la interpretación del análisis comparado con las especificaciones técnicas de la harina de maíz.

#### 2.1.1. Flujograma

Figura 1. Flujograma



Fuente: Manual de *calidad de materiales* Fritolay

### **2.1.2. Recursos físicos**

Se cuenta con el equipo a nivel laboratorio necesario para realizarle los procedimientos y análisis a materia prima y a flujos. También se cuenta con un sistema de cribado SWECO, con malla # 6, las instalaciones y el equipo están a disposición para llevar a cabo el desarrollo del proyecto.

### **2.1.3. Recursos económicos**

La totalidad de los gastos serán cubiertos por la empresa

### **2.1.4. Recursos humanos**

Es necesario que se involucren en el desarrollo del proyecto, el personal a cargo del sistema de cribado, personal a cargo del laboratorio, el ing. Marco Green, quien será el asesor de este proyecto.

## **2.2. Metodología experimental**

A continuación, se especifica la técnica utilizada.

### **2.2.1. Procedimiento de muestreo**

Se indicará paso a paso como se llevó el proceso de muestreo.

#### **2.2.1.1. Muestreo materia prima**

Se muestrea la materia prima para tener datos de granulometría antes de entrar al tamizador, el número de muestras a tomar estará definido por el número de super-sacos que forman parte del lote total. El método a utilizar es el método militar, este método de muestreo estadístico marca la selección de

unidades de un lote en el muestreo aleatorio simple, que permite elegir al azar las unidades de los lotes para su inspección, siendo estas unidades representativas de todos los artículos del lote. Este asegura un alto grado de confiabilidad en los resultados obtenidos por lo que podemos concluir que los resultados obtenidos definen o representan a todo el lote.

#### **2.2.1.2. Muestreo en sistema de cribado**

El equipo trabaja por etapas por lo que es posible tomar muestras de un mismo lote de materia prima en cualquier punto durante una misma descarga.

Con las muestras de la materia prima, cubrimos el punto antes de entrar al sistema, por lo que se muestreara en un punto después del tamizado, en los cangilones antes de ser dosificados a ollas.

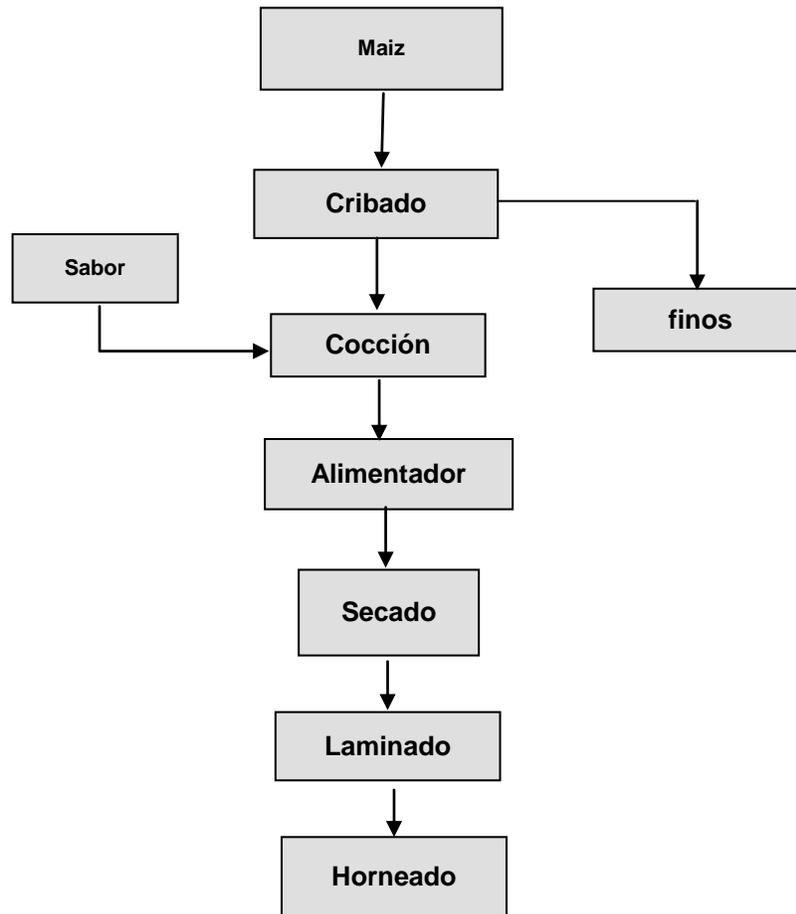
El número de muestras a tomar por zona a muestrear estará definido en función de las descargas por turno que realiza el equipo, por lo que utilizaremos el método Militar.

#### **2.2.1.3. Áreas que muestrear**

Dentro del área de proceso de manufactura de hojuelas de maíz se muestreará en el área de cribado

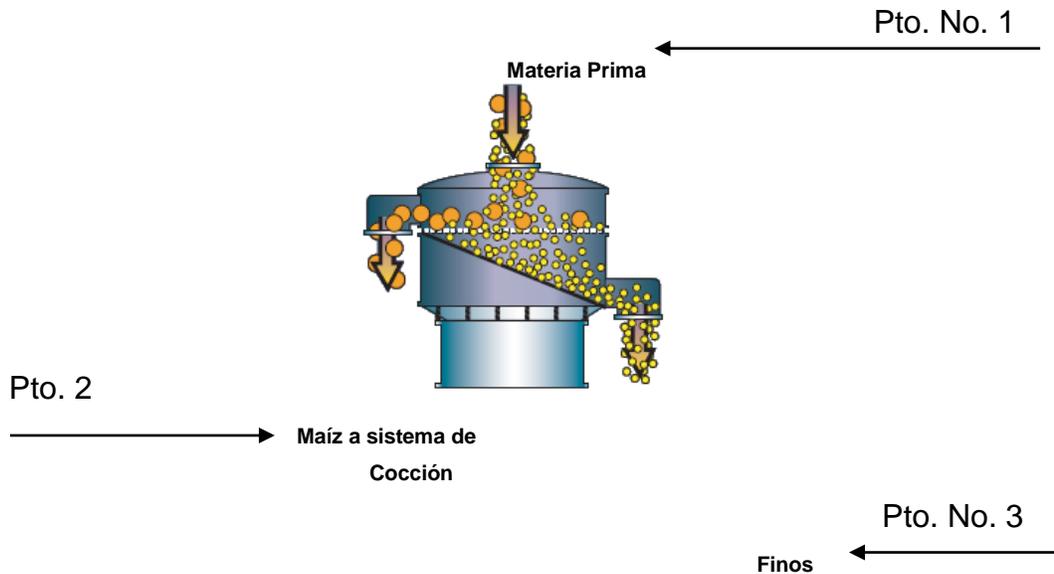
Los puntos a muestrear son los siguientes:

Figura 2. Diagrama del proceso general



Fuente: Manual de *calidad de materiales* Fritolay.

