



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

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ADECUADOS DE OPERACIÓN  
DE UN HORNO GALLETERO A GAS POR CALEFACCIÓN DIRECTA,  
PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS  
FISICOQUÍMICAS DE LA OBLEA**

**Hellen Josefina Sosa López**

Asesorado por la Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera

Guatemala, mayo de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ADECUADOS DE OPERACIÓN  
DE UN HORNO GALLETERO A GAS POR CALEFACCIÓN DIRECTA,  
PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS  
FISICOQUÍMICAS DE LA OBLEA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**HELLEN JOSEFINA SOSA LÓPEZ**

ASESORADO POR LA INGA. LORENA VICTORIA PINEDA CABRERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, MAYO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

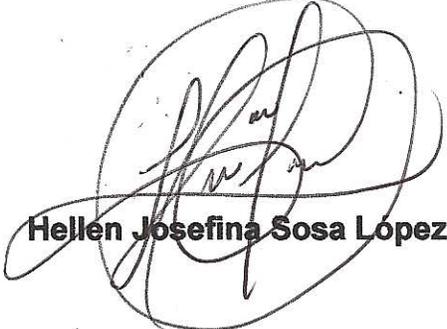
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdés
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
EXAMINADORA	Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **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:

### **DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ADECUADOS DE OPERACIÓN DE UN HORNO GALLETERO A GAS POR CALEFACCIÓN DIRECTA, PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA OBLEA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 09 de mayo de 2012.



**Hellen Josefina Sosa López**



Guatemala, 30 de octubre de 2012.  
Ref.EPS.DOC.1448.10.12.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano  
Directora Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Hellen Josefina Sosa López** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **200715238**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ADECUADOS DE OPERACIÓN DE UN HORNO GALLETERO A GAS POR CALEFACCIÓN DIRECTA, PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE LAS CARÁCTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA OBLEA”**.

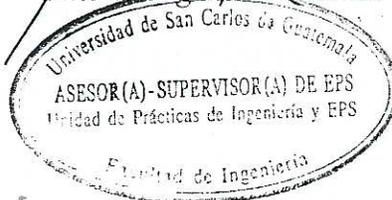
En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

  
Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera  
Asesora-Supervisora de EPS  
Área de Ingeniería Química



c.c. Archivo  
LVPC/ra



Guatemala, 30 de octubre de 2012.  
Ref.EPS.D.913.10.12.

Ing. Victor Manuel Monzón Valdéz  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Monzón Valdéz.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado "**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ADECUADOS DE OPERACIÓN DE UN HORNO GALLETERO A GAS POR CALEFACCIÓN DIRECTA, PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA OBLEA**" que fue desarrollado por la estudiante universitaria **Hellen Josefina Sosa López**, quien fue debidamente asesorada y supervisada por la Ingeniera Lorena Victoria Pineda Cabrera.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora -Supervisora de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"

Inga. Sigrid Antza Calderón de Escobar  
Directora Unidad de EPS



SACdL/ra



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

Guatemala, 27 de noviembre de 2012  
Ref. EIQ.TG-IF.060.2012

Ingeniero  
**Víctor Manuel Monzón Valdez**  
DIRECTOR  
Escuela Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-255-2011-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**  
**-Modalidad EPS-**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Hellen Josefina Sosa López**

Identificada con número de carné: **2007-15238**

Previo a optar al título de INGENIERA QUÍMICA.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ADECUADOS DE OPERACIÓN DE UN**  
**HORNO GALLETERO A GAS POR CALEFACCIÓN DIRECTA, PARA LA**  
**ESTANDARIZACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA OBLEA**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Lorena Pineda**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. Jorge Emilio Godínez  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo

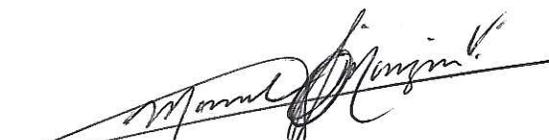


**ACAAI**

Agencia Centroamericana de Acreditación de  
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



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 de la estudiante, **HELLEN JOSEFINA SOSA LÓPEZ** titulado: "**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ADECUADOS DE OPERACIÓN DE UN HORNO GALLETERO A GAS POR CALEFACCIÓN DIRECTA, PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA OBLEA**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

  
Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



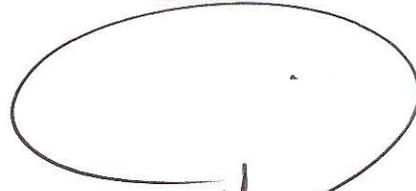
Guatemala, mayo 2013

Cc: Archivo  
VMMV/ale



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: **DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ADECUADOS DE OPERACIÓN DE UN HORNO GALLETERO A GAS POR CALEFACCIÓN DIRECTA, PARA LA ESTANDARIZACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA OBLEA**, presentado por la estudiante universitaria: **Hellen Josefina Sosa López**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 14 de mayo de 2013

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios y Virgen María</b>	Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.
<b>Mis padres</b>	Josefina Judith López de Sosa y Maynor Enrique Sosa Dugal. Dedico este acto, por haberme apoyado en todo momento y por permitirme ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.
<b>Mis hermanos</b>	Maynor Eduardo y Marvin Enrique Sosa López. Para que vean en mí un ejemplo a seguir.
<b>Mis abuelas</b>	Hellen Margoth Dougal Tillet e Imelda López Vda. de Echeverría. Con especial aprecio.
<b>Mis tías y tíos</b>	Lucy López, Yoli López, Nineth López, Glenda López, Carlos López y Marvin López Silva.
<b>Mis primos y primas</b>	Carlos Miguel Aldana López, Jorge Daniel Aldana López, Valeria Denise López Silva, Gian Carlo López Silva, Karla Ramírez López y Gwineth Ramírez López.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios y Virgen María</b>	Por todas las bendiciones que me ha dado a lo largo de mi vida.
<b>Mi familia</b>	Por su infinito apoyo y por creer siempre en mí.
<b>Manolo Muralles</b>	Por apoyarme durante la carrera.
<b>Procalidad Colombina</b>	Por brindarme la oportunidad de llevar a cabo mi estudio de práctica supervisada y desarrollarme en el campo profesional.
<b>Inga. Lorena Pineda e Ing. Jorge Granada</b>	Por asesorarme y brindarme su apoyo en la realización de mi trabajo de graduación.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	XV
1. MARCO CONCEPTUAL.....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Justificación .....	2
1.3. Determinación del problema .....	3
1.3.1. Definición .....	4
1.3.2. Delimitación.....	4
1.3.2.1. Espacio físico-geográfico .....	4
1.3.2.2. Tiempo .....	4
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Galleta .....	5
2.1.1. Componentes básicos de la galleta .....	5
2.1.1.1. Harina.....	5
2.1.1.2. Grasas.....	7
2.1.1.3. Agua.....	8
2.1.2. Componentes adicionales de la galleta .....	9
2.1.2.1. Lecitina .....	9
2.1.2.2. Bicarbonatos .....	9
2.1.2.3. Colorantes .....	10

2.1.2.4.	Sal común.....	11
2.2.	Tanque de agitación .....	13
2.2.1.	Parámetros fisicoquímicos en la etapa de agitación .....	11
2.3.	Horno industrial.....	12
2.3.1.	Tipos de hornos para galletería .....	12
2.3.1.1.	Horno a gas por calefacción directa.....	13
2.4.	Balance de masa .....	13
3.	RESULTADOS .....	15
4.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	33
5.	METODOLOGÍA.....	35
5.1.	Variables .....	35
5.2.	Delimitación de campo de estudio.....	39
5.3.	Recursos humanos disponibles.....	39
5.4.	Recursos materiales disponibles.....	39
5.4.1.	Equipo .....	40
5.4.2.	Cristalería.....	40
5.5.	Técnica cuantitativa .....	40
5.6.	Recolección y ordenamiento de la información .....	41
5.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información .....	42
5.8.	Determinación del balance de masa .....	42
5.9.	Análisis estadístico.....	44
5.9.1.	Determinación del tamaño de la muestra .....	44
5.10.	Control estadístico de proceso (CEP) .....	45
5.10.1.	Capacidad de proceso (Cp).....	46
5.10.1.1.	Frecuencia de tiempo para la toma de datos.....	47

6. PRESUPUESTO .....	49
CONCLUSIONES .....	51
RECOMENDACIONES .....	53
BIBLIOGRAFÍA .....	55
APÉNDICES .....	57



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Diagrama general de un balance de masa en un horno a gas por calefacción directa .....	14
2.	Histograma del peso de oblea al salir del horno (antes del balance de masa) .....	18
3.	Histograma del peso de oblea al salir del horno (después del balance de masa).....	19
4.	Gráfica de control del peso de la oblea al salir del horno (antes y después del balance de masa) .....	20
5.	Histograma del grosor de la oblea al salir del horno (antes del balance de masa) .....	21
6.	Histograma del grosor de la oblea al salir del horno (después del balance de masa).....	22
7.	Gráfica de control del grosor de la oblea al salir del horno (antes y después del balance de masa) .....	23
8.	Histograma de la humedad de la oblea al salir del horno (antes del balance de masa) .....	24
9.	Histograma de la humedad de la oblea al salir del horno (después del balance de masa).....	25
10.	Gráfica de control de la humedad de la oblea al salir del horno (antes y después del balance de masa) .....	26
11.	Histograma de la temperatura de la oblea al salir del horno (antes del balance de masa) .....	27
12.	Histograma de la temperatura de la oblea al salir del horno (después del balance de masa).....	28

13.	Gráfica de control de la temperatura de la oblea al salir del horno (antes y después del balance de masa) .....	29
14.	Gráfica de la humedad de la harina.....	30
15.	Comportamiento de la humedad de la harina respecto al lote de fabricación .....	31
16.	Diagrama de recolección y ordenamiento de la información.....	42
17.	Diagrama de equipo .....	43

## TABLAS

I.	Parámetros de operación del horno.....	15
II.	Capacidad de proceso antes y después .....	16
III.	Resultados del balance de masa.....	17
IV.	Descripción de las variables de la masa líquida .....	36
V.	Descripción de las variables de la oblea.....	37
VI.	Descripción de las variables de la harina.....	42
VII.	Descripción de las variables internas del horno .....	38
VIII.	Detalle de los requerimientos de la oblea y de la masa líquida.....	40
IX.	Datos necesarios para calcular el tamaño de la muestra.....	45
X.	Detalle del presupuesto .....	49

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>D</b>	Flujo másico de chicharrón
<b>M</b>	Flujo másico de la mezcla
<b>O</b>	Flujo másico de la oblea
<b>V</b>	Flujo másico del vapor
<b>X<sub>wD</sub></b>	Fracción másica de agua en el chicharrón
<b>X<sub>wV</sub></b>	Fracción másica de agua en el vapor
<b>X<sub>wM</sub></b>	Fracción másica de agua en la mezcla
<b>X<sub>wO</sub></b>	Fracción másica de agua en la oblea
<b>X<sub>aD</sub></b>	Fracción másica de ingredientes secos en el chicharrón
<b>X<sub>aV</sub></b>	Fracción másica de ingredientes secos en el vapor
<b>X<sub>aM</sub></b>	Fracción másica de ingredientes secos en la mezcla
<b>X<sub>aO</sub></b>	Fracción másica de ingredientes secos en la oblea
<b>°C</b>	Grados Centígrados
<b>g</b>	Gramos
<b>kg</b>	Kilogramos
<b>d</b>	Margen de error
<b>m</b>	Metros
<b>Z</b>	Nivel de confianza
<b>%</b>	Porcentaje
<b>p</b>	Proporción estimada
<b>n</b>	Tamaño de la muestra



## GLOSARIO

<b>Capacidad de proceso</b>	Indica si el proceso es capaz o no de cumplir con las especificaciones establecidas.
<b>Chicharrón</b>	Merma que queda en los bordes de las planchas al hornear la oblea, debido al exceso utilizado de masa líquida en las mismas.
<b>Embadurnadora</b>	Equipo que se utiliza con el fin de extender una sustancia espesa (que en este caso es la crema) sobre una superficie (oblea) o cubrirla con ella.
<b>Flujo másico</b>	Magnitud que expresa la variación de la masa en el tiempo.
<b>Galleta</b>	La galleta (del francés <i>galette</i> ) es un pastel horneado, hecho con una pasta a base de harina, mantequilla, azúcar y huevos.
<b>Horno industrial</b>	Equipo o dispositivo utilizado en la industria en el que se calientan las piezas o elementos colocados en su interior por encima de la temperatura ambiente.
<b>Oblea</b>	Galleta rectangular crocante sin ningún tipo de relleno.



## RESUMEN

La industria galletera es un campo amplio de investigación, es por ello, que en el presente estudio se llevó a cabo un trabajo experimental para resolver la problemática de la variación en las características fisicoquímicas de la oblea al salir del horno.

Se cumplió con el objetivo general de determinar los parámetros de operación adecuados del horno a gas por calefacción directa, para estandarizar las características fisicoquímicas de la oblea.

Para cumplir con el objetivo anteriormente mencionado se tomó como base los balances de masa y los parámetros de operación del horno que afectan directamente en las características fisicoquímicas de la oblea.

Para el análisis se tomó en cuenta que el horno tiene un funcionamiento estacionario, debido a que el horneado es un proceso continuo. Es decir, que el funcionamiento del mismo es repetitivo a lo largo del tiempo en cuanto a condiciones de trabajo; sin paradas o cambios importantes en el proceso, sobre todo de temperatura.

La materia prima, que es parte esencial de una galleta, debe cumplir sus requerimientos. Para el caso de las obleas a tratar en este estudio, el componente más importante es la harina. Una harina que cumple con los estándares de humedad, es aquella que logra que la masa pueda incorporar una gran cantidad de gas y retenerlo, conforme la proteína se acomoda durante la cocción de la oblea.

La dosificación del resto de materias primas es importante que sea lo más exacta posible, para que la oblea posea características fisicoquímicas dentro de los parámetros establecidos y a la vez que sea de buen gusto para el cliente.

Para llevar a cabo la metodología del estudio, se realizó una variedad de análisis a la mezcla líquida (antes de ingresar al horno), a las condiciones del horno, a la oblea y a la harina.

Con base al análisis estadístico, con un 95% de nivel de confianza, se llevó a cabo 24 corridas. Estas corridas se realizaron a lo largo del segundo y tercer mes del Ejercicio Profesional Supervisado.

# OBJETIVOS

## General

Determinar los parámetros de operación adecuados del horno a gas por calefacción directa, para estandarizar las características fisicoquímicas de la oblea.

## Específicos

1. Desarrollar un estudio de la capacidad de proceso ( $C_p$ ) del horno, antes y después de establecer las mejoras que se encuentren.
2. Realizar el balance de masa, de forma que se puedan determinar los flujos másicos de materia prima.
3. Cuantificar la variabilidad, en las características fisicoquímicas de la oblea, antes y después de determinar los parámetros de operación.
4. Eliminar el desperdicio de materia prima, cumpliendo con las especificaciones que necesita el horno para operar, sin afectar la calidad del producto final.



## INTRODUCCIÓN

El presente estudio de práctica supervisada consistió en la determinación de los parámetros de operación de un horno industrial a gas por calefacción directa en la planta galletera de Capsa Colombina.

La necesidad de este estudio surgió debido a las exigentes condiciones de operación del horno galletero. Para ello, se tiene conocimiento que las características fisicoquímicas de la oblea (producto que se obtiene del horno y forma parte de la galleta) tienen un efecto directo sobre el uso adecuado de la materia prima. Si esta necesidad se logra cubrir se obtiene un producto final de total satisfacción para el consumidor.

Es por ello, que el problema que se resolvió, de que los parámetros de operación que se manejan en el horno actualmente no son los adecuados, conllevó a la variación de los mismos tanto en la entrada, como en la salida del horno.

El horno con el que se trabajó es a gas por calefacción directa, consta de un largo de 20,13 metros, un ancho de 2,5 metros y un alto de 3,37 metros. Externamente es de lámina de acero inoxidable y el chasis es de acero de alta dureza (acero templado).

El horno posee en su interior, para el horneado de cada oblea, 80 planchas con una dimensión de 0,350 metros de ancho por 0,690 metros de largo. Cada una elaborada en el exterior con hierro fundido y en el interior, donde se vierte la mezcla líquida, es de acero templado recubierto con cromo. Cada superficie que está en contacto con el alimento, está aprobada por la FDA (Food and Drug Administration).

Es importante mencionar que el peso de la oblea crea las condiciones adecuadas para que el producto soporte condiciones ambientales cambiantes, de forma que cuando el consumidor lo deguste sea de total agrado y mantenga la crocancia hasta la fecha de vencimiento.

El objetivo principal de esta investigación se enfocó en establecer los parámetros de operación del horno, de forma que se mantenga el proceso para que las características fisicoquímicas de la oblea sean las estándar.

Para alcanzar el objetivo de este trabajo, se llevó a cabo un control estadístico de datos, se realizó el balance de masa en el horno a gas por calefacción directa. Con el balance de masa y el análisis del proceso, se determinó las condiciones adecuadas de operación para el mejor aprovechamiento de la materia prima, las cuales se presentan en la sección de resultados. Esto con el fin de disminuir la variabilidad que presentan las características fisicoquímicas de la oblea.

Aunque como resultado final la capacidad de proceso del horno sigue estando por debajo de uno para el peso, grosor y temperatura; si se logró el aumento de cada una. Para el caso de la humedad, resultó un cambio positivo ya que se sabe que el proceso es capaz de obtener una oblea con una humedad objetivo.

