



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Química e Ingeniería Química
Unidad de Posgrado

**Estudio del comportamiento reológico de la fabricación
de caramelos duros**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Ingeniería
Química

AUTOR

Leoncio REYNA MARIÑAS

ASESOR

Mg. Manuel Jesús LUNA HERNÁNDEZ

Lima, Perú

2021



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Luna, M. (2021). *Estudio del comportamiento reológico de la fabricación de caramelos duros*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Leoncio Reyna Mariñas
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06020987
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-3700-8703
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Manuel Jesús Luna Hernández
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06897800
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-7487-8543
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Mercedes Puca Pacheco
Tipo de documento	DNI.
Número de documento de identidad	09610017
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Jenny del Carmen Valdez Arana.
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09450322
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Eder Clidio Vicuña Galindo
Tipo de documento	DNI.
Número de documento de identidad	09069542

Línea de investigación	C.0.5.3. Caracterización de los materiales.
Grupo de investigación	Procesamiento de Alimentos Nutracéuticos e Industrialización de la carne de animales de Producción.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: San Juan de Lurigancho. Av. Wiese Km.10.5. Latitud: - 12.01704. Longitud: -77.00909.
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2017 - 2021
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería química https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.01 Ingeniería de materiales https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.05.01



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA
VICEDECANATO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO
"Año del Bicentenario del Perú: 200 Años de Independencia"

UNIDAD DE POSGRADO
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS NO PRESENCIAL
GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER


A los diecisiete días del mes de diciembre del año dos mil veinti uno, a las 10:00 horas mediante la plataforma Google/Meet, se reunió el Jurado de Tesis presidido por la Dra. Mercedes Puca Pacheco, la Dra. Jenny del Carmen Valdez Arana, el Mg. Eder Clidio Vicuña Galindo y el Mg. Manuel Jesús Luna Hernández, para calificar la sustentación de la tesis titulada: "ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LA FABRICACIÓN DE CAMELOS DUROS", presentado por el Ing. Leoncio Reyna Mariñas, para optar el Grado Académico de Magíster en Ingeniería Química.

Realizada la sustentación de tesis de acuerdo con los Art. 96 al 103 del Reglamento General de Estudios de Posgrado, aprobado con R.R. N° 04790-R-18 del 08 de agosto del 2018 el jurado acordó la siguiente calificación:

_____ 17 (MUY BUENO) _____

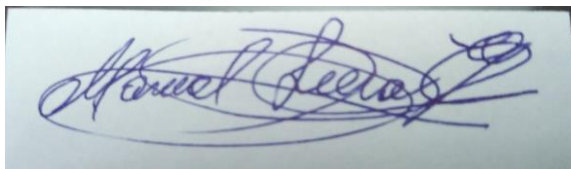
Habiendo sido aprobada la sustentación de la tesis, el Jurado recomendó que la Facultad proponga que se le otorgue el Grado Académico de Magister en Ingeniería Química, al **Ing. Leoncio Reyna Mariñas**.

El acto académico de sustentación concluyó a las: 11:45 horas.


Dra. Jenny del Carmen Valdez Arana
Miembro



Mg. Eder Clidio Vicuña Galindo
Miembro



Mg. Manuel Jesús Luna Hernández
Asesor



Dra. Mercedes Puca Pacheco
Presidenta

Dedicatoria:

A DIOS que nos da la vida

A Sucre – Celendín – Cajamarca – Perú – Hispanoamérica y Latinoamérica – a la madre
Tierra.

Facultad de Química e Ingeniería Química – Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Reconocimiento:

A la Fábrica de Chocolates “El Tigre” S.A., DULCITO EIRL Compañía CPP y a todas las personas que colaboraron en la realización de este trabajo.

Agradecimientos:

A DIOS, a Edita Mariñas Zegarra, Lisandro Reyna Díaz, Elma Meri, Lesly Elizabeth, Edita Vilanova, Clotilde Indira.

A Juana, Delicia, Azucena, Víctor Orlando, Pedro, Migdonio, Remigio.

Al Ingeniero Magister en Ingeniería Química Julio Javier Armijo Carranza
Al Doctor Jorge Angulo Cornejo.

Al Ingeniero Magister en Ingeniería Química Cesario Condorhuamán Ccori
manya.

Al Magister Manuel Jesús Luna Hernández.

A la licenciada Sussy Cruz.

RESUMEN

El estudio del comportamiento reológico del caramelo duro en estado líquido es desarrollado con el objetivo de determinar la relación entre la variable dependiente viscosidad del caramelo líquido y las variables independientes, temperatura, composición, porcentaje de azúcares reductores, tiempo de agitación durante la operación de mezclado con los insumos: ácido cítrico, colorante y esencia como parte de la producción industrial de caramelos duros. Los datos experimentales fueron obtenidos en el laboratorio de investigación de la EP de Ingeniería Agroindustrial, de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. También se usaron las instalaciones de las compañías Dulcito S.R.L y CPP En el laboratorio se obtuvo el caramelo líquido, el cual es sometido a ensayos de agitación, a 6 velocidades de corte e intensidad de corriente diferentes, obteniendo datos de viscosidad aparente a diferentes tiempos. Con dichos datos se determinaron los parámetros de la ecuación de Herschel-Buckley que a continuación se indica, demostrando el comportamiento tixotrópico del caramelo:

$$(\tau = \lambda (\tau_0 + K (\dot{\gamma})^n) = 0.055 (\tau_0 + 241 (\dot{\gamma})^{-0.021})$$

Los resultados experimentales nos muestran la relación inversa de dependencia que existe entre la viscosidad del caramelo líquido con las variables independientes, temperatura, porcentaje de azúcares reductores y tiempo de agitación. Para la reacción de hidrólisis de la sacarosa se encontró la ecuación cinética, pues ésta perjudica a las propiedades del caramelo líquido y a la calidad del producto final. Se han obtenido resultados de pH, relacionados con la dispersión del ácido cítrico así mismo se ha determinado la distribución del colorante en el caramelo, mediante un colorímetro digital y también se evaluó el sabor mediante un panel de estudiantes, cuyos resultados muestran el grado de aceptación considerando una escala de 0 a 20.

ABSTRACT

The study of the rheological behavior of hard candy in liquid state is developed with the objective of determining the relationship between the dependent variable viscosity of the liquid candy and the independent variables, temperature, composition, percentage of reducing sugars, stirring time during the mixing operation. with the inputs: citric acid, coloring and essence as part of the industrial production of hard candies. The experimental data were obtained in the research laboratory of the EP of Agroindustrial Engineering, of the Faculty of Chemistry and Chemical Engineering of the National University of San Marcos. The facilities of the companies Dulcito S.R.L and CPP were also used. In the laboratory, the liquid caramel was obtained, which is subjected to stirring tests, at 6 different cutting speeds and current intensity, obtaining apparent viscosity data at different times. With these data, the parameters of the Herschel-Buckley equation indicated below were determined, demonstrating the thixotropic behavior of caramel:

$$(\tau = \lambda (\tau_o + K (\dot{\gamma})^n) = 0.055 (\tau_o + 241 (\dot{\gamma})^{-0.021})$$

The experimental results show us the inverse dependency relationship that exists between the viscosity of the liquid caramel with the independent variables, temperature, percentage of reducing sugars and stirring time. For the hydrolysis reaction of sucrose, the kinetic equation was found, since it damages the properties of the liquid caramel and the quality of the final product. PH results have been obtained, related to the dispersion of citric acid, likewise the distribution of the colorant in the caramel has been determined, using a digital colorimeter and the taste was also evaluated by a panel of students, whose results show the degree of acceptance considering a scale from 0 to 20.

Palabras claves.

Caramelo, viscosidad, azúcares reductores, temperatura, tiempo, ácido cítrico, color, sabor, tixotrópico.

Keywords.

Hard candy, viscosity, reducing sugars, temperature, time, citric acid, color, flavor, thixotropic.

TABLA DE CONTENIDO

Número	Número	Descripción	Página
1		INTRODUCCION	1
	1.1	Situación problemática	1
	1.2	Formulación del Problema	2
	1.3	Problemas específicos	2
	1.4	Justificación de la Investigación	3
	1.5	Objetivos de la investigación	3
	1.5.1	Objetivo General	3
	1.5.2	Objetivos Específicos	4
2		Marco Teórico	5
	2.1	Antecedentes del Problema	5
	2.2	Bases Técnicas	7
	2.3	Marcos conceptuales	9
	2.3.1	Fluidos no Newtonianos	9
	2.3.2	Características Fundamentales de los fluidos no Newtonianos	10
	2.3.3	Fluidos Cuya Viscosidad Aparente no varía con el Tiempo	10
	2.4	Modelo matemático referido al efecto de la agitación para fluidos no elásticos (Basado en el parámetro estructural)	16
	2.5	Descripción del proceso Experimental con la Finalidad de Obtener Datos para determinar los parámetros, usando el criterio del parámetro estructural	19
	2.6	2.6. Cinética de la reacción de Hidrólisis de la Sacarosa.	20
3		Hipótesis y Variables	21
	3.1	Hipótesis general	21
	3.2	Hipótesis específicas	21
	3.3	Identificación de variables.	22
	3.3.1	Variable Independiente	22
	3.3.2	Variables Independientes	22

3.4	Relación entre la Medición, Método, Instrumento y Procedimiento para Determinar Valores Experimentales.	22
3.5.	Matriz de consistencia.	23
3.6.	<i>Operacionalización de Variables</i>	26
3.6.1	Variable Dependiente	26
3.6.2.	Variabes Independientes	26
3.6.3.	<i>Relación entre: Variable dependiente, dimensiones e indicadores.</i>	27
3.6.4.	Metodología de la Investigación.	27
3.6.5	Técnicas de Investigación.	28
3.6.6.	Para el Estudio a nivel de Laboratorio se Utilizaron los Siguietes Equipos, materiales, reactivos y métodos para obtener resultados experimentales.	

Número	Número	Descripción	Página
4		DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO INDUSTRIAL	31
4.1		Diagrama de bloques para el proceso productivo de caramelo duro	31
4.2		Descripción de ciertas características de los materiales usados para el proceso productivo de caramelos	32
	4.2.1	<i>Agua potable</i>	32
	4.2.2	Sacarosa	32
	4.2.3	Jarabe de Glucosa	33
	4.2.4	Ácido cítrico	34
4.3		Descripción de las Etapas del Proceso Productivo Continuo de Caramelos duros.	34
	4.3.1	Disolución de materiales en agua	34
	4.3.2	Evaporación	35
	4.3.3	Enfriamiento y mezclado de ácido cítrico, saborizantes y colorantes	35
	4.3.4	Conformado	35
	4.3.5	Enfriamiento	36
	4.3.6	Envoltura y empaquetado	36
5		OBTENCION DE DATOS EXPERIMENTALES	37

5.1	Descripción de los Procesos para Determinar los Parámetros de la Ecuación de Herschel-Bulkley, usando el criterio del parámetro estructural para el comportamiento tixotrópico	37
5.1.1	Pesado de insumos	37
5.1.2	Desarrollo de la cocción	37
5.1.3	Ensayo para determinar la viscosidad de caramelos	37
5.1.4	Equipos usados para determinar el valor del parámetro estructural, para determinar el valor de la viscosidad del caramelo líquido	38
5.1.5	Dimensiones del equipo de cocción y agitación	41
5.2	Datos de producción de caramelos requeridos para evaluar el efecto de la temperatura, % de azúcares reductores y el tiempo de agitación.	42

Número	Número	Actividades	Página
	5.3	Valores de pH de los insumos.	43
	5.4	Datos de producción industrial de caramelos duros	44
6		RESULTADOS EXPERIMENTALES, CALCULOS Y DISCUSION DE RESULTADOS.	47
	6.1	Cantidades de Insumos para Preparar la Solución Acuosa de Azúcar Refinada para la Hidrólisis de Sacarosa.	47
	6.2.	Aspectos organolépticos e instrumentales relacionados con la eficiencia de mezclado de insumos en el caramelo duro en estado líquido.	52
	6.3	Datos experimentales para determinar el comportamiento tixotrópico del caramelo líquido	66
	6.4.1	Cálculo del esfuerzo cortante	68
	6.4.2	Cálculo de la velocidad de corte	68
	7	CONCLUSIONES	73
	8	RECOMENDACIONES	75
	9	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	77
	10	ANEXOS	83

TABLA DE DATOS TEORICOS Y EXPERIMENTALES

Número	Descripción	Página
1	Ecuaciones de fluidos no newtonianos	13
2	Tipos de azúcar refinada	33
3	Características de 4 tipos de caramelos	42
4	Valores de pH de la materia	43
5	Proporción de insumos para producir caramelos duros	44
6	Datos obtenidos en la producción de caramelo	46
7	Insumos en una muestra para evaluar el grado de inversión de la sacarosa	47
8	Datos obtenidos en la reacción de hidrólisis de sacarosa (700 g).	49
9	Datos obtenidos en la reacción de hidrólisis de sacarosa (700 g).	50
10	Resultados de la evaluación organoléptica para caramelos duros de limón, escala (0 a 20).	53
11	Resultados de la evaluación organoléptica del sabor para caramelos duros de limón.	54
12	Unidades básicas de color en caramelo amarillo limón.	56
13	Valores de pH para muestras de caramelo duro.	58
14	Viscosidad en función de la temperatura para caramelo Líquido.	60
15	Viscosidad del Caramelo en función del % A.R.	62
16	Viscosidad del caramelo en función del tiempo de Agitación.	64
17	Datos de intensidad de corriente, velocidad de rotación, Viscosidad.	66
18	Datos de viscosidades aparentes en función de la velocidad de agitación.	67
19	Viscosidad, potencia, esfuerzo cortante.	69
20	Datos de velocidad de corte para cada valor de velocidad Angular.	70

21 Valores del parámetro estructural del caramelo en
función de (I).

71

LISTADO DE FIGURAS

Número	Descripción	Página
1	Clasificación de los fluidos No-Newtonianos.	10
2	Gráficas de fluidos no newtonianos	11
3	Ciclos de histéresis	11
4	Esfuerzo cortante en función del tiempo de agitación para fluidos, reopéctico y tixotrópico	15
5	Diagrama para el proceso productivo de caramelos.	31
6	Cronómetro y multímetro CIE 122 MULTIMETER	38
7	Equipos para cocción de los insumos para producir caramelos(multímetro 1, cronómetro 2, batidora 3, termómetro 4).	38
8	Equipo de cocción, agitador y termómetro digital.	39
9	Termómetro digital CONTROL COMPANY CAT N ^o 4371.	39
10	Clasificación de los fluidos No-Newtonianos.	40
11	Batidora Oster 250 W.	40
12	Cocción de insumos para obtener caramelo	41
13	Hidrólisis de sacarosa.	51
14	Evaluación del sabor de caramelos	55
15	Colores básicos para el caramelo de limón.	57
16	Valores de pH para caramelos duros.	59
17	Viscosidad del caramelo en función de la temperatura.	61
18	Viscosidad del caramelo en función del % de azúcares reductores.	63

1.INTRODUCCION.

1.1. Situación Problemática.

La demanda peruana de caramelo es de aproximadamente 9437 TM/año que se dedican al uso alimenticio y medicinal. (Ref.-Ministerio de Industria, Turismo, Integración y Negociaciones Comerciales Internacionales (2021)).

Los caramelos por su estado a temperatura ambiente se clasifican en blandos por su comportamiento plástico y los denominados duros por su comportamiento vítreo a temperatura inferior a 70°C. (valor de temperatura promedio determinado experimentalmente, dependiendo para cada tipo de caramelo de la composición de azúcares reductores, jarabe de glucosa y de la humedad final). El caramelo duro se prepara en la industria, por vaporización de una solución que contiene agua, sacarosa y jarabe de glucosa. Esta solución se calienta gradualmente hasta que alcance la temperatura de ebullición, luego la evaporación del agua a 74 mm Hg de vacío y 140°C logrando alcanzar una concentración promedio de 0.2% de agua. El caramelo formado se enfría hasta el rango 120-125°C y posteriormente se mezcla con una solución acuosa de colorante, aceites esenciales, ácido cítrico sólido y otros materiales según el producto que se desea obtener. Es muy importante lograr un mezclado homogéneo y rápido controlando el tiempo de agitación mezclado y la temperatura para asegurar viscosidad, textura, color y brillo adecuados en el producto final. Estas características dependen del porcentaje de azúcares reductores y de la humedad, tratando de evitar hidrolizar excesivamente la sacarosa y que esta cristalice, defecto que afecta el color, sabor y tiempo de vida útil del producto. (por experiencia directa en el laboratorio de control de calidad de la fábrica de DULCITO EIRL.).