Figura 3. **Diagrama área de muestreo en equipo de cribado**



Fuente: Manual de *calidad de materiales* Fritolay

## 2.2.2. Análisis de granulometría

A todas las muestras obtenidas de las áreas asignadas para muestrear se le realizará el mismo procedimiento de granulometría con el fin de tener datos representativos del tamaño de partícula en cada etapa y poder comparar una contra otra.

El procedimiento para el análisis de granulometría es el siguiente:

### 2.2.2.1. Equipo

- Tamizador Ro-tap
- Tamices (mallas) certificados 3 ½ , 4 , 5 y 6
- Balanza capaz de medir 250 g con 0.1 g de precisión
- Recipiente plástico hondo

- Cronómetro.

#### **2.2.2.2. Procedimiento**

- Asegúrese de que las mallas estén limpias y libres de cualquier material. Si no es así, lávelas con agua caliente y algún detergente como el usado para lavar platos. Asegúrese de secarlas completamente.
- Coloque las mallas juntas en el orden descendente: 3 ½, 4 ,5 y 6, desde la parte superior.
- Pese 200g de muestra.
- Coloque la muestra en la primera malla (3 ½), distribuyendo la muestra uniformemente.
- Encienda el Ro-Tap girando la perilla que se encuentra en la parte inferior y manténgalo funcionando durante 2 minutos.
- Una vez que el tamizado haya terminado, levante el frente del anillo de soporte en el Ro-tap y quite la tapa.
- Quite el apilado de mallas del Ro-tap cuidadosamente.
- Pese la cantidad de muestra que haya quedado sobre cada una de las mallas.
- Asegúrese que las mallas queden limpias y guardadas adecuadamente después de su uso.

#### **2.2.2.3. Cálculo**

Determinación del % en peso de cada una de las mallas.

$$\frac{\text{Peso.de.la.muestra}}{200}(x.100) \quad (\text{Ec. No. 2})$$

#### 2.2.2.4. Tabla comparativa

Tabla III. Parámetros de aceptación

MALLA	% DESEADO	% DE TOLERANCIA
Sobre 3 ½	0%	2.0% Máximo
Sobre 4	50%	20.0-50.0%
Sobre 5	50%	50.0-80.0%
Sobre 6	0%	6.0% Máximo
A través de 6	0%	1.0% Máximo

Fuente: Manual de *calidad de materiales* Fritolay.

#### 2.2.3. Balance de masa

Al conocer los flujos de entrada y con los resultados obtenidos de granulometría a distintos flujos es posible determinar y cuantificar la cantidad de granos que se están quebrando en cada sector muestreado a lo largo del sistema.

El balance de masa general en el equipo se basa en la siguiente ecuación:

$$F_e - F_{mo} - F_f = 0 \quad (\text{Ec. No. 1})$$

Donde:

$F_e$  = Flujo de entrada

$F_{mo}$  = Flujo de maíz a ollas

$F_f$  = Flujo de finos.

### **2.2.3.1. Grano quebrado**

Para determinar la cantidad de grano que se quiebra, se tomaran muestras en distintos puntos en el sistema de cribado, para realizarle pruebas de granulometría y así definir y poder establecer los cambios en la granulometría del maíz, debido al proceso de cribado.

### **2.2.3.2. Flujo de finos**

Para determinar la cantidad de finos que se genera se medirá el flujo de finos que se produce por ciclo de carga y descarga del sistema de cribado.

## **2.2.4. Variación en la velocidad del flujo de alimentación al tamizador**

Para describir el comportamiento o como influye la velocidad de flujo de alimentación al tamizador en los flujos de finos y tamaño de las partículas es necesario modificar esta variable de operación. Al modificar esta variable de operación es necesario realizar los pasos 5.2 al 5.4 para obtener datos correspondientes a este flujo. Los análisis se realizan con un flujo de alimentación desde 90 kg/min. – 60 kg/min.

### **2.2.4.1. Comparación de resultados**

Se compararán los resultados obtenidos de flujos de generación de desperdicio y de flujo de finos para distintas velocidades. Se establecerá como la ideal aquella que cumplan con los siguientes criterios.

- Separe mayor cantidad de finos
- Genere menor cantidad de desperdicio por fraccionamiento de maíz desgerminado.

#### **2.2.4.2. Velocidad de flujo de maíz desgerminado**

Al determinar la velocidad de flujo de maíz desgerminado al sistema de tamizado se procederá a realizar análisis a los finos obtenidos por la separación selectiva a la que es sometida la materia prima.

#### **2.2.5. Análisis a finos**

Se le realizarán análisis a nivel laboratorio a los finos obtenidos del proceso de separación con el fin de determinar si cumple con las especificaciones de calidad de la harina de maíz, para usar estos finos como sustituto de esta materia prima.

Los análisis a realizar son los siguientes análisis críticos:

- Humedad
- Grasa
- Aflatoxina
- Granulometría
- Material extraño

##### **2.2.5.1. Humedad**

A continuación, se presentan la metodología para medir la humedad:

#### **2.2.5.1.1. Equipo**

- Mettler LP 16
- Pinzas
- Espátula o cuchara plástica.
- Mortero y pistilo de cerámica.
- Platos de aluminio.
- Brocha de 2".
- Pañuelos tipo Klennex de papel

#### **2.2.5.1.2. Procedimiento**

- Añadir la muestra sobre el plato de aluminio del Mettler LP 16 distribuyendo la muestra de manera uniforme para tener una capa de muestra dentro del plato.
- Ajustar la temperatura a 110°C y el tiempo a 3 minutos.
- Pulsar la tecla Start para iniciar el proceso.
- Luego de transcurrido el tiempo programado leer el resultado (% de humedad) lectura directa en la pantalla del Mettler LP 16, tener cuidado de tomar la lectura del resultado de la muestra antes de abrir la campana, ya que al abrir la campana o presionar la tecla de tare se borra automáticamente el dato de la pantalla.
- Abrir la campana de desecación y dejar que enfríe el plato de aluminio para evitar quemaduras.
- Extraer el plato de aluminio con todo y la muestra.
- Limpiar el plato de aluminio con la brocha y pañuelos desechables.
- Colocar nuevamente el plato de aluminio en su lugar, cerrar la campana de desecación, presionar la tecla de tare y Mettler LP 16 queda listo para cuando se necesite volver a utilizarse.