# **1. MARCO CONCEPTUAL**

## **1.1. Antecedentes**

A nivel mundial la industria galletera juega un papel primordial en todas las sociedades. Esta industria es dominada también por otras de las grandes casas galleteras (Nabisco, Nestlé, Marinela, Pozuelo, Lara, entre otras) que tienen presencia en la mayoría de países. Uno de los principales motores de esta industria es su alta inversión en investigación y desarrollo, generando nuevos productos que satisfagan necesidades y gustos de la población.

El desarrollo de la industria galletera ha provocado el avance de otras industrias, como la industria de hornos. Ambas se deben regir bajo normas internacionales que exigen la más alta calidad, con el objetivo principal de velar por la eficiencia en la producción de los alimentos.

Al estar involucradas ambas en un mismo proceso surgen campos de acción necesarios, como en el que se ocupa esta investigación: el funcionamiento adecuado del horno con base a los parámetros de operación y los insumos necesarios que se utilizan en el mismo. Haciendo una investigación se ha encontrado información de los hornos relacionada a la industria galletera, que se traduce en una alta oferta de este tipo de equipos.

Se tiene conocimiento, que dentro de la empresa galletera, existen estudios relacionados con el análisis del horno: pero se necesita profundizar en este tema y mejorarlo. Mientras que en la Universidad de San Carlos de Guatemala no se ha encontrado una investigación previa que se relacione con el tema.

De aquí es donde parte la importancia de ejecutar este proyecto, ya que no sólo servirá para Capsa Colombina sino para estudios posteriores.

## **1.2. Justificación**

Para iniciar a fabricar cualquiera de los productos de Capsa Colombina, las variables de manejo (como es el caso de la temperatura interna, tiempo de cocción, flujos másicos, etcétera) con las que se trabaja el horno deben ser las adecuadas. A la vez se debe tomar en cuenta los flujos másicos de materia prima. Es por ello, que para hacer el estudio del horno, tanto en la entrada como en la salida del mismo, se debe recopilar la siguiente información:

- Temperatura (interior del horno  $\{T_1\}$ , entrada materia prima  $\{T_2\}$  y salida oblea  $\{T_3\}$ ).
- Viscosidad de la masa líquida.
- Parámetros fisicoquímicos de la oblea (grosor, peso y humedad).
- Velocidad del horno.
- Humedad de la harina.
- Flujos másicos (mezcla  $\{M\}$  y oblea  $\{O\}$ ).

La problemática que conlleva el no tener los parámetros de operación adecuados, es que no se estandarizan las características fisicoquímicas de la oblea y a la vez esto conlleva en la utilización no óptima de materia prima para la producción de la oblea. Esta problemática también repercute en que:

- Se utilicen cantidades en exceso de materia prima.
- Se generen mayores costos de insumos para el horno.
- No se lleve una relación estandarizada de la cantidad de materia prima en relación con el peso de la oblea.
- Se provoquen problemas en la línea de producción, lo que puede conllevar a paros en la misma. Los problemas que se pueden dar son los siguientes:

- Desprendimiento de la parte superior de la oblea, en la cortadora, por tener un grosor mayor al límite superior.
- La oblea puede arquearse, por humedades bajo el límite inferior, lo que provoca que en la embadurnadora se quiebre por la presión que ejerce el rodillo sobre ella.

Al trabajar el horno con los parámetros adecuados de operación, se reduciría la probabilidad de que se generen mayores costos en la compra de materia prima. Ya que la cantidad que se utilizaría de los mismos sería menor o en las mejores condiciones, sería la óptima.

Esto permitirá mejorar el control del peso de la oblea, realizando el estudio necesario a lo largo de la elaboración del presente estudio de Práctica Supervisada. Debido a que la oblea para los productos wafer es exactamente la misma, no se necesita especificar con qué producto se hará el análisis.

La solución a esta problemática por el lado social, traería consigo otros beneficios, se esperaría una mejor respuesta de los clientes, ya que se estarían satisfaciendo sus necesidades y gustos con lo que respecta a las galletas.

Por último, profesionalmente pondrá en manifiesto los conocimientos adquiridos durante la carrera y permitirá sentar las bases para futuras investigaciones relacionadas con las presentes en este perfil.

### **1.3. Determinación del problema**

A continuación se presenta la definición y la delimitación específica del problema, de esta forma se puede saber la razón que fundamenta la investigación.

### **1.3.1. Definición**

Tomando como base lo que se ha mencionado con anterioridad, observaciones y consultas dentro de la empresa, se puede plantear el problema de la siguiente forma:

“Las características fisicoquímicas de la oblea no se encuentran estandarizadas. Esto se debe a que los parámetros de operación del horno a gas por calefacción directa no son los adecuados”.

### **1.3.2. Delimitación**

La delimitación del estudio indica tanto el espacio físico-geográfico, como el tiempo en el que se está llevando a cabo. Para ello, es importante realizar un cronograma de actividades.

#### **1.3.2.1. Espacio físico-geográfico**

El estudio se llevará a cabo en el área de galletería de la empresa Capsa Colombina. Los puntos de enfoque para la toma de datos serán el de mezclado y el de horneado. Estos puntos se encuentran en el inicio de la línea de producción de las galletas tipo wafer.

#### **1.3.2.2. Tiempo**

El tiempo que el estudio se llevará a cabo, es el mismo tiempo que tiene duración el EPS. Este tiempo es de seis meses, con diez horas diarias; laborando de lunes a viernes.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Galleta**

Además de los indicados como básicos, las galletas pueden incorporar otros ingredientes que hacen que la variedad sea muy grande. Pueden ser saladas o dulces, simples o rellenas o con diferentes agregados de cosas (como frutos secos, chocolate, mermelada y otros).

#### **2.1.1. Componentes básicos de la galleta**

Los componentes que se mencionan a continuación, por ser básicos en una galleta, definen las propiedades fisicoquímicas de la misma. Mientras que las propiedades organolépticas están dadas por componentes adicionales.

##### **2.1.1.1. Harina**

Las harinas blandas son indispensables para la elaboración de galletas, estas harinas se obtienen normalmente a partir de los trigos blandos de invierno. Su contenido proteico es normalmente inferior al 10%. La masa que se obtiene es menos elástica y menos resistente al estiramiento que la masa obtenida con harina fuerte. Las proteínas del gluten pueden separarse en función de su solubilidad.

Las proteínas más solubles son las gliadinas, que constituyen aproximadamente la tercera parte del gluten y contribuye a la cohesión y elasticidad de la masa, masa más blanda y más fluida. Las dos terceras partes restantes son las gluteninas, contribuyen a la extensibilidad, masa más fuerte y firme.

Al añadir agua a la harina se forma una masa a medida que se van hidratando las proteínas del gluten. Parte del agua es retenida por los gránulos rotos de almidón. Cuando se mezcla y se bate la harina hidratada, las proteínas del gluten se orientan, se alinean y se despliegan parcialmente. Esto potencia las interacciones hidrofóbicas y la formación de enlaces cruzados disulfuros a través de reacciones de intercambio de disulfuro. Se establece así una red proteica tridimensional, visco elástica, al transformarse las partículas de gluten iniciales en membranas delgadas que retienen los gránulos de almidón y el resto de los componentes de la harina.

Si las galletas se hacen con una harina muy dura, resultan duras, más que crujientes y tienden a encogerse de forma irregular tras el moldeo. Estos problemas hacen necesario un estrecho control de las propiedades de la harina en la industria galletera. Una buena masa es aquella que puede incorporar una gran cantidad de gas y retenerlo, conforme la proteína se acomoda durante la cocción de la galleta.

Para la obtención de la masa también se necesita un trabajo mecánico (batido). Durante el desarrollo de la masa las gigantes moléculas de glutenina son estiradas en cadenas lineales, que interaccionan para formar láminas elásticas alrededor de las burbujas de aire. Las tensiones mecánicas son suficientes para romper temporalmente los enlaces de hidrógeno, que son de gran importancia para el mantenimiento de la unión de las distintas proteínas del gluten.

#### **2.1.1.2. Grasas**

Las grasas ocupan un puesto de gran importancia dentro de los componentes de la industria galletera. Las grasas desempeñan una misión antiglutinante en las masas, contribuyen a su plasticidad y su adición suaviza la masa y actúa como lubricante.

Las grasas juegan un papel importante en la textura de las galletas, ya que las galletas resultan menos duras de lo que serían sin ellas. La grasa contribuye, igualmente, a un aumento de la longitud y una reducción en grosor y peso de las galletas, que se caracterizan por una estructura fragmentable, fácil de romper.

Durante el batido hay una competencia por la superficie de la harina, entre la fase acuosa y la grasa. El agua interacciona con la proteína de la harina para crear el gluten que forma una red cohesiva y extensible. La grasa rodea los gránulos de proteína y almidón, rompiendo así la continuidad de la estructura de proteína y almidón. Cuando algo de grasa cubre la harina, esta estructura se interrumpe y en cuanto a las propiedades comestibles, después del procesamiento, resulta menos áspera, más fragmentable y con más tendencia a deshacerse en la boca.

La complicación es que las grasas son inmiscibles en el agua, por lo que es un problema para la incorporación de la grasa en la masa, puesto que es necesario que la grasa se distribuya homogéneamente por toda la masa. Esto hace críticos la cantidad de sólidos y el tamaño de los cristales (la plasticidad de la grasa) y se precisa prestar atención a la temperatura y condiciones de los tratamientos si se quiere conseguir el efecto deseado.

### **2.1.1.3. Agua**

El agua, aproximadamente, constituye una tercera parte de la cantidad de harina que se emplea en la elaboración de galletas. Se considera aditivo porque no es una sustancia nutritiva, aunque el agua es un ingrediente esencial en la formación de masa para la solubilización de otros ingredientes, en la hidratación de proteínas y carbohidratos y para la creación de la red de gluten. El agua tiene un papel complejo, dado que determina el estado de conformación de los biopolímeros, afecta a la naturaleza de las interacciones entre los distintos constituyentes de la receta y contribuye a la estructuración de la misma. También es un factor esencial en el comportamiento reológico de las masas de harina.

Toda el agua añadida a la masa se elimina durante el horneado, pero la calidad del agua (calidad microbiológica, concentración y naturaleza de las sustancias disueltas, el pH, etcétera) puede tener consecuencias en la masa. Si se añade poca agua, la masa se desarrolla mal en el horno, la masa resulta pegajosa y se afloja.

Si se añade un exceso de agua, la fuerza de la masa disminuye, haciéndola más extensible, si el exceso es moderado; o todo lo contrario si el exceso es demasiado grande. De esta forma se hace muy difícil trabajar las masas. Por tanto, la cantidad de agua a añadir dependerá del tipo de galleta que se desee realizar, de la harina y su absorción y del tipo de maquinaria que se disponga.

## **2.1.2. Componentes adicionales de la galleta**

Son muchos los adicionados que conjuntamente se añaden a la masa para mejorar las distintas anomalías en la harina, así como, correctores de la masa para conseguir una linealidad en las galletas tras el procesado.

### **2.1.2.1. Lecitina**

La lecitina es un agente emulsionante cuyo componente eficaz son los fosfolípidos, los cuales poseen fuertes afinidades polares. Presentan una parte hidrófoba que se disuelve bien en la fase no acuosa y otra parte hidrofílica que se disuelve bien en el agua. Además, ayuda a la masa dándole más extensibilidad y facilita la absorción del agua por la masa. Un aumento de la temperatura actúa negativamente sobre la estabilidad de las emulsiones.

### **2.1.2.2. Bicarbonatos**

Los bicarbonatos son agentes gasificantes que presentan un elemento alcalino. También se les denomina levaduras químicas. Su función principal es la de generar gas para aumentar el volumen final de la pieza antes de terminar la cocción con la desnaturalización de las proteínas.

- Bicarbonato sódico: en presencia de humedad, el bicarbonato sódico reacciona con cualquier sustancia ácida, produciendo anhídrido carbónico. En ausencia de sustancias ácidas el bicarbonato sódico libera algo de dióxido de carbono y permanecerá como carbonato sódico.
- Bicarbonato amónico: extraordinariamente útil en galletería, puesto que se descompone completamente por el calor desprendiendo anhídrido carbónico, amoniaco gaseoso y agua. Se disuelve muy rápidamente, pero es muy alcalina, produciendo masas muy blandas.

### **2.1.2.3. Colorantes**

Los colorantes alimentarios son un tipo de aditivos alimentarios que proporcionan color a los alimentos, si están presentes en los alimentos se consideran naturales y si por el contrario se añaden a los alimentos durante su preprocesado mediante la intervención humana se denominan artificiales. Suelen causar su efecto colorante en los alimentos ya en pequeñas cantidades (apenas concentraciones de centenas de ppm).

En la actualidad la industria alimentaria emplea los colorantes alimentarios con el objeto de modificar las preferencias del consumidor. El color es uno de los principales atributos para la preferencia de un alimento.

La tartracina es un colorante artificial ampliamente utilizado en la industria alimentaria, incluyendo la industria galletera. Pertenece a la familia de los colorantes azoicos (los que contienen el grupo azo  $-N=N-$ ). Se presenta en forma de polvo y es soluble en agua; haciéndose de color más amarillo cuanto más disuelta esté. Es incompatible con la lactosa y con el ácido ascórbico.

#### **2.1.2.4. Sal común**

La sal común (cloruro sódico), se utiliza en todas las recetas de galletas por su sabor y por su propiedad de potenciar el sabor. Además, la sal endurece el gluten (ayuda a mantener la red de gluten) y produce masas menos adherentes.

### **2.2. Tanque de agitación**

La agitación o batido en el caso de esta investigación, se refiere a forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente. Los objetivos de la agitación pueden ser:

- Mezcla de dos líquidos miscibles
- Disolución de sólidos en líquido
- Dispersión de partículas finas en un líquido
- Dispersión de dos fases no miscibles

Generalmente, el equipo consiste en un recipiente cilíndrico (cerrado o abierto) y un agitador mecánico, montado en un eje y accionado por un motor eléctrico. Las proporciones del tanque varían ampliamente, dependiendo de la naturaleza del problema de agitación. El fondo del tanque debe ser redondeado, con el fin de eliminar los bordes rectos o regiones en las cuales no penetrarían las corrientes del fluido. La altura del líquido, es aproximadamente igual al diámetro del tanque.

#### **2.2.1. Parámetros fisicoquímicos en la etapa de agitación**

Para cada una de las corridas analizadas en la elaboración de las obleas se debe evaluar el comportamiento de la masa, determinándose los siguientes parámetros en la etapa de batido o agitación:

- Cantidad de agua requerida para la obtención de la masa
- Tiempo de batido para conseguir una red de gluten adecuada
- Viscosidad de la masa líquida
- Temperatura final de la masa tras el batido

### **2.3. Horno industrial**

Se entiende por hornos industriales los equipos o dispositivos utilizados en la industria en los que se calientan las piezas o elementos colocados en su interior por encima de la temperatura ambiente. Realizándose el calentamiento sobre las piezas de forma directa (inducción, resistencia propia, etcétera) o de forma indirecta por transmisión de calor de otros elementos (tubos radiantes, humos de combustión, etcétera)

#### **2.3.1. Tipos de hornos para galletería**

Los hornos industriales se aplican en un gran número de procesos dentro de diferentes sectores de la industria. En la industria galletera este equipo tiene una alta demanda, presentando los siguientes tipos:

- Horno a gas por calefacción indirecta.
- Horno a gas por calefacción directa (DGF por sus siglas en inglés “Direct Gas Fired”).
- Horno termocíclico por calefacción indirecta.

### **2.3.1.1. Horno a gas por calefacción directa**

El horno a gas por calefacción directa es uno de tipo continuo, en el cual interviene la producción en kilogramo por hora o en tonelada por hora. La temperatura en este tipo de hornos es prácticamente constante en cada zona a lo largo del tiempo y la temperatura de la carga varía a lo largo del tiempo, pero se mantiene relativamente invariable en todo el horno en un instante dado.

Un horno de este tipo incluye varias zonas de calentamiento independientes, cada una de ellas compuesta de un módulo de control y varios módulos estándar, además de extremos de suministro y alimentación. Las funciones de temperatura, extracción y turbulencia (si están instaladas) se controlan por separado en cada zona para lograr el perfil de horneado que se desee.

## **2.4. Balance de masa**

El balance se basa en la ley de conservación de la materia, que establece que la masa de un sistema cerrado permanece siempre constante (excluyendo las reacciones nucleares o atómicas y la materia cuya velocidad se aproxima a la velocidad de la luz). El balance de masa de una cantidad que se conserva en un sistema se puede escribir de manera general como:

$$\text{entrada} + \text{generación} - \text{salida} - \text{consumo} = \text{acumulación} \quad (2.4-1)$$

Donde:

Entrada: entra a través de las fronteras del sistema

Generación: se produce dentro del sistema

Salida: sale a través de las fronteras del sistema

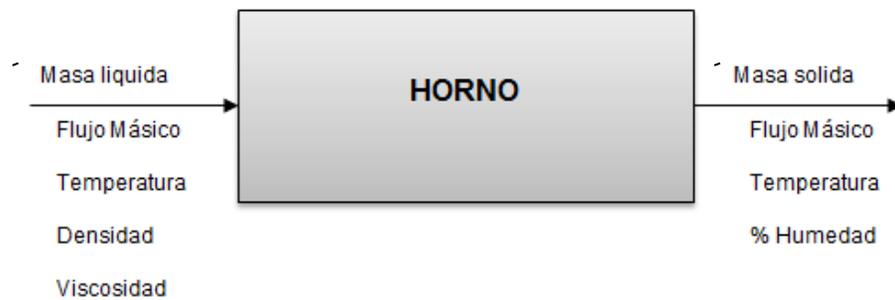
Consumo: se consume dentro del sistema

Acumulación: se acumula dentro del sistema

Por lo tanto, el balance de masa de un horno es una contabilidad exacta de todos los materiales que entran, salen, acumulan o se agotan en el curso de un intervalo de tiempo de operación dado. La figura 1 ilustra un sistema general para el cual debe hacerse un balance de masa, el cual en hornos que trabajan en estado estacionario, en los que no existe acumulación de material y no se consideran los términos de generación y consumo:

$$\text{entrada} = \text{salida} \quad (2.4-2)$$

Figura 1. **Diagrama general de un balance de masa en un horno a gas por calefacción directa**



Fuente: elaboración propia.

