



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

**REDUCCIÓN DE REPROCESO
EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN CONTINUA DE
CAMELOS DUROS SIN AZÚCAR**

Autor: Cipriani, María Gisela

Tesis para optar al título de posgrado en:
Magíster en Ciencia y Tecnología de los Alimentos

Córdoba, 2019

**REDUCCIÓN DE REPROCESO EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN
CONTINUA DE CAMELOS DUROS SIN AZÚCAR**

**Fábrica Industrial de Caramelos Duros y
Caramelos Duros Rellenos, Arroyito - Córdoba, Argentina**

Directora: Dra. Silvia Joeques (silviajks@gmail.com)

Miembros del tribunal examinador de tesis:

. Dra. Cecilia Bruno
Doctora en Ciencias Agropecuarias
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Universidad Nacional de Córdoba

. Dra. Florencia Verónica Grasso
Doctora en Ingeniería
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de La Plata

. Mgter. María Soledad Eberhart (Evaluador externo)
Magíster en Tecnología de los Alimentos
Universidad de Parma

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mis padres, Rita y Omar, a quienes agradezco por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Son mi gran orgullo y agradezco a Dios tenerlos.

A mi esposo Franco, por su paciencia y entrega para conmigo, por motivarme y ayudarme a alcanzar esta meta.

A mis compañeras de Maestría, en quienes encontré grandes personas y que hicieron más amenas las extensas horas de cursado.

A Jimena Benito, por su acompañamiento y apoyo durante el cursado de la Maestría, que me hizo conocer la gran profesional, mujer y amiga que es.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por ser mi soporte y contención en todo momento, y por alentarme a alcanzar este gran anhelo.

A mi Directora de Tesis Dra. Silvia Joekes, por la confianza que depositó en mí, su constante apoyo, indicaciones y predisposición indispensables en el desarrollo de este trabajo.

A la empresa donde tuve la oportunidad de desarrollar este trabajo de investigación, la cual me forjó como profesional durante mis primeros 9 años laborales y que siempre recordaré con cariño. Por todo el apoyo y facilidades que me fueron otorgadas para lograr culminar con este gran desafío.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII

CAPÍTULO I

I.1. INTRODUCCIÓN.....	1
I.2. FUNDAMENTACIÓN.....	1
I.3. NORMATIVA.....	4
I.4. HIPÓTESIS.....	7
I.5. OBJETIVOS.....	7
I.5.1 GENERAL.....	7
I.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
I.6. ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO DE TESIS.....	8

CAPÍTULO II

II.1. INTRODUCCIÓN.....	10
II.2. MATERIAS PRIMAS DE LOS CAMELOS DUROS SIN AZÚCAR.....	10
II.2.1. ISOMALTOSA.....	11
II.2.2. MALTITOL.....	12
II.2.3. AGUA.....	12
II.2.4. EDULCORANTES.....	13
II.2.5. COLORANTES Y AROMAS.....	13
II.3. PROCESO TECNOLÓGICO DE LOS CAMELOS DUROS SIN AZÚCAR.....	14
II.3.1. PREPARACIÓN DE ALMÍBAR Y HOMOGENEIZACIÓN.....	15
II.3.2. COCCIÓN.....	17
II.3.2.1. Estabilización del almíbar en tanque pulmón.....	18
II.3.2.2. Transporte de almíbar.....	18
II.3.2.3. Intercambio de calor por serpentina.....	18
II.3.2.4. Concentración a 1 atm (flasheo).....	18
II.3.2.5. Concentración por vacío.....	19
II.3.2.6. Agregado y mezcla de aditivos.....	19
II.3.3. TEMPERIZADO.....	19

II.3.4. BASTONADO	20
II.3.5. EGALIZADO	21
II.3.6. CONFORMADO (TROQUELADO).....	22
II.3.7. ENFRIADO	22
II.3.8. SELECCIONADOR DE CAMELOS	23
II.3.9. ENVASADO EN ESTUCHES Y CAJAS EXHIBIDORAS	23

CAPÍTULO III

III.1. INTRODUCCIÓN	25
III.2. ANÁLISIS DEL BALANCE DE MASA DE LA PLANTA DE CAMELOS DUROS.	25
III.3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN INICIAL	27
III.3.1. ANÁLISIS DE CAUSAS.....	29
III.3.2. REPROCESO EN LA FASE INICIAL	31
III.4. PLANIFICACIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTO	32
III.5. VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS MEDIANTE CORRIDA DE CONFIRMACIÓN	34

CAPÍTULO IV

IV.1. INTRODUCCIÓN	35
IV.2. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA PARA VARIABLES DE DISEÑO	35
IV.3. RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	37
IV.3.1. RESULTADOS PARA LA ALTURA DEL CAMELO.....	37
IV.3.2. RESULTADOS PARA EL PESO DEL CAMELO.....	38
IV.3.3. ENSAYOS DE CONFIRMACIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES	40
IV.4. SITUACIÓN INICIAL Y FINAL	42
IV.5. COMENTARIO FINAL	42

CAPÍTULO V

V. DISCUSIÓN	44
--------------------	----

CAPÍTULO VI

VI. CONCLUSIÓN	47
----------------------	----

CAPÍTULO VII

VII. BIBLIOGRAFÍA	49
-------------------------	----

ANEXO 1: PLANILLA DE RELEVAMIENTO DEL REPROCESO DEL CARAMELO SIN AZÚCAR GENERADO POR SECTOR	54
ANEXO 2: RESULTADOS DE ALTURA EN CADA CORRIDA EXPERIMENTAL.....	55
ANEXO 3: RESULTADOS DE PESO EN CADA CORRIDA EXPERIMENTAL	56
ANEXO 4: TABLA DE ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA ALTURA Y PESO	57
ANEXO 5: PUBLICACIONES	60

RESUMEN

La calidad de los productos y servicios, se ha vuelto hoy en día uno de los factores de decisión más importantes en la mayoría de las empresas. Muchas de ellas implementan diferentes herramientas estadísticas para analizar datos y tomar decisiones. La presente investigación tiene como objetivo identificar la inestabilidad en el proceso productivo de caramelos duros sin azúcar, mediante la aplicación de ingeniería estadística.