### **2.2.5.2. Grasa**

A continuación, se presentan la metodología para medir la grasa:

#### **2.2.5.2.1 Equipo**

- Unidad de Molienda Tecator Cyclotec 1093.
- Recipiente para almacenar el grit molido.
- Unidad de Extracción - Tecator, Soxtec System HT2 1045
- Crisoles (dedales) de Extracción - de celulosa, gruesos - marca Whatman de 26 mm x 60 mm (de diámetro interno x largo externo)
- Adaptadores para Dedales (Crisoles).
- Copas de Aluminio para Extracción.
- Horno (Estufa) de convección mecánica, capaz de alcanzar una temperatura de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .
- Desecador - hermético con  $\text{SiO}_2$  o equivalente, secado toda la noche cada semana.
- Dispensador volumétrico inclinado o equivalente, capaz de dosificar 50 ml con 2% de precisión.
- Reloj (timer) - capaz de medir con precisión segundos, minutos y horas.
- Mufla - capaz de mantener una temperatura de  $525^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  – opcional
- Balanza con precisión de 0.0001 gramos. Chequear la calibración diariamente
- Algodón – químicamente puro.

#### **2.2.5.2.2. Reactivos**

- Benzina de Petróleo (PRECAUCIÓN: Inflamable)

### 2.2.5.2.3. Procedimiento

- Preparación del equipo
  - Encienda el equipo, presione el botón “principal” (el interruptor de la lámpara verde debe iluminarse). Permita que el equipo esté encendido una hora antes de la extracción para asegurar una apropiada extracción, a una temperatura de  $91^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .
  - Abra la llave de agua fría para la recirculación en el condensador de reflujo.
  
- Pesado de las muestras
  - Asegúrese de que los dedales (crisoles) están libres de materiales extraños.
  - Tare los dedales (crisoles), luego agregue de 2.5 a 3.5 (con precisión de 0.0001 g) de muestra bien mezclada en los dedales (crisoles). Inserte el tapón hecho de algodón dentro del dedal (crisol) para que la muestra no se esparza fuera del dedal y que la Benzina de Petróleo pueda extraer uniformemente de toda la muestra.
  - Cuidadosamente coloque los dedales (crisoles) en los adaptadores de manera que la orilla del dedal (crisol) esté presionado contra el adaptador. Coloque el dedal/adaptador en el soporte magnético.
  - Coloque las copas de extracción en la estufa para secar a  $100^{\circ}\text{C}$  por lo menos 1 hora.

- Pese exactamente las copas de extracción (con precisión de 0.0001 g). Este es el peso inicial. Almacene las copas limpias en un desecador y maneje con pinzas durante todo el procedimiento.
  
- Extracción en el Sistema Soxtec
  - Llene las copas de extracción con 75 ml de Benzina de Petróleo y colóquelos en la base de extracción.
  - Baje la manija para sujetar las copas en los condensadores. Asegúrese de que se ajusten con seguridad.
  - Se sumergen en la bencina los dedales y se abren las llaves de paso cuando la bencina comienza a circular por ellas por un espacio de 20 minutos.
  - Pasados los 20 minutos, se sacan de la bencina los dedales y se deja reposar por un espacio de 40 minutos.
  - Pasados los 40 minutos, se cierran las llaves y se conecta el aire para que se condense la bencina, por un espacio de 60 minutos.
  - Al terminarse el tiempo se cierra la llave del agua y se apaga todo el equipo
  
- Recuperación de la copa de extracción
  - Asegúrese de las copas de grasa están libres de solvente.
  - Libere la manija y deje que las copas de grasa se sequen al aire sobre la base de extracción por 3 minutos.
  - Remueva las copas de grasa y seque en el Horno (estufa a  $100^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$ ), por 10 minutos.

- Después del secado, coloque las copas de grasa en un desecador hasta que se enfríen (aproximadamente 30 minutos). Pese las copas de grasa con una precisión de 0.0001 gramos. Este es el peso final.
- Procedimiento de limpieza de las copas para grasa
  - La limpieza de las copas para grasa es colocándolas en la mufla a 525°C por 4 horas o toda la noche. Después de limpiarlos, colóquelos en un desecador hasta su uso.
  - Si las copas para grasa se limpian con agua y jabón, deberán ser secadas en estufa a 103°C al menos 30 minutos y enfriadas en un desecador por lo menos 30 minutos antes de su uso. Asegurándose de eliminar todo residuo de jabón.

#### **2.2.5.2.4. Cálculos**

$$\% \text{ de Grasa Cruda} = \frac{(\text{Peso Final de la Copa} - \text{Peso Inicial de la Copa})}{\text{Peso de la Muestra}} \times 100$$

#### **2.2.5.3. Aflatoxina**

A continuación, se presentan la metodología para medir la grasa:

##### **2.2.5.3.1. Equipo**

- Espectrofotómetro para placas portamicropozos (450 nm)
- Probeta graduada de 100 ml

- Embudo de filtrado.
- Vaso de precipitados de vidrio de 50 ml.
- Molino para desmenuzar las muestras.
- Agitador.
- Papel filtro Whatman No. 1
- Micro pipetas de 50.
- Puntas para micropipeta

#### **2.2.5.3.2. Reactivos**

- Agua destilada
- Kit RIDASCREEN®FAST Aflatoxin
- Metanol al 70%

#### **2.2.5.3.3. Preparación de la muestra**

- Pese 5 g de la muestra molida en un contenedor apropiado y agréguele 25 ml de metanol al 70%.
- La muestra debe ser agitada vigorosamente durante 3 minutos.
- Filtre el extracto a través de un papel de filtro Whatman No. 1.

#### **2.2.5.3.4. Procedimiento**

- Coloque 6 pocillos recubiertos con anticuerpos y 6 pocillos con marca roja. Marque la posición de los estándares y la muestra.
- Agregue 100 µl del conjugado aflatoxina–enzima a los pocillos.
- Agregue 100 µl de los estándares y de la muestra a analizar a los pocillos con la marca roja correspondientes. Utilice una punta de pipeta nueva para cada estándar y para cada muestra.