El presente estudio se desarrolló para mejorar el conocimiento de las propiedades del caramelo, para mejorar la calidad del producto, el diseño de los equipos de mezclado y lograr mejores condiciones de operación generando mayor rentabilidad empresarial y mayor control del impacto ambiental por la disminución de residuos.

1.2. Formulación del problema.

¿De qué manera influyen la temperatura, % de azúcares reductores, tiempo de operación, agitación, concentración de ácido cítrico y la composición (sacarosa, jarabe de glucosa, agua, saborizante y colorante) en la viscosidad del caramelo duro?

1.3 Problemas específicos.

1.3.1. ¿Cómo influye la temperatura en la viscosidad aparente para una composición, del caramelo líquido durante el proceso de mezclado con ácido cítrico, esencia y colorante?

1.3.2. ¿De qué manera influye la concentración de azúcares reductores en la viscosidad aparente del caramelo en el estado líquido en la operación de mezclado?

1.3.3. ¿De qué manera influye la concentración de azúcares reductores en la viscosidad del caramelo en el estado líquido?

1.3.4. ¿Cómo determinar la influencia del tiempo de agitación en la viscosidad del caramelo durante la operación de mezclado de tal forma que aseguren buena calidad del producto, con la vida útil de un año?

1.3.5. ¿Qué tipo de fluido es el caramelo en estado líquido?

1.4. Justificación de la Investigación.

El caramelo es un producto que se consume en el mercado como golosina o en el campo medicinal el cual se prepara a base de azúcar, jarabe de glucosa, agua, saborizantes, colorantes y puede contener otros materiales como relleno, normalizado por el “Ministerio de Industria, Turismo, Integración y Negociaciones Comerciales Internacionales, comité de galletas de la SIN-Perú”. (2021).

Es importante determinar las variables que afectan la producción de caramelos de tal modo que los consumidores disfruten de productos de alta calidad, nutricional, organoléptica. Esta investigación pretende mejorar las condiciones productivas mediante el estudio de las variables que afectan la viscosidad del caramelo en su estado líquido, considerando el comportamiento tixotrópico del caramelo en estado líquido, hecho que es determinante para lograr un producto final de alta calidad. La bibliografía disponible habla del proceso en general, sin profundizar en los detalles del mecanismo de los fenómenos de transporte de cantidad de movimiento, calor y masa.

1.5. Objetivos de la Investigación.

1.5.1. *Objetivo General.*

Determinar el efecto de la temperatura % de azúcares reductores, tiempo de agitación, concentración de ácido cítrico, (sacarosa, jarabe de glucosa, agua, colorantes y saborizantes), en la viscosidad del caramelo, para una composición determinada de caramelo en la operación de mezclado. Determinar el tipo de fluido que es el caramelo en estado líquido usando el criterio de modificación del parámetro estructural por aplicación de una fuerza cortante.

1.5.2. Objetivos Específicos.

1.5.2.1. Obtener la relación entre la temperatura y la viscosidad aparente del caramelo líquido de composición determinada, durante la operación de mezclado.

1.5.2.2. Determinar la influencia de la concentración de azúcares reductores en la viscosidad aparente del caramelo líquido.

1.2.2.3. Determinar la influencia de la concentración de azúcares reductores en la viscosidad del caramelo líquido.

1.2.2.4. Determinar la influencia del tiempo de agitación en el proceso de mezclado de ácido cítrico, colorante y esencia, en la viscosidad del caramelo líquido para una composición determinada.

1.2.2.5. Calcular el valor de los parámetros de la ecuación de Herschel Buckley, usando datos experimentales para demostrar el comportamiento tixotrópico del caramelo líquido.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Problema.

Las concentraciones de los materiales básicos para la fabricación de caramelos deben de ser controlados en cuanto a su cantidad, calidad, secuencia operativa en cada etapa productiva, tal es así que el agua potable, la sacarosa y el jarabe de glucosa deben de cumplir con los requisitos mínimos de calidad especificados para cada materia prima. El control del flujo de solución, la temperatura de ebullición y el vacío generado permitirán controlar las reacciones de Maillard, de caramelización, de hidrólisis de sacarosa y la evaporación adecuada del agua para lograr un producto con baja humedad y con la viscosidad adecuada para las operaciones de mezcla posterior es y finalmente para la etapa de conformado. Por tal razón se requiere del estudio de la relación inversa entre la viscosidad del caramelo líquido con la temperatura, porcentaje de azúcares reductores y el tiempo de agitación para una composición determinada, a fin de lograr buena operación de mezclado, buen proceso productivo buena calidad del producto terminado. Las contribuciones al caso son las siguientes.

2.1.1. (Meiners A., Kreiten K., y Joike H. *Silecia Confiserie* (1984). Información referida a la cocción y mezcla de un proceso productivo continuo de caramelos”. (p.240 a 253).

2.1.2. Malagón J.D.M. (2021) *Estandarización y validación de formulaciones base para confitería en caramelo duro y blando para la aplicación de agentes saborizantes en DISAROMAS S.A.*, “Expone diferentes formulaciones, cocción de insumos, condiciones de mezclado manual, temperatura de adición de ácido, pruebas organolépticas de caramelos” (p.69,114).

2.1.3. Cedeño María de los Ángeles (2009) *Determinación de la temperatura de transición vítrea en caramelos duros*. Guayaquil, Ecuador.” Para determinada composición de caramelo duro, se determina la temperatura de transición vítrea, el presente estudio se hace a una temperatura superior a la de transición vítrea, se describe una operación de mezclado manual” (p.81,83).

2.1.4. (Novoa D.F., Ramírez J.S (2012), Arsenio J.L. (2009), Albarrán G.L(2019), *Estudio reológico de la Fabricación de productos que contienen azúcar*.

“El proceso de mezclado se desarrolla a temperatura superior a la de transición vítrea. El autor Novoa expone su trabajo de tixotropía aplicado al manjar blanco”. (p.56,60).

El caramelo duro se comporta como un vidrio cuando se encuentra en estado sólido debido a la presencia del jarabe de glucosa que le proporciona características de homogeneidad en la distribución de sacarosa, ácido cítrico, colorantes y saborizantes, así mismo se garantiza la viscosidad adecuada para el buen conformado del caramelo, el cual ocurre antes de alcanzar la temperatura de transición vítrea.

Previo al proceso de cocción para formar el caramelo es necesario controlar la calidad del agua potable, la humedad y dextrosa equivalente del jarabe de glucosa, la calidad de la sacarosa, así como el tamaño de partícula del ácido cítrico, las concentraciones de colorante y del saborizante.

Las publicaciones encontradas se refieren, a la determinación de la temperatura de transición vítrea, a los estudios de la influencia de la composición, de la calidad de los insumos, de los tipos de equipos usados para dilución, vaporización, mezclado, enfriamiento previo,

conformado, enfriamiento final, envoltura, embalaje, almacenamiento, transporte y condiciones de expendio.

2.2 Bases Técnicas.

2.2.1 Las propiedades de mezclas del caramelo en estado líquido, están influenciadas por la temperatura, la velocidad de agitación, el porcentaje de azúcares reductores, la naturaleza del líquido que en este caso se considera para el caramelo comportamiento de fluido tixotrópico. La mezcla del caramelo base con el resto de los insumos se debe realizar por encima del valor de la temperatura de transición vítrea.

2.2.2. El bajo valor de viscosidad del caramelo no permite el conformado adecuado del producto final pues su calidad organoléptica (brillo, color, textura, consistencia y tiempo de vida) resultan por debajo del límite permisible, hay que controlar los parámetros de producción.

2.2.3 La difusión de los materiales en el estado líquido, es muy lenta, tal es el caso de la difusión natural de la esencia y la solución de colorante, dispersión del ácido cítrico, sin embargo, con la agitación mecánica la velocidad de mezclado aumenta de manera significativa, más aún cuando la viscosidad del caramelo es muy elevada en comparación con esencias y colorantes.

2.2.4 La dispersión del ácido cítrico en el caramelo debe ser adecuada, de tal modo que organolépticamente no se perciba la diferencia entre una unidad y otra del mismo lote de mezclado.

2.2.5 El orden de adición de los aditivos del caramelo debe ser, primero la esencia, luego el colorante, ácido cítrico y finalmente el saborizante, para evitar el incremento de azúcares reductores. Un exceso de estos insumos produce efectos negativos inmediatamente en la

operación de conformado, la textura, brillo, color, consistencia; durante el tiempo de almacenamiento favorece el humedecimiento del caramelo e induce a la cristalización de la sacarosa como consecuencia varía el sabor y color del caramelo, debido al elevado grado de higroscopicidad del azúcar invertido.

2.2.6 Durante el mezclado con agitación, ocurren simultáneamente los fenómenos de transferencia de cantidad de movimiento, de calor y de masa.

2.2.7. Cocción: proceso por el cual a temperatura y presión adecuados se evapora el agua de la solución acuosa de sacarosa y jarabe de glucosa, hasta reducir el contenido de humedad por debajo de 0,2 %.

2.2.8. Viscosidad: resistencia interna al flujo que experimentan los fluidos, se considera que el caramelo se comporta como un fluido no newtoniano tixotrópico.

2.2.9. Ácido cítrico: ácido tricarbóxico usado como saborizante y preservante, la cantidad usada depende del tipo de caramelo de tal forma que produzca la acidez adecuada característica que ayuda a resaltar el sabor y color del producto final.

2.2.10. Saborizante: compuesto o mezclas de compuestos orgánicos artificiales o naturales para proporcionar un sabor adecuado en el producto.

2.2.11. Colorante: sustancia orgánica o mezclas de sustancias artificiales disueltas en agua para proporcionar color adecuado al caramelo.

2.2.12. Caramelo: producto vítreo obtenido a partir de una solución constituida por agua, jarabe de glucosa, sacarosa, la cual es concentrada por evaporación, mezclándola adecuadamente con ácido cítrico, colorantes y saborizantes en proporción relacionada con el tipo de caramelo que se requiere fabricar. Debido a la acción de la glucosa sobre la sacarosa y el resto de materiales

se impide la cristalización de la sacarosa, la tendencia de la sacarosa es a cristalizar debido al poco contenido de agua en la solución líquida o sólida final.

2.3. Marcos Conceptuales.

2.3.1. Fluidos no newtonianos.

Un fluido es un material que se deforma continuamente cuando está sujeto a un estado de esfuerzos anisotrópicos. Una propiedad importante de los fluidos es la viscosidad, la cual se define como la resistencia interna al flujo. Los fluidos se clasifican en Newtonianos y No-Newtonianos. Los fluidos Newtonianos poseen una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad del corte. La constante de proporcionalidad es la viscosidad que para sustancias puras depende solo de la temperatura y presión. Los fluidos No-Newtonianos no poseen tal relación lineal y el factor de proporcionalidad es no lineal dependiente del mismo esfuerzo cortante, así como de la velocidad de corte. Este factor de proporcionalidad se le denomina viscosidad aparente (η).

La figura 1, muestra la clasificación de los fluidos No-Newtonianos en aquellos cuyo comportamiento depende del tiempo y los que no dependen del tiempo de agitación.

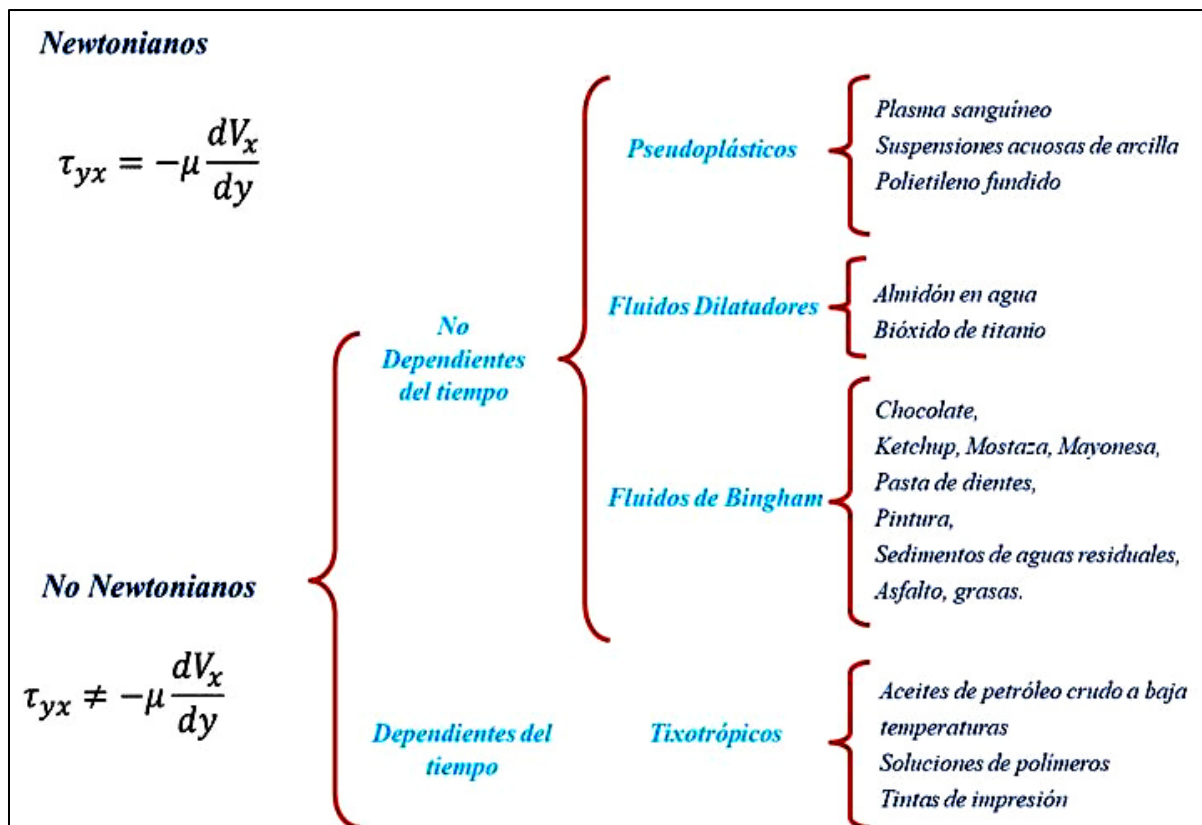


Figura 1: Clasificación de los fluidos No-Newtonianos.

Bird B. (1980), (p.1-10,1-15). Steffe J.F. (1990), “Definiciones, ecuaciones y gráficas”.(p.20,26,28,50)

2.3.2. Características Fundamentales de los Fluidos no Newtonianos.

En el caso de fluidos No-Newtonianos el cociente entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte, llamada viscosidad aparente, no es constante a una presión y temperatura fija pero, depende de las condiciones del flujo tal como la geometría, el esfuerzo cortante, de la estructura química entre otros factores. Se agrupan en fluidos no dependientes del tiempo y los dependientes del tiempo.

2.3.3. Fluidos cuyo valor de viscosidad aparente no varía con el tiempo.

En estos fluidos la velocidad de corte en cualquier punto está determinada solamente por el valor del esfuerzo cortante en el punto en un instante.

2.3.3.1. Pseudoplásticos. La viscosidad disminuye cuando la velocidad de agitación aumenta, como ocurre con los polímeros debido a la variación en la orientación molecular o a la fractura de partículas.