El formato de la máquina envasadora de caramelos mide 84 mm de largo, por lo que partiendo de la premisa de que cada paquete contiene 7 caramelos, la altura máxima que podrá tener cada uno es de 12 mm. Para cumplir con este requisito, se consideraron las variables peso y altura de los caramelos. Existe una especificación para la altura de $11,6 \pm 0,4$ mm y una especificación para el peso de $3,8 \pm 0,2$ gr. Aquellas unidades que no cumplen con estos límites son descartadas por el seleccionador, formando parte del reproceso. Teniendo en cuenta esta problemática, se analizó en profundidad el proceso productivo mediante la realización de un diseño experimental.

Según el análisis estadístico de las variables de proceso estudiadas, aquellos niveles que optimizan en forma conjunta el peso y la altura de los caramelos aproximándolos a los valores óptimos de sus especificaciones, son los siguientes: Velocidad del Cuádruple 39%, Velocidad Egalizadora-Troqueladora 49-59% y Apertura de quinto trefilador 5 cm. Con estos valores se realizó la corrida de confirmación, donde se relevaron los nuevos niveles de reproceso, y que fueron contrastados con la situación inicial.

Comparando los resultados obtenidos en el ensayo de confirmación respecto a la situación inicial, el porcentaje de descarte por turno, pasó de un 1,28% a un 0,31%. Aplicando estos nuevos niveles en las variables de proceso estudiadas, se espera lograr una mejora anual en el reproceso de la línea de caramelos duros sin azúcar de un 76 %, lo que evidentemente redundará en los costos de producción.

Palabras clave: optimización de la producción, envasadora, ingeniería estadística, estabilidad de la producción.

ABSTRACT

The quality of products and services has nowadays become one of the most important decision factors in most companies. Many of them implement different statistical tools to analyze data and make decisions. This research aims to identify instability in the production process of sugar-free hard candies, through the application of statistical engineering.

The format of the candy packaging machine is 84 mm long, so based on the premise that each package contains 7 candies, the maximum height that each can have is 12 mm. To meet this requirement, the variables weight and height of the candies were considered. There is a specification for the height of 11.6 ± 0.4 mm and a specification for the weight of 3.8 ± 0.2 gr. Those units that do not meet these limits are discarded by the coach, forming part of the reprocessing. Taking into account this problem, the production process was analyzed in depth by conducting an experimental design.

According to the statistical analysis of the process variables studied, those levels that jointly optimize the weight and height of the candies by approximating them to the optimal values of their specifications, are the following: Four sizing rollers (pre-sizer) speed 39%, Four-stage rope sizer speed 49-59% and opening of fifth 5 cm pair of rotating. With these values the confirmation run was made, where the new levels of reprocessing were relieved, and which were contrasted with the initial situation.

Comparing the results obtained in the confirmation run regarding the initial situation, the percentage of discards per turn, went from 1.28% to 0.31%. Applying these new levels in the process variables studied, it is expected to achieve an annual improvement in the reprocessing of the sugar-free hard candy line of 76%, which will obviously result in production costs.

Keywords: Statistical engineering, optimization, production stability, packing machine.

LISTA DE ABREVIATURAS

ADGYA: Asociación Distribuidora Golosinas y Afines

atm: atmósfera de presión

°Brix: grados Brix

CAA: Código Alimentario Argentino

Coolmix: instalación automática de pesaje y mezclado

DOE: diseño de experimentos

ILM: tornillo mezclador en continuo de esencias y colorantes

SPRel: Secretaría de Políticas, Regulación e Institutos

SAGyP: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca

S.I.P.O.C: Suppliers - Inputs - Process - Output – Customers

S.PA.C FL: Sistema para el Aseguramiento de la Calidad fuera de línea

T.P.M: Mantenimiento Productivo Total

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificación para altura y peso	35
Tabla 2. Estadísticos descriptivos para la altura según velocidad del cuádruple, la velocidad egalizadora-troqueladora y la apertura del 5to trefilador	36
Tabla 3. Estadísticos descriptivos para el peso según velocidad del cuádruple, la velocidad egalizadora-troqueladora y la apertura del 5to trefilador.....	36
Tabla 4. Niveles de los factores que optimizan la altura y el peso de los caramelos	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de isomaltosa mediante transglicosilación enzimática (McNutt y Sentko,2003).....	11
Figura 2. Producción de isomalt mediante hidrogenación (McNutt y Sentko, 2003)	11
Figura 3. Estructura del maltitol (Hull, P., 2010)	12
Figura 4. Diagrama de bloques de las operaciones elementales para la producción de caramelos duros	14
Figura 5. Esquema del cocinador dividido en subprocesos.....	17
Figura 6. Esquema de la bastonadora.....	20
Figura 7. Esquema de la egalizadora	22
Figura 8. Principales pérdidas del balance de masa de la planta de caramelos duros	26
Figura 9. Reproceso analizado por línea de producción (solo se muestran las principales líneas)	26
Figura 10. Reproceso (en kilos) generados según la variedad de caramelos elaborados en línea 1	27
Figura 11. Esquema de la línea de producción de caramelos duros (el equipo seleccionador de caramelos se encuentra luego del túnel de frío, pero no se detalla en este esquema) – A) Equipo cocinador B) Cinta de Temperizado C) Bastonadora D) Egalizadora E) Molde o Troqueladora F) Túnel de Frío.....	28
Figura 12. Sectores de línea 1 donde se genera el reproceso del caramelo sin azúcar	29
Figura 13. Vista lateral del seleccionador de caramelos	30
Figura 14. Principales causas de generación de reproceso del caramelo duro sin azúcar en el seleccionador de línea 1	30
Figura 15. Reproceso por turno (en kilos) descartados por el Seleccionador de caramelos de línea 1	31
Figura 16. Porcentaje de reproceso por turno descartados por el seleccionador de caramelos de línea 1	31
Figura 17. Gráfico de Pareto para efectos	37