- Mediante una pipeta multicanal mezcle el líquido en los pocillos succionándolo y liberándolo 3 veces. Transfiera 100  $\mu\text{l}$  a los pocillos recubiertos con anticuerpos. Mezcle deslizando el soporte de micropocillos para adelante y para atrás sobre una superficie plana 10 a 20 segundos sin salpicar los reactivos de los pocillos. Incube durante 2 minutos a temperatura ambiente (de 18 a 30  $^{\circ}\text{C}$ ). Deseche los pocillos de mezclado marcados con rojo.
- Extraiga el contenido de los pocillos de anticuerpos sacudiéndolos. Llene los pocillos con agua destilada o desionizada y luego vacíelos. Repita este paso 5 veces. Luego coloque los pocillos invertidos con la boca hacia abajo y golpéelos suavemente sobre una toalla absorbente hasta retirar el líquido remanente.
- Agregue 100  $\mu\text{l}$  del substrato/cromógeno a cada micropozo, mediante puntas nuevas en la pipeta multicanal. Mezcle el contenido de la microplaca suavemente deslizando para adelante y para atrás de 10 a 20 segundos. Incube durante 3 minutos a temperatura ambiente.
- Agregue 100  $\mu\text{l}$  solución stop a cada micropozo. Mezcle el contenido de la microplaca suavemente y mida la absorción a 650 nm en el transcurso de los siguientes 20 minutos.
- Lectura con espectrofotómetro
  - Encender el espectrofotómetro.
  - Remover el carrier y utilizar el porta micropozos para 8 unidades y oprima la tecla ENTER.
  - Calibrar el espectrofotómetro, con los lentes contra el vacío, de la siguiente forma: Retire los filtros y oprima ENTER, luego inserte el filtro W2 y oprima ENTER, inserte el filtro W1 y oprima ENTER.
  - Colocar las muestras en el carrier

- Oprima la tecla BLANK y luego la tecla CLEAR
- Proceda a leer cada uno de los micro pozos con la tecla READ

#### **2.2.5.3.5. Resultados**

- El espectrofotómetro indicará el porcentaje de absorbancia de cada micro pozo.

#### **2.2.5.4. Material extraño**

A continuación, se presentan la metodología para medir el material extraño:

##### **2.2.5.4.1. Equipo**

- Balanza (con precisión de 0.01g)

##### **2.2.5.4.2. Procedimiento**

- Se toman 2 muestras de diferentes sacos al azar de aproximadamente 1kg por muestra.
- Pesar 500g de cada muestra una a la vez.
- Deposite la muestra sobre una superficie plana.
- Revisar la muestra visualmente y manualmente para extraer todo tipo de material extraño, y separar por grupos de material extraño.
- Pesar el material extraño

#### **2.2.5.4.3. Cálculo**

$$\% \text{Material Extraño} = \frac{\text{Peso de material extraño}}{500} * 100$$

#### **2.2.6. Comparación de resultados de análisis de finos con estándares de calidad**

Se realizará una comparación de los resultados de los análisis practicados a los finos y se compararán con los estándares de calidad ya establecidos en la materia prima que se utiliza en los procesos de extrusión.

#### **2.2.7. Pruebas en extrusor**

Si los resultados de los finos recolectados como subproductos del sistema de cribado se encuentran dentro de los estándares de calidad estos utilizarán en una prueba de producción de cereal extruido utilizando como ingrediente esta harina de maíz. Se evaluarán aspectos como operación del equipo con este ingrediente, textura del cereal, apariencia y sabor, esta evaluación permitirá conocer si es posible el uso de este recurso.

#### **2.2.8. Origen de estadístico del número de repeticiones**

Se determinó el número de repeticiones para el análisis de granulometrías en diez basados en el método estadístico militar el cual ya se especificó anteriormente. Este mismo método fue utilizado para el número de repeticiones para los análisis de humedad, grasa, material extraño y aflatoxina. Este método se basa en el número de lotes.

### 3. RESULTADOS

Tabla IV. Resultados granulometría para diferentes puntos muestreo 90 kg/min

	Muestra No.	% en Malla No. 3 ½	% en Malla No. 4	% en Malla No. 5	% en Malla No. 6	% en Pan
Materia Prima	A.1	2,00	44,50	51,50	1,00	1,00
	A.2	3,00	40,00	56,00	1,50	0,00
	A.3	2,00	40,00	56,75	1,25	0,00
	A.4	1,50	39,50	58,50	0,50	0,00
	A.5	2,50	44,50	51,00	2,00	0,00
	A.6	2,50	46,00	51,00	0,50	0,00
	A.7	2,00	44,00	52,00	1,00	1,00
	A.8	3,00	42,00	54,00	1,00	0,00
	A.9	1,50	40,00	56,50	1,50	0,50
	A.10	2,00	41,00	56,50	0,50	0,50
Maíz Cribado	B.1	2,33	47,50	49,50	0,66	0,00
	B.2	3,33	40,17	55,50	0,50	0,50
	B.3	2,75	40,13	56,00	1,00	0,00
	B.4	2,37	39,63	57,00	1,00	0,00
	B.5	2,67	42,00	53,50	0,83	1,00
	B.6	2,33	47,00	49,50	1,00	0,67
	B.7	3,33	40,17	55,00	1,50	0,00
	B.8	2,75	40,13	55,50	0,00	1,50
	B.9	2,38	39,00	57,00	1,00	0,50
	B.10	2,67	43,00	53,75	0,50	0,00
Subproducto FINOS	C.1	0,00	0,00	0,00	12,00	88,00
	C.2	0,00	0,00	0,00	13,00	87,00
	C.3	0,00	0,00	0,00	14,00	86,00
	C.4	0,00	0,00	0,00	12,00	88,00
	C.5	0,00	0,00	0,00	10,00	90,00
	C.6	0,00	0,00	0,00	9,00	91,00
	C.7	0,00	0,00	0,00	11,00	89,00
	C.8	0,00	0,00	0,00	12,00	88,00
	C.9	0,00	0,00	0,00	11,00	89,00
	C.10	0,00	0,00	0,00	12,00	88,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Resultados granulometría para diferentes puntos de muestreo**  
**80 kg/min**