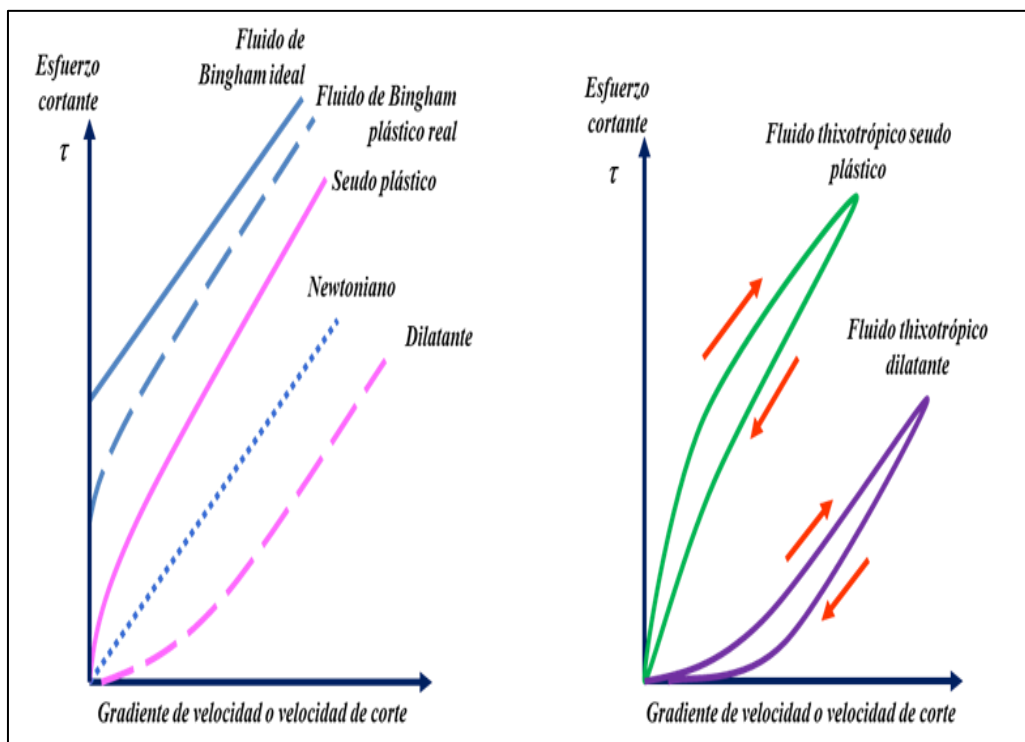


Fig.2.

Gráficas de fluidos no newtonianos.

Fig.3.

Ciclos de histéresis.

(Albarrán G.R. (2019), "Análisis experimental de fluidos no newtonianos sometidos a impactos").

2.3.3.2. Fluidos dilatantes.

Se manifiestan por el aumento del valor de la viscosidad aparente, cuando la velocidad de agitación se incrementa.

2.3.3.3. Fluidos plásticos.

Se caracterizan porque es necesario aplicar una fuerza cortante de tal magnitud, que a partir de este valor el material empieza a fluir como sucede con las cremas para dientes, para manos, salsas y pastas de tomate.

2.3.4 Fluidos cuya viscosidad aparente varía con el tiempo de aplicación de la fuerza cortante. En estos fluidos la viscosidad aparente depende de la duración de la aplicación del esfuerzo cortante.

2.3.4.1. Fluidos no newtonianos reopécticos. Si el fluido es agitado, su viscosidad aparente aumenta cuando el tiempo de agitación se incrementa, como ocurre con la pulpa de papel y las pastas de harina de trigo.

2.3.4.2. Fluidos no newtonianos tixotrópicos. Son aquellos que al ser sometidos a la acción de fuerzas cortantes, el valor de su viscosidad disminuye cuando el tiempo de operación va en aumento. Ejemplo, el caramelo. (Albarrán G.R. Análisis experimental de fluidos no newtonianos sometidos a impactos).

La Figura (2) del lado izquierdo muestra la viscosidad aparente independiente del tiempo.

La Figura (3) del lado derecho muestra la viscosidad aparente dependiente del tiempo. (*Arsenio J. Lasheras (2009), Determinación de las propiedades reológicas de soluciones acuosas de CMC, por mediciones experimentales en viscosímetro rotacional AR-G2, Universidad politécnica de Cartagena, Ingeniería técnica de Química Industrial, Cartagena*).

Para el estudio se hace uso del modelo propuesto por Herschel – Bulkley.

La ecuación general de Herschel – Bulkley es la siguiente:

$$\tau - \tau_{\infty} = k(\dot{\gamma})^n \quad \text{E c. (1)}$$

Dónde:

τ = *esfuerzo cortante*

τ_{∞} = *esfuerzo cortante de cedencia, se desarrolla cuando la fuerza cortante le permite alcanzar la fluidez*

K = *índice de consistencia*

$\dot{\gamma}$ = *tasa de cizalladura (1/s)*

n = *índice de potencia*

Tabla1

Ecuaciones de Fluidos no Newtonianos

Fluido	Condiciones	Ecuación
Newtoniano	$n = 1; T_{\infty} = 0$	$T = K \dot{\gamma} = \mu \dot{\gamma}$
Seudo plástico	$n < 1; T_{\infty} = 0$	$T = K (\dot{\gamma})^n$
Dilatante	$n > 1; T_{\infty} = 0$	$T = K (\dot{\gamma})^n$

Fuente:

Ecuación de Herschel - Buckley, para fluidos cuya viscosidad depende del tiempo de agitación (proceso transitorio). (Steffe J.F.(1992). Rheological methods in food process engineering).

Valores de viscosidad aparente inicial y en equilibrio ($n_0 - n_e$) en función de b_1 y t .

$$\frac{1}{(n_0 - n_e)} = \frac{1}{(n_0 - n_e) + b_1 t} \quad \text{Ec. (2)}$$

$$b_1 = \frac{B\gamma}{(T_{\infty} + k(\gamma)^m)} \quad \text{Ec. (3)}$$

Dónde:

B = es función de la velocidad de agitación.

η_e = viscosidad aparente en equilibrio.

η_0 = viscosidad inicial para $t=0$ y, $\lambda = 1$.

λ = valor del colapso estructural para el equilibrio.

Efecto de la temperatura sobre la viscosidad.

$$\eta = A e^{\left(\frac{Ea}{RT}\right)} \quad \text{E c. (4)}$$

Ecuación de Arrhenius para la viscosidad en función de la temperatura.

Los valores de A y $E a$ se determinan experimentalmente.

A = factor de frecuencia.

$E a$ = energía de activación, la cual permite evaluar el efecto de la temperatura en la viscosidad.

R = constante universal de los gases ideales en kPa

$\text{m}^3 / \text{kmol K}$.

T = temperatura en K.

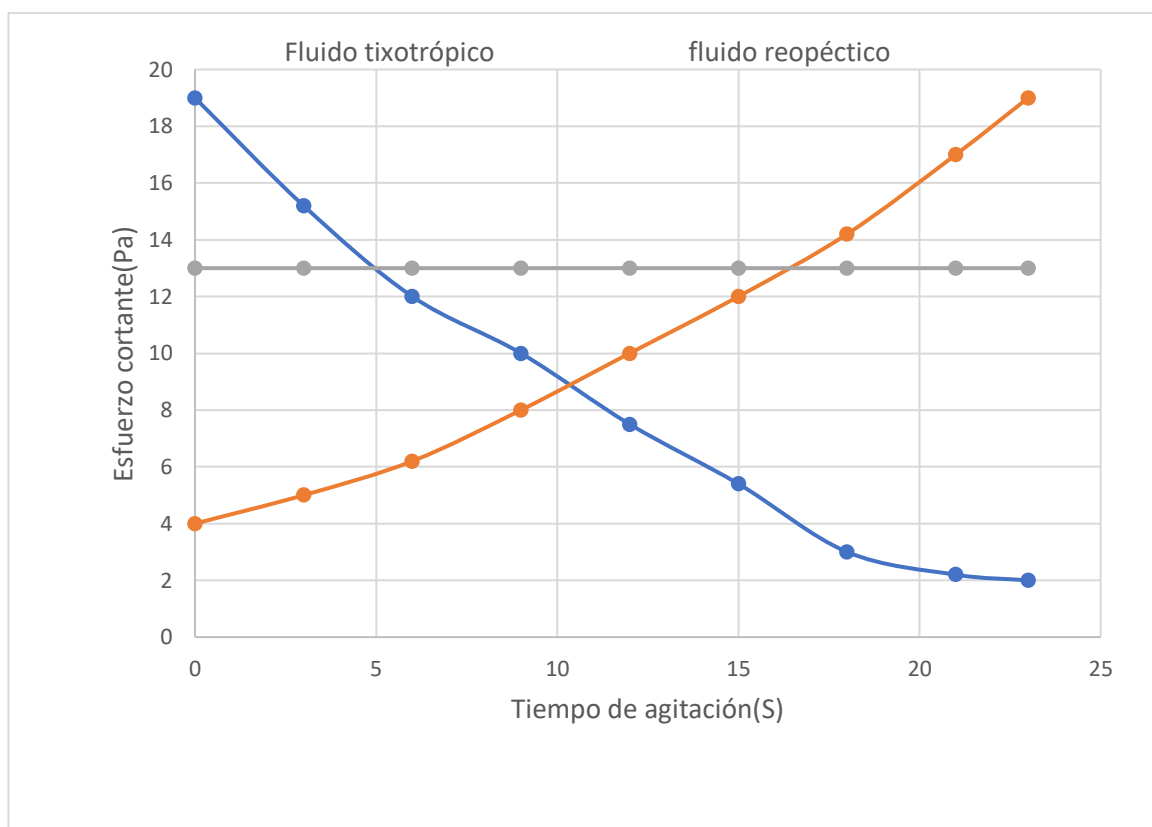


Figura 4:
Esfuerzo cortante en función del tiempo de agitación para fluidos, reopéctico y tixotrópico.

Fuente: Steffe J.E-Methods in food process engineering.

La ecuación de Herschel - Bulkley es aplicable a los fluidos no newtonianos en estado estacionario, lo cuales cumplen con la ley de la potencia.

El efecto de la temperatura es de valor considerable en el índice de consistencia y leve en el índice de potencia.

2.4. Modelo matemático referido al efecto de la agitación para fluidos no elásticos (Basado en el parámetro estructural).

Dentro de este tipo de fluidos se tiene a los que son afectados por el tiempo de agitación y a los que no son afectados por el tiempo de agitación, hecho que se encuentra relacionado con la estructura del fluido y el fenómeno se manifiesta a través del valor de la viscosidad.

De forma ideal los materiales dependientes del tiempo se consideran inelásticos, cuya viscosidad es dependiente del tiempo de agitación.

El efecto del tiempo se muestra en los materiales viscoelásticos, debido a la aplicación de la presión sobre el fluido porque el esfuerzo desarrollado no es instantáneo, hecho que no se asocia con un cambio en la estructura del material fluido. Así mismo la escala de tiempo de tixotropía puede ser muy diferente a la escala de tiempo asociada a la viscoelasticidad. Los materiales reales pueden ser viscoelásticos y dependientes del tiempo a la vez.

Para fluidos tixotrópicos sujetos a velocidad de corte constante, el esfuerzo cortante decae con el tiempo. El material presenta un ciclo de histéresis cuando cesa la fuerza cortante.

En el modelo para fluidos tixotrópicos, se considera que el parámetro estructural (λ) de Herschel-Bulkley disminuye su valor por efecto de la fuerza cortante aplicada. El valor del parámetro inicialmente tiene un valor de ($\lambda = 1$), disminuyendo hasta un valor (λ_e , valor en el equilibrio), por acción de la cizalladura, fenómeno que es descrito mediante la ecuación siguiente:

(Steffe J.F. (1992). Rheological methods in food process engineering).

$$\tau = f(\lambda, \gamma) = \lambda(\tau_0 + K(\gamma)^n) \quad \text{E c. (5)}$$

El descenso del valor del parámetro estructural en función del tiempo se puede describir con una ecuación de segundo orden, tal como se muestra a continuación:

$$\frac{d\lambda}{dt} = -K_1(\lambda - \lambda_e)^2, \text{ para } (\lambda > \lambda_e) \quad \text{E c. (6)}$$

La constante de velocidad K_1 , es función de la velocidad de corte.

El modelo matemático es determinado cuando se conocen los valores de:

$$\tau_0, K, n, K_1, \gamma, \lambda_e$$

Es importante mencionar que los valores de:

$$\tau_0, K, n$$

Son determinados considerando condiciones iniciales de cizallamiento cuando,

$$\lambda = 1 \text{ para } t = 0 \quad \text{E c. (7)}$$

los valores de λ y λ_e , son expresados en función de la velocidad de corte, de la viscosidad aparente y del tiempo, tal como se aprecia en la siguiente ecuación.

$$\lambda = \frac{\eta\gamma}{(\tau_0 + K(\gamma)^n)} \quad \text{E c. (8)}$$

La ecuación es válida para todos los valores de λ y λ_e en η_e , que es el valor para la viscosidad en equilibrio.

Diferenciando la ecuación anterior, respecto al tiempo se obtiene:

$$\frac{d\lambda}{dt} = \frac{d\eta}{dt} \left(\frac{\gamma}{(\tau_0 + K(\gamma)^n)} \right) \quad \text{E c. (9)}$$

Usando la definición de $\frac{d\lambda}{dt}$, en la ecuación anterior y la de segundo grado se obtiene.

$$\frac{d\lambda}{dt} = -K_1(\lambda - \lambda_e)^2 = \frac{d\eta}{dt} \left(\frac{\gamma}{(\tau_0 + K(\gamma)^n)} \right) \quad \text{E c. (10)}$$

Insertando la definición de λ , en la ecuación anterior, y simplificando se obtiene:

$$\frac{d\eta}{dt} = -K_1 \left(\frac{\gamma}{(\tau_0 + K(\gamma)^n)} \right) (\eta - \eta_e)^2 \quad \text{Ec. (11)}$$

$$\frac{d\eta}{dt} = -a_1(\eta - \eta_e)^2 \quad \text{E c. (12)}$$

$$a_1 = K_1 \left(\frac{\gamma}{(\tau_0 + K(\gamma)^n)} \right) \quad \text{E c. (13)}$$

Integrando la ecuación (12):

$$\int_{\eta_e}^{\eta} (\eta - \eta_e)^{-2} d\eta = \int_0^t -a_1 dt \quad \text{E c. (14)}$$

Se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{\eta - \eta_e} = \frac{1}{\eta_0 - \eta_e} + a_1 t \quad \text{E c. (15)}$$

Donde η_0 , es el valor inicial de la viscosidad aparente, para:

$$t = 0 \quad , \quad \lambda = 1 \quad ,$$

con determinados valores de esfuerzo cortante y velocidad de corte.

Para determinado valor de velocidad de corte se obtiene a_1 , el cálculo se repite para otras velocidades de corte de tal forma que se calculan los valores de K_1 , n y γ .

2.5. Descripción del proceso experimental con la finalidad de obtener datos para determinar los parámetros, usando el criterio del parámetro estructural.

2.5.1. Pesado de insumos, agua (230 g), jarabe de glucosa (100g) azúcar refinada (150 g) en concordancia, con la formulación con todas las pruebas que se realizan durante todo el trabajo de investigación.

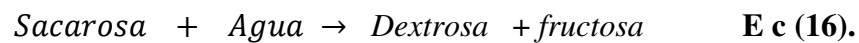
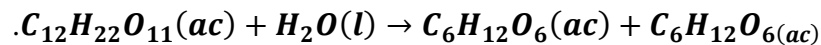
2.5.2. Desarrollo de la cocción, previa disolución de jarabe de glucosa y azúcar refinada con calentamiento permanente hasta alcanzar la ebullición a 155 °C y a la presión de 742 mm Hg.

2.5.3. Se inicia la agitación con evaluación permanente de temperatura hasta alcanzar la temperatura de 120° C, temperatura a la cual se evalúa la intensidad de corriente consumida durante la agitación a 6 velocidades de agitación diferentes, por un período de 10 segundos.

2.5.4. La medida de velocidad de agitación se hizo usando la aplicación por internet denominada Strobo.

2.6. Cinética de la reacción de Hidrólisis de la Sacarosa.

La reacción de hidrólisis de la sacarosa, debe de evitarse por las propiedades elevadas de higroscopicidad que tiene el azúcar invertido, por su influencia en la viscosidad del caramelo, que a su vez influye en las operaciones posteriores de mezclado y conformado, cristalización de sacarosa, con disminución de la homogeneidad respecto a las concentraciones de ácido cítrico, saborizante y colorante. Para determinar la cinética de la hidrólisis de la sacarosa se preparó una solución de sacarosa con la composición que se aprecia en la tabla 7.



Donde:

S=concentración de sacarosa en el tiempo t

So=concentración inicial de sacarosa

Considerando la ecuación cinética de primer grado, entonces

$$\frac{dS}{dt} = -kt \quad \text{E c. (17)}$$

Integrando desde S_0 a S a t_0 hasta t , se tiene:

$$\ln\left(\frac{S_0}{S}\right) = kt \quad \text{E c. (18)}$$

3.HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis general.

Al determinarse la relación matemática inversa de dependencia de la viscosidad aparente del caramelo líquido con la temperatura, % de azúcares reductores y del tiempo de agitación para una determinada concentración de jarabe de glucosa, sacarosa y agua, se determinará las condiciones apropiadas de mezclado que permitan una buena distribución de ácido cítrico, colorante y saborizante en el producto final.