### 3. RESULTADOS

A continuación, se presentan los parámetros adecuados de operación del horno:

Tabla I. **Parámetros de operación del horno**

	<b>Parámetro de operación</b>	<b>Valor</b>
<b>ENTRADA</b>	Flujo másico de mezcla	670,93 ± 33,55 kg/h
	Temperatura de mezcla	20,00 ± 0,50 °C
	Temperatura del horno	140,00 ± 2,80 °C
<b>SALIDA</b>	Flujo másico de la oblea	281,22 ± 14,06 kg/h
	Temperatura de oblea	116,00 ± 2,90 °C

Fuente: elaboración propia.

La siguiente tabla presenta la capacidad de proceso con respecto a las características fisicoquímicas de la oblea, antes y después de la determinación de los parámetros de operación del horno:

Tabla II. **Capacidad de proceso antes y después**

		<b>Peso</b>	<b>Grosor</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Humedad</b>
<b>ANTES</b>	<b>Capacidad de proceso potencial (Cp)</b>	0,1410	0,2705	0,2349	0,7372
	<b>Capacidad de proceso real (Cpk)</b>	0,1347	0,2677	0,1778	0,6684
<b>DESPUÉS</b>	<b>Capacidad de proceso potencial (Cp)</b>	0,3753	0,3342	0,7170	1,8676
	<b>Porcentaje de incremento del Cp</b>	62,43 %	19,06 %	67,24 %	60,53 %
	<b>Capacidad de proceso real (Cpk)</b>	0,3143	0,2760	0,4995	1,7493

Fuente: elaboración propia.

La siguiente tabla contiene los resultados del balance de masa:

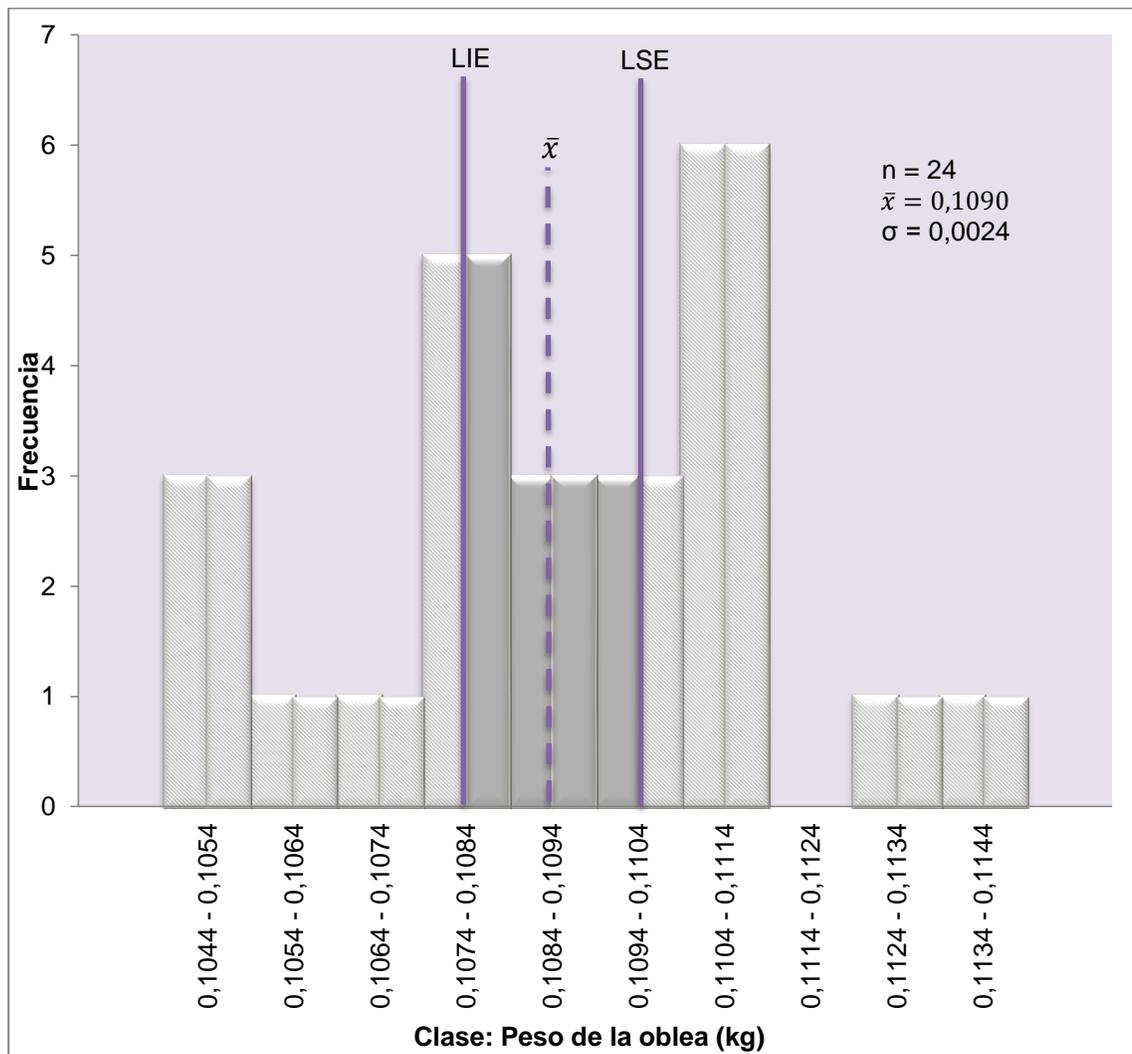
Tabla III. **Resultados del balance de masa**

<b>Parámetro de operación</b>	<b>Valor (kg/h)</b>
Flujo másico de la mezcla	670,9322
Flujo másico de la oblea	281,2200
Flujo másico del chicharrón	0,0072
Flujo másico del vapor de agua	389,7050

Fuente: elaboración propia.

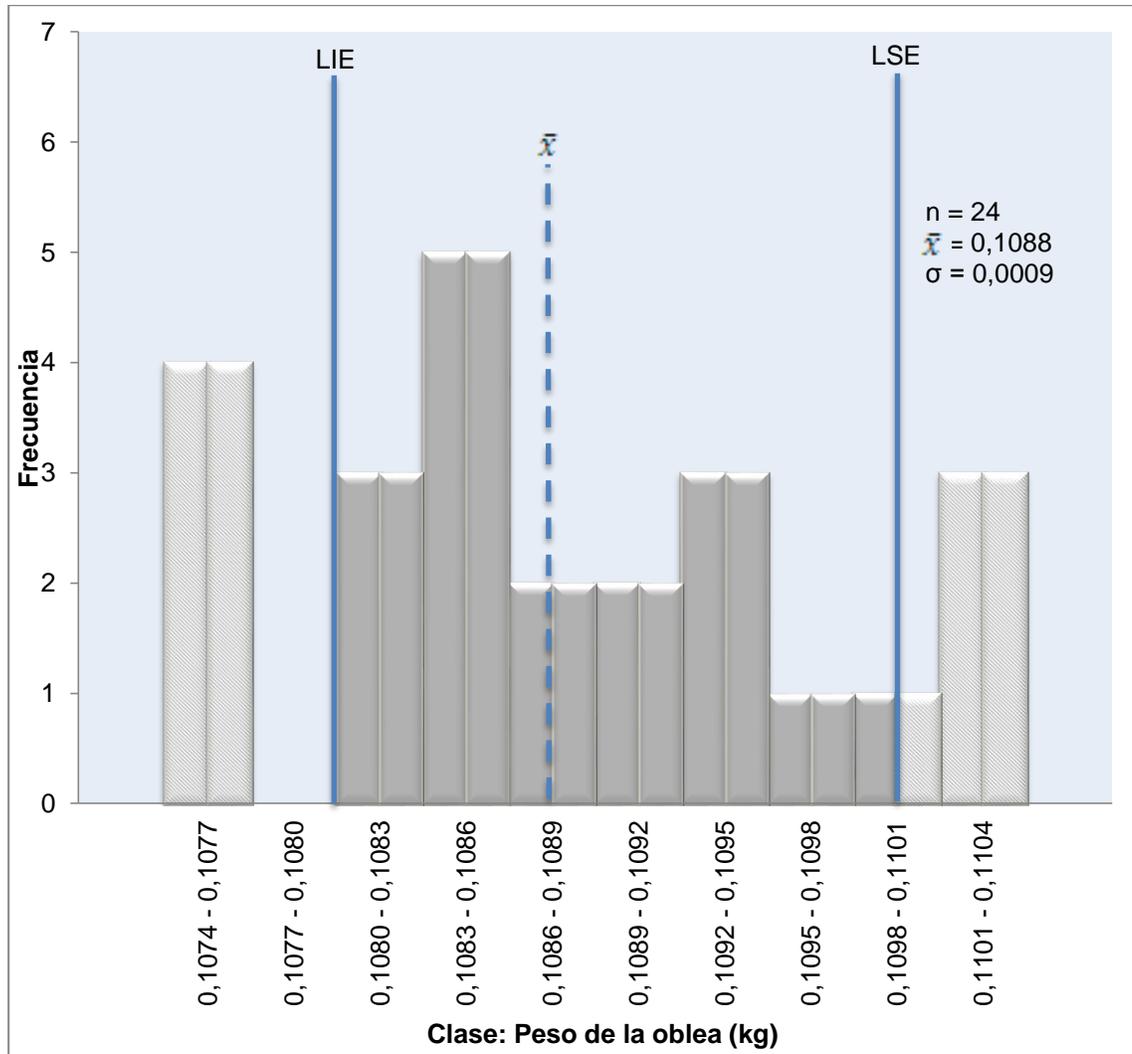
A continuación, se presenta la variabilidad de las características fisicoquímicas de la oblea, antes y después de la determinación de los parámetros de operación adecuados del horno.

Figura 2. **Histograma del peso de oblea al salir del horno (antes del balance de masa)**



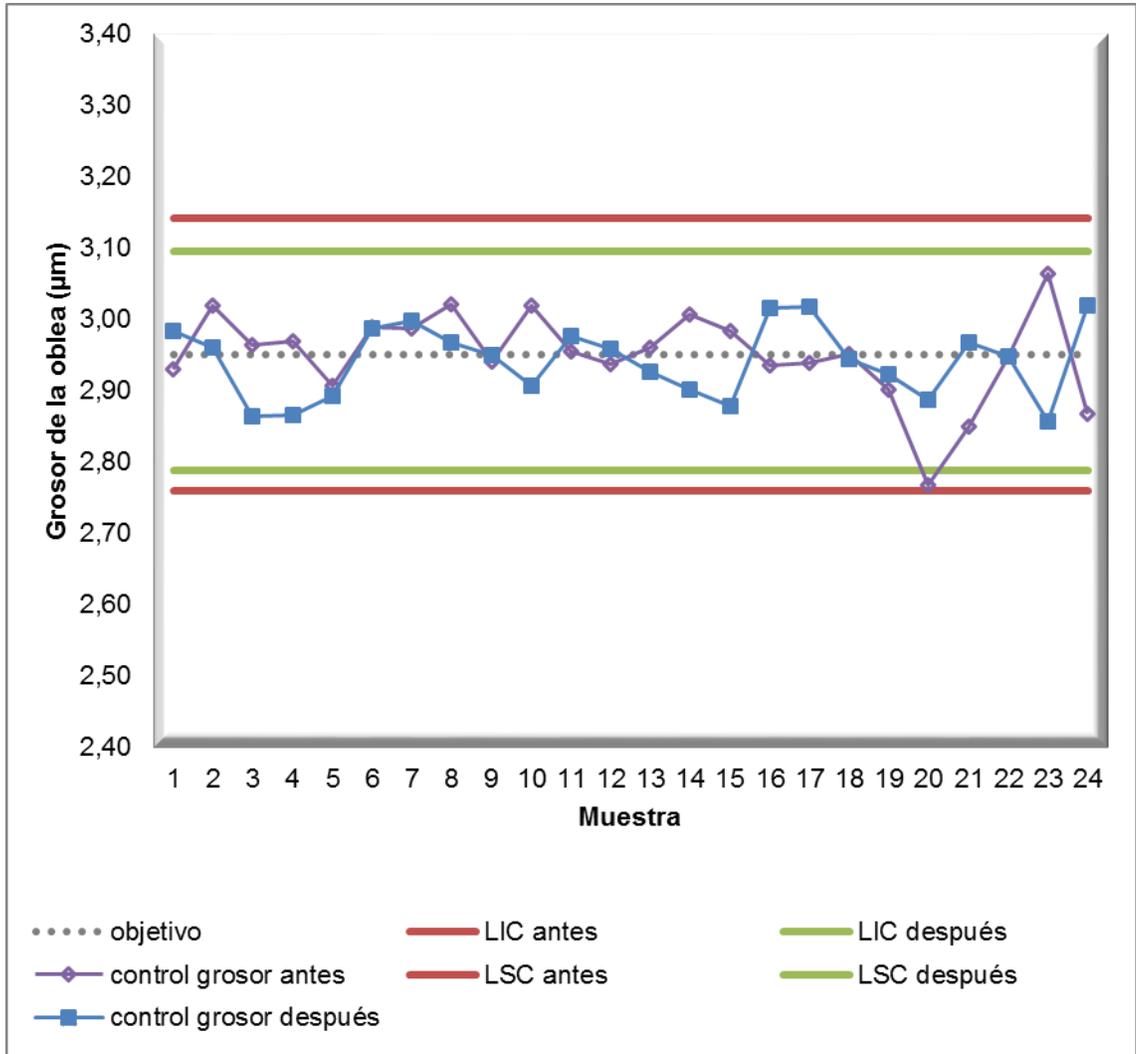
Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Histograma del peso de oblea al salir del horno  
(después del balance de masa)**



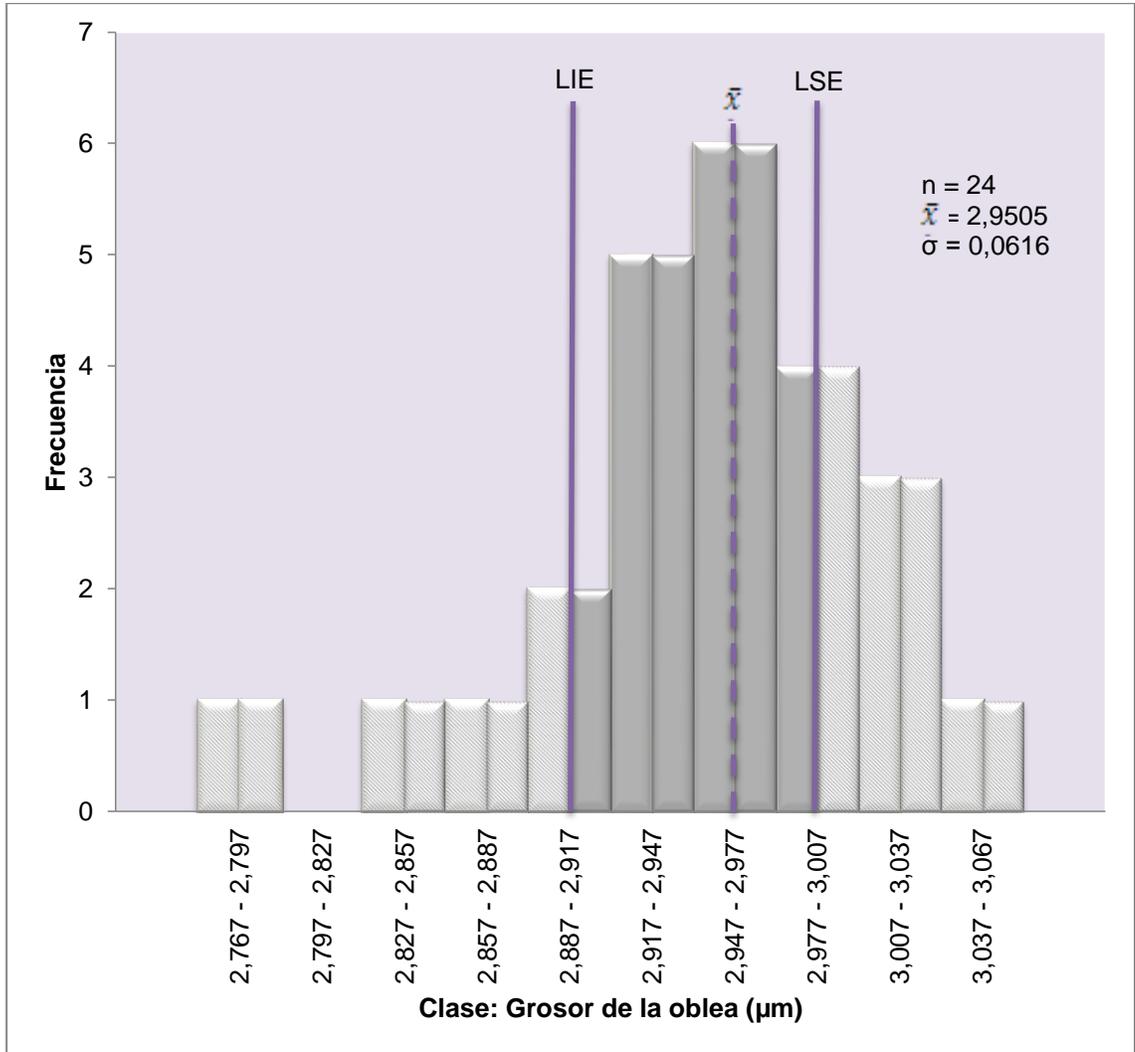
Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Gráfica de control del peso de la oblea al salir del horno (antes y después del balance de masa)**