Figura 18. Interacción entre pares de factores	38
Figura 19. Gráfico de Pareto para efectos.....	39
Figura 20. Interacción entre pares de factores	40
Figura 21. Reproceso por turno (en kilos) descartados por el seleccionador de caramelos de línea 1	41
Figura 22. Porcentaje de reproceso por turno descartados por el seleccionador de caramelos de línea 1	41
Figura 23. Porcentaje de reproceso descartado por el seleccionador antes y después de la corrida de confirmación	42

CAPÍTULO I: Introducción, fundamentos y objetivos

I.1. Introducción

La calidad de los productos y servicios se ha vuelto hoy en día uno de los factores de decisión más importantes en la mayoría de las empresas. Por tal motivo, muchas de ellas implementan diferentes herramientas estadísticas para analizar datos y tomar decisiones, enmarcado dentro de un modelo de mejora continua. Su fundamento se encuentra orientado al estudio de las oportunidades de mejora en los procesos de elaboración, con el objetivo de brindar un mejor producto al cliente, reducir y/o eliminar el retrabajo y hacer un uso eficiente de los recursos disponibles.

Actualmente se observa alta variabilidad en el proceso productivo del caramelo duro sin azúcar, lo cual genera numerosos inconvenientes en etapas posteriores, como por ejemplo en el envasado del producto. Basado en esta problemática, la presente investigación tiene como objetivos identificar la inestabilidad en el proceso productivo y analizar las oportunidades de mejora en la fabricación del caramelo duro sin azúcar.

Mediante la aplicación de ingeniería estadística, se buscará reducir la cantidad de retrabajo del proceso para mejorar y asegurar la calidad del producto, permitiendo obtener ahorros significativos que se derivan en menores costos de producción y al mismo tiempo mayor rentabilidad.

I.2. Fundamentación

Desde los tiempos más remotos, el hombre ha experimentado la necesidad por la sal y al mismo tiempo el deseo por un alimento dulce. Antes que el hombre lograra elaborar sustancias de sabor dulce, partiendo de plantas, sólo existía la miel como edulcorante. La miel perdió su papel inicial como único edulcorante en favor del azúcar de caña y más tarde en Europa, fue desplazada por el azúcar de remolacha. El bloqueo continental aceleró y favoreció sobre todo en Europa, una fuerte competencia del azúcar de remolacha frente a la caña de azúcar, apadrinando también indirectamente el nacimiento de la industria de sacarificación de almidones de dextrosa.

A partir de finales del siglo XIX se consideró a los jarabes de glucosa fabricados a escala industrial como un sustitutivo mediocre y barato del azúcar, hasta evolucionar como una materia prima con naturaleza propia, desapareciendo el concepto de sustitutivo del azúcar (Meiners et al., 1984).

Los caramelos duros son productos elaborados a base de azúcar y glucosa, que luego de atravesar altas temperaturas de cocción adquieren una consistencia sólida y quebradiza al enfriarse (Campo, 2018). Hace más de cuarenta años, la mayoría de los caramelos eran hechos a mano por un fabricante experto en el arte de hacer dulces. Hoy en día, la producción de caramelos se ha desarrollado desde un arte a una tecnología, desde el trabajo que consume mano de obra a la mecanización altamente automatizada, y desde un taller de pequeña escala a líneas de gran escala con producción continua y altamente eficientes (Ling-Min, 1992).

Si bien la mayoría de las golosinas se han desarrollado gracias a los maestros confiteros mediante un sistema de ensayo y error, y donde el conocimiento empírico se obtuvo antes que el conocimiento científico; hay una excepción a esta regla: *las golosinas sin azúcar*. Este término contradictorio se refiere a productos que se asemejan a productos de confitería pero que están hechos sin azúcares. La razón habitual para fabricar estos productos es satisfacer necesidades dietéticas especiales.

La elaboración de caramelos duros sin azúcar, es un proceso que en la actualidad se encuentra en constante crecimiento, requiriendo un esfuerzo mayor en su mejora respecto al resto de los tipos de golosinas en su conjunto. Los caramelos sin azúcar son productos caros, de alto valor agregado debido al costo de las materias primas que se emplean. Adicionalmente, su proceso de producción es más complejo que el resto de los caramelos tradicionales con azúcar, lo que generalmente deriva en una mayor cantidad de productos no conformes o reproceso.

Actualmente la empresa donde se desarrollará esta investigación, presenta una cantidad considerable de gastos debido a desperdicios que se generan en la planta. La mayoría de estos desperdicios se deben al alto índice de variabilidad que presentan algunos procesos de producción, inclusive, volviéndose esta variación fuera de control para la organización. Uno de estos procesos es el de elaboración del caramelo duro sin azúcar.

Fundamentado en esta inquietud, la presente propuesta de tesis pretende mejorar el desempeño productivo de la línea de producción del caramelo duro sin azúcar, con la finalidad principal de disminuir el retrabajo, mediante la aplicación de la metodología Lean Six Sigma.

Relacionado con esta metodología existe un trabajo de investigación publicado donde se trató la disminución del reproceso del caramelo duro generado a partir del producto no conforme en el sector de envoltura. En la tesis “Mejoramiento del proceso de producción de caramelo duro, mediante la aplicación de la metodología Six Sigma en la empresa Ecuagolosinas CIA. LTDA” de Coronel Egas, F. (2012), se realiza un análisis estadístico sobre la capacidad de proceso de las dimensiones de los caramelos que no pueden ser envueltos por las máquinas y que por tal motivo son destinados a reproceso. A partir del mismo se detecta que tanto el largo, como el ancho y el alto del caramelo son incapaces de cumplir con las especificaciones. El análisis de las posibles causas de variación en las dimensiones del producto se basó en una herramienta que se encuentra orientada a las etapas del proceso de producción llamada S.I.P.O.C. Las soluciones para el análisis del trabajo mencionado tuvieron como objetivo retornar a condición básica los equipos y el proceso, estandarizar la metodología de elaboración y capacitar al personal.