3.2. Hipótesis específicas.

3.2.1. Al determinarse la relación cuantitativa inversa entre la temperatura y la viscosidad aparente del caramelo líquido para las condiciones de mezclado, se obtienen los parámetros de calidad como son el color, sabor, acidez, textura y consistencia del producto final.

3.2.2. Cuando se determina que la concentración de azúcares reductores influyen de manera inversamente proporcional en la viscosidad aparente del caramelo líquido, se evita el incremento de azúcares reductores ocasionados por la hidrólisis de la sacarosa hasta niveles inadecuados de tal forma que ocurran mezclas heterogéneas del caramelo con colorante, saborizante y ácido cítrico para el producto final.

3.2.3. Al demostrarse que la viscosidad aparente del caramelo líquido varía en forma inversamente proporcional al tiempo de agitación, se hace el mezclado en un tiempo mínimo necesario para lograr una distribución lo más homogénea posible de los insumos en caramelo líquido.

3.2.4. Cuando se calculan los parámetros que determinan la ecuación de Herschel-Buckley, entonces de acuerdo con el modelo matemático, el caramelo líquido tiene un comportamiento tixotrópico, por lo que se establecerán las condiciones más adecuadas para las operaciones posteriores a las de mezclado del caramelo líquido.

3.3. Identificación de variables

Las variables son: independientes, dependientes y cuantitativas.

3.3.1. Variable dependiente.

Viscosidad. (Pa.s)

3.3.2. Variables independientes.

Composición (fracción en masa), % de azúcares reductores, temperatura ($^{\circ}$ C), tiempo (s) y velocidad de agitación(ms^{-1}).

3.4. Relación entre la Medición, Método, Instrumento y Procedimiento para Determinar Valores Experimentales.

Medición	Método	Instrumento	Procedimiento
Viscosidad	Lectura directa.	Viscosímetro Brookfield.	Medición en equipo a temperaturas diferentes.
	Lectura de intensidad de corriente	Multímetro CIE-122-Multimeter.	Lectura de amperaje y cálculo de la viscosidad en base a una muestra patrón.

Temperatura °C	Lectura directa	Termómetro Control Compay cat.4371	ubicado al costado del agitador a 5 cm de la base.
Composición en masa.	Pesado de insumos, agua, azúcar refinada, jarabe de glucosa.	Balanza digital Kitchen scale SF 400.	Lectura directa con aproximación de 0.1g.
Velocidad de agitación.	Uso de batidora cuya velocidad fue calibrada con tacómetro digital STROBO.	Batidora Oster 250 W (220 V)-China.	Lectura directa, RPM-
Medición de pH	Lectura directa en solución acuosa al 5 % en masa.	Potenciómetro HANNA INSTRUMENTS.	Lectura por inmersión a 20°C.
Tiempo de agitación	Lectura directa (S).	Cronómetro digital.	Lectura directa.
Color base	Lectura directa.	Color meter digital	Ubicación centrada en el caramelo sólido.
Azúcares reductores	Método de Fehling.	Reactivo de Fehling, A y B-azul de metileno.	Reducción del Cu^{2+} a Cu^{1+} , en ebullición. Uso de muestra patrón.
Sabor	Ensayo mediante panel de degustación	Estudiantes de la EP de ingeniería agroindustrial.	Ambiente aislado, para panelistas

3.5. Matriz de Consistencia.

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Metodología
a. ¿De qué manera influyen la temperatura, % de azúcares reductores, tiempo de agitación, concentración de ácido cítrico y la composición (sacarosa, jarabe de glucosa, agua, saborizante y colorante) en la	a. Determinar el efecto de la temperatura % de azúcares reductores, tiempo de agitación, concentración de ácido cítrico, (sacarosa, jarabe de glucosa, agua, colorantes y saborizantes), en la viscosidad del caramelo, para una	a. Al determinarse la relación matemática inversa de dependencia de la viscosidad aparente del caramelo líquido con la temperatura, % de azúcares reductores y del tiempo de agitación para una determinada concentración de	a. La viscosidad fue determinada mediante un viscosímetro Brookfield con termómetro incorporado, el tiempo en s gentileza de la CIA CPP. Los azúcares reductores, mediante el método de Fehling y las concentraciones

<p>viscosidad aparente del caramelo duro en la operación de mezclado?</p>	<p>composición determinada de caramelo en la operación de mezclado. Determinar el tipo de fluido que es el caramelo en estado líquido usando el criterio de modificación del parámetro estructural por aplicación de una fuerza cortante.</p>	<p>jarabe de glucosa, sacarosa y agua, se determinará las condiciones apropiadas de mezclado que permitan una buena distribución de ácido cítrico, colorante y saborizante en el producto final. La viscosidad del caramelo líquido varía con el tiempo de agitación.</p>	<p>por pesado directo, pH, el sabor por evaluación sensorial y el color por uso del colorímetro digital. Método OFAT, procesamiento de datos por regresión con Excel.</p>
<p>b. ¿Cómo influye la temperatura en la viscosidad aparente para una composición, del caramelo líquido durante el proceso de mezclado con ácido cítrico, esencia y colorante?</p>	<p>b. Obtener la relación entre la temperatura y la viscosidad aparente del caramelo líquido de composición determinada, durante la operación de mezclado.</p>	<p>b. Al determinarse la relación cuantitativa inversa entre la temperatura y la viscosidad aparente del caramelo líquido para las condiciones de mezclado, se obtendrán los parámetros de calidad como son el color, sabor, acidez, textura y consistencia del producto final.</p>	<p>b. La composición del caramelo es determinada por pesado directo, los datos de viscosidad en función de la temperatura se hacen mediante el viscosímetro Brookfield con termómetro incorporado. Regresión con Excel, formulación extraída de Meiners A, Kreiten K. y Joike H Joyke (1980) <i>Silesia Confiserie. Método de trabajo OFAT.</i></p>
<p>c. ¿De qué manera influye la concentración de azúcares reductores en la viscosidad aparente del caramelo en el estado líquido en la operación de mezclado?</p>	<p>c. Determinar la influencia de la concentración de azúcares reductores en la viscosidad aparente del caramelo líquido.</p>	<p>c. Cuando se determina que la concentración de azúcares reductores influyen de manera inversamente proporcional en la viscosidad aparente del caramelo líquido, se evitará el incremento de azúcares reductores</p>	<p>c. Uso de batidora de 6 velocidades, multímetro, para determinar la intensidad de corriente la cual varía en forma directamente proporcional a la viscosidad del caramelo, con determinada concentración de</p>

		ocasionados por la hidrólisis de la sacarosa hasta niveles inadecuados de tal forma que ocurran mezclas heterogéneas del caramelo con colorante, saborizante y ácido cítrico para el producto final.	azúcares reductores. Regresión con Excel. Método de trabajo OFAT.
d. ¿Cómo determinar la influencia del tiempo de agitación en la viscosidad aparente del caramelo durante la operación de mezclado de tal forma que aseguren buena calidad del producto?	d. Determinar la influencia del tiempo de agitación en el proceso de mezclado de ácido cítrico, colorante y esencia, en la viscosidad del caramelo líquido para una composición determinada.	d. Al demostrarse que la viscosidad aparente del caramelo líquido varía en forma inversamente proporcional al tiempo de agitación, se hará el mezclado en un tiempo mínimo necesario para lograr una distribución lo más homogénea posible de los insumos en caramelo líquido.	d. Los datos de viscosidad aparente del caramelo líquido en función del tiempo de agitación se determinan, luego son procesadas usando Excel para hacer la regresión y el gráfico correspondiente. Se procede mediante el sistema. OFAT.
e. ¿Qué tipo de fluido es el caramelo en estado líquido?	e. Calcular el valor de los parámetros de la ecuación de Herschel Buckley, usando datos experimentales para demostrar el comportamiento tixotrópico del caramelo líquido.	e. Cuando se calculan los parámetros que determinan la ecuación de Herschel-Buckley, entonces de acuerdo con el modelo matemático, el caramelo líquido tiene un comportamiento tixotrópico, por lo que se establecerán las condiciones más adecuadas para las operaciones posteriores a las de mezclado del caramelo líquido.	e. Se determinaron los valores experimentales de intensidad de corriente, velocidad de agitación RPM, tiempo en segundos, temperatura para una muestra de caramelo líquido, usando el modelo matemático de Steffe J.F. (1992) <i>Rheological methods in food process engineering</i> (p.30,32)

3.6. Operacionalización de Variables.

3.6.1. Variable Dependiente:

Viscosidad. Resistencia al flujo que experimenta el caramelo en estado líquido cuando es sometido a la acción de una fuerza cortante, motivo por el cual el material desarrolla un esfuerzo cortante cuya unidad en el sistema SI, es el Pa.S.43.

3.6.2. Variables Independientes:

Composición del caramelo. Cantidad de materiales usados en el caramelo en el estado líquido, agua, azúcar refinada, jarabe de glucosa, colorante, ácido cítrico, esencias en proporción tal que determinan el tipo de caramelo.

Temperatura. Evaluación del contenido energético del caramelo en estado líquido, se mide en grados Celsius.

Azúcares Reductores. Carbohidratos disacáridos o monosacáridos presentes en el caramelo, con excepción de la sacarosa, los cuales reducen al ion cúprico hasta ión cuproso. Los azúcares reductores se miden en porcentaje.

Acidez. Contenido de iones hidronio presentes en una determinada cantidad, de caramelo líquido, se mide en unidades de pH, valor relacionado directamente con el contenido de iones hidronio.

3.6.3. Relación entre: Variable dependiente, dimensiones e indicadores.

Variable dependiente	Dimensión	Instrumentos	Indicadores
Viscosidad del caramelo liquido	Composición	Balanza	Jarabe de glucosa - kg
		Balanza	Azúcar refinada-kg
		Balanza	Agua-kg
		Medidor del color digital	Color-unidades de color
		Ensayo organoléptico del sabor	Sabor-grado
		Medidor de pH	Acidez-pH
	Temperatura	Termómetro digital	Grados Celsius
	Porcentaje de azúcares reductores	Análisis de reducción del cobre en el licor de Fehling	Porcentaje de azúcares reductores
	Tiempo de agitación	Cronómetro digital	Segundos

3.6.4. Metodología de la Investigación.

La presente investigación es de enfoque cuantitativo porque se usan los datos con el fin de comprobar la hipótesis y estadística. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). El tipo de investigación es básica porque contribuye al conocimiento de la problemática de estudio (Hernández, Fernández y Baptista 2010). El diseño de la investigación es experimental, porque un conjunto de variables se mantienen constantes, mientras que el otro conjunto de variables se miden como sujeto del experimento. Es importante para una investigación experimental

establecer la causa y el efecto de un fenómeno, lo que significa que debe ser claro que los efectos observados en un experimento se deben a la causa. La metodología experimental se fundamenta en tres grandes pilares o componentes básicos: aleatorización, control e hipótesis de causalidad). El método aplicado es hipotético deductivo, ya que se probaron las hipótesis y se obtuvieron conclusiones. (Sánchez Flores, F. A. (2019)

La metodología usada para el desarrollo del trabajo, está basada en la recolección de datos experimentales de tal forma que se relacione la variable dependiente (viscosidad) ,con cada una de las variables independiente por separado, manteniendo constantes las otras variables independientes, temperatura, azúcares reductores, tiempo de agitación, para una composición determinada de caramelo con la finalidad de obtener una buena distribución del ácido cítrico, colorante y esencia, para ello se hizo uso de los siguientes instrumentos y métodos, tal como se detalla a continuación. La regresión no lineal se desarrolla usando Excel. Los resultados se aprecian en las tablas y gráficos correspondientes.

3.6.5. Técnicas de investigación.

3.6.5.1. Análisis de azúcares reductores. Para ello se usa el método de Fehling, basado en la reducción del cobre utilizando como indicador el azul de metileno.

3.6.5.2. Viscosidad Aparente. Para ello se mide directamente la viscosidad en el viscosímetro de Brookfield siguiendo las indicaciones del manual respectivo, en Pa.S.

3.6.5.3. Temperatura. La medición se hizo con un termómetro digital en grados Celsius.

3.6.5.4. Tiempo. Registrado con un cronómetro digital en segundos.

3.6.5.5. Composición. Por pesado directo de los materiales en balanza digital, en proporción usada en la industria.

3.6.6. Para el Estudio a nivel de Laboratorio se Utilizaron los Siguietes Equipos, materiales, reactivos y métodos para obtener resultados experimentales.

3.6.6.1. Equipo de Cocción de Acero Inoxidable.

Para la disolución, calentamiento, vaporización para alcanzar la humedad adecuada mediante calentamiento, quemando gas natural, con agitación permanente mediante paleta de madera hasta alcanzar 155 °C a presión atmosférica de 742 mm Hg. **3.6.6.2.**

Balanza Electrónica: OHAUS serie PR.

Con 2kg de capacidad y con la aproximación de 1g, con plataforma de acero inoxidable, para ello se usó una bandeja de acero inoxidable. 3.5.5.3. Batidora Eléctrica: Oster 250 W. Equipo para medir pH: HANNAINSTRUMENTS HI98107. 3.5.5.4. Matraces 3, una bureta de 50 ml con soporte universal.

3.6.6.3. Reactivos.

Solución acuosa al 1% de azul de metileno; soluciones de Fehling A y B, para determinar el % de azúcares reductores, usando un patrón de glucosa anhidra en calidad de reactivo.

3.6.6.4. Sistema Informático.

Uso de aplicación medidora de color libre(Meter Color), en una superficie limpia y seca, se leen directamente los colores básicos enfocando la pantalla sobre la superficie del caramelo sin envoltura. Uso de Excel y Word.

3.6.6.5. Viscosímetro Rotativo con Equipo de Baño María Incorporado.

Lectura directa de viscosidad y temperatura, para una muestra determinada con un equipo de cilíndrico sumergido a 3 cm de la base y a determinada velocidad de rotación, considerando la información del manual del equipo. La medición se hizo con un viscosímetro rotativo Brookfield (Pa.S) y por medición de la intensidad de corriente(A).

3.6.6.6. Determinación de la Concentración de Ácido Cítrico en el Caramelo.

Se determina preparando una solución acuosa al 1 %, por titulación con NaOH 1 M. Balanza analítica OHAUS.

3.6.6.7. Determinación de la Concentración de Colorante en el Caramelo.

Se determina mediante la balanza y fiola adecuadas (g/ ml), considerando el grado de solubilidad en agua potable con la información proporcionada por el fabricante y los ensayos desarrollados en el laboratorio.

3.6.6.8. Evaluación de la Dispersión del Saborizante.

Es determinado mediante pruebas organolépticas, con un grupo de estudiantes de la EPIA -FQIQ-UNMSM.

3.6.6.9. Cuantificación de los Azúcares Reductores (%).

Se determinan por titulación con reactivo de Fehling, con indicador de azul de metileno, con la muestra en ebullición permanente hasta la desaparición del color azul formándose el precipitado de color rojo ladrillo, condición para la reducción total del ion cúprico ion cuproso.

3.6.6.10. Obtención de datos de la Temperatura (° C).

Es determinada con un termómetro digital HANNA INSTRUMENTS-HI 145, por inmersión a una profundidad adecuada y por lectura directa.

3.6.6.11. Determinación de la Humedad (%).

En balanza de humedad OHAUS m b 25, muestra debidamente ubicada con lectura

directa de acuerdo con el manual de la balanza, calibrado la temperatura y el tiempo de operación.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO INDUSTRIAL.