	Muestra No.	% en Malla No. 3 ½	% en Malla No. 4	% en Malla No. 5	% en Malla No. 6	% en Pan
Materia Prima	A.1	2,00	44,00	52,00	0,50	1,00
	A.2	2,00	38,50	58,00	1,00	0,00
	A.3	4,50	40,50	53,50	0,75	0,50
	A.4	3,50	41,50	53,50	0,50	1,00
	A.5	3,50	43,00	51,50	1,50	0,50
	A.6	3,50	43,00	53,00	0,50	0,00
	A.7	2,00	43,50	52,50	0,50	0,50
	A.8	4,50	40,50	53,50	1,00	0,50
	A.9	2,00	37,50	58,50	1,00	0,50
	A.10	2,50	43,00	54,00	0,00	0,50
Maíz Cribado	B.1	1,25	41,00	56,50	1,00	0,00
	B.2	3,13	41,38	54,13	0,50	0,50
	B.3	3,50	39,00	56,67	0,50	0,00
	B.4	4,00	39,00	55,50	1,00	0,38
	B.5	2,50	44,50	52,33	0,75	0,00
	B.6	3,33	40,75	54,83	0,50	0,50
	B.7	2,37	39,63	56,25	1,00	0,00
	B.8	2,50	43,00	53,25	0,00	0,75
	B.9	3,75	44,00	50,00	0,00	0,50
	B.10	3,25	39,00	57,51	0,50	0,00
Subproducto FINOS	C.1	0,00	0,00	0,00	9,00	91,00
	C.2	0,00	0,00	0,00	8,00	92,00
	C.3	0,00	0,00	0,00	6,00	94,00
	C.4	0,00	0,00	0,00	6,00	94,00
	C.5	0,00	0,00	0,00	8,00	92,00
	C.6	0,00	0,00	0,00	9,00	91,00
	C.7	0,00	0,00	0,00	9,00	91,00
	C.8	0,00	0,00	0,00	7,00	93,00
	C.9	0,00	0,00	0,00	7,00	93,00
	C.10	0,00	0,00	0,00	8,00	92,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Resultados granulometría para diferentes puntos de muestreo  
70 kg/min**

	Muestra No.	% en Malla No. 3 ½	% en Malla No. 4	% en Malla No. 5	% en Malla No. 6	% en Pan
Materia Prima	A.1	0,00	40,25	59,00	0,00	0,75
	A.2	2,50	41,50	54,50	1,00	0,50
	A.3	4,50	40,50	53,00	1,00	1,00
	A.4	3,00	42,00	54,00	1,00	0,00
	A.5	2,00	40,00	56,50	0,50	0,50
	A.6	2,00	43,00	54,00	1,00	0,00
	A.7	1,50	44,50	52,00	1,00	0,00
	A.8	1,50	41,50	54,50	1,50	1,00
	A.9	1,50	42,00	55,50	1,00	0,00
	A.10	2,50	41,50	54,50	1,00	0,50
Maiz Cribado	B.1	1,75	34,75	62,75	0,00	0,50
	B.2	2,00	46,00	50,00	1,13	0,50
	B.3	3,75	41,00	54,00	1,25	0,00
	B.4	3,25	38,38	57,13	1,38	0,00
	B.5	2,75	38,50	57,25	1,00	0,00
	B.6	3,25	37,00	58,25	1,00	0,50
	B.7	2,75	40,13	56,00	1,00	0,00
	B.8	2,37	39,63	57,00	1,00	0,00
	B.9	3,50	43,00	51,50	0,00	0,50
	B.10	2,00	40,00	56,50	0,00	0,50
Subproducto FINOS	C.1	0,00	0,00	0,00	8,00	92,00
	C.2	0,00	0,00	0,00	7,00	93,00
	C.3	0,00	0,00	0,00	5,00	95,00
	C.4	0,00	0,00	0,00	5,00	95,00
	C.5	0,00	0,00	0,00	7,00	93,00
	C.6	0,00	0,00	0,00	8,00	92,00
	C.7	0,00	0,00	0,00	8,00	92,00
	C.8	0,00	0,00	0,00	6,00	94,00
	C.9	0,00	0,00	0,00	6,00	94,00
	C.10	0,00	0,00	0,00	7,00	93,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Balance de masa para maíz a distintas velocidades de cribado

	Flujo de Entrada	Flujo Salida Desperdicio (Finos)	Flujo de Maiz Cribado
	Kg maiz/ Batch	Kg maiz/ Batch	Kg maiz/ Batch
Velocidad de Cribado 90 Kg de Maiz/min	900,3	2,00	898,30
	900,1	2,38	897,72
	900	2,48	897,52
	900,3	2,38	897,92
	900,5	2,38	898,12
	900,4	4,67	895,73
	900,3	2,86	897,44
	900,6	2,95	897,65
	900,3	3,14	897,16
	900,2	3,33	896,87
<b>Promedio.</b>	<b>900,3</b>	<b>2,86</b>	<b>897,44</b>
Velocidad de Cribado 80 Kg de Maiz/min	900,3	3,71	896,59
	900,4	3,71	896,69
	900,4	4,57	895,83
	900,2	4,19	896,01
	900,3	3,71	896,59
	900,3	4,19	896,11
	900,3	4,19	896,11
	900,6	4,86	895,74
	900	5,52	894,48
	900	7,52	892,48
<b>Promedio.</b>	<b>900,28</b>	<b>4,62</b>	<b>895,66</b>
Velocidad de Cribado 70 Kg de Maiz/min	900,1	2,67	897,43
	900,3	2,95	897,35
	899	3,05	895,95
	900	3,05	896,95
	900,4	2,95	897,45
	900,3	2,86	897,44
	900,4	2,86	897,54
	900,3	2,95	897,35
	900,4	2,76	897,64
	900,1	3,14	896,96
<b>Promedio.</b>	<b>900,13</b>	<b>2,95</b>	<b>897,18</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. Análisis materia prima

<b>Análisis Granulométrico Materia Prima</b>		
	<b>Grano útil de maíz Incial (kg de Maiz / Batch )</b>	<b>Pan ( Kg Harina de Maiz / Batch)</b>
Velocidad de Cribado 90 Kg de Maíz/min	882,29	18,01
	891,10	9,00
	888,75	11,25
	895,80	4,50
	882,49	18,01
	895,90	4,50
	882,29	18,01
	891,59	9,01
	882,29	18,01
895,70	9,00	
<b>Promedio.</b>	<b>888,82</b>	<b>11,93</b>
Velocidad de Cribado 80 Kg de Maíz/min	882,29	13,50
	886,89	9,00
	886,89	11,26
	886,70	13,50
	882,29	18,01
	895,80	4,50
	882,29	9,00
	887,09	13,51
	882,00	13,50
895,50	4,50	
<b>Promedio.</b>	<b>886,78</b>	<b>11,03</b>
Velocidad de Cribado 70 Kg de Maíz/min	893,35	6,75
	886,80	13,50
	881,02	17,98
	891,00	9,00
	886,89	9,00
	891,30	9,00
	882,39	9,00
	877,79	22,51
	891,40	9,00
886,60	13,50	
<b>Promedio.</b>	<b>886,85</b>	<b>11,93</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Análisis del flujo de maíz cribado