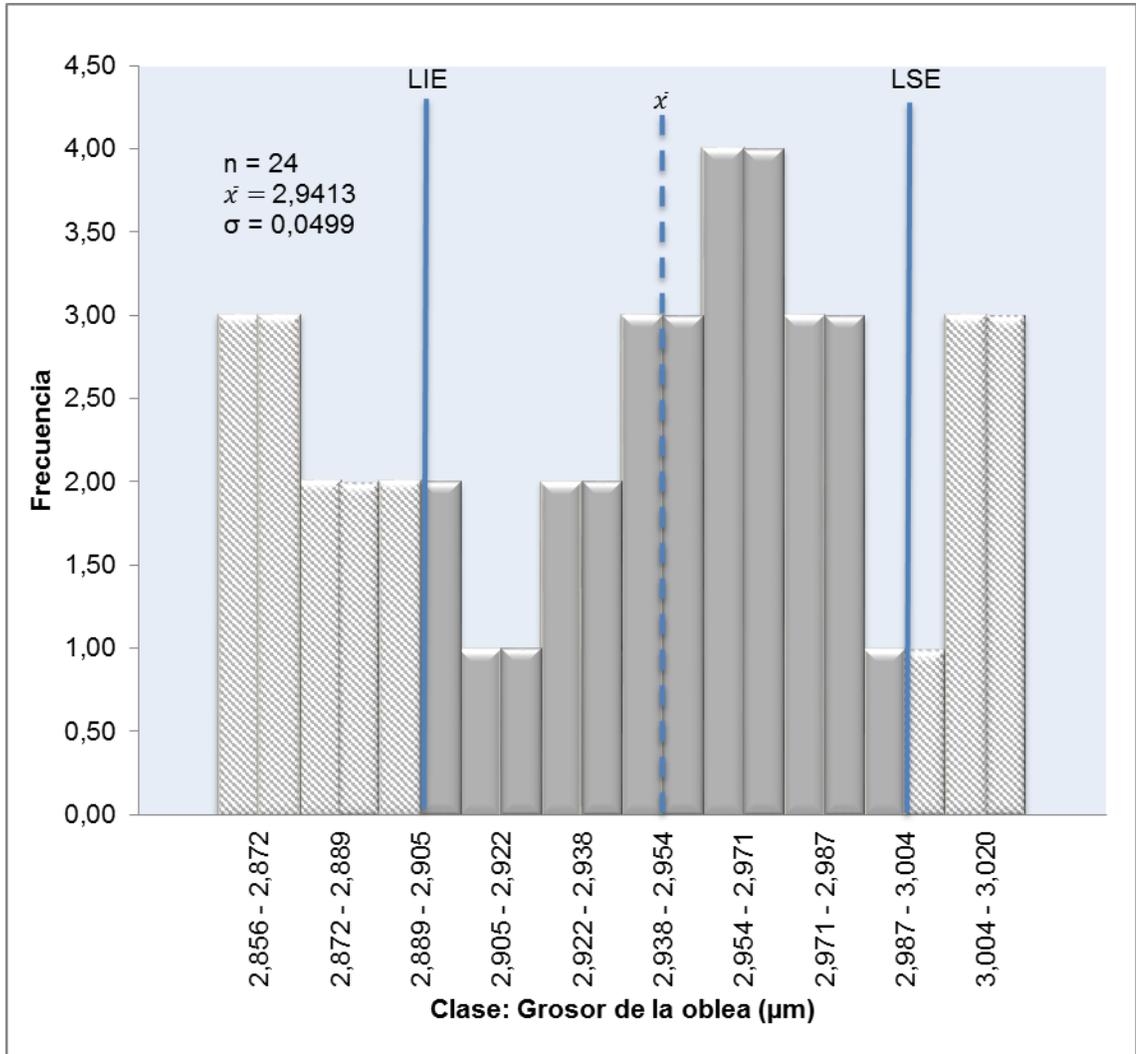
Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Histograma del grosor de la oblea al salir del horno  
(antes del balance de masa)**



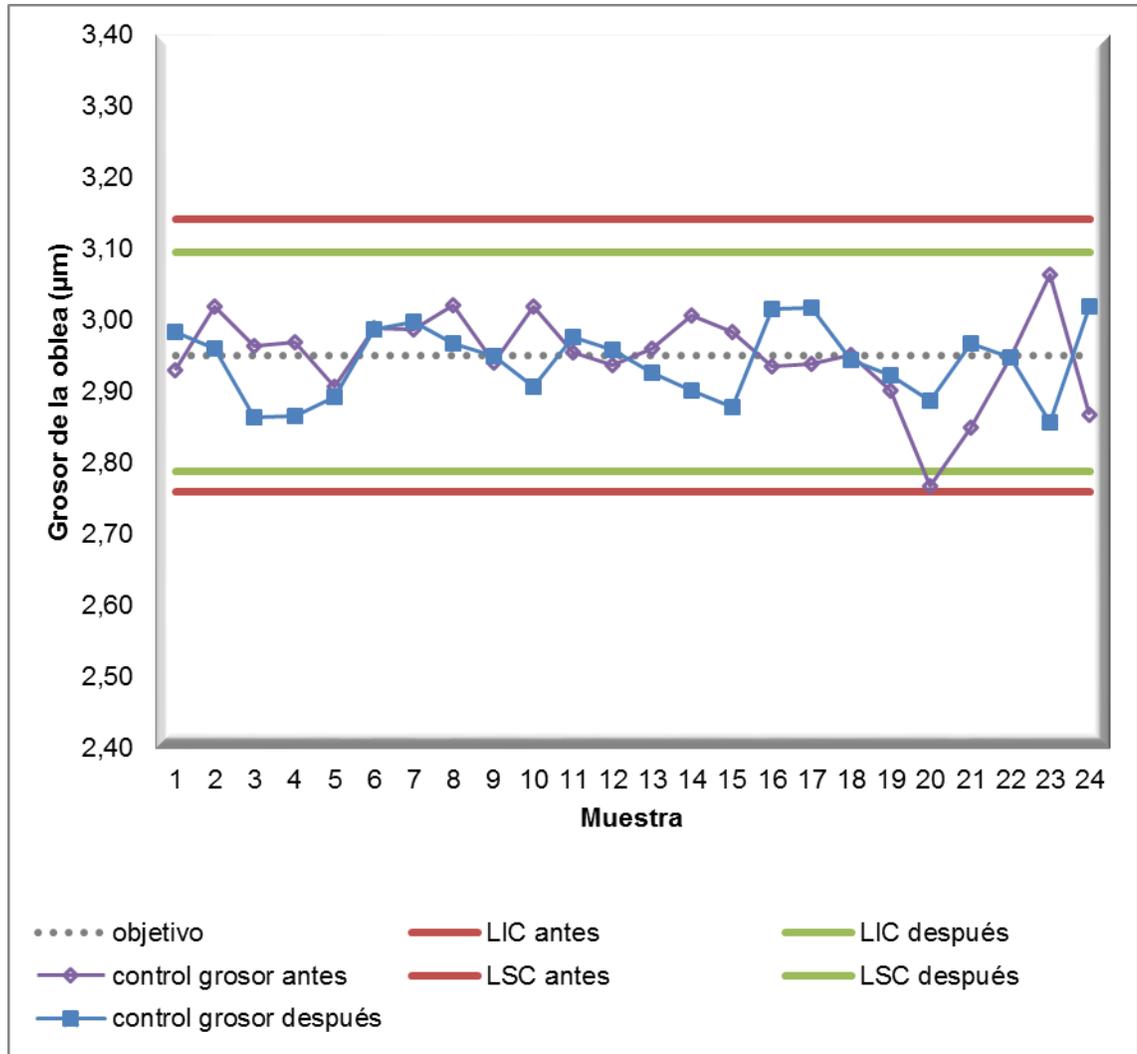
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Histograma del grosor de la oblea al salir del horno  
(después del balance de masa)**



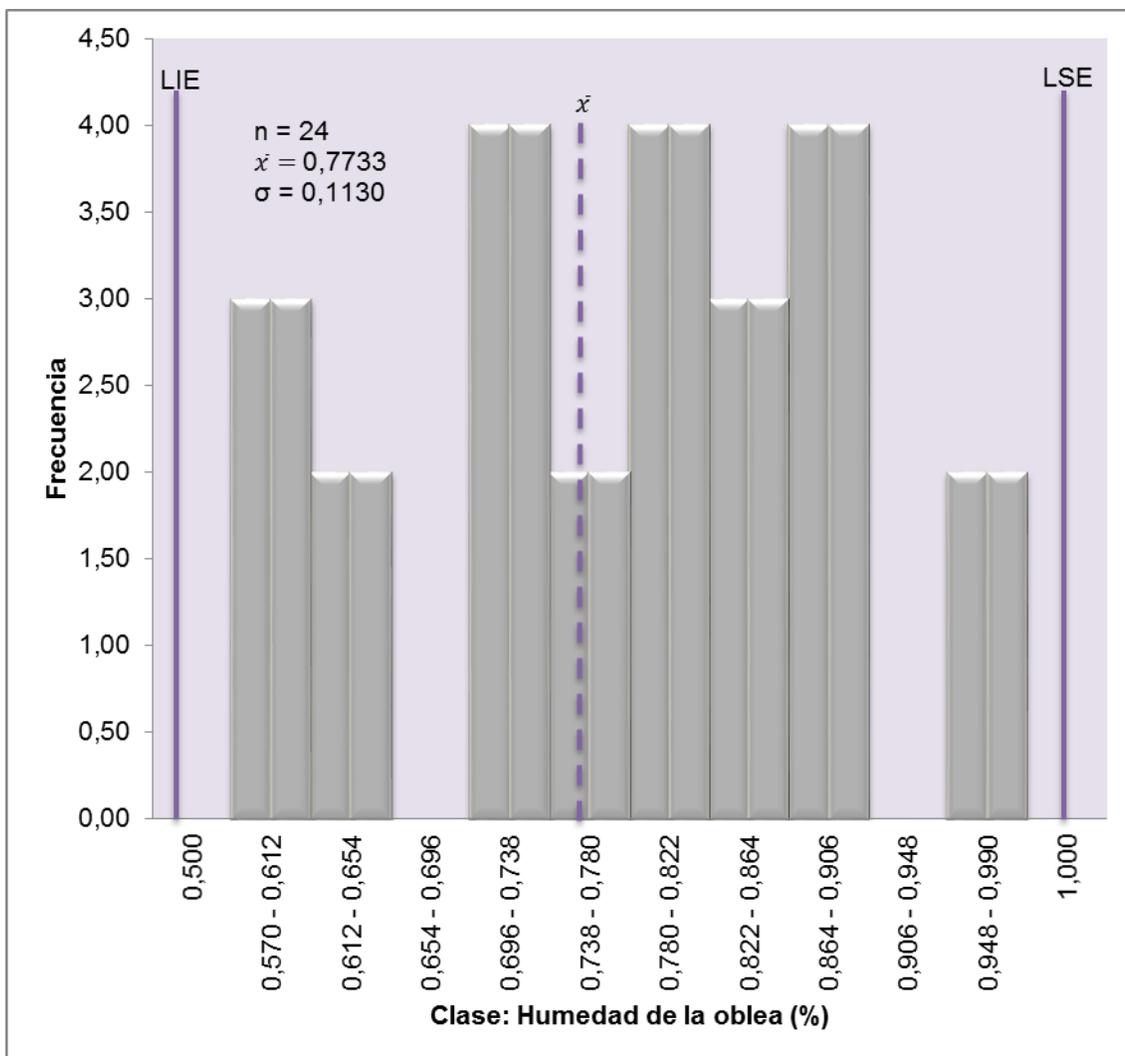
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Gráfica de control del grosor de la oblea al salir del horno (antes y después del balance de masa)**



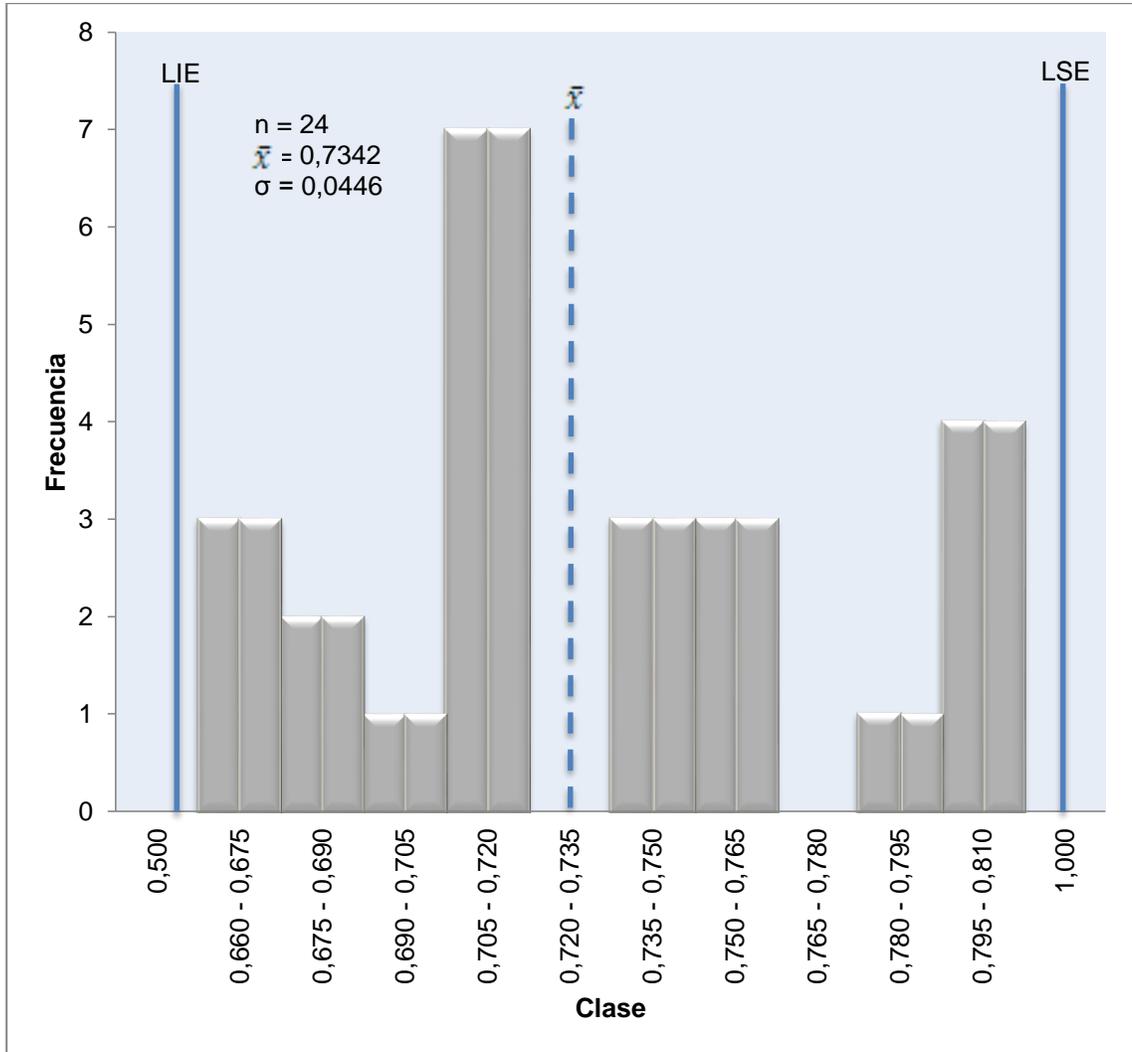
Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Histograma de la humedad de la oblea al salir del horno  
(antes del balance de masa)**