4.1. Diagrama de bloques para el proceso productivo de caramelo duro.

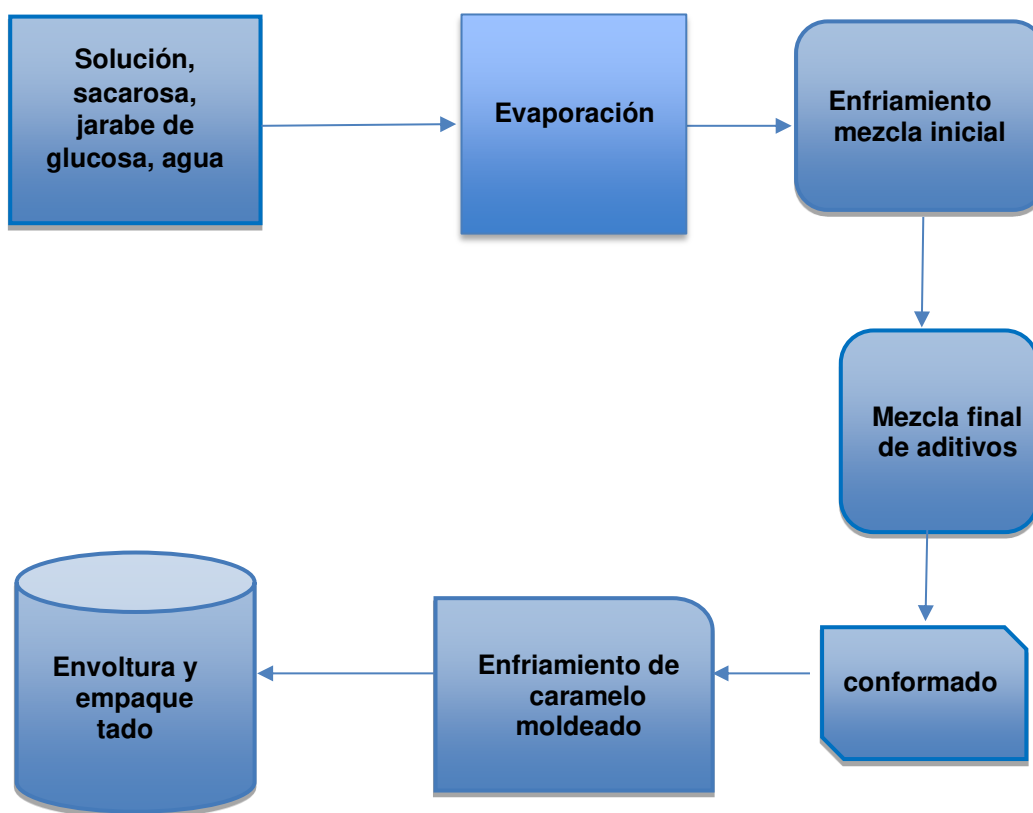


Figura 5:Diagrama para el proceso productivo de caramelos.

4.2. Descripción de ciertas características de los materiales usados para el proceso productivo de caramelos.

4.2.1. Agua potable

- Libre de sustancias tóxicas.
- Ausencia de microorganismos patógenos.
- Ausencia de sustancias tóxicas.
- Rango de pH de 6,8 a 7,2.
- Ausencia de sólidos no disueltos.
- Contenido de sólidos totales disueltos inferior a 300 ppm.
- Dureza temporal = 82 ppm
- Dureza permanente = 125 ppm
- Dureza total = 207,5 ppm

La influencia de las sales disueltas en el agua en mayor o menor grado, influyendo en el proceso de dilución, evaporación y en las propiedades organolépticas del producto final.

4.2.2. Sacarosa

- Se usa el azúcar refinado industrial.
- Libre de bagazo y de cualquier otro sólido insoluble, con mínima o nula cantidad de sustancias, tóxicas, colorantes o saborizantes.
- La solución acuosa de sacarosa debe de ser transparente.
- La granulometría de la sacarosa juega un papel importante en la alimentación de sistemas continuos e influye en la forma, velocidad de alimentación y dilución.

- A continuación, se muestra el azúcar refinado clasificado por su granulometría.

El contenido de cenizas debe ser inferior al 0,1 %.

Tabla 2

Tipos de azúcar refinada

Granulometría	Tamaño de grano en mm
Gruesa	1,2 a 2,5
Media	0,5 a 1,4
Fina	0,2 a 0,75
Extra fina	0,75 a 0,3
En polvo impalpable	Con 80 % del azúcar, cuyo tamaño es 0,1 mm

Fuente: Kreiten y Joike, Silecia Confiserie (1980), manual número 3 Tomo I.

4.2.3. Jarabe de Glucosa

Líquido obtenido por hidrólisis de almidones por vía ácida o enzimática, con densidad de 1,42 g/ml, con DE = 42 %, incolora, de elevada viscosidad con un porcentaje de sólidos solubles de 82 %, con un contenido de cenizas inferior a 0,1%, el valor de pH varía en el rango de 4,2 a 5,2 y la viscosidad de 0.140 Pa.s a 20 °C, cuya composición promedio es de: 18% de dextrosa,

16% de maltosa y 66% de altos sacáridos. La calidad de la glucosa en cuanto a la viscosidad está relacionada con la composición del jarabe de glucosa, a su humedad, al contenido y tipo de carbohidratos presentes. Si el contenido de agua es superior al 18%, entonces se debe eliminar mayor contenido de agua de la mezcla en el proceso de vaporización del agua y en la composición final del caramelo, hecho que influye en los procesos posteriores de enfriamiento, dispersión de ácido cítrico, colorante y esencias, así como en el troquelado y almacenamiento. La presencia de materias colorantes en el jarabe de glucosa permite un incremento del color por acción de las reacciones de Maillard y de caramelización durante las diferentes etapas del proceso productivo, de tal modo que la coloración del producto final puede ser alterado de manera indeseable.

4.2.4 Ácido cítrico

Granulado con grado de pureza de 99%, con tamaño de partícula de 1 a 1,5 mm, solubilidad en agua 133g/100 ml a 22 °C, temperatura de fusión de 175 °C.

4.3. Descripción de las Etapas del Proceso Productivo Continuo de Caramelos duros.

En el proceso continuo de producción de caramelos las operaciones están integradas, para que las etapas se sucedan de tal forma que los tiempos entre las etapas disminuyan, mejorando las condiciones laborales del equipo productivo, las condiciones de calidad sanitaria, también aquellas referidas al rendimiento, ahorro de energía, de materia prima, horas de trabajo y otros gastos considerados generales en la estructura de costos del producto.

4.3.1. Disolución de materiales en agua.

En proporción adecuada, considerando el tipo de caramelo a producir se carga el agua, se inicia el calentamiento con permanente agitación hasta que el agua alcance una temperatura de 60 °C, en ese instante se carga la sacarosa y luego el jarabe de glucosa. La temperatura de

ebullición debe ser de 110 °C a presión atmosférica; el ingreso de los materiales es regulado de acuerdo a la necesidad de producción.

4.3.2. Evaporación.

Previa a esta etapa la solución es calentada a 140 °C, impulsada con bomba de émbolo, a través de un serpentín donde alcanza la temperatura deseada para luego ingresar a la cámara de evaporación donde el vacío alcanza un valor de 740 mm Hg. la operación en una máquina continua y por efecto del vacío se produce la súbita vaporización con un descenso de 10 °C en el producto concentrado, que constituye el caramelo base al cual, se le adiciona la esencia, colorante, ácido cítrico.

4.3.3. Enfriamiento y mezclado de ácido cítrico, saborizantes y colorantes.

La mezcla concentrada sale del evaporador al vacío a la temperatura de 130°C, que es el caramelo base, el mismo que es sometido a la acción de mezclado con ácido cítrico, colorante y saborizantes. El ácido es dispersado al final de la etapa de mezclado mecánico sobre una mesa enfriada con agua en un área aproximada de 3200 cm², el colorante en solución acuosa se difunde en la mezcla como consecuencia de la agitación, algo similar ocurre con los saborizantes. Posteriormente se completa la dispersión del ácido cítrico y la difusión forzada de la solución de colorante y de los saborizantes. Para una adecuada operación de mezclado la temperatura final del caramelo con aditivos debe alcanzar un valor promedio de 80°C.

4.3.4. Conformado.

Se desarrolla cuando la masa de caramelo se encuentra en estado plástico y con alto grado de homogeneidad en cuanto a, temperatura, a la distribución de ácido cítrico, colorantes y saborizantes. La mezcla pasa por una máquina formadora continua, descargando los productos

a la temperatura aproximada de 80 °C. Para ello se utiliza un molde especial de acero con suficiente tenacidad, resistencia a la carga y dureza para cumplir con la forma global adecuada, así como una superficie suficientemente tersa libre de grietas o sobrantes, disminuyendo de manera considerable materiales de reciclaje o subproductos en la línea de producción.

4.3.5. Enfriamiento.

El caramelo es sometido a ventilación forzada con aire que tiene una temperatura de 15°C y humedad relativa de 60%, para evitar que el caramelo se humedezca.

4.3.6. Envoltura y empaquetado.

Debe de realizarse tan presto el caramelo ha sido moldeado en condiciones de temperatura y humedad, similares a la etapa anterior.

5. OBTENCION DE DATOS EXPERIMENTALES.

5.1. Descripción de los Procesos para Determinar los Parámetros de la Ecuación de Herschel-Bulkley, usando el criterio del parámetro estructural para el comportamiento tixotrópico.

5.1.1. Pesado de insumos.

Agua (230 g), jarabe de glucosa (100 g) y azúcar refinada (150g) en concordancia con la formulación de todas las pruebas que se realizan durante el trabajo de investigación.

5.1.2. Desarrollo de la cocción.

Previa disolución de jarabe de glucosa y azúcar refinada en agua, con calentamiento permanente hasta alcanzar la ebullición de 155 °C a la presión de 742 mm Hg.

5.1.3. Ensayo para determinar la viscosidad de caramelos.

Se inicia la agitación dentro del mismo recipiente de cocción, con evaluación permanente de temperatura hasta alcanzar 120 °C, temperatura a la cual se evalúa la intensidad de corriente consumida durante la agitación a 6 velocidades de agitación diferente, por un período de 10 segundos. La medida de velocidad de agitación se hizo usando la aplicación por internet denominada Strobo.

5.1.4. Equipos usados para determinar el valor del parámetro estructural, para determinar el valor de la viscosidad del caramelo líquido.

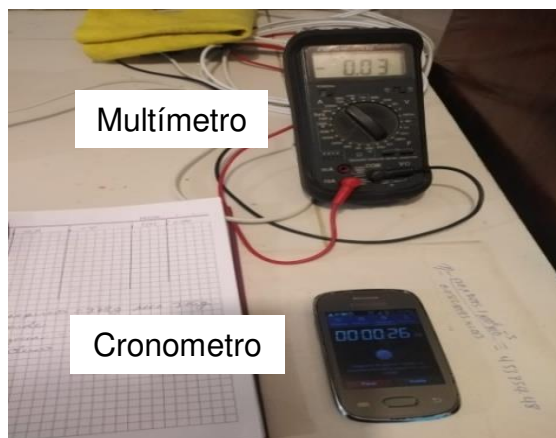


Figura 6.
Cronómetro y multímetro CIE 122 MULTIMETER.

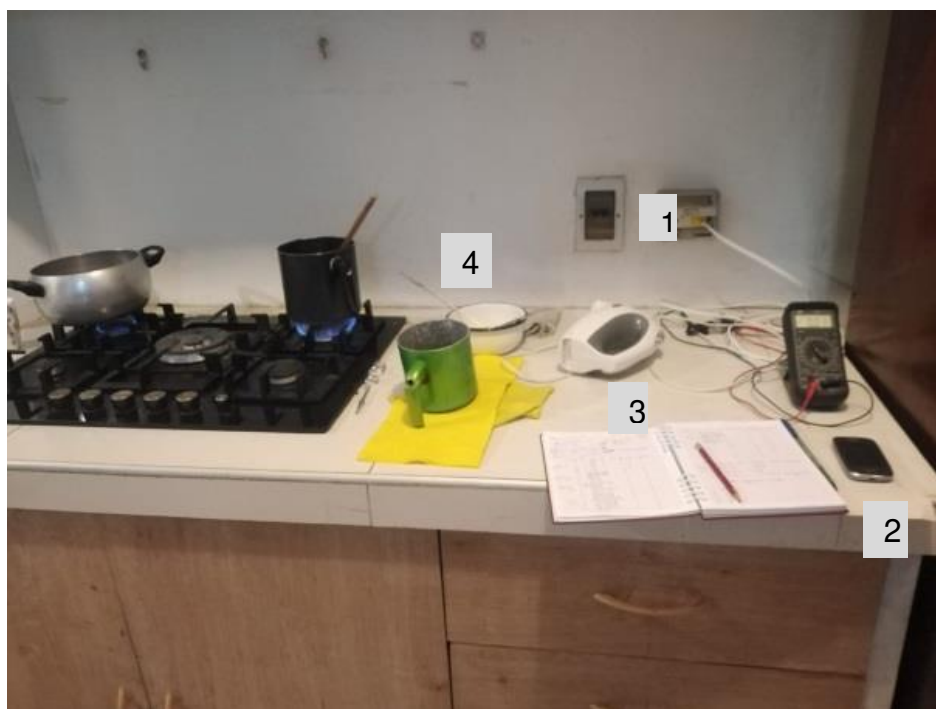


Figura 7: Equipos para cocción de los insumos para producir caramelos(multímetro 1, cronómetro 2, batidora 3, termómetro 4).



Figura 8: Equipo de cocción, agitador y termómetro digital.



Figura 9: Termómetro digital CONTROL COMPANY CAT N° 4371.



Figura 10: Clasificación de los fluidos No-Newtonianos.



Figura 11: Batidora Oster 250 W.



Figura 12: Cocción de insumos para obtener caramelo.

5.1.5. Dimensiones del equipo de cocción y agitación.

- Diámetro interno del envase ($2r$)= 14 cm.
- Profundidad del envase =12.6 cm.
- Radio de rotor = 1 cm.
- Profundidad de inmersión del caramelo = 7 cm.
- Envase de agitación de acero al carbono.
- Material de fabricación del agitador, acero inoxidable ácido resistente.

5.2. Datos de producción de caramelos requeridos para evaluar el efecto de la temperatura, % de azúcares reductores y el tiempo de agitación.

Tabla 3

Características de 4 tipos de caramelos

Tipo de Caramelo	Humedad %	Azúcar Invertido %	Temperatura de Cocción ° C	Presión de vacío cm / Hg	Rapidez de producción Kg / min
Fresa	0,20	14,20	158	70	7,1
Limón	0,25	14,21	148	70	7,1
Naranja	0,23	14,05	149	70	7.1
Menta	0,20	13,96	150	70	7.1

Fuente: Elaboración propia.

5.3. Valores de pH de los insumos.

Tabla 4

Valores de pH de la materia

Materia Prima	Valor de pH
Agua potable	7,00
Azúcar refinada de caña de azúcar	6,40
Jarabe de glucosa	5,00
Esencia de fresa	3,8
Esencia de limón	3,5
Esencia de naranja	3,8
Esencia de menta	4,2
Soluciones acuosas de colorantes	6,8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla5**Proporción de insumos para producir caramelos duros**

Material	Masa en gramos
Agua	300
Sacarosa	300
Jarabe de glucosa	200

Fuente: Elaboración propia.

5.4. Datos de producción industrial de caramelos duros.

Las condiciones de operación: $T_{eb.} = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $P_{vacío} = -740\text{ mm Hg.}$, con un tiempo de cocción de 10 minutos, se pueden apreciar en la tabla 6.

El proceso es controlado de tal forma que se evita que la sacarosa se hidrolice, en el proceso de cocción o mezclado de aditivos, para lograr el objetivo la temperatura se recomienda un valor próximo a 120°C , tampoco debe ser tan baja que dificulte el mezclado y conformado.

Se mide el pH con equipo digital, la temperatura con un termómetro digital ($-20 < T < 300\text{ }^{\circ}\text{C}$). La viscosidad se determina con un viscosímetro rotativo digital y con un medidor de

intensidad de corriente digital. Para medir el color se hace uso de una aplicación digital “COLOR METER” obteniendo valores de unidades de color en función de los colores base. Se utiliza la balanza de humedad para determinar la humedad en los casos requeridos, un cronómetro para el tiempo y el método de Fehling para determinar azúcares reductores. Para determinar el sabor se hizo una cartilla, con valores de 0 a 20, participaron en la pruebas estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos

TABLA 6

Producción Obtenidos en producción Industrial de Caramelo duro

Número de muestra	pH(solución acuosa caramelo 10%)	% de azúcares al reductores	Colores básicos del caramelo			
			Rojo	Verde	Amarillo	Azul
1	2.75	13.50	192	194	193	193
2	2.74	13.45	192	194	193	193
3	2.76	13.38	193	195	194	194
4	2.74	13.56	191	195	194	194
5	2.77	13.37	191	193	192	192
6	2.77	13.80	191	195	196	196
7	2.78	13.50	194	196	196	196
8	2.76	13.99	190	194	195	193
9	2.75	13.80	191	195	195	196
10	2.77	13.44	190	192	192	192

Fuente: Elaboración propia.