Un análisis diferente se aplica en la tesis realizada en la empresa Dos en Uno en Chile, llevada a cabo por Mansilla del Valle, N. (2011) donde explica la “Aplicación de la metodología de Mantenimiento Productivo Total (TPM) para la estandarización de procesos y reducción de pérdidas en la fabricación de gomas de mascar en una industria nacional”. La misma estudia la reducción del reproceso en la fabricación de goma de mascar debido a la variación en las dimensiones del producto, ocasionando además paradas de máquinas involucradas y reclamos de los consumidores.

Para detectar las causas de variación de medidas en el producto, se seleccionan aquellas variables de proceso más influyentes en la generación de este problema y se realizan diferentes pruebas industriales modificando sus niveles para analizar el efecto generado en el producto. Una vez encontrados los niveles que optimizan el proceso, se estandarizan las especificaciones y se capacita al personal. Luego se validan los nuevos niveles para cada variable verificando su efectividad mediante el relevamiento de los kilos de reproceso

obtenidos, los fallos en las envolvedoras y la disminución de defectos de calidad relacionados con la variación de dimensiones en el producto.

En el trabajo publicado por López Sarmiento, L. (2007) en su tesis “Optimización de Recursos y reducción de los Índices de Desperdicio y Reproceso en el Área de Caramelos Duros en la Empresa Universal Sweet Industries S.A”, la principal causa de generación de reproceso es el caramelo deformado en la etapa de troquelado. Los caramelos destinados a reproceso son suministrados directamente en estado sólido a la masa virgen, dando como consecuencia grumos de caramelo. La masa virgen junto con el reproceso es sometida a un proceso de amasado, pero esto no diluye en su totalidad los grumos de caramelos por lo que cuando la masa es troquelada se aprecia visiblemente que la misma posee grumos, originando caramelos deformados al momento de troquelar la masa. La solución propuesta fue la compra de una máquina trituradora que permita transformar en polvo el producto a reprocessar, antes de ser incorporado a la masa virgen.

En definitiva, la etapa de conformación o troquelado es la que determina las dimensiones del producto.

Como se visualiza en los estudios anteriormente expuestos, no se aplica un análisis estadístico específico que permita relevar las variables más influyentes en esta etapa del proceso y eliminar las causas raíces de esta fluctuación.

I.3. Normativa

El mercado internacional de las golosinas está integrado en su mayoría por productos dulces y comprende dos grandes grupos: las confecciones de chocolate, integrado por preparaciones que emplean cacao o chocolate; y las confecciones de azúcar, donde éste es el principal ingrediente. En el segundo grupo se encuentran los caramelos (masticables, duros, rellenos o sin relleno), los chupetines, chicles (o gomas de mascar), confites y grageas, así como las pastillas, turrone y bombones sin cacao (Informe sector alimentos industrializados, 2011).

El Código Alimentario Argentino (CAA), **en el Artículo 789 - (Res. Resolución Conjunta N° 31/03 y N° 286/03)** del Capítulo X titulado como

“Alimentos Azucarados”, denomina de forma genérica como *caramelo* a los productos elaborados sobre la base de azúcares nutritivos. Podrán presentar distintas consistencias, formas y tamaños y ser adicionados de distintos tipos de ingredientes.

De acuerdo con su consistencia los caramelos también se clasifican en duros, blandos o masticables. Los primeros están constituidos por una masa altamente concentrada de estructura amorfa y quebradiza. Los caramelos blandos están formados por una masa plástica, mientras que los masticables por una masa plástica semielástica, pero ambos con un contenido máximo de humedad del 10% y un contenido máximo de sustancia grasa, hidrogenada o no, o sus mezclas, del 8% (CAA, 2019). A su vez según su naturaleza y componentes, los caramelos duros pueden denominarse de la siguiente manera según el Código Alimentario Argentino: caramelos duros ácidos, de frutas, de otros sabores, rellenos y crocantes.

Si bien dentro del capítulo de Alimentos Azucarados no describe a los caramelos sin azúcar, se pueden enmarcar en el Capítulo V titulado como “Normas para la Rotulación y Publicidad de los Alimentos”. En los puntos 4.2 y 5.1 del **Artículo 235 quinto - (Resolución Conjunta SPReI N° 161/2013 y SAGyP N° 213/2013)**, autoriza diferentes términos para hacer referencia a un producto sin azúcar, cuando el mismo no contiene más de 4 kcal (17kJ) por porción. Es por esta razón que los caramelos sin azúcar cumplen con esta premisa al estar elaborados a base de polialcoholes, los cuales aportan hasta 2,4 kcal/g tal como se detalla en el punto 3.3.1 del mismo capítulo, en el Anexo II Resolución Grupo Mercado Común N° 46/03 - “Reglamento Técnico Mercosur sobre el rotulado nutricional de Alimentos Envasados”.

El mercado internacional de las golosinas se encuentra integrado por dos grandes grupos: confecciones de chocolate y de azúcar. Un tercer segmento que se está consolidando en Argentina, tanto por el consumo interno como por las ventas al exterior, es el de los alfajores. Según el anuario de Golosinas del año 2014 elaborado por el Área de Estudios Sectoriales de la Dirección de Agroalimentos se estima una producción nacional de golosinas de más de 300 mil toneladas donde las “confecciones de chocolate” representan el 21%, las “confecciones azucaradas” 63% y la categoría “alfajores” 16%. La Asociación Distribuidora Golosinas y Afines (ADGYA) afirma en su revista N° 664 del año

2019, que el consumo anual de golosinas per cápita en Argentina fue de 3,9 kg en el año 2013 y de 3,2 kg durante el 2018.

Las confecciones azucaradas han representado entre el 60% y 70% de las exportaciones de golosinas entre los años 2002 y 2014. Los destinos de las exportaciones de confecciones azucaradas se mantienen prácticamente sin cambios en los últimos años. En 2014 Chile fue el principal destino con 21% del valor exportado, en segundo lugar, Estados Unidos con 15% y luego Paraguay y Uruguay (Marcarian, 2014).