<b>Análisis Granulométrico Maíz Cribado.</b>		
	<b>Grano útil de maíz sobre malla No. 6 (kg de Maiz / Batch )</b>	<b>Desperdicio de Maiz en malla No.6 y sobre pan ( Kg Harina de Maiz / Batch)</b>
Velocidad de Cribado 90 Kg de Maíz/min	892,31	5,93
	888,74	8,98
	887,47	8,98
	888,94	8,98
	881,65	11,23
	885,28	8,96
	883,98	13,46
	878,62	13,46
	882,58	13,46
	891,63	4,48
<b>Promedio.</b>	<b>886,12</b>	<b>9,79</b>
Velocidad de Cribado 80 Kg de Maíz/min	885,38	8,97
	884,40	8,97
	888,36	4,48
	882,57	12,32
	890,61	6,72
	886,40	8,96
	880,43	8,96
	884,55	6,72
	874,35	4,47
	890,33	4,46
<b>Promedio.</b>	<b>884,74</b>	<b>7,50</b>
Velocidad de Cribado 70 Kg de Maíz/min	890,70	4,49
	879,40	14,58
	884,75	11,20
	885,79	12,33
	883,99	8,97
	883,98	13,46
	887,49	8,98
	888,37	8,97
	879,69	4,49
	883,50	4,48
<b>Promedio.</b>	<b>884,77</b>	<b>9,20</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Análisis del flujo de desperdicio**

<b>Análisis Granulométrico Flujo de Salida de Finos ( Desperdicio)</b>		
	<b>malla No.6 (kg Desperdicio de Maiz / Batch )</b>	<b>Pan (  Kg Harina de Maiz / Batch)</b>
Velocidad de Cribado 90 Kg de Maiz/min	0,24	1,76
	0,31	2,07
	0,35	2,13
	0,29	2,10
	0,24	2,14
	0,42	4,25
	0,31	2,54
	0,35	2,60
	0,35	2,80
	0,40	2,93
<b>Promedio.</b>	<b>0,33</b>	<b>2,53</b>
Velocidad de Cribado 80 Kg de Maiz/min	0,33	3,38
	0,30	3,42
	0,27	4,30
	0,25	3,94
	0,30	3,42
	0,38	3,81
	0,38	3,81
	0,34	4,52
	0,39	5,14
	0,60	6,92
<b>Promedio.</b>	<b>0,35</b>	<b>4,27</b>
Velocidad de Cribado 70 Kg de Maiz/min	0,21	2,45
	0,21	2,75
	0,15	2,90
	0,15	2,90
	0,21	2,75
	0,23	2,63
	0,23	2,63
	0,18	2,78
	0,17	2,60
	0,22	2,92
<b>Promedio.</b>	<b>0,20</b>	<b>2,73</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Comparación de los resultados de generación de desperdicio y cantidad de finos cribados por lotes a distintas velocidades de cribado.**

Velocidad (kg /min)	Generación de desperdicio promedio (kg/batch)	Finos obtenidos por cribado (Kg/batch)
90	2,70	2,86
80	2,04	4,62
70	2,09	2,95

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Resultados análisis fisicoquímicos de las muestras de harina de maíz**

Muestras.	Humedad (%)	Grasa (%)	Material extraño (%)	Aflatoxina (ppb)
1	11,3	0,9	1,0	15
2	12,5	1	0,0	10
3	12,75	1,3	0,0	15
4	13,4	0,8	0,0	10
5	9,8	0,6	0,0	5
6	14,2	0,7	0,0	5
7	12,1	0,9	0,0	5
8	12,5	1	0,0	5
9	14	1	0,5	7
10	15	1,1	0,2	15
11	12,3	1,4	0,5	10
12	12,8	1,5	0,5	12
13	11,2	1	0,0	11
14	12	0,9	0,0	5
15	12	0,7	0,0	8
16	14,5	0,75	0,5	10
17	11,9	0,8	0,5	8
18	12	1	0,3	7
19	12,5	0,8	0,3	11
20	13,5	1,1	0,4	10
21	13,8	1,4	0,3	12
22	11	1,4	0,5	15
23	9	1,3	0,2	11
24	14,3	0,8	0,1	12
25	12,8	0,9	0,0	13
26	14,3	0,7	0,0	14
27	12,5	1	0,0	11
28	12,8	1	0,0	10
29	13,7	0,8	0,1	10
30	13	0,9	0,0	10
<b>PROMEDIO</b>	<b>12,65</b>	<b>0,98</b>	<b>0,20</b>	<b>10,07</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Resultado análisis granulometría para muestras de harina de maíz obtenida del proceso de cribado**

<b>Muestras.</b>	<b>Malla 850 micrones (%)</b>	<b>Malla 700 micrones (%)</b>	<b>Malla 355 micrones (%)</b>	<b>Malla 175 micrones (%)</b>	<b>Pan (%)</b>
1	5,00	10,25	39,00	40,75	5,00
2	3,00	12,75	38,00	43,25	3,00
3	3,50	9,90	38,00	42,80	5,80
4	2,00	10,90	39,50	43,25	4,35
5	1,00	11,00	41,00	41,25	5,75
6	5,00	10,00	42,00	39,28	3,72
7	2,30	10,75	38,00	43,50	5,45
8	2,50	11,00	38,50	42,00	6,00
9	2,50	10,50	39,75	41,00	6,25
10	3,00	11,75	41,00	41,00	3,25
11	4,50	11,00	41,50	39,00	4,00
12	4,00	10,00	40,00	42,35	3,65
13	4,50	10,50	38,25	42,75	4,00
14	3,00	11,50	42,00	40,00	3,50
15	5,00	10,50	37,25	41,20	6,05
16	5,50	10,75	41,00	40,00	2,75
17	4,20	9,50	41,50	41,00	3,80
18	3,50	11,00	42,00	39,00	4,50
19	6,00	10,75	38,00	41,00	4,25
20	5,50	10,50	39,80	41,50	2,70
21	4,00	12,00	40,75	40,15	3,10
22	4,00	10,50	40,95	39,00	5,55
23	4,50	11,00	38,90	41,25	4,35
24	3,00	10,75	36,90	43,52	5,83
25	4,50	11,80	41,85	37,80	4,05
26	5,00	11,00	41,00	40,00	3,00
27	4,00	11,50	42,50	37,00	5,00
28	6,00	12,50	38,80	41,25	1,45
29	5,50	11,75	39,75	37,85	5,15
30	3,50	12,25	43,50	38,75	2,00
<b>PROMEDIO</b>	<b>3,98</b>	<b>11,00</b>	<b>40,03</b>	<b>40,75</b>	<b>4,24</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Resumen resultados promedio de los análisis fisicoquímicos de las muestras de harina de maíz**

<b>Análisis</b>	<b>Resultado experimental</b>	<b>Valor mínimo según especificaciones.</b>	<b>Valor máximo según especificaciones.</b>
<b>Humedad</b>	12,65	12%	14,50%
<b>Grasa</b>	0,98	0%	1%
<b>Material Extraño</b>	0,20	0%	1%
<b>Aflatoxina</b>	10,07	0 ppb	20 ppb
<b>Granulometría</b>			
malla 850 micrones	3,98	0%	5%
malla 700 micrones	11,00	0%	10%
malla 355 micrones	40,03	10%	40%
malla 175 micrones	40,75	50%	85%
Pan	4,24	0%	20%

Fuente: elaboración propia.