6. RESULTADOS EXPERIMENTALES, CALCULOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

6.1. Cantidades de Insumos para Preparar la Solución Acuosa de Azúcar Refinada para la Hidrólisis de Sacarosa.

Tabla 7

Insumos en una muestra para evaluar el grado de inversión de la sacarosa

SUSTANCIA	MASA (g)
Sacarosa	700,0
ácido cítrico	11,2
Agua	300,0

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento para la inversión de la sacarosa es el siguiente: La solución acuosa de sacarosa acidulada se prepara, en un balón de vidrio de tres bocas, con agitación de 60 RPM, se adiciona el agua, luego la sacarosa hasta alcanzar la temperatura de 70°C, en esas condiciones la sacarosa está completamente disuelta, se toma la muestra 1 y luego se carga el ácido cítrico, desde ese momento se inicia el control del tiempo y para tomar las muestras cada 10 minutos.

Las muestras de 10 ml, son tomadas con una pipeta graduada de vidrio, colocadas en tubos de vidrio y luego enfriadas rápidamente para evitar que continúe la reacción de hidrólisis. Posteriormente las muestras son analizadas para determinar el contenido de azúcares reductores mediante la reacción de reducción del cobre, en presencia de solución de azul de metileno usado como indicador.

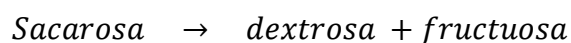
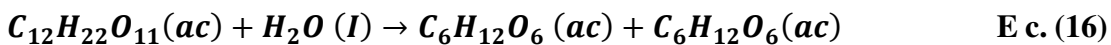
Tabla 8:

Datos obtenidos en la reacción de hidrólisis de sacarosa (700 g)

Número de muestra	Tiempo en minutos	Temperatura ° C	% de sólidos solubles	Masa de jaraibe (g)	Gasto en mL(sol . 250 mL)	Azúcares reductores (g)	Sacarosa (mol/L)	Ln(So /S)	Azúcares reductores(mol/L)
1	0	80	70.0	10.24	97.7	0	2.05	0	0
2	10	80	70.0	10.16	3.9	277.6	1.28	0.47	0.89
3	20	80	70.0	5.18	4.2	354.1	1.06	0.66	1.14
4	30	78	70.5	5.19	4.1	513.4	0.62	1.93	1.64
5	40	78	71	4.03.	4.1	756.6	0.22	2.22	2.10
6	50	80	71	3.50	4.2	736.8	0	0	2.36.
7	60	80	71	2.04	7.2	744.9	0	0	2.39
8	70	78	71	1.71	8.5.	745.9	0	0	2.39
9	80	80	71	2.24	6.5	746.5	0	0	2.39
10	90	80	71	2.23	6.8	747.6	0	0	2.39
11	100	80	71	2.21	6.4	748.9	0	0	2.39

Fuente: Elaboración propia.

Ecuación química para la hidrólisis.



La gráfica nos permite determinar la ecuación con k=8

Tabla.9.

Datos obtenidos en la reacción de hidrólisis de sacarosa (700 g).

Hidrólisis de Sacarosa	
Tiempo en Minutos(t)	Logaritmo de la concentración molar de sacarosa (Ln S)
0,00	0.72
10.00	0.25
20.00	0.06
30.00	-0.42
40.00	-1.51

Fuente. Elaboración propia.

Donde:

S_0 =concentración inicial (M) de sacarosa.

S =concentración molar de sacarosa en un tiempo t.

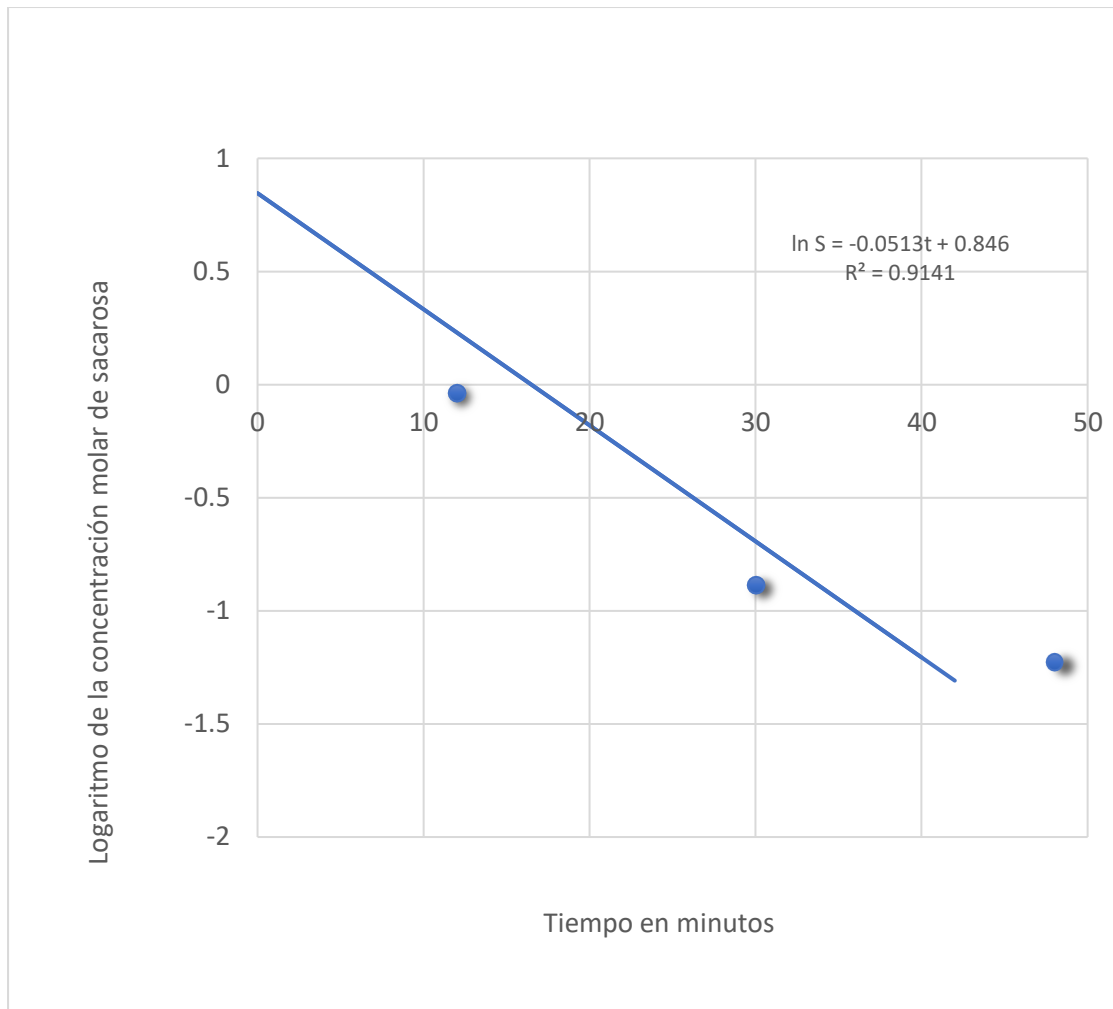


Figura 13:

Hidrólisis de sacarosa.

a.1. Análisis de los resultados 1.

Los datos para la hidrólisis de la sacarosa nos permiten apreciar, que el ácido cítrico a la concentración usada para el caramelo de sabor limón en la industria (16g ácido cítrico/ kg de caramelo) produce la reacción de hidrólisis en la sacarosa, dando origen a la mezcla acuosa de

dextrosa y fructosa, mezcla conocida como azúcar invertida, la cual se caracteriza porque es muy higroscópica, propiedad que perjudica la estabilidad del caramelo en las posteriores fases de producción y disminuyen el tiempo de vida del caramelo terminado en forma inversamente proporcional al porcentaje de azúcares reductores. Los datos para obtener los resultados se aprecian en las tablas, 7, 8, 9 y en la figura 13.

6.2. Aspectos organolépticos e instrumentales relacionados con la eficiencia de mezclado de insumos en el caramelo duro en estado líquido.

El mezclado del ácido cítrico está influenciado por la dispersión de las partículas cuyo tamaño en presentación comercial se encuentra en el intervalo de $0,5 \text{ mm} < dp < 1 \text{ mm}$, la forma prismática genera dificultad para el mezclado, por la elevada viscosidad del caramelo requiere de una adecuada agitación en cuanto al sistema mecánico usado y a la velocidad, con la influencia del medio ambiente. Así mismo la presencia del colorante en solución acuosa, tiene un comportamiento diferente por cuanto el agua disuelve al caramelo hecho que también es afectado por la temperatura y por el sistema de agitación en cuanto a la forma y a la velocidad de agitación. En el caso de la esencia es cargada en estado líquido tiene mayor grado de volatilidad que la solución de colorante hecho que se incrementa por efecto de la temperatura, sin embargo, la elevada viscosidad requiere de condiciones adecuadas de agitación, en forma y velocidad. La homogeneidad del mezclado para el ácido se evalúa mediante el valor de pH para una solución acuosa del producto final. En cuanto al color este es determinado por aplicativo MEDIDOR DE COLOR digital, el cual nos permite determinar el porcentaje de colores básicos presentes. Tanto los datos del color, como el pH se evalúan mediante métodos estadísticos

usando Excel. En cuanto a la esencia esta es evaluada mediante pruebas organolépticas para determinar el sabor, cuyos resultados se muestran en la tabla 10 y 11.

Tabla 10:

Resultados de la evaluación organoléptica para caramelos duros de limón, escala (0 a 20).

Evaluador	Valores promedio de tres muestras		
	Sabor	Textura	Consistencia
1	16.7	14.3	16.3
2	16.0	14.7	17.7
3	16.3	17.0	16.0
4	14.3	16.7	16.0
5	15.7	16.0	17.7
6	15.7	16.0	17.7
7	16.0	18.0	16.3
8	15.0	18.0	15.0
9	16.0	15.3	15.3
10	16.0	17.3	18.3
11	17.0	17.3	18.7
12	17.3	18.7	18.0
% promedio	80.0	82.8	83.3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11:

Resultados de la evaluación organoléptica del sabor para caramelos duros de limón

Evaluador	Calificación del sabor de 0 a 20
1	16.7
2	16.0
3	16.3
4	14.3
5	15.7
6	15.7
7	16.0
8	15.0
9	16.0
10	16.0
11	17.0
12	17.3
Valor promedio	16.0

Fuente: Elaboración propia.

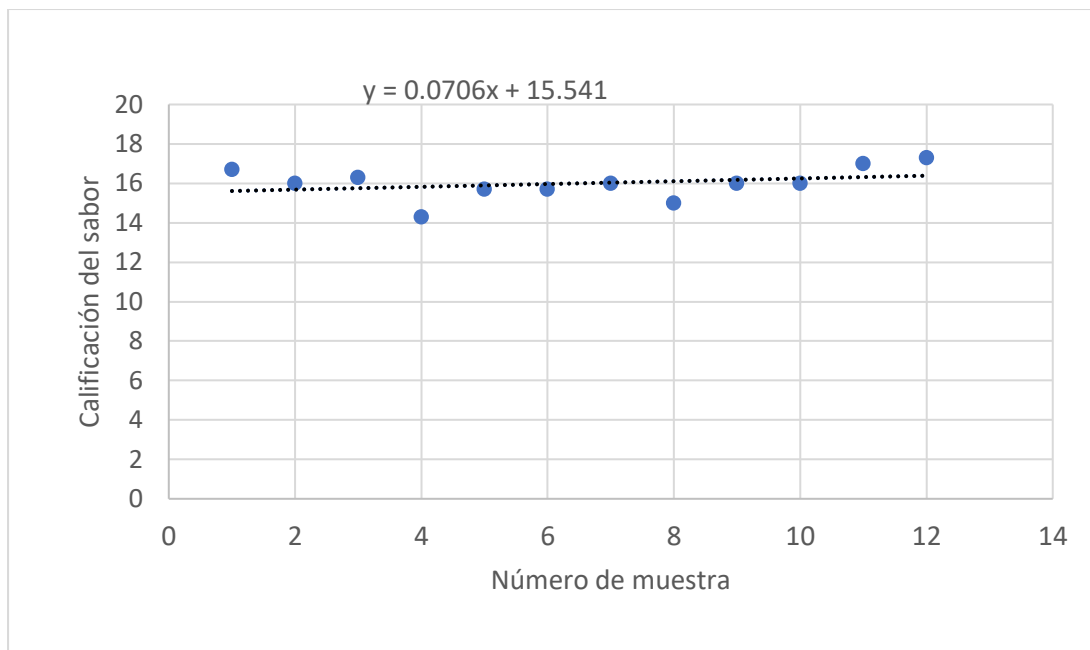


Figura 14: Evaluación del sabor de caramelos

Fuente: Elaboración propia

a.2. Análisis de resultados 2.

El estudio de la dependencia de la viscosidad aparente de factores como la temperatura porcentaje de azúcares reductores, tiempo de agitación, para una composición determinada de caramelo líquido en la operación de mezclado con aditivos como son, el saborizante, colorante y ácido cítrico, se muestran en las tablas y gráficos respectivos que a continuación se detallan.

Para la evaluación del sabor se han obtenido los datos que se encuentran en las tablas 10 y 11, así como la figura 14, con un grado de aceptación promedio de 80 %, en una escala de (0 a 20).

Tabla 12:

Unidades básicas de color en caramelo amarillo limón.

Número de muestra	Rojo	Verde	Amarillo	Azul
1	192	194	193	193
2	192	194	193	193
3	193	195	194	194
4	191	193	194	194
5	191	195	192	192
6	191	196	196	196
7	194	194	196	196
8	190	195	193	193
9	191	192	196	196
10	190	195	192	192
Desviación Estándar	1.2003	1.1505	1.5951	1.5951
Promedio	191.5	194.3	193.9	193.9

Fuente: Elaboración propia.

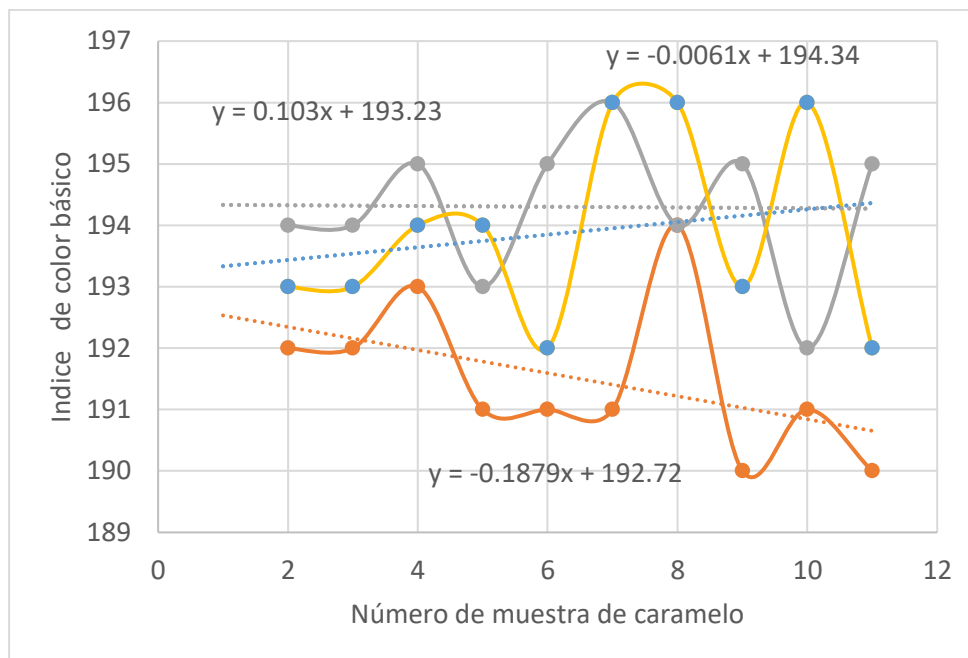


Figura 15:

Colores básicos para el caramelo de limón.

a.3. Análisis de resultados 3.

El grado de dispersión del colorante en el caramelo durante la operación de mezclado se aprecian en la tabla 12 y en la figura 15, con valores para cada color básico, rojo, verde, amarillo, azul que son los componentes del colorante amarillo limón, con desviación estándar máxima de 1.5951, para el colorante azul.

Tabla 13:**Valores de pH para muestras de caramelo duro.**

Número de muestra	Valor de pH
1	2.75
2	2.79
3	2.76
4	2.74
5	2.77
6	2.77
7	2.78
8	2.76
9	2.75
10	2.77
Valor promedio	2.76
Desviación estándar	0.0151

Fuente: Elaboración propia.