En general, las golosinas sin azúcar se hacen para imitar a las golosinas con azúcar. El problema es que ninguno de los sustitutos del azúcar es un sustituto exacto de la sacarosa. De hecho, se ha observado en la práctica que las golosinas con azúcar se han desarrollado en función de la sacarosa y del jarabe de glucosa y hacer imitaciones de estos productos utilizando otros ingredientes es inherentemente difícil (Edwards, 2002).

Para elaborar caramelos sin azúcar y conseguir un sabor dulce sin añadir azúcar, se implementan materias primas que la sustituyen como los polioles y edulcorantes. El consumo de éstos no provoca efectos negativos como podría hacerlo el azúcar, ya que contienen menos calorías (la mitad) y no son cariogénicos, es decir, no provocan caries. Adicionalmente tampoco influyen en los niveles de azúcar en sangre, un aspecto beneficioso para personas que padecen diabetes (Food and Drug Administration, 2014).

I.4. HIPÓTESIS:

La generación de reproceso se debe a diferencias en la altura y el peso de los caramelos duros sin azúcar. Las causas que producen estas desviaciones son las variables de proceso seleccionadas como las más influyentes.

I.5. OBJETIVOS:

I.5.1. GENERAL:

Determinar la mejor condición de proceso para las variables altura y peso de los caramelos duros sin azúcar, a efectos de optimizar su rendimiento y disminuir el reproceso generado en la etapa de selección.

I.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Analizar la situación inicial del proceso e identificar en cada etapa del mismo los factores determinantes de la calidad del producto.
- Detectar las variables de proceso más significativas en las etapas de elaboración de almíbar sin azúcar, de cocción y de troquelado del producto.
- Evaluar cómo influyen estas variables en la altura y el peso de los caramelos.
- Determinar los niveles adecuados que permiten acercar la altura y peso de los caramelos a sus valores óptimos nominales.
- Cuantificar la reducción del reproceso logrado con las modificaciones efectuadas.

I.6. Organización del trabajo de tesis

El presente trabajo de tesis se encuentra organizado en 6 capítulos.

En el Capítulo 1, titulado *“Introducción, fundamentos y objetivos”*, se presenta el tema de la tesis y su motivación de estudio. Se realiza una revisión de la literatura sobre los conceptos generales de las golosinas con un enfoque especial en las golosinas sin azúcar, su consumo y la normativa argentina. Finalizando este capítulo se plantea la hipótesis del trabajo, el objetivo general y los objetivos específicos.

En el Capítulo 2, titulado *“Proceso productivo del caramelo duro sin azúcar”*, se detallan las principales materias primas que intervienen en su elaboración, el proceso tecnológico de producción industrial explicando las variables de proceso de cada una de las etapas y una breve descripción sobre el funcionamiento de los equipos empleados.

En el Capítulo 3, titulado *“Diagnóstico y mejora del proceso productivo del caramelo duro sin azúcar”* describe la metodología empleada durante la investigación de la tesis. Se identifica la situación inicial del proceso de producción y se determina el procedimiento estadístico que se llevará a cabo para detectar las variables de proceso más influyentes y que generan inestabilidad en la elaboración de los caramelos sin azúcar, identificando las causas generadoras de reproceso.

En el Capítulo 4 titulado *“Resultados”* se detalla la estadística descriptiva para las variables de diseño, se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis estadístico efectuado sobre la línea de producción de caramelos duros sin azúcar y finalmente se realiza una comparación entre la situación inicial y final del proceso relevada con el ensayo de confirmación.

El capítulo 5 *“Discusión”*, comprende el análisis e interpretación de los resultados obtenidos. Incluye similitudes y diferencias entre los resultados del estudio y los de otros trabajos, clarificando y confirmando las conclusiones. Permite acceder al conocimiento previo existente para la interpretación de los resultados, reconoce las limitaciones de la investigación y abre camino a nuevos estudios.

El Capítulo 6 que comprende la “*Conclusión*” sintetiza los resultados de la investigación producto de la demostración de la hipótesis y del alcance de los objetivos generales y específicos trazados inicialmente.

Finalmente se adjuntan la Bibliografía y los Anexos empleados a lo largo del trabajo de investigación como respaldo.

CAPÍTULO II: Proceso productivo del caramelo duro sin azúcar

II.1. Introducción

Las golosinas con azúcar se han desarrollado en función de las propiedades de la sacarosa y del jarabe de glucosa, y hacer imitaciones de estos productos utilizando otros ingredientes es inherentemente difícil. Adicionalmente, si bien las industrias con procesos en continuo tienden a dar productos más homogéneos, la mayoría de los problemas que presentan normalmente están relacionados con el ajuste de sus parámetros (Edwards, 2002).

Las industrias frecuentemente convierten un producto rechazable de un proceso en un producto aceptable reciclándolo en un proceso previo. El reproceso desperdicia una gran cantidad de energía, hace difícil mantener la tasa de producción estándar y reduce el mantenimiento (Suzuki, 2003). La eliminación del desperdicio puede ser la forma más eficaz para mejorar la productividad y reducir los costos operacionales (Garza Elizondo, 2005).

Con el fin de poder interpretar las causas que generan el reproceso, se describe a continuación el proceso de elaboración de caramelos duros sin azúcar en una línea de producción continua.

II.2. Materias Primas de los caramelos duros sin azúcar

En general, las golosinas sin azúcar se hacen para imitar a las golosinas con azúcar. El problema es que ninguno de los sustitutos del azúcar es un sustituto exacto de la sacarosa. Los polioles y edulcorantes son sustancias que se emplean para conseguir un sabor dulce sin añadir azúcar, evitando efectos negativos tales como: elevados valores calóricos durante su ingesta, la generación de caries y el aumento del índice glucémico en especial para aquellas personas que padecen diabetes (Aranda et al., 2015).