## 4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de los análisis de granulometría realizados en los distintos puntos de muestreo nos permitieron caracterizar los flujos involucrados en el proceso de cribado y establecer un aproximado de la cantidad de grano considerado como útil y desperdicio según las especificaciones de este grano, esto se realizó en los distintos puntos analizados a velocidades de cribado desiguales.

El sistema de cribado involucra tres flujos: flujo de alimentación, flujo de maíz cribado y flujo de desperdicio. Según tabla VII. Se realizó un balance de masa con el fin de cuantificar un valor promedio para cada uno de los flujos involucrados a distintas velocidades, este balance se realizó según los datos experimentales obtenidos, de los cuales se observa que a una velocidad de cribado de 80 kg/min se logra una mejor separación de finos siendo esta 4.62 kg/batch y a una velocidad de 90 kg/min. Se logra obtener una cantidad de 2.86 kg/batch de flujo de desperdicio.

Otro factor a considerar para establecer la velocidad de operación del sistema de cribado es la generación de desperdicio, esto se da por los choques entre los granos de maíz y las superficies del equipo, los cuales serán con mayor fuerza a altas velocidades de cribado. La generación de desperdicio se da cuando grano considerado útil se ve afectado por los impactos ya mencionados disminuyen su tamaño permitiendo que estos logren pasar a través de la malla de cribado, aumentando así la cantidad de desperdicio y disminuyendo la cantidad del flujo principal. Este comportamiento se puede

observar al comparar los resultados correspondientes a la cantidad de grano útil en el flujo de alimentación tabla X.

Con los resultados correspondientes para el flujo de maíz cribado de la tabla XI, los resultados de esta comparación según tabla XIII. La velocidad que genera mayor cantidad de desperdicio es la de 90 kg/min y la que provoca que menor cantidad de maíz se quiebre es la de 80 kg/min.

Un sistema de cribado es bueno si este logra conseguir una separación exacta de los materiales, sin embargo esto es imposible en su totalidad, si equipo de cribado funciona perfectamente, todo el material de mayor tamaño estaría en el flujo principal y todo el material de menor tamaño estaría en el cernido. La capacidad de cribado se mide por la masa de material que puede recibir como alimentación por unidad de tiempo. Capacidad y eficiencia de cribado son factores opuestos. Para obtener la máxima separación de materia prima, la capacidad debe ser pequeña, y grandes capacidades se obtienen sólo a expensas de una reducción del potencial de separación.

En busca de un equilibrio razonable entre capacidad y flujo de desperdicio obtenido, se vario la velocidad de cribado controlando de esta forma la capacidad del equipo de cribado, según los resultados obtenidos en la tabla XI. Podemos observar que a una capacidad de 80 kg/min obtenemos una mayor cantidad de flujo de finos extraídos del flujo principal en comparación con las otras capacidades manejadas, otro punto considerado es la generación de desperdicio, que es minima para esta misma capacidad en comparación con las otras capacidades manejadas. Por esto la capacidad o velocidad de cribado adecuada considerando generación de flujos y capacidad de cribado del flujo principal es 80 kg/min.

La capacidad de cribado depende de la naturaleza de la operación, a una capacidad de 80 obtenemos mayor cantidad de flujo de finos, esto se debe a que la oportunidad total de paso de un grano de maíz de un tamaño inferior determinado depende del número de veces que la partícula incide contra la superficie del tamiz y de la probabilidad de paso durante un solo contacto. A la velocidad de 90 kg/min se sobrecarga el equipo de cribado, por lo que el número de contactos es pequeño y la oportunidad de paso como consecuencia del contacto esta limitada por la presencia de otros granos de maíz.

El flujo obtenido de finos como consecuencia del proceso de cribado, contiene tamaños de granos que no corresponden a la granulometría de la harina de maíz, por lo que es necesario realizar un proceso de cribado únicamente a este subproducto, para separar así la fracción de harina de maíz en este. La cantidad de harina de maíz que se puede aprovechar del desperdicio obtenido del proceso de cribado para distintos distintas velocidades de cribado se presentan en la tabla X.

La harina de maíz obtenida se propondrá para el uso como materia prima durante el proceso de extrusión por lo que es necesaria la caracterización de esta a través de distintos análisis fisicoquímicos. (Humedad, granulometría, contenido grasa, material extraño, aflatoxina). Las materias primas utilizadas durante el proceso de extrusión afectan de manera directa el producto final extruido. La harina de maíz es un ingrediente al que se recurre por su alto contenido de almidón, el almidón al exponerse a un proceso térmico contribuye con la gelatinización de la mezcla de ingredientes al enfriarse se reestructura en una forma ordenada y definida. Según los resultados obtenidos para distintas muestras de harina de maíz obtenida del proceso de cribado, el contenido de grasa promedio en la harina de maíz analizada es de 0.98% según tabla XIV.

El porcentaje de grasa en la materia prima durante el proceso de extrusión se considera como agente plastificante y lubricante, cuando la harina de maíz es extruida sufre un proceso de emulsión debido a la fuerte presión a la que son sometidas las finas gotas de grasa y son recubiertas por los almidones y proteínas quedando la grasa encapsulada. Las grasas al ser emulsionadas son mejor aceptadas por el cuerpo humano como alimento ya que los jugos gástricos pueden atacarlas de mejor manera aumentando por tanto la energía del producto. El contenido de grasa también influye como lubricante permitiendo así el mejor transporte de la mezcla de harinas a lo largo del extrusor, como también evita el desgaste de los elementos por fricción y de los tornillos del extrusor. El contenido de grasa según los resultados muestra que está dentro de los parámetros, según las especificaciones de la materia prima.