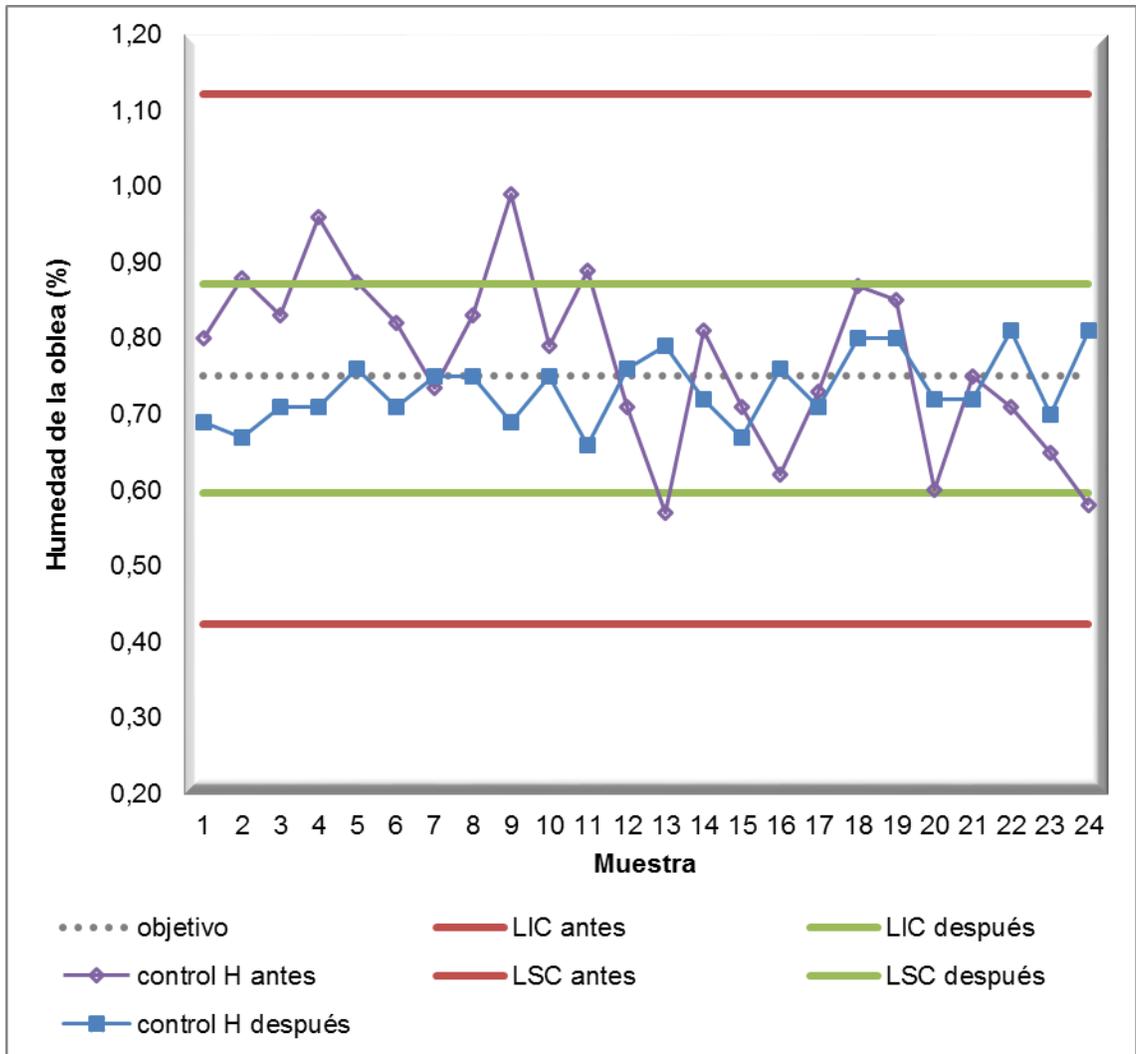
Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Histograma de la humedad de la oblea al salir del horno (después del balance de masa)**



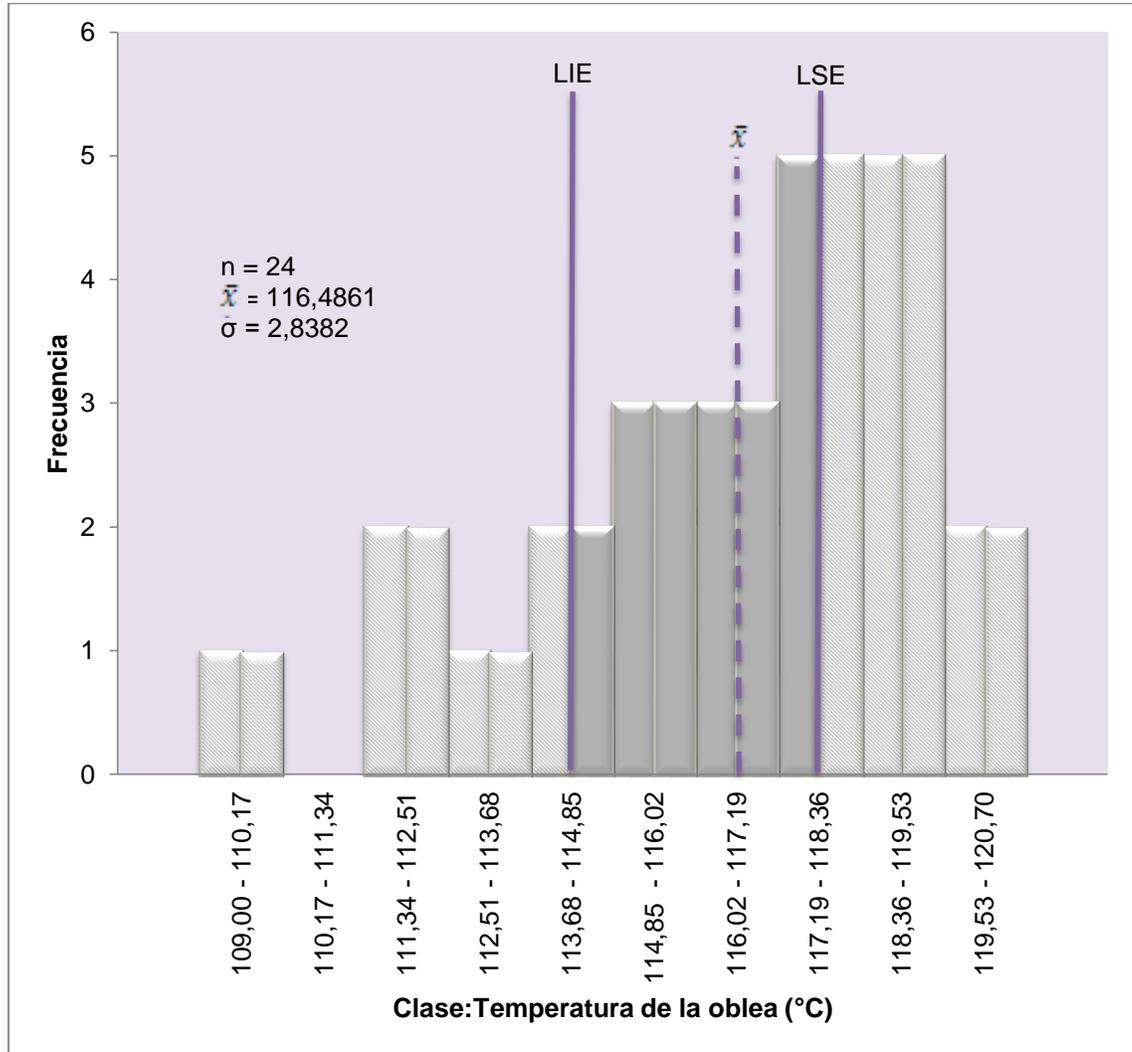
Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Gráfica de control de la humedad de la oblea al salir del horno (antes y después del balance de masa)**



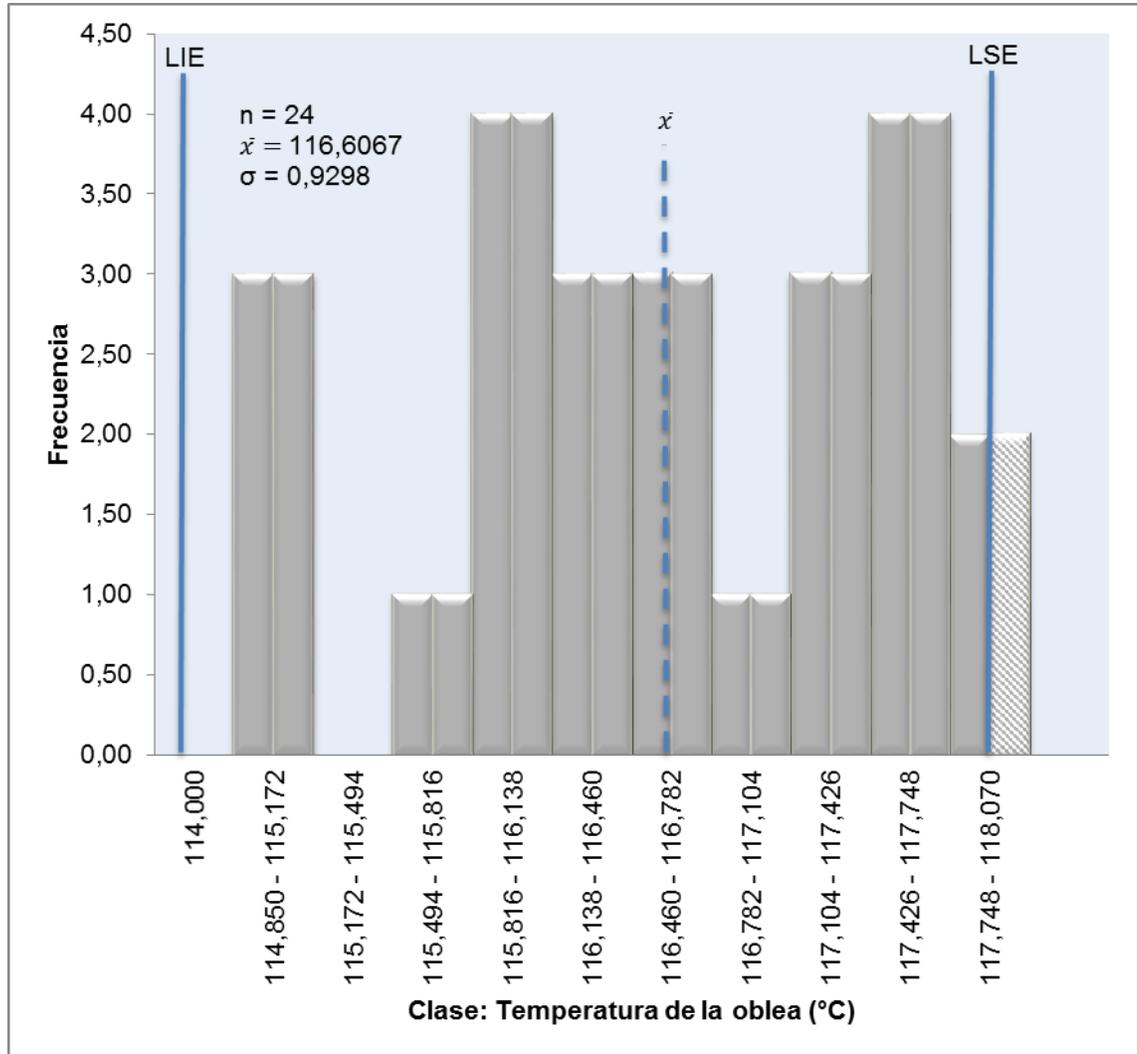
Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Histograma de la temperatura de la oblea al salir del horno (antes del balance de masa)**



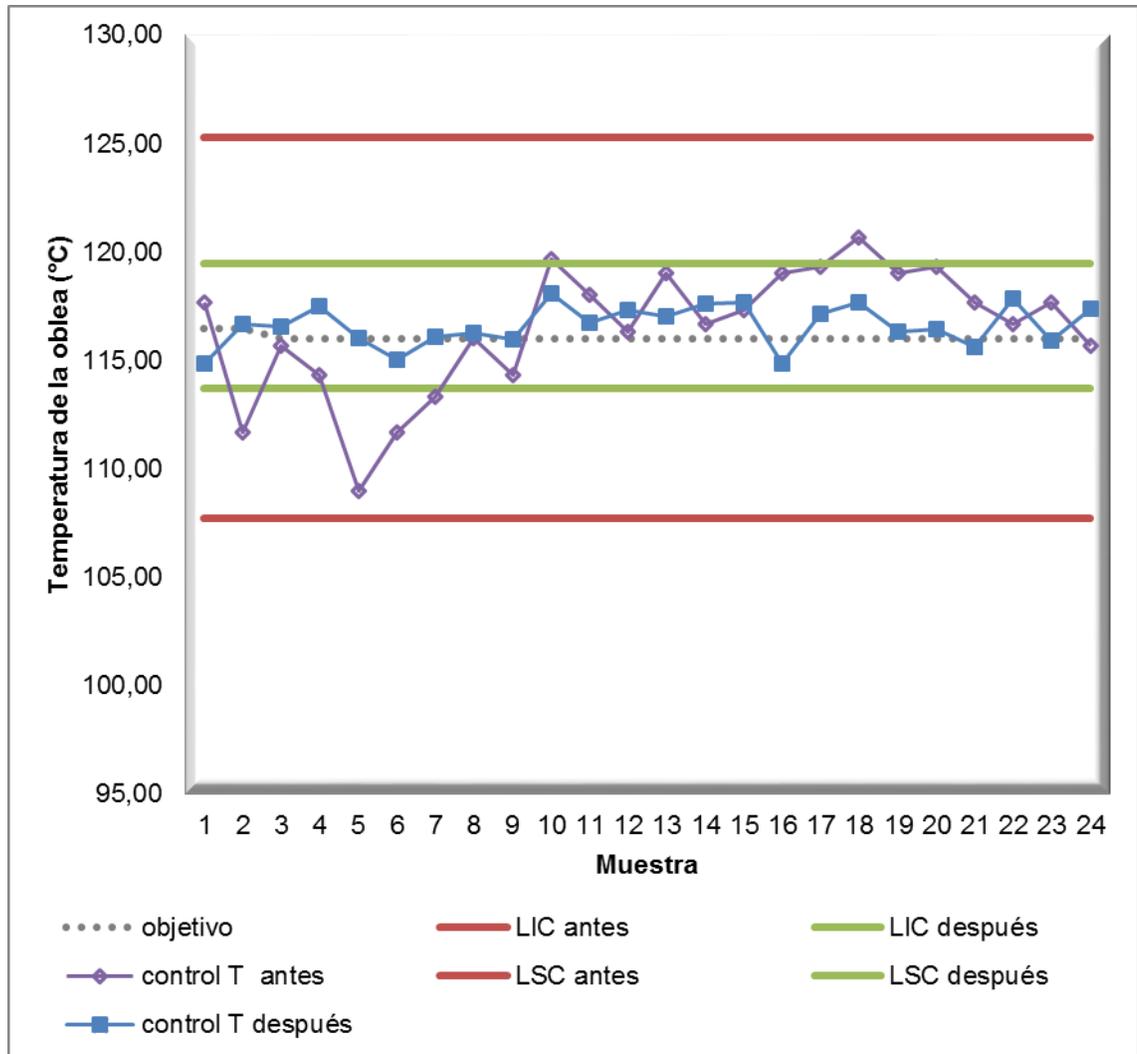
Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Histograma de la temperatura de la oblea al salir del horno (después del balance de masa)**



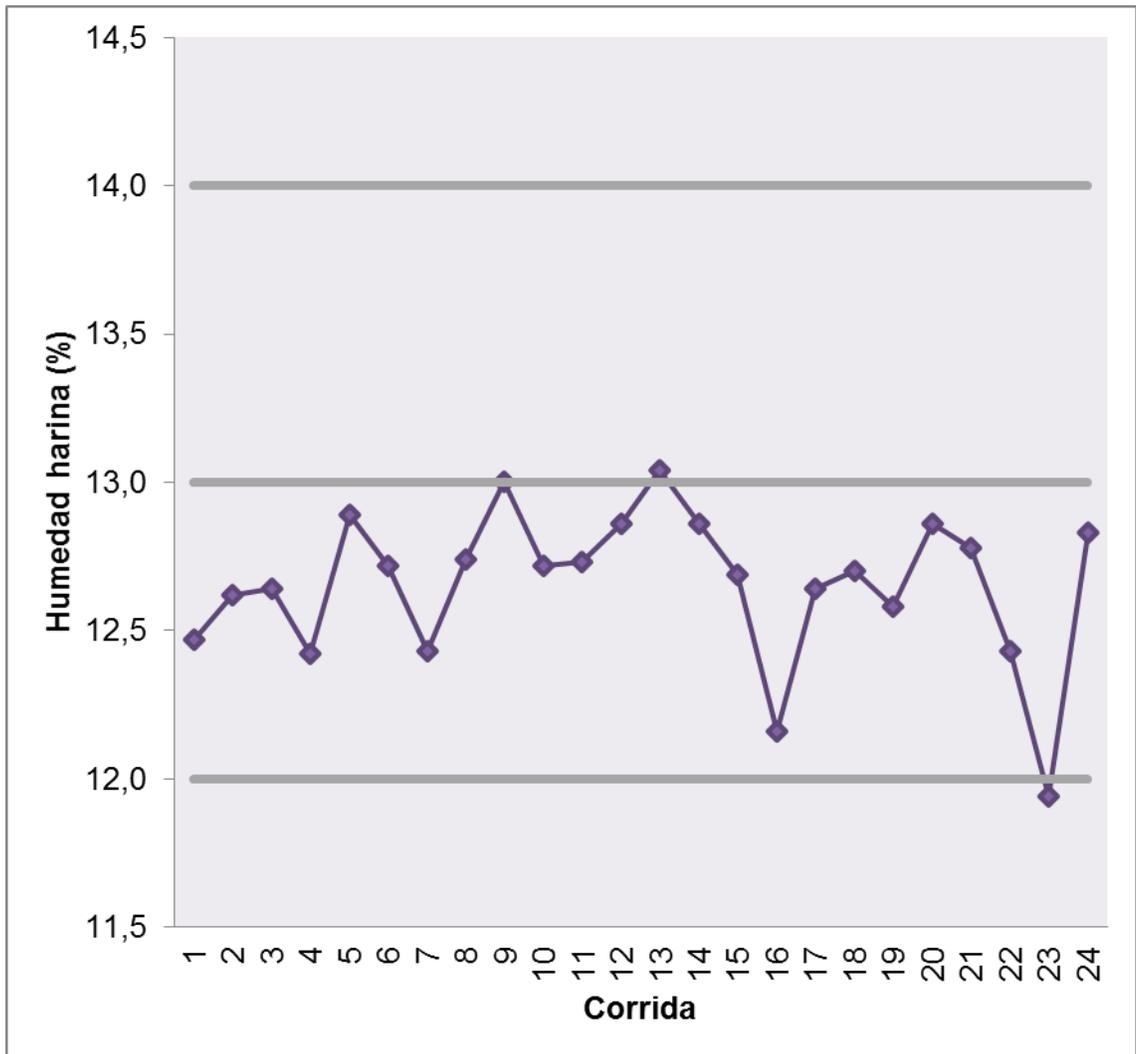
Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Gráfica de control de la temperatura de la oblea al salir del horno (antes y después del balance de masa)**