II.2.1. Isomaltosa

El isomalt es un sustituto del azúcar que se presenta como una sustancia sin aroma, blanca, cristalina, producida a partir de la sacarosa, pero 100% libre de ésta. Gracias a un proceso de producción de dos etapas de tratamiento enzimático de sacarosa e hidrogenación, la estructura molecular resultante le otorga un perfil endulzante casi igual a la sacarosa, pero con la mitad de las calorías. Si bien se usa en muchas aplicaciones de alimentos, el isomalt es uno de los principales sustitutos de azúcar en la industria de caramelos duros.

Para obtener isomalt, en primer lugar, la sacarosa se transforma en el disacárido reductor llamado isomaltulosa mediante una conversión enzimática. Después de que la isomaltulosa se haya purificado por cristalización, se somete a hidrogenación utilizando un catalizador metálico, dando como resultado el isomalt, que es una mezcla de los isómeros dihidrato de 1-O- α -D-glucopiranosil-D-manitol (1,1-GMP dihidrato) y 6-O- α -D-glucopiranosil-D-sorbitol (1,6-GPS) (Edwards, 2002).

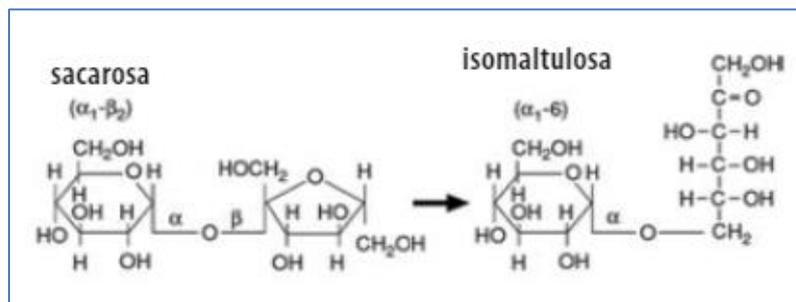


Figura 1. Producción de isomaltulosa mediante transglucosilación enzimática (McNutt y Sentko,2003)

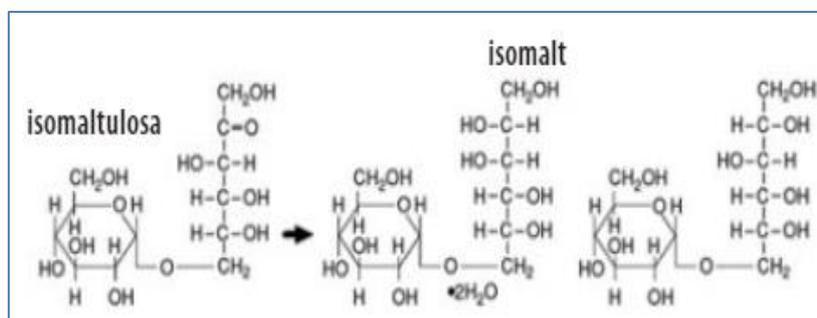


Figura 2. Producción de isomalt mediante hidrogenación (McNutt y Sentko, 2003)

II.2.2. Maltitol

El jarabe de maltitol se obtiene mediante la hidrogenación de la maltosa en forma de jarabe de glucosa puro en maltosa. Tiene la ventaja de que, como la sacarosa, es un disacárido y es uno de los sustitutos más próximos a ésta (Edwards, 2002).

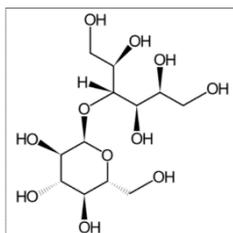


Figura 3. Estructura del maltitol (Hull, 2010)

II.2.3. Agua

El agua es un ingrediente que no se puede ignorar en la fabricación de caramelos duros, ya que cumple una función muy importante que es la de disolver y combinar todas las materias primas que conformarán el almíbar. La fabricación de caramelos duros depende de la obtención de un producto con bajo contenido en agua, para evitar que éste sea excesivamente higroscópico, ya que esto reduciría su vida útil y lo volvería pegajoso (Edwards, 2002). Por tal motivo durante el proceso de cocción del almíbar se aplica vacío y altas temperaturas, para evaporar parte del agua empleada previamente en la disolución de los ingredientes, obteniendo en el caso de los caramelos duros sin azúcar una masa entorno al 1% de humedad.

En cuanto a la calidad del agua, el agua dura puede contener sulfatos, cloruros y carbonatos asociados con cal y magnesio. Como estos elementos no se disocian durante la cocción, el agua permanece dura, habiendo de ser descalcificada químicamente, por haberse comprobado repetidamente que de esta forma se evitan sorpresas desagradables y disturbios durante los procesos de producción caramelera (Meiners et al., 1984).

II.2.4. Edulcorantes

Los edulcorantes intensivos, ya sean sintéticos o naturales, se utilizan en los casos en los cuales la propiedad más importante es la del sabor. Estos edulcorantes se diseñan para que su sabor sea el más parecido posible al del azúcar y que no deje sabores residuales en el paladar. Dado que los edulcorantes intensivos son mucho más dulces que el azúcar, se utilizan en niveles muy bajos, por ejemplo 200 a 500 veces menores que la del azúcar, por lo que su aporte calórico absoluto es muy bajo o nulo (Pollak, 2016).

En la elaboración de los caramelos duros sin azúcar, los edulcorantes intensivos más empleados son la sucralosa y el acesulfame-K. La primera es una forma modificada de azúcar común (sacarosa) sin calorías y 600 veces más dulce que el azúcar. Tiene un sabor que difiere considerablemente del azúcar común y no se descompone con el calor (Ampudia Montúfar, 2019). Es muy utilizada a nivel mundial, sola o con otros edulcorantes, y se puede encontrar en más de 4.500 alimentos y bebidas (García-Almeida, 2013). El Acesulfame-K es un compuesto proteico 130-200 veces más dulce que la sacarosa. No se metaboliza y se elimina sin modificaciones (García-Almeida, 2013).