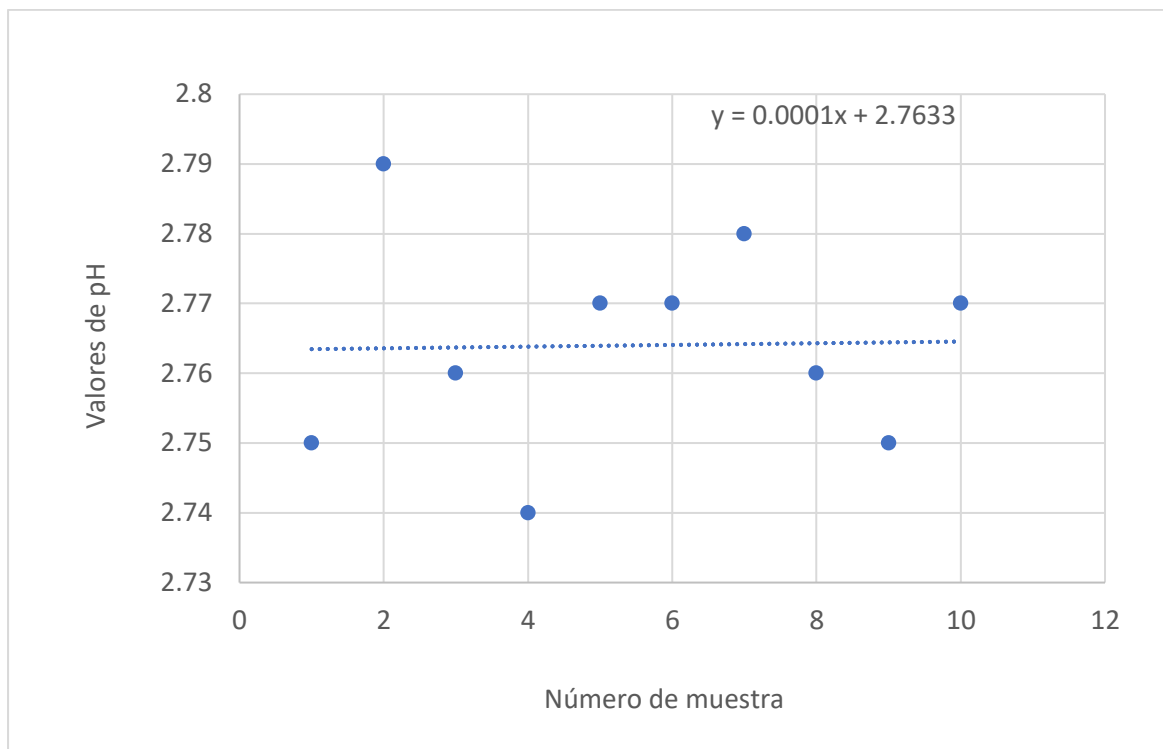


Figura 16:

Valores de pH para caramelos duros.

a.4. Análisis de resultados 4.

La distribución del ácido cítrico en el caramelo se mide mediante el valor de pH, para ello se prepara una solución acuosa de caramelo al 10 % (m/V), de tal manera que por inmersión del electrodo en las soluciones se determinan los valores de pH de la solución. Estos valores se encuentran en la tabla 13 y en la figura 16. El valor promedio del pH es de 2.76 con un valor de desviación estándar de 0.0151.

Tabla 14:**Viscosidad en función de la temperatura para caramelo líquido.**

Temperatura °C	η (Pa. S)
131	22.6
120	30.7
118	34.7
115	37.3
113	94.7
111	132
108	300
95	512
90	800
88	1329

Fuente: Elaboración propia.

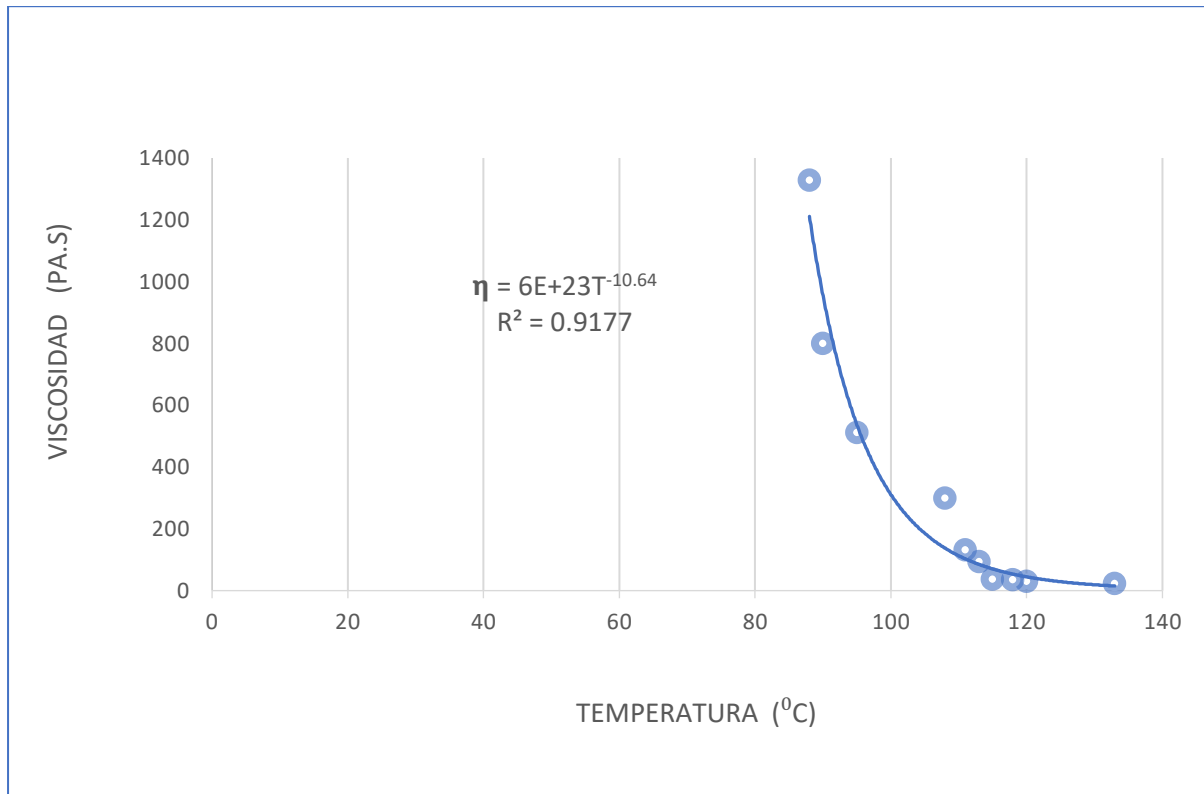


Figura 17:

Viscosidad del caramelo en función de la temperatura.

a. Análisis de resultados 5.

En la operación de mezclado del caramelo líquido con los saborizantes, colorante y ácido cítrico se requiere de un valor adecuado de viscosidad aparente, para ello se evalúa la dependencia, determinando que la relación inversa que tiene la viscosidad aparente con la temperatura, tal como se puede apreciar en los datos que se encuentran en la tabla 14 y en la gráfica 17.

Tabla 15:**Viscosidad del Caramelo en función del % A.R.**

η (Pa.S)	%AR
300	13.5
288	14.4
277	15.3
265	16.2

Fuente: Elaboración propia.

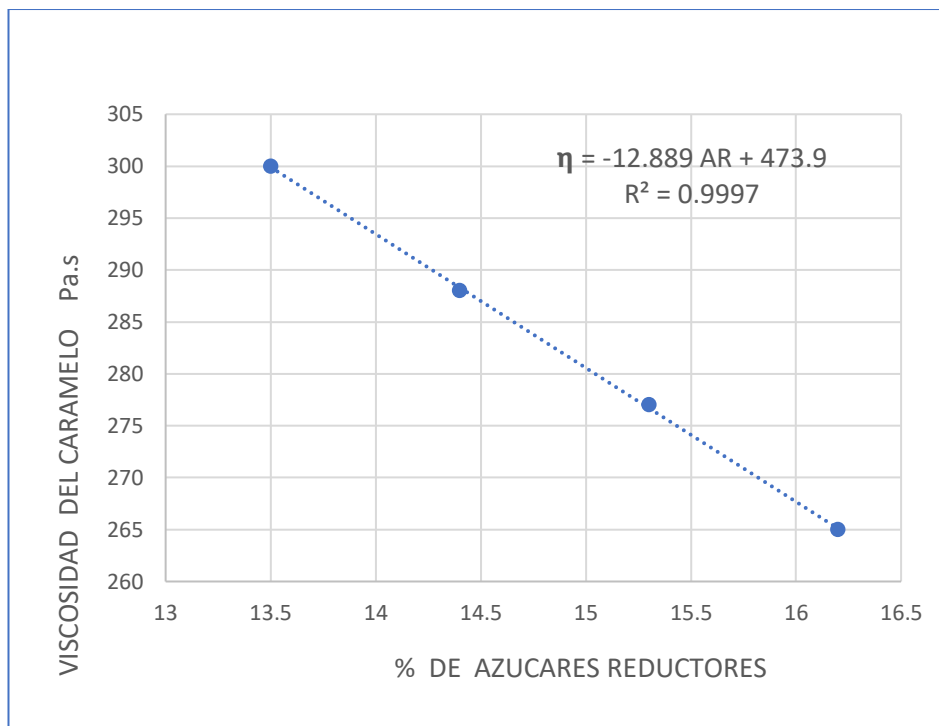


Figura 18: Viscosidad del caramelo en función del % de azúcares reductores.

b. Análisis de resultados 6.

Los datos de la tabla 15 y los correspondientes a la figura 18 muestran la relación inversa que existe entre la viscosidad aparente y el contenido de azúcares reductores, los cuales provienen del jarabe de glucosa cargada inicialmente y de la reacción de hidrólisis del caramelo.

Tabla 16:**Viscosidad del caramelo en función del tiempo de agitación.**

Tiempo (s)	Visc. (Pa. S)
0	300
2	292
4	283
6	275

Fuente: Elaboración propia.

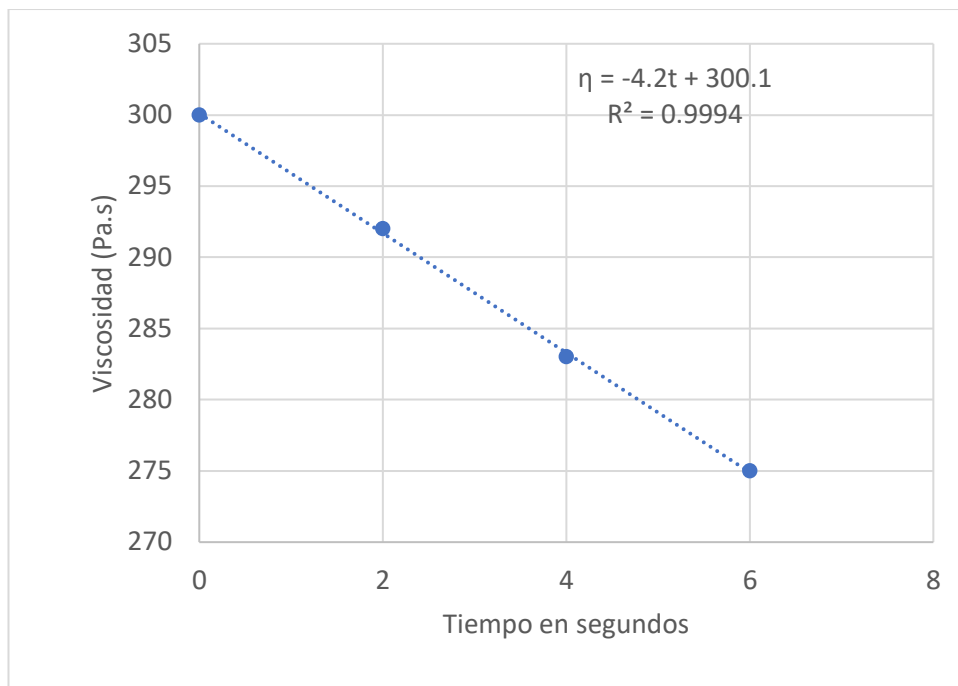


Figura 19: Viscosidad del caramelo en función del tiempo de agitación.

c. Análisis de resultados 7.

Considerando los resultados de la evaluación de la viscosidad aparente del caramelo líquido con el tiempo de agitación en la operación de mezclado, se concluye que la relación es inversamente proporcional entre las variables, tal como muestran los datos de la tabla 16 y de la figura 19.

6.3. Datos experimentales para determinar el comportamiento tixotrópico del caramelo líquido

Tabla 17.

Datos de intensidad de corriente, velocidad de rotación, viscosidad

Tiempo (S)	RPM	Amperios						Viscosidad (Pa.S)					
		I ₀	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	η ₀	η ₁	η ₂	η ₃	η ₄	η ₅
0	601	0.26	0.26	0.30	0.36	0.36	0.36	217	250	275	300	300	300
2	660	0.25	0.25	0.29	0.35	0.35	0.35	209	242	267	292	292	292
4	741	0.24	0.24	0.28	0.34	0.34	0.34	201	233	258	283	283	283
6	780	0.23	0.23	0.27	0.33	0.33	0.33	193	225	250	275	275	275
8	850	0.23	0.23	0.27	0.33	0.33	0.33	193	225	250	275	275	272

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18

Viscosidades Aparentes en Función de la Velocidad de Agitación

Velocidad De agitación En RPM	η_o Pa.S	η_e Pa.S	η Pa.S	$\eta_o - \eta_e$ Pa.S	$\eta - \eta_e$ Pa.S	$\eta_o - \eta$ Pa.S
601	217	193	225	24	8	25
660	250	225	250	25	8	25
714	275	250	258	25	8	25
780	275	250	283	25	8	25
850	275	250	275	25	8	25
900	275	250	275	25	8	25

6.4.1. Cálculo del esfuerzo cortante.

Ecuación (17), para el cálculo de la potencia eléctrica, en función del potencial eléctrico, la intensidad de corriente y el ángulo de desfasaje.

$$P = VI \cos \phi \quad \text{E c. (19).}$$

Ecuación (18), para calcular el esfuerzo cortante que se desarrolla en la operación de mezclado, por aplicación de una fuerza cortante sobre el caramelo en estado líquido.

$$\tau = \frac{Vx \cos \phi x I}{\pi^2 x 60 x (r^2)} = \frac{220 V x 0.8 x I}{3.14^2 x 60 x (0.01^2)} = (297510) I$$

$$\text{E c (20)}$$

6.4.2. Cálculo de la velocidad de corte.

Cuando el rotor se mueve dentro del caramelo líquido (Fig. 11), el cual está inicialmente en reposo, se empieza a mover de tal manera que las capas que están más cerca de la superficie del rotor son movidas y estas a su vez mueven a las capas periféricas, hasta alcanzar la capa más externa, logrando un perfil de velocidades decreciente en función de la distancia hacia la superficie del rotor, la cual está relacionada con el radio, medido desde el centro del rotor hasta la superficie interna del recipiente que contiene al caramelo.

$$\gamma = w . r \quad \text{Ec. (21)}$$

Tabla 19

Viscosidad, potencia, esfuerzo cortante

I (A)	η (Pa. S)	P (W)	τ (Pa)
0.36	300	63.36	107104
0.35	292	61.60	104129
0.34	283	59.84	101153
0.33	275	58.08	98178
0.32	267	56.36	95203
0.31	258	54.56	92228
0.30	250	52.80	89253
0.29	242	51.04	86278
0.28	233	49.28	83303
0.27	225	47.52	80328
0.26	217	45.76	77353
0.25	209	44.00	74378
0.24	201	42.24	71402
0.23	193	40.48	68427

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20:

Datos de velocidad de corte para cada valor de velocidad angular

RPM	RPS	V (m / S)	γ ((S ⁻¹))
601	10.02	1.00	16.67
660	11.00	1.10	18.33
714	11.90	1.19	19.83
780	13.00	1.30	21.67
850	14.17	1.42	23.67
900	15.00	1.50	25.00

Fuente: Elaboración propia.

6.4.3. Cálculos de parámetros.

6.4.3.1. Cálculo del valor de: a_1

$$(\eta_0 - \eta) - (n - \eta_e)(\eta_0 - \eta_e)a_1 t = 0 \quad \text{E c. (22)}$$

$$a_1 = \frac{25}{8 \times 25 \times 2} = 0.0625$$

6.4.3.2. Cálculo de los valores de: K, K_1, n .

$$a_1 \tau_0 + a_1 K(\gamma)^n = K_1 \gamma \quad \text{E c. (23)}$$

$$0.0625 \times 77353 + 0.0625 K(16.67)^n = 16.67 K_1$$

$$0.625 \times 89257 + 0.0625 K(18.33)^n = 18.33 K_1$$

$$0.625 \times 101153 + 0.0625 K(19.83)^n = 19.83 K_1$$

Resolviendo las ecuaciones se tiene:

$$K = 241$$

$$K_1 = 291$$

$$n = -0.021$$

Tabla 21

Valores del parámetro estructural del caramelo en función de (I).