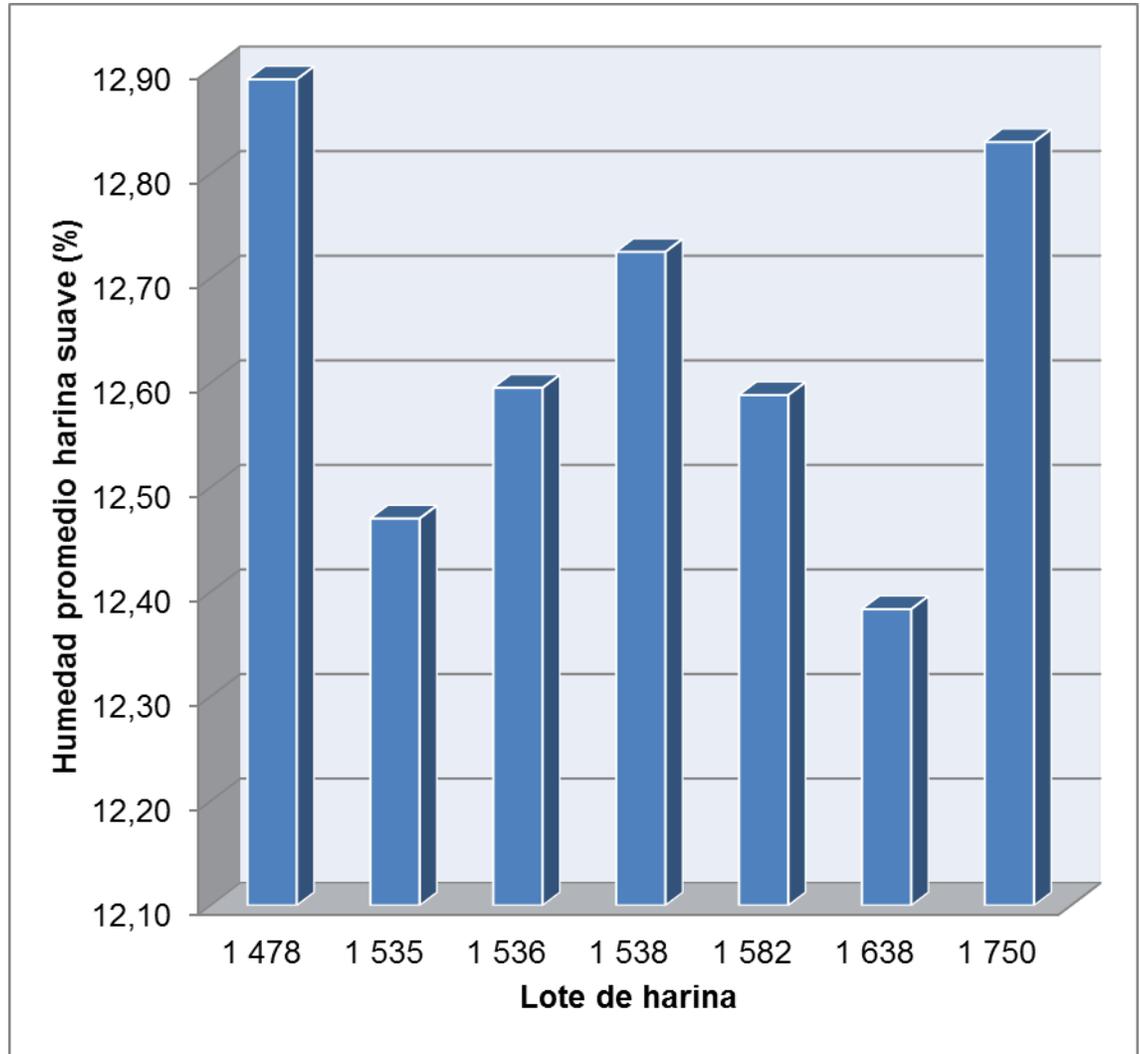
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Gráfica de la humedad de la harina



Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Comportamiento de la humedad de la harina respecto al lote de fabricación**



Fuente: elaboración propia.



## 4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el presente trabajo tuvieron como objetivo disminuir o en el mejor caso eliminar la variabilidad que presentan las características fisicoquímicas de la oblea al momento de salir del horno.

Las características fisicoquímicas de las cuales se habla son peso, grosor, temperatura y humedad. Por lo tanto, las ilustraciones que se presentan en la sección de resultados, muestran el comportamiento de estas características, tanto antes, como después del establecimiento de los parámetros adecuados del horno.

Para realizar el estudio se tiene como estándar el peso de la oblea (0,109 kilogramos), esta característica es la base para alcanzar los objetivos planteados.

Los histogramas que se encuentran ilustrados en la sección de resultados, presentan el comportamiento de las características fisicoquímicas de la oblea.

Existe una diferencia entre el rango que abarcan los resultados antes de la determinación de los parámetros, ya que después de la misma la variabilidad en los resultados de las características fisicoquímicas se logró disminuir.

Debido a que se llevaron a cabo análisis de la harina, se pudo determinar que la materia prima no es causante de la problemática de la variabilidad de las características fisicoquímicas.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, como se puede observar en las figura 19 se pudo tener conocimiento que los lotes que cumplieron con lo esperado en la producción son el 1 538 y el 1 582.

El rango de la humedad de la harina, tiene permitido una variación de 0,3%; esto con el fin de tener un mejor control del proceso.

El balance de masa obtenido indica que los parámetros con los que se está trabajando no son los más convenientes, por lo que se obtuvieron resultados adecuados. En el caso de la harina, se debería trabajar con una humedad en un rango variable de 0,3%, esto significaría que en lugar de que se acepte una harina con humedad entre [12 – 14] por ciento se debería aceptar con un rango entre [12,5 – 12,8] por ciento.

Según el balance de masa y las tendencias que se observan en los histogramas y las gráficas de control, se determina que el flujo másico de la mezcla debe ser de 670,93 kilogramo por hora obteniendo un flujo másico de la oblea de 281,22 kilogramo por hora. Mientras que las temperaturas de la mezcla, el horno y la oblea deben ser de 20 grados centígrados, 140 grados centígrados y 116 grados centígrados respectivamente.

Para definir si el proceso es capaz, se obtuvieron las capacidades de proceso, tanto potencial ( $C_p$ ) como real ( $C_{pk}$ ). Esto se definió antes y después de la determinación de los parámetros del horno. A pesar de que con las condiciones adecuadas la capacidad de proceso aumentó, sigue siendo menor de 1, lo que significa que se deben realizar otras mejoras para que el proceso, no solamente esté controlado sino que a la vez sea capaz.

## **5. METODOLOGÍA**

### **5.1. Variables**

El término variable se puede definir como toda aquella característica o cualidad que identifica a una realidad y que se puede medir, controlar y estudiar mediante un proceso de investigación.

Una variable puede tomar diferentes valores, estos pueden ser cuantitativos o cualitativos.

Las variables dependientes e independientes se refieren a valores que varían de forma correlacionada entre ellas. Las variables dependientes son aquellas que se observa que varían en respuesta a los cambios de las variables independientes. Las variables independientes son aquellas que se manipulan de forma deliberada para provocar la modificación de las variables dependientes.

Tabla IV. Descripción de las variables de la masa líquida

Variable dependiente	Variable independiente	Tipo de variable	Nivel de análisis	Instrumento de medición
Parámetros fisicoquímicos	Temperatura (°C)	Cuantitativa continua	Intervalo	Termómetro
	Presión de entrada horno (bar)		Razón	Manómetro
	Volumen de agua (L)		Razón	Estequiometria
	Temperatura de agua (°C)		Intervalo	Termómetro
	Tiempo de batido (min)		Razón	Cronómetro
Viscosidad (Zahn segundos)	Tiempo de goteo		Razón	Copa Zahn
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Masa (kg)		Razón	Balanza
	Volumen (m <sup>3</sup> )		Razón	Probeta
Flujo volumétrico (L/min)	Volumen (L)		Razón	Contador digital del horno
	Tiempo (min)		Razón	Cronómetro

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Descripción de las variables de la oblea

<b>Variable dependiente</b>	<b>Variable independiente</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Nivel de análisis</b>	<b>Instrumento de medición</b>
Parámetros fisicoquímicos	Peso (g)	Cuantitativa continua	Razón	Balanza
	Grosor (mm)	Cuantitativa continua	Razón	Micrómetro
	Humedad infrarrojo (%)	Cuantitativa continua	Razón	Balanza con lámpara de halógeno
	Temperatura (°C)	Cuantitativa continua	Intervalo	Termómetro digital tipo pistola
Flujo másico (oblas/min)	Cantidad (oblas)	Cuantitativa discreta	Razón	Contador digital del horno
	Tiempo (min)	Cuantitativa continua	Razón	Cronómetro
Merma	Peso del chicharrón (kg)	Cuantitativa continua	Razón	Balanza

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Descripción de las variables de la harina**

<b>Variable dependiente</b>	<b>Variable independiente</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Nivel de análisis</b>	<b>Instrumento de medición</b>
Parámetros fisicoquímicos	Humedad infrarrojo (%)	Cuantitativa continua	Razón	Balanza con lámpara de halógeno

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Descripción de las variables internas del horno**

<b>Variable dependiente</b>	<b>Variable independiente</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Nivel de análisis</b>	<b>Instrumento de medición</b>
Parámetros fisicoquímicos	Tiempo de cocción (min)	Cuantitativa continua	Razón	Cronómetro
	Temperatura (°C)	Cuantitativa continua	Intervalo	Termómetro digital del horno

Fuente: elaboración propia.

## **5.2. Delimitación de campo de estudio**

El estudio se llevará a cabo en el área de galletería de la planta productora Capsa Colombina. Se debe tomar en cuenta que el tipo de producto que se está fabricando no tiene influencia directa con el estudio que se desea realizar, por lo que los datos que se recopilen pueden ser de los diferentes productos que se elaboran.

## **5.3. Recursos humanos disponibles**

- Directora de la Unidad de EPS: Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña
- Coordinadora de área industrial: Inga. Sigrid Alitza Calderón de León
- Asesora-supervisora docente: Inga. Lorena Victoria Pineda Cabrera
- Director de Escuela de Ingeniería Química: Ing. Víctor Monzón Valdez
- Asesor dentro de la empresa: Ing. Jorge Eliecer Granada
- Estudiante de EPS: Hellen Josefina Sosa López

## **5.4. Recursos materiales disponibles**

Los materiales a utilizar constan, tanto de equipo como de cristalería. Se debe de asegurar que los mismos se encuentren en condiciones adecuadas de uso, ya que de lo contrario pueden causar alteraciones al momento de realizar toma o análisis de datos.

#### **5.4.1. Equipo**

El equipo que se utilizará para esta investigación será:

- Horno a gas por calefacción directa
- Balanza con lámpara de halógeno
- Balanza
- Cronómetro
- Termómetro
- Termómetro digital tipo pistola

#### **5.4.2. Cristalería**

La cristalería a utilizar será la siguiente:

- Beakers
- Espátulas
- Probeta
- Copa Zahn
- Mortero

#### **5.5. Técnica cuantitativa**

Debido a que la investigación tiene como fundamento los parámetros de operación del horno, la técnica que se debe utilizar para llevarla a cabo es cuantitativa.

Ya que se trabajará con una metodología numérica, es necesario especificar los límites con los cuales la oblea y la masa líquida cumplen con las características fisicoquímicas ya antes mencionadas.

Tabla VIII. **Detalle de los requerimientos de la oblea y de la masa líquida**

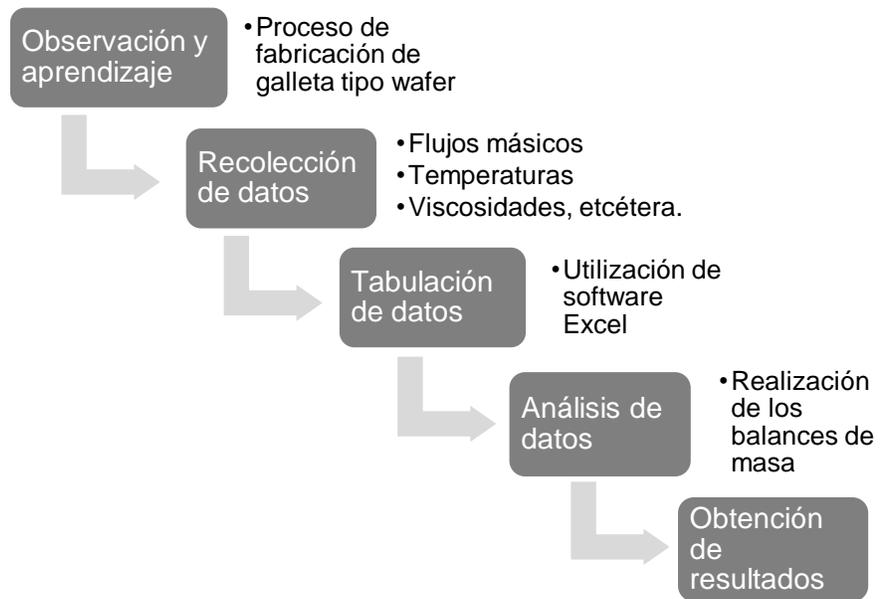
<b>Variable</b>	<b>Límite inferior</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Límite superior</b>
Peso de la oblea (kg)	0,108	0,109	0,110
Grosor de la oblea (mm)	2,900	2,950	3,000
Humedad infrarrojo de la oblea (%)	0,500	0,750	1,000
Temperatura de la oblea (°C)	114,000	116,000	118,000
Viscosidad de la masa líquida (Zahn segundos)	20,000	22,500	25,000

Fuente: Procalidad colombiana. Proceso operacional para la preparación de galleta wafer. p. 3.

## **5.6. Recolección y ordenamiento de la información**

Para llevar a cabo la recolección y el ordenamiento de la información se debe tomar en cuenta las variables a analizar y el tipo de metodología que se utilizará para la investigación.

Figura 16. **Diagrama de recolección y ordenamiento de la información**



Fuente: elaboración propia.

### **5.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información**

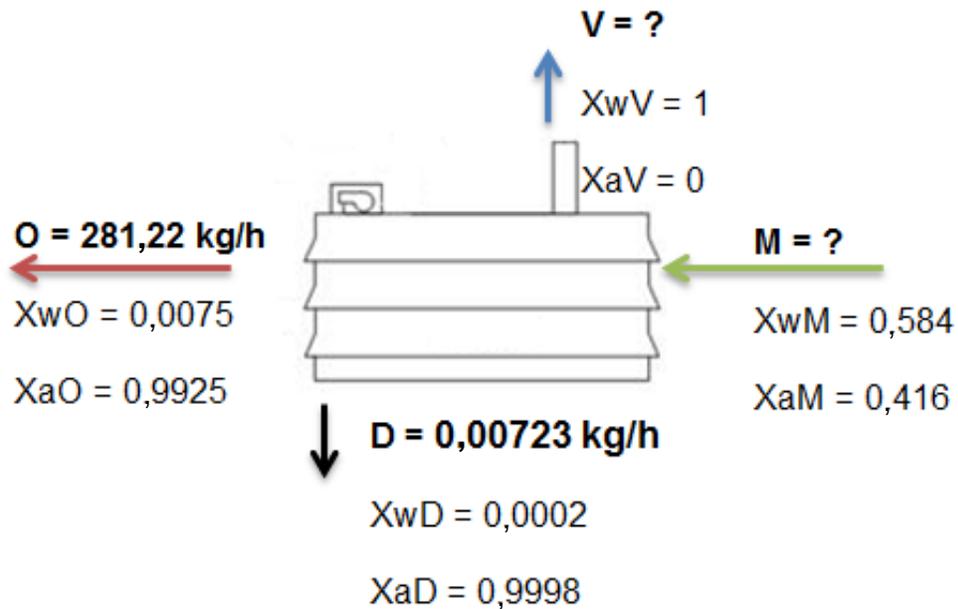
Para recolectar los datos necesarios para realizar el trabajo de EPS, se hará en un formato previamente diseñado, esto servirá para facilitar la toma de datos.

La tabulación de datos se realizará en el software de Excel, de forma que el ordenamiento y procesamiento de la información sea más efectivo.

### **5.8. Determinación del balance de masa**

Para la determinación del balance de masa es importante realizar el diagrama de equipo del horno galletero, esto con el fin de visualizar de mejor manera las entradas y las salidas del sistema.

Figura 17. Diagrama de equipo



Fuente: elaboración propia.