II.2.5. Colorantes y Aromas

Una vez que la masa de caramelo ya se encuentra cocida, se mezcla con colorantes y aromas antes de darle la forma final a los caramelos. En el caso de ambos aditivos existen aquellos que son de origen natural, como los obtenidos sintéticamente (Vásquez, 2015).

Para tener éxito en confitería, el colorante debe ser estable al calor, a la luz, a los azúcares reductores y ser solubles en agua. Esto último es conveniente ya que la mayoría de los productos de confitería contienen muy poca grasa (Edwards, 2002). La cantidad de agua que se añade a la masa con la solución de colorante habrá de ser considerada en la fórmula, para evitar así una acuosidad excesiva (Meiners et al., 1984).

Los aromas son preparados de sustancias odorantes o saporíferas (sustancias aromáticas) destinadas exclusivamente para la aromatización de

productos alimenticios, y por lo tanto no están previstas para su ingestión directa (Meiners et al., 1984).

II.3. Proceso tecnológico de los caramelos duros sin azúcar

En la actualidad la elaboración de caramelos duros involucra distintas operaciones industriales, las más importantes se detallan a continuación:

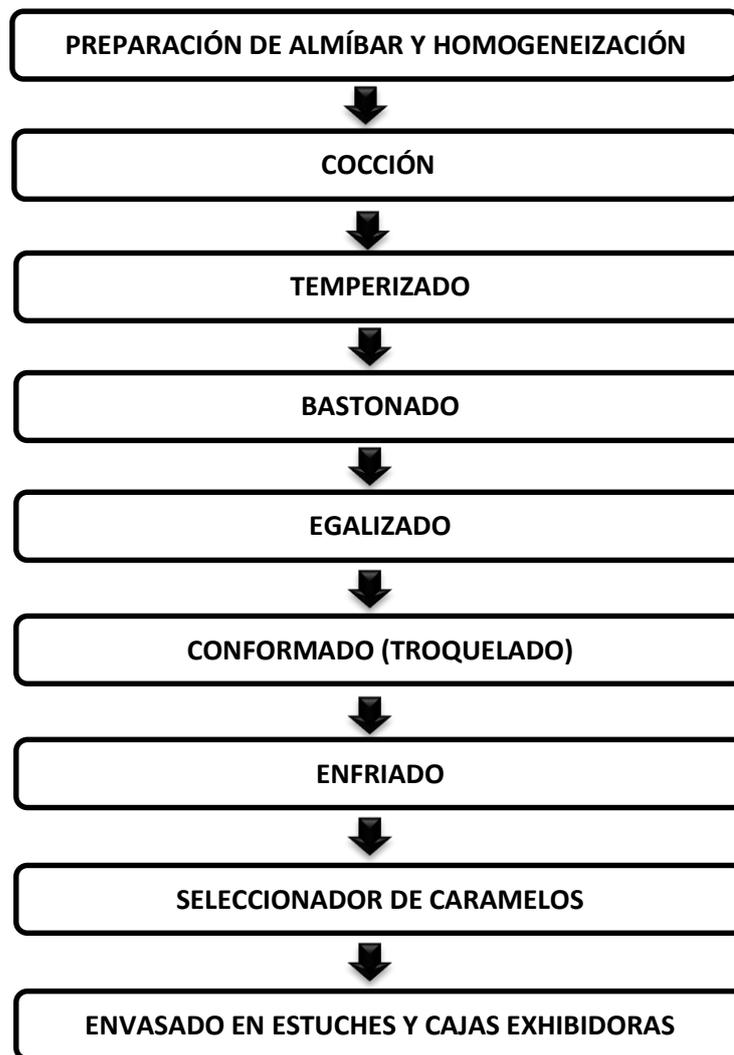


Figura 4. Diagrama de bloques de las operaciones elementales para la producción de caramelos duros

II.3.1. Preparación de almíbar y homogeneización

El proceso de elaboración de caramelos duros sin azúcar en una línea de producción continua, comienza con un ciclo de dos fases, es decir, pesaje de las materias primas y su posterior disolución. El Coolmix, es una instalación automática de pesaje y mezclado que comprende: un recipiente-balanza de acero inoxidable, un tanque inferior con una capacidad de 2 toneladas, tubos de acero inoxidable y un sistema de control con panel digital. Todas las materias primas se pesan y se mezclan en el recipiente-balanza superior y luego se descarga en el tanque inferior, en el que hay un agitador turbulento de alta velocidad para garantizar una suspensión uniforme. Para asegurar una completa disolución de los cristales, en la base del tanque inferior se encuentra un serpentín por donde circula vapor, que permite aumentar la temperatura del almíbar hasta los 95°C. La palabra "Coolmix" deriva del inglés "Cool", que significa frío y "Mix", mezclado. El sector se llama así, porque se lleva a cabo un mezclado en frío. Si bien la temperatura en el tanque inferior de disolución es elevada, ésta es más baja en comparación con la de cocción. El principal efecto de esta etapa consiste en homogeneizar las materias primas y conseguir una óptima distribución. La utilización de un material de partida homogéneo reduce los desechos que suelen generarse en el proceso de disolución y aumenta la aceptación del consumidor. De lo contrario el almíbar recristaliza en el cocinador o luego en el caramelo, formando cristales más grandes que afectan la calidad del producto u ocasionan fallos en el proceso (masa empanizada). La operación de mezclado reviste una importancia esencial en la fabricación de caramelos de calidad (Sánchez Pineda de la Infantas, 2003).

Para la elaboración del almíbar sin azúcar, se mezclan los siguientes ingredientes: isomaltosa, la cual es la responsable de darle estructura al caramelo y aporta concentración de sólidos al almíbar; jarabe de maltitol que aporta humedad al producto; sucralosa, que es el edulcorante responsable de otorgarle el sabor dulce; y finalmente el agua encargada de disolver todas las materias primas anteriormente mencionadas.