Los resultados para el contenido de humedad en las muestras de maíz analizada se presentan en la tabla XIV, según los resultados obtenidos el contenido de humedad para la harina de maíz obtenida del proceso de cribado se encuentra entre los parámetros aceptados según las especificaciones del ingrediente. El agua al igual que la grasa es un plastificante y lubricante ya que es un componente que hidrata y solvata el almidón y los polímeros de proteína, a un porcentaje de agua mayor del 10% durante el proceso de extrusión, la harina extrusada cambia de un estado vítreo a un fluido elástico viscoso. La humedad inicial es una de las bases en la que se debe fundamentar la formulación del producto, para así definir la cantidad de agua a utilizar durante el proceso. La humedad en el producto de salida del extrusor si influye de forma directa en la densidad del extruido, siendo la densidad directamente proporcional al contenido final de humedad.

La granulometría es un factor que no solo afecta durante el proceso de extrusión sino que también durante el proceso previo en el que se mezclan las

harinas según la fórmula de producción. Las granulometrías de todas las harinas con muy parecidas por lo que un buen mezclado se puede lograr con el mecanismo adecuado, los resultados obtenidos según tabla XIV. Se observa una mayor presencia de partículas de maíz en el tamiz no. 355 este valor por encima de los parámetros según especificaciones. Las variaciones de tamaño en el proceso de extrusor, en el aspecto mecánico generan un mayor desgaste en los elementos y componentes del extrusor. Durante el proceso de extruido la granulometría no permitiría un proceso homogéneo, reflejándose en la variación de las características del producto extruido.

Para comprobar que no exista en las muestras de harinas de maíz obtenidas del proceso de cribado, otras partículas que no correspondan al derivado del maíz, se realizó la prueba de material extraño, donde según los resultados de la tabla XIV. Tenemos un 0.2% de material extraño lo que indica que no existe partículas ajenas a la harina de maíz, que podrían atorarse en el interior del extrusor

Según los resultados obtenidos que caracterizan la harina de maíz obtenida del proceso de cribado, se puede concluir que este subproducto del proceso de separación de finos cumple con las especificaciones de calidad definidas por la empresa para ser utilizada como ingrediente en el proceso de extrusión, con pequeñas variaciones en la granulometría de las partículas de harina de maíz.

Con base en los resultados de los análisis se optó por realizar una prueba en el extrusor, sustituye la cantidad de harina de maíz del proveedor, por la misma cantidad de harina de maíz que se obtuvo del cribado, esta prueba se realizó bajo los parámetros de operación establecidos para un producto en específico, y según la fórmula de producción del mismo.

Al inicio del proceso de producción de cereales extruidos se debe mezclar todas las harinas correspondientes al producto, al mezclar las harinas en el tiempo establecido según formulación se observo, que era necesario mayor tiempo de mezclado, ya que la mezcla de las harinas no era homogénea, esto se debe a las variaciones de granulometría entre la harina de maíz del proveedor y la harina de maíz obtenida del proceso de cribado, siendo la segunda de mayor tamaño, esto según los resultados de la tabla XIV. Se logro la mezcla homogénea realizando el mezclado de harinas durante más tiempo.

Durante el proceso de extrusión la mezcla de harinas se alimento al extrusor sin ningún problema, los parámetros de operación a lo largo de la corrida no fue necesario realizarle ajustes, ya que el equipo corrió sin ningún problema, por lo que podemos concluir que en aspectos de maquinabilidad no existe ningún problema en la utilización de este recurso. Sin embargo se presentaron variaciones en las densidades del cereal extrudido, por lo tanto existían variaciones en los tamaños a lo largo de la corrida de prueba. La harina de maíz obtenida del proceso de cribado cumple con todas las especificaciones del material excepto en la granulometría, por lo que este factor puede afectar la mezcla de harinas en el extrusor afectando el tamaño del producto. La textura se ve afectada por lo mismo, es por esto que la prueba nos permite establecer que el tamaño de las partículas no permite que el extrudido tenga la imagen deseada.

## CONCLUSIONES

1. El uso de harina de maíz obtenida del proceso de cribado, no provoca problemas operacionales, ni variaciones de parámetros de operación, por lo que el uso de ésta es operacionalmente adecuado.
2. La eficiencia del sistema de cribado es inversamente proporcional a la capacidad de trabajo, a una capacidad de cribado de 80 kg/min. se logra mayor separación de finos y menor generación de desperdicio.
3. La generación de desperdicio es mayor a altas capacidades, debido a que los choques entre los granos de maíz y los choques con las superficies son con mayor frecuencia y con mayor fuerza.
4. El contenido de humedad, grasa, aflatoxina y material extraño en la harina de maíz obtenida a partir del proceso de cribado está dentro de los parámetros definidos en las especificaciones de los materiales.
5. La diferencia de tamaño en el cereal extrudido se debe a que la granulometría de la harina de maíz, se encuentra fuera de los parámetros según especificaciones, por lo que no se logra una mezcla homogénea de las harinas.



## RECOMENDACIONES

1. El uso de harina de maíz obtenida del proceso de cribado, no provoca problemas operacionales, ni variaciones de parámetros de operación, por lo que el uso de ésta es operacionalmente adecuado.
2. La eficiencia del sistema de cribado es inversamente proporcional a la capacidad de trabajo, a una capacidad de cribado de 80 kg/min. se logra mayor separación de finos y menor generación de desperdicio.
3. La generación de desperdicio es mayor a altas capacidades, debido a que los choques entre los granos de maíz y los choques con las superficies son con mayor frecuencia y con mayor fuerza.
4. El contenido de humedad, grasa, aflatoxina y material extraño en la harina de maíz obtenida a partir del proceso de cribado está dentro de los parámetros definidos en las especificaciones de los materiales.
5. La diferencia de tamaño en el cereal extrudido se debe a que la granulometría de la harina de maíz, se encuentra fuera de los parámetros según especificaciones, por lo que no se logra una mezcla homogénea de las harinas.



## BIBLIOGRAFÍA

1. CHARLEY, Helen. *Tecnología de Alimentos: Procesos químicos y Físicos en la preparación de Alimentos*. 3ra ed. México: Pearson Education, 1993, 635 p.
2. LIVIA, Walte. *Reciclado industrial de metales*, 1ra ed. México: E-COE Ediciones, 2000, 75 p.
3. PERRY, Robert H. *Perrys Chemical Engineers Handbook*. 7ma. ed. Span: McGraw-Hill. 2070 p.
4. ROBERT, East. *Breakfast Cereal and How They Are Made*. 2da ed. United States of America: Caldwell Editors, 1991, 339 p.
5. WARREN, McCabe. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Operaciones en las que intervienen partículas de sólidos*. 6ta ed. México: McGraw-Hill, 2003. 1199 p.