Donde:

- M: flujo másico de la mezcla (kg/h)
- O: flujo másico de la oblea (kg/h)
- V: flujo másico del vapor (kg/h)
- D: flujo másico del vapor (kg/h)
- $X_{wM}$ : fracción másica del agua en la mezcla
- $X_{aM}$ : fracción másica de los ingredientes adicionales en la mezcla
- $X_{wO}$ : fracción másica del agua en la oblea
- $X_{aO}$ : fracción másica de los ingredientes adicionales en la oblea
- $X_{wV}$ : fracción másica del agua en el vapor
- $X_{aV}$ : fracción másica de los ingredientes adicionales en el vapor
- $X_{wD}$ : fracción másica del agua en los desechos (chicharrón)
- $X_{aD}$ : fracción másica de los ingredientes adicionales en los desechos

Balance general en H

$$M = V + O + D$$

Las ecuaciones de los componentes adicionales (a) se obtuvieron para sustituir en la ecuación del balance general en términos de la incógnita M:

Balance de w en H

$$M(x_w M) = V(x_w V) + D(x_w D) + O(x_w O)$$

Balance de a en H

$$M(x_a M) = V(x_a V) + D(x_a D) + O(x_a O)$$

## 5.9. Análisis estadístico

En el caso de este estudio el análisis se basa en la estadística inferencial, la cual se dedica a la generación de los modelos, inferencias y predicciones asociadas a los fenómenos en cuestión teniendo en cuenta la aleatoriedad de las observaciones. Se usa para modelar patrones en los datos y extraer inferencias acerca de la población bajo estudio.

### 5.9.1. Determinación del tamaño de la muestra

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 \cdot p \cdot (1-p)}{d^2} \quad (5.9-1)$$

Donde:

n: tamaño de la muestra

Z: nivel de confianza

p: proporción estimada

d: margen de error

Tabla IX. **Datos necesarios para calcular el tamaño de la muestra**

<b>Nivel de confianza</b>	<b>Proporción estimada</b>	<b>Proporción no estimada</b>	<b>Margen de error</b>
95%	5%	95%	20%

Fuente: elaboración propia.

Ejemplo 1. Tomando en cuenta los datos de la tabla VII:

$$n = \frac{1,96^2 \cdot 0,5 \cdot (1-0,5)}{0,2^2} = 24,0100 \approx 24 \text{ corridas}$$

### 5.10. **Control estadístico de proceso (CEP)**

El CEP es una herramienta estadística que se utiliza para conseguir el producto adecuado, sin tener que realizar pruebas aleatorias en el equipo. Los gráficos de control constituyen el procedimiento básico del CEP. Con dicho procedimiento se pretende cubrir tres objetivos:

- Seguimiento y vigilancia del proceso
- Reducción de la variación
- Menos costo por unidad

En cualquier proceso productivo, por muy bien que se diseñe y por muy cuidadosamente que se controle, siempre existirá una cierta variabilidad inherente que no se puede evitar. Esta variabilidad es llamada “ruido de fondo”, el efecto acumulado de muchas pequeñas causas de carácter, esencialmente, incontrolable.

Cuando el “ruido de fondo” es relativamente pequeño se considera aceptable el nivel de funcionamiento del proceso y se dice que la variabilidad natural es originada por un “sistema estable de causas de azar”. Un proceso sobre el que sólo actúan causas de azar se dice que está bajo control estadístico.

Por el contrario, existen otras causas de variabilidad que pueden estar, ocasionalmente, presentes y que actuarán sobre el proceso. Estas causas se derivan, fundamentalmente, de tres fuentes:

- Ajuste inadecuado de las máquinas
- Errores de las personas que manejan las máquinas
- Materia prima defectuosa

La variabilidad producida por estas causas suele ser grande en comparación con el “ruido de fondo” y habitualmente sitúa al proceso en un nivel inaceptable de funcionamiento. Estas causas son llamadas “causas asignables” y se dice que un proceso funcionando bajo “causas asignables” está fuera de control.

Un objetivo fundamental del CEP es detectar rápidamente la presencia de “causas asignables” para emprender acciones correctoras que eviten la fabricación de productos defectuosos.

#### **5.10.1. Capacidad de proceso (Cp)**

Se deben obtener los gráficos de control, para cada variable fisicoquímica que se analizará de la oblea, para ello, se deben calcular los siguientes límites:

$$\text{Límite inferior de control (LIC): } \bar{x} - 3,09\sigma \quad (5.10-1)$$

$$\text{Límite superior de control (LSC): } \bar{x} + 3,09\sigma \quad (5.10-2)$$

Donde:

$\bar{x}$ : media aritmética

$\sigma$ : desviación estándar

Para la determinación de la capacidad de proceso, se hace uso de la siguiente ecuación:

$$C_p = \frac{LSE-LIE}{6\sigma} \quad (5.10-3)$$

Donde:

$C_p$ : capacidad de proceso

LSE: límite superior de especificación

LIE: límite inferior de especificación

$\sigma$ : desviación estándar

#### **5.10.1.1. Frecuencia de tiempo para la toma de datos**

Debido a que se debe realizar un muestreo aleatorio de los datos de la investigación, es necesario calcular la frecuencia del tiempo para la toma de datos, utilizando la siguiente ecuación:

$$N = 2 \cdot \frac{6 \text{ horas} \cdot \frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}}}{n} \quad (5.10-4)$$

Donde:

N: número máximo que se debe buscar en la tabla de números aleatorios.

n: tamaño de la muestra.

Ejemplo 2. Tomando en cuenta el tamaño de la muestra:

$$N = 2 \cdot \frac{6 \text{ horas} \cdot \frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}}}{24} = 30$$

## 6. PRESUPUESTO

El proyecto será financiado por Capsa Colombina. El financiamiento incluye costos de los análisis necesarios para la realización del mismo. El detalle del presupuesto está basado en los seis meses que abarca el EPS.

Tabla X. **Detalle del presupuesto**

DESCRIPCIÓN	COSTO (Q)	TOTAL (Q)
<b>Recurso humano</b>		
Honorarios de asesor docente	1 000,00	6 000,00
Honorarios de asesor técnico	1 000,00	6 000,00
Honorarios de revisor	1 000,00	6 000,00
Honorarios de epesista	1 000,00	6 000,00
<b>Material y equipo de laboratorio</b>		
Equipos de laboratorio	1,67	38,48
Pruebas y procedimientos	250,00	1500,00
<b>Insumos y equipo de planta</b>		
Horno y tanque de agitación	0,27	134 272,49
Combustible	5,23	247 607,90
Materia prima	10 916,25	10 916,25
<b>Material y equipo de oficina</b>		
Computadora	1,67	601,78
Papel	30,90	61,80
Otros artículos administrativos	100,00	600,00
<b>Viáticos</b>		
Transporte	100,00	18 000,00
Peaje	15,25	5 490,00
	<b>TOTAL</b>	<b>443 088,70</b>

Fuente: elaboración propia.



## CONCLUSIONES

1. Los parámetros adecuados del horno deben ser para el ingreso de la materia prima de  $670,93 \pm 33,55$  kilogramo por hora obteniendo un flujo másico de la oblea de  $281,22 \pm 14,06$  kilogramo por hora. Mientras que las temperaturas de la mezcla, el horno y la oblea deben ser de  $20 \pm 0,5$  grados centígrados,  $140 \pm 2,8$  grados centígrados y  $116 \pm 2,9$  grados centígrados respectivamente.
2. El proceso, aún con los cambios establecidos, no cumple con la capacidad de proceso necesaria (mayor a uno). Ya que se obtuvieron resultados de 0,1410, 0,2705, 0,2349 y 0,7372 para las variables de peso, grosor, humedad y temperatura respectivamente. Esto significa que no satisface las especificaciones, pero si se encuentra en un estado controlado, ya que todavía cumple con los LIC y LSC.
3. La variabilidad de las características fisicoquímicas se disminuyó para el peso, el grosor, la humedad y la temperatura de la oblea en 62,43%, 19,06%, 67,24% y 60,5% respectivamente.
4. Como resultado del análisis de humedad que se le llevó a cabo a la harina, antes de la preparación de la mezcla, indica que esta no afecta en las características fisicoquímicas de la oblea.
5. El ahorro que se obtuvo de materia prima se puede cuantificar a través de la diferencia obtenida en el desperdicio (chicharrón), ya que se logró una disminución del 2%.



## RECOMENDACIONES

1. Utilizar una copa Zahn original, para que las viscosidades se puedan utilizar en otro sistema de medida y esta conversión esté validada, basándose en la Norma ASTM D 4212.
2. Al momento de finalizar el tiempo de mezclado, tomar los datos de la densidad (kilogramo por metro cubico). Estos se utilizarán para mejorar el control del proceso y al momento de realizar análisis, unificar todo en términos másicos o volumétricos.
3. Cumplir con los rangos que se establecen para cada materia prima, especialmente en la humedad de la harina, ya que de lo contrario se puede causar la variabilidad de las características fisicoquímicas de la oblea.
4. Medir la humedad de la harina una hora antes de su utilización en el área de producción, por lo que se recomienda disminuir el rango de aceptación al ingreso de la misma de [12,5 – 12,8] %. Esto con el fin de controlar la probabilidad de que si gana humedad durante el almacenamiento, aún se encuentre apta para su uso.
5. Llevar un registro de las condiciones en las que se utiliza una cantidad diferente de materia prima, principalmente agua, para que en los próximos estudios se tenga un historial más amplio.



## BIBLIOGRAFÍA

1. BELITZ, Hans-Dieter. *Química de los alimentos*. 2a ed. España: Acribia, 1997. 1077 p.
2. COULTATE, T.P. *Manual de Química y bioquímica de los alimentos*. 3a ed. España: Acribia, 2007. 376 p.
3. \_\_\_\_\_. *FOOD: The Chemistry of its Components*. 5a ed. España: Acribia, 2009. 501 p.
4. EVORE, Jay L. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México: Thomson, 2000. 744 p.
5. FELDER, Richard M. *Principios elementales de los procesos químicos*. 3a ed. México: Limusa, 2008. 729 p.
6. FENNEMA, Owen R. *Química de los alimentos*. 2a ed. España: Acribia, 1996. 1258 p.
7. FRANZ, Haas. *Hornos para galletas*. [en línea]. <<http://www.haas.com/es/produkte/meincke/lineas-paragalletas/galletasduras/hornos-para-galletas.html>> [Consulta: 15 de octubre de 2011].
8. KUME, Hitoshi. *Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad*. Colombia: Norma, 1996. 232 p.

9. MANLEY, Duncan J.R. *Tecnología de la Industria Galletera: galletas, crackers y otros horneados*. España: Acribia, 1989. 483 p.
10. PROCALIDAD COLOMBINA. *Proceso operacional para la preparación de galleta wafer*. Guatemala, 2009. 5 p.
11. SUDHA, M.L. *Influence of Fibre from Different Cereals on the Rheological Characteristics of Wheat Flour Dough and on Biscuit Quality*. Nueva Zelanda, 2010. 1 370 p.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. Datos originales

Datos originales de la masa líquida al ingreso del horno

Corrida	Masa líquida (m <sup>3</sup> )	Agua ( m <sup>3</sup> )	Masa líquida (m <sup>3</sup> /min)
1	58 117	0,132	
2	61 326	0,130	7,068
3	71 061	0,132	9,227
4	73 070	0,134	9,567
5	75 238	0,130	8,030
6	84 965	0,128	9,006
7	86 587	0,130	9,541
8	88 950	0,130	10,741
9	170 902	0,130	11,624
10	172 276	0,130	10,178
11	173 682	0,130	10,415
12	175 080	0,130	9,019
13	175 923	0,130	12,043
14	185 742	0,130	10,123
15	187 112	0,130	10,960
16	188 055	0,130	8,981
17	189 258	0,130	7,291
18	190 161	0,130	8,209
19	197 575	0,130	6,419
20	198 659	0,130	9,033
21	199 717	0,130	10,076
22	201 222	0,130	7,167
23	453 708	0,133	

Continuación del apéndice 1.

Datos de las variables fisicoquímicas antes del balance de masa

<b>Corrida</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Grosor (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>T (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Humedad (%)</b>
1	0,1087	2,9293	117,67	0,80
2	0,1056	3,0187	111,67	0,88
3	0,1106	2,9640	115,67	0,83
4	0,1107	2,9700	114,33	0,96
5	0,1054	2,9070	109,00	0,88
6	0,1131	2,9893	111,67	0,82
7	0,1085	2,9870	113,33	0,74
8	0,1083	3,0207	116,00	0,83
9	0,1084	2,9410	114,33	0,99
10	0,1084	3,0193	119,67	0,79
11	0,1075	2,9550	118,00	0,89
12	0,1112	2,9373	116,33	0,71
13	0,1095	2,9610	119,00	0,57
14	0,1109	3,0063	116,67	0,81
15	0,1107	2,9840	117,33	0,71
16	0,1101	2,9357	119,00	0,62
17	0,1088	2,9387	119,33	0,73
18	0,1111	2,9517	120,67	0,87
19	0,1100	2,9007	119,00	0,85
20	0,1044	2,7670	119,33	0,60
21	0,1054	2,8497	117,67	0,75
22	0,1073	2,9483	116,67	0,71
23	0,1143	3,0637	117,67	0,65
24	0,1082	2,8673	115,67	0,58

Continuación del apéndice 1.

Datos originales de las variables fisicoquímicas después del balance de masa

<b>Corrida</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Grosor (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>T (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Humedad (%)</b>
1	0,1104	2,983	114,86	0,69
2	0,1074	2,960	116,65	0,67
3	0,1083	2,864	116,57	0,71
4	0,1076	2,866	117,49	0,71
5	0,1091	2,892	116,05	0,76
6	0,1095	2,987	115,00	0,71
7	0,1093	2,998	116,10	0,75
8	0,1103	2,967	116,24	0,75
9	0,1084	2,949	115,94	0,69
10	0,1085	2,907	118,07	0,75
11	0,1101	2,976	116,73	0,66
12	0,1092	2,958	117,31	0,76
13	0,1095	2,926	117,03	0,79
14	0,1083	2,901	117,62	0,72
15	0,1088	2,878	117,66	0,67
16	0,1084	3,016	114,85	0,76
17	0,1088	3,018	117,12	0,71
18	0,1085	2,944	117,70	0,80
19	0,1086	2,923	116,31	0,80
20	0,1103	2,887	116,45	0,72
21	0,1096	2,968	115,64	0,72
22	0,1081	2,947	117,86	0,81
23	0,1077	2,856	115,93	0,70
24	0,1074	3,020	117,38	0,81

Continuación del apéndice 1.

Densidad de la masa líquida al ingresar al horno

Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1 131,448

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Datos calculados

Las siguientes tablas incluyen los datos necesarios para calcular la capacidad potencial y real del proceso antes y después del análisis:

Datos para la capacidad de proceso (antes del balance de masa)

	<b>Peso (kg)</b>	<b>Grosor (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>T (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Humedad (%)</b>
<b>Promedio</b>	0,1090	2,9505	116,4861	0,7733
<b>Desviación</b>	0,0024	0,0616	2,8382	0,1130
<b>Límite inferior de control (LIC)</b>	0,1017	2,7602	107,7161	0,4240
<b>Límite superior de control (LSC)</b>	0,1163	3,1409	125,2561	1,1226
<b>Límite inferior de especificación (LIE)</b>	0,1080	2,9000	114,0000	0,5000
<b>Límite superior de especificación (LSE)</b>	0,1100	3,0000	118,0000	1,0000
<b>Capacidad potencial de proceso (<math>C_p</math>)</b>	<b>0,1410</b>	<b>0,2705</b>	<b>0,2349</b>	<b>0,7372</b>
<b>LSE-x</b>	0,0010	0,0495	1,5139	0,2267
<b>x-LIE</b>	0,0010	0,0505	2,4861	0,2733
<b>Capacidad real de proceso (<math>C_{pk}</math>)</b>	<b>0,1347</b>	<b>0,2677</b>	<b>0,1778</b>	<b>0,6684</b>

Continuación del apéndice 2.

Datos para la capacidad de proceso (después del balance de masa)

	<b>Peso (kg)</b>	<b>Grosor (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>T (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Humedad (%)</b>
<b>Promedio</b>	0,1088	2,9413	116,6067	0,7342
<b>Desviación</b>	0,0009	0,0499	0,9298	0,0446
<b>Límite inferior de control (LIC)</b>	0,1061	2,7872	113,7337	0,5963
<b>Límite superior de control (LSC)</b>	0,1116	3,0954	119,4796	0,8720
<b>Límite inferior de especificación (LIE)</b>	0,1080	2,9000	114,0000	0,5000
<b>Límite superior de especificación (LSE)</b>	0,1100	3,0000	118,0000	1,0000
<b>Capacidad potencial de proceso (Cp)</b>	<b>0,3753</b>	<b>0,3342</b>	<b>0,7170</b>	<b>1,8676</b>
<b>LSE-x</b>	0,0012	0,0587	1,3933	0,2658
<b>x-LIE</b>	0,0008	0,0413	2,6067	0,2342
<b>Capacidad real de proceso (Cpk)</b>	<b>0,3143</b>	<b>0,2760</b>	<b>0,4995</b>	<b>1,7493</b>

Continuación del apéndice 2.