Número	I (A)	Parámetro estructural Inicial λ	I (A)	Parámetro estructural En equilibrio λ_e
1	0.26	0.047	0.23	0.042
2	0.30	0.051	0.27	0.047
3	0.33	0.054	0.30	0.049
4	0.36	0.067	0.33	0.056
	Promedio	0.055	Promedio	0.049

Fuente: Elaboración propia.

Ecuación que relaciona a la velocidad de corte, el parámetro estructural y el esfuerzo cortante para el caramelo en estado líquido.

$$\tau = \lambda (\tau_o + K (\gamma)^n) = 0.055 (\tau_o + 241 (\gamma)^{-0.021} \text{ Ec. 24.}$$

d. Análisis de datos 8.

La tabla 17 muestra datos obtenidos para procesarlos según el modelo matemático propuesto por Steffe J-F(1992) *Rheological methods in food process engineering*, luego las tablas del 18 al 21 son usadas para calcular los parámetros de la ecuación, de tal modo que se confirma el comportamiento tixotrópico del caramelo en estado líquido tal como se muestra en la ecuación 24.

7. CONCLUSIONES.

7.1. EL contenido de azúcares reductores muestran la relación inversamente proporcional con la viscosidad aparente del caramelo, por tal razón se trata de evitar la hidrólisis la sacarosa, en la operación de mezclado.

7.2. El grado de homogeneidad del saborizante en el caramelo es aceptado por los miembros del panel de degustación en un valor promedio de 80 %.

7.3. La distribución de la solución acuosa de colorante amarillo limón en el caramelo líquido es tal que al medir los cuatro colores básicos se aprecian valores superiores a 191, con un valor máximo de desviación estándar de 1.5951. El colorante amarillo limón se combina con otros colorantes producidos en el proceso de cocción del caramelo básicamente por la reacción de Maillard.

7.4. El grado de distribución del ácido cítrico en el caramelo se evalúa midiendo el valor de pH de una solución acuosa de caramelo al 10 %(masa/volumen), obteniendo un valor promedio de $\text{pH} = 2.76$, con un valor de desviación estándar de 0.0151.

7.5. Los resultados experimentales nos permiten concluir que existe una relación inversa exponencial entre la viscosidad del caramelo líquido y la temperatura, cuyo valor de l coeficiente de correlación es de 0.9177.

7.6. Los datos de la tabla 15 y de la gráfica 18, muestran la relación inversamente proporcional entre la viscosidad aparente del caramelo líquido y su contenido de azúcares reductores, con una ecuación que los relaciona y con un valor de $R=0.9997$.

7.7. La dependencia de la viscosidad aparente del caramelo líquido, respecto del tiempo de agitación durante el mezclado es inversamente proporcional, tal como se aprecia en la ecuación correspondiente en la figura 16, con un valor de $R=0.994$.

7.8. El comportamiento no newtoniano del caramelo líquido se comprueba siguiendo el modelo propuesto en el libro de Steffe (1992) ya citado anteriormente, de tal modo que la teoría se basa en que el comportamiento tixotrópico se manifiesta por la modificación de un parámetro estructural(λ). Después de operar convenientemente los datos experimentales, (tablas ,17 al 21) se obtienen los parámetros de la ecuación, confirmando el comportamiento tixotrópico planteado para el caramelo en estado líquido.

8.RECOMENDACIONES.

8.1. Los resultados experimentales muestran la dependencia de la viscosidad del caramelo en estado líquido, de manera inversamente proporcional con la, temperatura, azúcares reductores y tiempo de agitación durante la operación de mezclado, en dicha operación se trata de alcanzar el mayor grado de homogeneidad en la distribución esencias, colorante y ácido cítrico, tal como se muestra en las gráficas correspondientes. Para una composición determinada con cierta cantidad de azúcares reductores que aporta el jarabe de glucosa, en la zona de cocción y mezclado se debe evitar la hidrólisis de la sacarosa en gran escala mediante un trabajo ordenado de la operación de mezclado. Medidas que se deben de tomar, el caramelo que sale del equipo de cocción debe tener una cantidad adecuada de humedad, la solución acuosa de colorante, no debe de ser muy diluida y la temperatura de mezclado no debe de ser muy elevada, es necesario sincronizar el mezclado de insumos con el enfriamiento del caramelo.

8.2. Se ha evaluado el efecto de las variables independientes, sobre la viscosidad del caramelo líquido de tal modo que se recomienda un control adecuado de las primeras, para alcanzar un valor adecuado de viscosidad aparente, en el presente caso para el rango de temperaturas de operación se considera el valor máximo de viscosidad es de 300 Pa.s.

8.3. Para la evaluación de la homogeneidad del saborizante en el caramelo se recomienda el desarrollo de pruebas fisicoquímicas y organolépticas.

8.4. Se ha determinado el grado de mezclado alcanzado por los colorantes usando el método “medidor del color digital”, obteniendo el siguiente resultado, en valores promedio: Rojo (191.5), Verde (194.3) y Amarillo (193.9). Se recomienda el uso de los métodos digitales para determinar

la cantidad de colorantes básicos en determinado colorante industrial natural o artificial que haya sido usado.

8.5. Se recomienda el mezclado del ácido cítrico de cierta granulometría, en la etapa final de mezclado para lograr buena dispersión y disminuir la posibilidad de hidrólisis de la sacarosa, hecho que provoca un incremento en la concentración de azúcares reductores.

8.6. El grado de inversión de sacarosa durante el proceso se ha evaluado, usando el método de reducción del cobre, obteniendo valores en el rango industrial permitido de 18 % de azúcares reductores totales (los que aporta el jarabe de glucosa y los que corresponden a la inversión de la sacarosa), es un buen método pues produce resultados confiables.

8.7. La efectividad de la operación de mezclado, permite que las operaciones posteriores continúen con normalidad y al final se obtenga caramelos con buena calidad en cuanto, al color, brillo, sabor, textura, consistencia, y tiempo de vida que alcance el periodo de un año.

8.8. La determinación del factor estructural, con un valor promedio de 0.054 para fluidos tixotrópicos, confirma el efecto de la agitación por un tiempo determinado en la estructura y viscosidad del caramelo líquido para valores constantes de composición, velocidad de corte, temperatura, porcentaje de azúcares reductores. Se recomienda continuar con el estudio reológico del caramelo y de otros productos para obtener productos de elevada calidad, buena rentabilidad porque se minimizan los productos secundarios, los resultados del estudio ayudan en el diseño y mantenimiento de equipos y en un clima laboral de condiciones más adecuadas para cualquier ser humano y siempre cuidando el medio ambiente.

.

.

9.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- 1.Aguado J., Calles A., Cañizares P., López B., Rodríguez F., Santos A., Serrano D. (2000),
Ingeniería de la industria alimentaria. V-I-ALAMBRA Barcelona. España.
- 2.Bird B. (1990), *Fenómenos de transporte*. México. Editorial Limusa. Edición 2.
- 3.Cedeño María de los Ángeles (2009) *Determinación de la temperatura de transición vítrea en caramelos duros*. Guayaquil, Ecuador.
- 4.Çengel Y. Afshin G. (2007)-*Transferencia de calor y masa, fundamentos y aplicaciones*. Monterrey – México. Mc Graw Hill.
- 5.*Confitería Española*. (2010)-Revista del dulce. Diagonal 321/1-Barcelona-España.
- 6.Corral B. (2011), *Termofluidos –Transferencia de calor*. Editorial académica española. España.
- 7.Costa N. (2000), *Fenómenos de transporte*. Editorial Alhambra. Madrid, España. Editorial Alhambra.
- 8.Coyce H.K., Hirschland H.E., Michel B.J. (1970). *Mixing in viscous liquid* . Rochester New York, USA. AICHE JOURNAL.
- 9.Fisher E.G. (1970). *Extrusión de plásticos*. México D.F.- México. Compañía editorial continental S.A.
- 10.Froment G.F..Bischoff K. (1979). *Chemical reactor analysis and design*. Edit. New York

EEUU. Edit. –Jhon Wiley –Sons.

10. Geankoplis. C. J. (1999), *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. México, México. Compañía Editorial continental, 3ra. Edición
11. Gutfinger CH. y Talmadge J. (1965). *Films of nonnewtonian fluids adhering to flat plates*. AICHE Connecticut USA . Yale University (pp.15-20).
12. Hasser H.L., Bondi A. (1961). *Mixing of viscous nonnewtonian fluids in packed beds*. California USA. Shell development company, AICHE.
13. Holman J.P. (1999). *Transferencia de calor*. Editorial Continental S.A. México, México. Edición Compañía Editorial Continental
14. Hoffman R. L. (1967). *Limitations on the generalized differentiation method for obtain Rheological data from the Couette anular and falling cylinder rheometers*. New Jersey-USA Princeton university, Princeton.
15. Incropera P. y Bergant-Lavinge A. (2018). *Fundamentals Heat and Mass Transfer*. New Jersey USA. Jhon Wiley & Sons 5a-Edición.
16. Alvarado J. de D.(2013), *Principios de ingeniería de los alimentos* . Universidad de Ambato, Ecuador.
17. Kholer R.H.; Estein J. (1967). *Power consuption in the agitation of solid – fluid suspension*. Potsdam-New York-USA-AICHE Journal. Clarkson College of technology.
18. Krehit F. (2011). *Transferencia de calor*. México. México. Editorial Cengage learning.
19. Meiners A, Kreiten K. y Joike H, Silecia Confiserie (1980), *manual número 3-Tomos I y II* Neuss 21 North-Alemania.
20. Kreysing E.(2000). *Matemáticas avanzadas para ingeniería* . México. México. LIMUSA-Noriega editores (t. I, II).

21. Le Maguer M., Jelen P. (1986). *Food engineering and process applications* Elsevier New York-USA-1986. Elsevier applied science-publishers
22. Lescaboura J.A.; Eichtadt J.E.; Swift G.N. (1965). *A generalized differentiating method for interpreting rheological Data of time independent fluid*. Lawrence, Kansas, USA. AICHE, University of Kansas.
23. Levenspiel O. (1993). *Flujo de fluidos e intercambio de calor*. Editorial. España Editorial Reverté.
24. McCabe W y colaboradores (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. España. Mc. Graw Hill.
25. Orellana Jorge A. (2005). *Características del agua potable-Ingeniería sanitaria*. Argentina . UTN-FRRO.
26. Perry R. y Colaboradores (1997)-*Manual del ingeniero químico* – Editorial – USA. Editorial Mc Graw Hill.
27. Slatery J.C. (1999) *Advanced transport phenomena*. New York. USA. Cambridge university press.
28. Smith. J.M. (1997). *Ingeniería de la cinética química*. México D.F.-México. Compañía Editorial continental S.A.
29. Steffe J.F- (1992). *Rheological methods in food process engineering*. USA Editorial Freeman Press.
30. Whitaker S. (1981). *Introduction to fluid mechanics*. Florida-USA. Robert E. Krieger Publishing Company – Malabar.
31. Malagón J.D.M. (2021). *Estandarización y validación de formulaciones base para confitería*

en caramelo duro y blando para la aplicación de agentes saborizantes en DISAROMAS S.A.

ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1016&context=ing_

- 34.. HIDROSTAL (2021). *Bombas centrífugas de acero inoxidable*. Lima Perú.
- <https://www.google.com/search?q=Hidrostal+bombas+centr%C3%ADfugas&oq=Hidrostal+bombas++centr%C3%ADfugas&aqs=chrome..69i57j0i22i30l2.22870j0j4&sourceid=Chrome & ie=UTF-8>.
35. INDECOPI-NTP –208 101. (2014). *Normas técnicas peruanas sobre confitería*. Resolución número 35-2014. <https://www.sni.org.pe/aprueban-normas-tecnicas-peruanas-sobre-confiteria-y-dejan-sin-efecto-2-ntp/>.
36. Iñaki Tuñón (2021). *Fenómenos de transferencia*. Valencia. España Departamento de Química Física (p3-39).
- [:https://www.uv.non/pdf_doc/tema_fen_trans.pdf](https://www.uv.non/pdf_doc/tema_fen_trans.pdf).
37. Ministerio de Industria, turismo, integración y negociaciones comerciales internacionales del Perú, comité de galletas de la SIN (2021). *Producción nacional de caramelos*. Publicado por:
- [https://www. Sistema mid.com/panel/uploads/biblioteca/2016-01-10-04-03-13131166 pdf](https://www.Sistema mid.com/panel/uploads/biblioteca/2016-01-10-04-03-13131166.pdf).
- 38.Moshen M, Lehnberger A. (2004). *Producción de magma de semilla mediante cristalización por enfriamiento en la producción de azúcar de caña* Branschwing Dewstschland.
- [atamexico.com.mx/ wploads /2017/11/8](http://atamexico.com.mx/wploads/2017/11/8). Elaboración 2016 pdf.

39. Irvin A. Amaranto, Leiva. -Gonzalo, López Bada. (2015) “*CARACTERIZACIÓN REOLOGICA DE JALEA ELABORADA A BASE DE SÁBILA (Aloe vera), MEMBRILLO (Cydonia oblonga) Y MANGO (Mangúifera).*”
40. Arsenio J. Lasheras (2009), *Determinación de las propiedades reológicas de soluciones acuosas de CMC, por mediciones experimentales en viscosímetro rotacional AR-G2*, Cartagena, España. Universidad politécnica de Cartagena, Ingeniería técnica de Química Industrial.
<https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/1902/pfc3278.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
41. Albarrán G.R.(2019). *Análisis experimental de fluidos no newtonianos sometidos a impactos. México*, México. Universidad autónoma de México.
<http://www.ptlomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/16977/Tesis.pdf?sequence=3> .
42. Universidad de Buenos Aires-Tablas 5 y 7. (2004) *Propiedades térmicas de aleaciones, aceites y glicerinas*. Buenos Aires Argentina.
<http://materias.fi.uba.ar/tab.PDF>.
43. Hernández R., Sampieri (2006). *Análisis de datos cuantitativos*, (p.272,273). México, México.
<http://tsmetodologiainvestigaciondos.sociales.uba.ar/wp-content/uploads/sites/175/2021/05/U5-Ampliatoria-Hernadnez-Sampieri-Cap-10.pdf>

44. Hernández S.R, Fernández C.C, Baptista C.MP. (2010) *Metodología de la investigación*, Mc. Graw Hill, México, México.

https://www.academia.edu/25455344/Metodolog%C3%ADa_de_la_investigaci%C3%B3n_Hernandez_Fernandez_y_Baptista_2010

—

45.: Sánchez Flores, F. A. (2019). *Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: consensos y disensos*. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, 13(1), 102-122.doi.

<https://doi.org/10.19083/ridu.2019.644>

46. Gad Saad (1999). *Diseño de investigación experimental en psicología*.

https://issuu.com/omararyancitopaucar/docs/dise_os_de_investigaci_n_experiment

47. Balluerca lasa N., Vergara Iraeta A.I.(2002). *Diseño de investigación experimental en psicología*, Prentice Hall-Madrid-España.

10.ANEXOS.

Fotografías de un proceso industrial de caramelos.

(Cortesía DULCITO S.R.L).



10.1. Tanque para disolución acuosa de sacarosa y jarabe de glucosa.



10.2. Equipo de evaporación y descarga.



10.3. Equipo de evaporación y descarga paila de cobre.



10.4. Descarga del caramelo.



10.5. Masa de caramelo descargada en bandeja de acero inoxidable.



10.6. Descarga del caramelo líquido en intercambiador de calor de superficie plana.



10.7. Mezclado manual de aditivos (ácido cítrico, esencia y colorante)



10.8. Regulación del enfriamiento de la masa de caramelo.



10.9. Masa enfriada para lista para su traslado a mezcladora con disco giratorio y brazos.



10.10. Acondicionamiento del caramelo para su traslado a mezcladora automática



10.11. Acondicionamiento del caramelo para su traslado a mezcladora automática



10.12. Caramelo en la mezcladora automática, giratoria de brazos.



10.13. Conformado preliminar del caramelo en forma troncocónica.



10.14. Ingreso del caramelo a la máquina de moldeo final.



10.15. Envoltura de caramelo



10.16. Viscosímetro de Brookfield-LVDE-115.