A continuación se incluyen las tablas de la frecuencia de la toma de muestras para determinar la capacidad de proceso:

Frecuencia de tiempo para la toma de datos (antes del balance de masa)

<b>Muestra No.</b>	<b>Intervalo según tabla de No. aleatorios</b>	<b>Hora para tomar muestra</b>
1	0	07:10 a.m.
2	17	07:27 a.m.
3	9	07:36 a.m.
4	18	07:54 a.m.
5	5	07:59 a.m.
6	29	08:28 a.m.
7	31	08:59 a.m.
8	8	09:07 a.m.
9	24	09:31 a.m.
10	16	09:47 a.m.
11	14	10:01 a.m.
12	24	10:25 a.m.
13	23	10:48 a.m.
14	5	10:53 a.m.
15	12	11:05 a.m.
16	12	11:17 a.m.
17	11	11:28 a.m.
18	8	11:36 a.m.
19	0	11:36 a.m.
20	13	11:49 a.m.
21	24	12:13 p.m.
22	22	12:35 p.m.
23	8	12:43 p.m.
24	25	01:08 p.m.

Continuación del apéndice 2.

Frecuencia de tiempo para la toma de datos (después del balance de masa)

<b>Muestra No.</b>	<b>Intervalo según tabla de No. aleatorios</b>	<b>Hora para tomar muestra</b>
1	0	07:10 a.m.
2	2	07:12 a.m.
3	24	07:36 a.m.
4	7	07:43 a.m.
5	12	07:55 a.m.
6	24	08:19 a.m.
7	1	08:20 a.m.
8	0	08:20 a.m.
9	32	08:52 a.m.
10	27	09:19 a.m.
11	3	09:22 a.m.
12	4	09:26 a.m.
13	18	09:44 a.m.
14	25	10:09 a.m.
15	11	10:20 a.m.
16	16	10:36 a.m.
17	12	10:48 a.m.
18	8	10:56 a.m.
19	7	11:03 a.m.
20	17	11:20 a.m.
21	17	11:37 a.m.
22	17	11:54 a.m.
23	20	12:14 p.m.
24	11	12:25 p.m.

Continuación del apéndice 2.

Las tablas siguientes incluyen los datos necesarios para la realización de los histogramas de las propiedades fisicoquímicas de la oblea, tanto antes como después de la determinación de los parámetros del horno:

Clases para histograma de peso (antes del balance de masa)

	<b>No.</b>	<b>Clase</b>	<b>Punto medio de la clase</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>ANTES</b>	<b>1</b>	0,1044 - 0,1054	0,1049	3
	<b>2</b>	0,1054 - 0,1064	0,1059	1
	<b>3</b>	0,1064 - 0,1074	0,1069	1
	<b>4</b>	0,1074 - 0,1084	0,1079	5
	<b>5</b>	0,1084 - 0,1094	0,1089	3
	<b>6</b>	0,1094 - 0,1104	0,1099	3
	<b>7</b>	0,1104 - 0,1114	0,1109	6
	<b>8</b>	0,1114 - 0,1124	0,1119	0
	<b>9</b>	0,1124 - 0,1134	0,1129	1
	<b>10</b>	0,1134 - 0,1144	0,1139	1

Continuación del apéndice 2.

Clases para histograma de peso (después del balance de masa)

	<b>No.</b>	<b>Clase</b>	<b>Punto medio de la clase</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>DESPUÉS</b>	<b>1</b>	0,1074 - 0,1077	0,10755	4
	<b>2</b>	0,1077 - 0,1080	0,10785	0
	<b>3</b>	0,1080 - 0,1083	0,10815	3
	<b>4</b>	0,1083 - 0,1086	0,10845	5
	<b>5</b>	0,1086 - 0,1089	0,10875	2
	<b>6</b>	0,1089 - 0,1092	0,10905	2
	<b>7</b>	0,1092 - 0,1095	0,10935	3
	<b>8</b>	0,1095 - 0,1098	0,10965	1
	<b>9</b>	0,1098 - 0,1101	0,10995	1
	<b>10</b>	0,1101 - 0,1104	0,11025	3

Clases para histograma de grosor (antes del balance de masa)

	<b>No.</b>	<b>Clase</b>	<b>Punto medio de la clase</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>ANTES</b>	<b>1</b>	2,767 - 2,797	2,782	1
	<b>2</b>	2,797 - 2,827	2,812	0
	<b>3</b>	2,827 - 2,857	2,842	1
	<b>4</b>	2,857 - 2,887	2,872	1
	<b>5</b>	2,887 - 2,917	2,902	2
	<b>6</b>	2,917 - 2,947	2,932	5
	<b>7</b>	2,947 - 2,977	2,962	6
	<b>8</b>	2,977 - 3,007	2,992	4
	<b>9</b>	3,007 - 3,037	3,022	3
	<b>10</b>	3,037 - 3,067	3,052	1

Continuación del apéndice 2.

Clases para histograma de grosor (después del balance de masa)

	No.	Clase	Punto medio de la clase	Frecuencia
<b>DESPUÉS</b>	1	2,856 - 2,872	2,8642	3
	2	2,872 - 2,889	2,8806	2
	3	2,889 - 2,905	2,897	2
	4	2,905 - 2,922	2,9134	1
	5	2,922 - 2,938	2,9298	2
	6	2,938 - 2,954	2,9462	3
	7	2,954 - 2,971	2,9626	4
	8	2,971 - 2,987	2,979	3
	9	2,987 - 3,004	2,9954	1
	10	3,004 - 3,020	3,0118	3

Clases para histograma de humedad (antes del balance de masa)

	No.	Clase	Punto medio de la clase	Frecuencia
<b>ANTES</b>	1	0,570 - 0,612	0,59	3
	2	0,612 - 0,654	0,63	2
	3	0,654 - 0,696	0,68	0
	4	0,696 - 0,738	0,72	4
	5	0,738 - 0,780	0,76	2
	6	0,780 - 0,822	0,80	4
	7	0,822 - 0,864	0,84	3
	8	0,864 - 0,906	0,89	4
	9	0,906 - 0,948	0,93	0
	10	0,948 - 0,990	0,97	2

Continuación del apéndice 2.

Clases para histograma de humedad (después del balance de masa)

	<b>No.</b>	<b>Clase</b>	<b>Punto medio de la clase</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>DESPUÉS</b>	<b>1</b>	0,660 - 0,675	0,67	3
	<b>2</b>	0,675 - 0,690	0,68	2
	<b>3</b>	0,690 - 0,705	0,70	1
	<b>4</b>	0,705 - 0,720	0,71	7
	<b>5</b>	0,720 - 0,735	0,73	0
	<b>6</b>	0,735 - 0,750	0,74	3
	<b>7</b>	0,750 - 0,765	0,76	3
	<b>8</b>	0,765 - 0,780	0,77	0
	<b>9</b>	0,780 - 0,795	0,79	1
	<b>10</b>	0,795 - 0,810	0,80	4

Clases para histograma de temperatura (antes del balance de masa)

	<b>No.</b>	<b>Clase</b>	<b>Punto medio de la clase</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>ANTES</b>	<b>1</b>	109,00 - 110,17	109,59	1
	<b>2</b>	110,17 - 111,34	110,76	0
	<b>3</b>	111,34 - 112,51	111,93	2
	<b>4</b>	112,51 - 113,68	113,10	1
	<b>5</b>	113,68 - 114,85	114,27	2
	<b>6</b>	114,85 - 116,02	115,44	3
	<b>7</b>	116,02 - 117,19	116,61	3
	<b>8</b>	117,19 - 118,36	117,78	5
	<b>9</b>	118,36 - 119,53	118,95	5
	<b>10</b>	119,53 - 120,70	120,12	2

Continuación del apéndice 2.

Clases para histograma de temperatura (después del balance de masa)

	<b>No.</b>	<b>Clase</b>	<b>Punto medio de la clase</b>	<b>Frecuencia</b>
<b>DESPUÉS</b>	<b>1</b>	114,850 - 115,172	115,01	3
	<b>2</b>	115,172 - 115,494	115,33	0
	<b>3</b>	115,494 - 115,816	115,66	1
	<b>4</b>	115,816 - 116,138	115,98	4
	<b>5</b>	116,138 - 116,460	116,30	3
	<b>6</b>	116,460 - 116,782	116,62	3
	<b>7</b>	116,782 - 117,104	116,94	1
	<b>8</b>	117,104 - 117,426	117,27	3
	<b>9</b>	117,426 - 117,748	117,59	4
	<b>10</b>	117,748 - 118,070	117,91	2

Continuación del apéndice 2.

A continuaciones se presentan los datos que formaron parte del balance de masa:

Ingreso de materia prima al horno

<b>Componente</b>	<b>Estado físico</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Fracción</b>
W	líquido puro	XwM	0,584
C	mezcla	XaM	0,416
P			
G			
S			

Formulación de la oblea al salir del horno

<b>Componente</b>	<b>Siglas</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Fracción</b>
agua	w	XwO	0,0075
carbohidratos	c	XaO	0,9925
proteínas	p		
grasas	g		
sodio	s		

Continuación del apéndice 2.

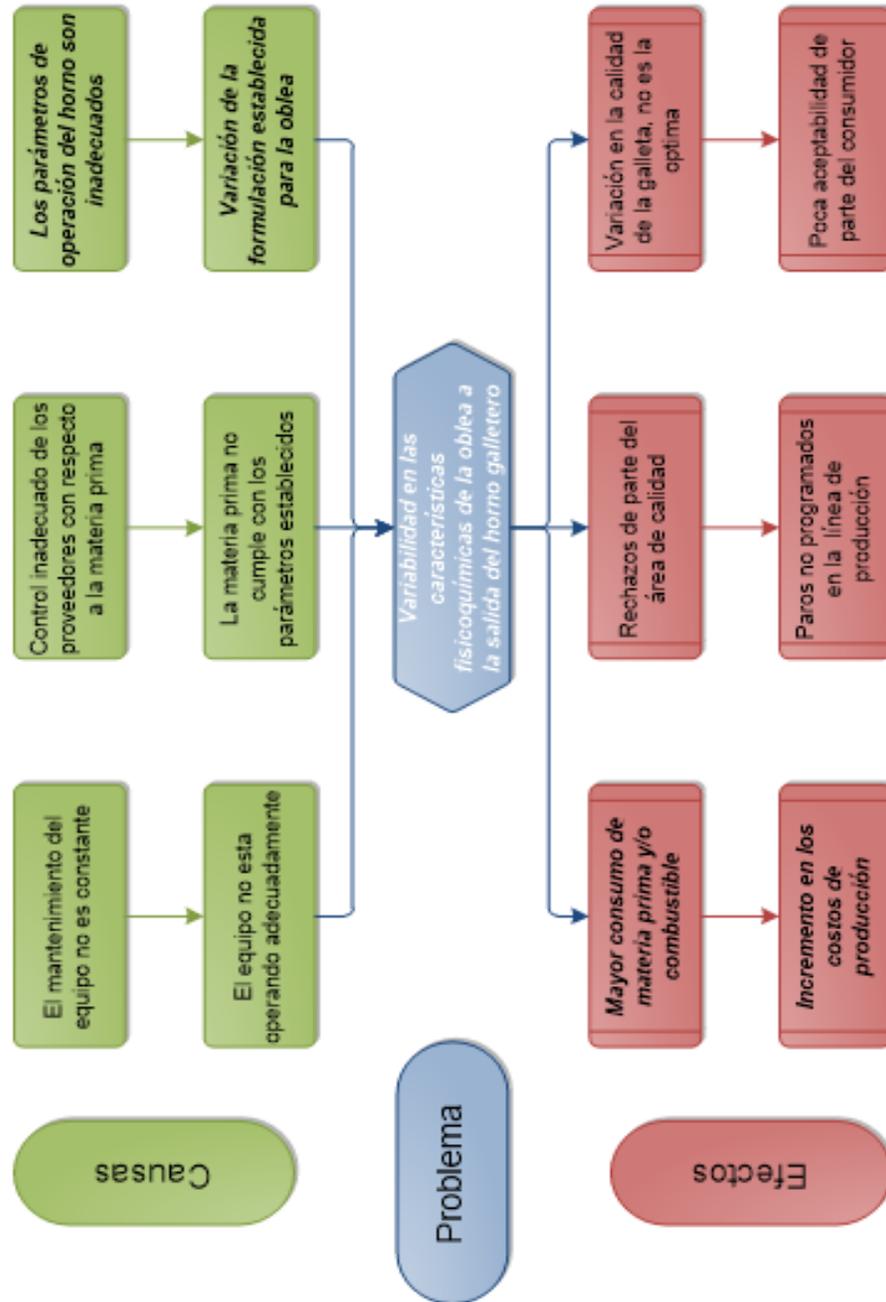
Base de cálculo para balance de masa

	<b>Base de calculo</b>	<b>Obleas/min</b>	<b>kg de oblea/hora</b>
<b>O</b>	Flujo másico de oblea	43	281,22

Fuente: elaboración propia.

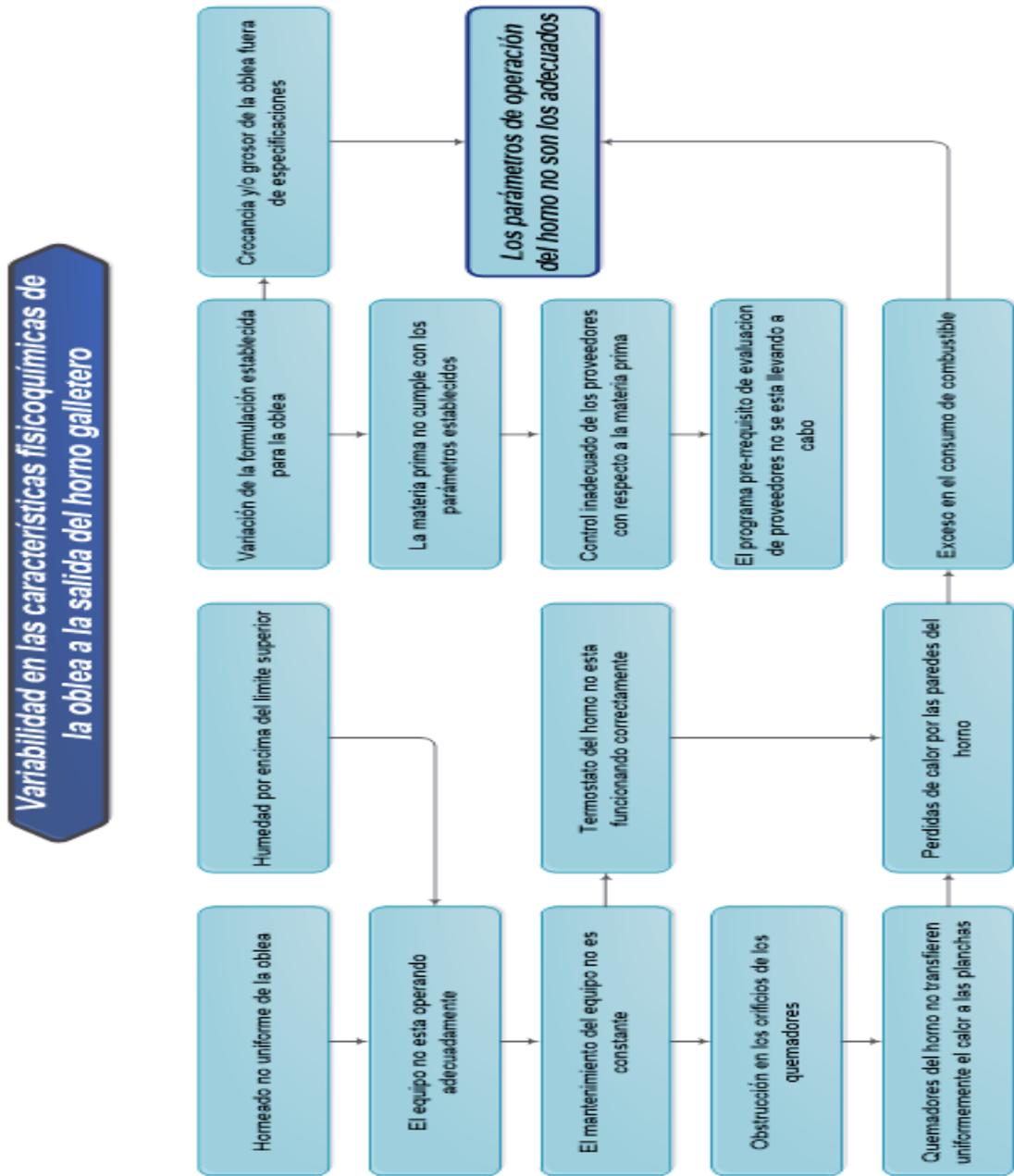
Apéndice 3. Diagramas para identificación del problema

Árbol de problemas



Continuación del apéndice 3.

Diagrama de interrelaciones



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Formato para la toma de datos

MUESTRA: \_\_\_\_\_  
 FECHA: \_\_\_\_\_  
 HORA: \_\_\_\_\_  
 PRODUCTO: \_\_\_\_\_  
 HORA DE ARRANQUE: \_\_\_\_\_

MASA LÍQUIDA									
Temperatura (°C)	Presión entrada horno		Volumen agua (L)	Temperatura agua (°C)	Tiempo de batido (s)	Viscosidad (Zahn segundos)	Flujo volumétrico (L/min)		
Mezcladora	Pulmón						Volumen (L)	Tiempo (min)	
Peso (g)	Grosor (µm)		Humedad infrarrojo (%)	Temperatura (°C)	Flujo másico (hojas/min)	Chicharrón (kg/h)			
OBLEA									
COMBUSTIBLE									
Flujo volumétrico (m <sup>3</sup> /min)									
Volumen (m <sup>3</sup> )	Presión (mbar)								
VARIABLES DEL HORNO									
Tiempo de cocción (s)		Temperatura (°C)							
HARINA									
Fecha fabricación		Lote							
		Humedad (%)							

Fuente: elaboración propia.