La velocidad de disolución depende de los siguientes factores:

- ✓ Velocidad de agitación: al aumentar la velocidad del agitador y la turbulencia, aumenta la velocidad de disolución.
- ✓ Tamaño de los cristales: al disminuir el tamaño de los cristales, aumenta la superficie de contacto entre el cristal y el agua, favoreciendo la velocidad de disolución.
- ✓ Temperatura: al aumentar la temperatura aumenta la energía de las moléculas de agua que disuelven los cristales de las materias primas sólidas, favoreciendo la velocidad de disolución. La temperatura del almíbar en esta etapa debe estar entre 85 y 90°C para que al ingresar al tanque pulmón del cocinador no se enfríe el resto del almíbar. Si éste llega al tanque pulmón del cocinador con una temperatura menor, llevará más tiempo para que tome la temperatura adecuada antes de ingresar al cocinador.
- ✓ Cantidad de agua: al aumentar la cantidad de agua de la solución aumenta la velocidad de disolución, ya que existe más cantidad de agua para disolver los cristales.
- ✓ Tiempo de permanencia: al aumentar el tiempo de permanencia del almíbar en el tanque pulmón, aumenta la velocidad de disolución, ya que permanecerá mayor tiempo bajo temperatura y agitación.
- ✓ Proporción isomalt-maltitol: La viscosidad del maltitol genera que los cristales de isomalt tiendan a trasladarse lentamente, disminuyendo las probabilidades de unirse entre sí. De esta manera se previene la recristalización.

En esta etapa del proceso, el operario mide los grados Brix para asegurarse que el almíbar esté siendo elaborado con las proporciones indicadas. El contenido de sólidos solubles indica qué cantidad de sólidos disueltos (azúcar, ácidos, sales, etc.) están contenidos en forma anhidra en 100 gr de masa (Herbstreith & Fox KG, 2010). El rango especificado para los °Brix de un almíbar sin azúcar, se encuentra entre 76 y 78 °Brix. Valores inferiores producirían inestabilidad en el proceso de cocción, ya que se deberá invertir más energía para evaporar mayor cantidad de agua.

II.3.2. Cocción

En esta etapa del proceso se cocina el almíbar de 77 °Brix, con el objetivo de alcanzar un caramelo que contenga como máximo un 2 % de humedad. Para ello, en primera instancia se evapora agua en la cámara de vahos y luego en la cámara de vacío. Finalmente, se agregan los aditivos como esencias y colorantes.

El proceso de cocción consta de seis subprocesos: el almíbar llega al tanque pulmón (1) proveniente del sector de preparación de almíbar. Aquí se acondiciona y luego de pasar por el filtro es bombeado mediante una bomba lobular (2) hacia una serpentina (3) donde se le entrega calor. Luego es descargado en la cámara de vahos (4) donde se separan los vahos para iniciar la concentración. Después el almíbar es conducido a la cámara de vacío (5) donde se logra una evaporación a baja temperatura. Por último, el caramelo es extraído de la cámara con un extractor de masa y conducido al ILM (6), donde se le agregan la esencia y el colorante, y se produce el mezclado final.

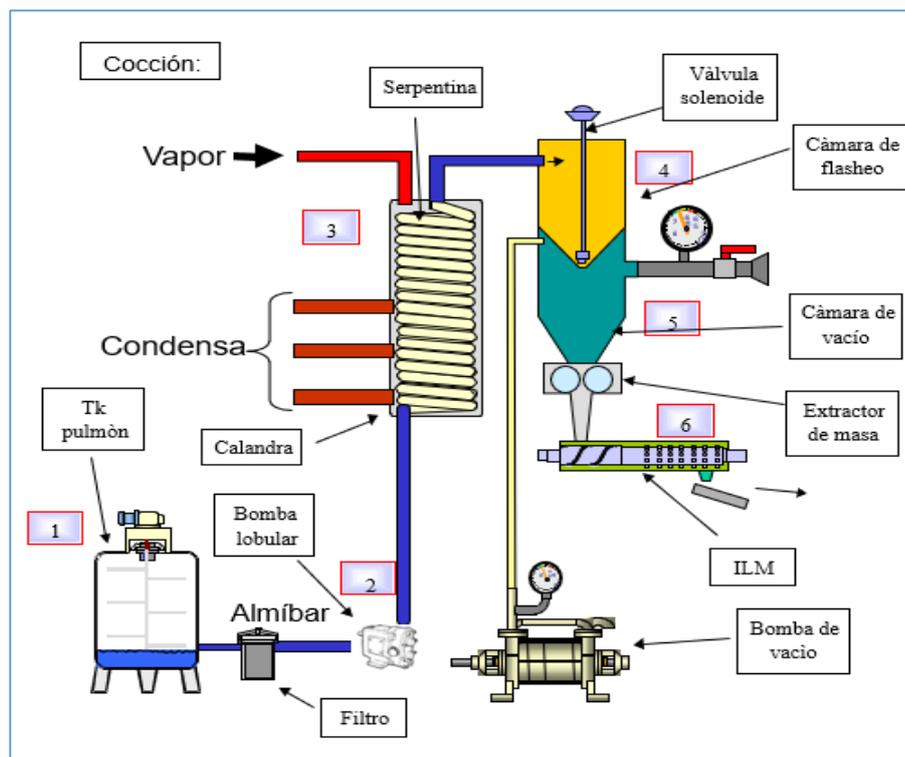


Figura 5. Esquema del cocinador dividido en subprocesos

II.3.2.1. Estabilización del almíbar en tanque pulmón

La función del tanque pulmón es la de mantener el almíbar a una temperatura constante (mezcla y estabilización), disolver el soluto que pudiera haber quedado de la etapa anterior y actuar como un pulmón para la etapa posterior (asegurar un caudal sin variaciones ni interrupciones).

II.3.2.2. Transporte de almíbar

En esta etapa el almíbar proveniente del tanque pulmón se dirige hacia la bomba, previo paso por el filtro canasto, el cual además está provisto de un magneto para separar los metales que pudiera traer el almíbar. Una vez que llega a la bomba, el mismo es impulsado con la presión suficiente para llegar a la cámara de vahos previo paso por la serpentina. La función de esta etapa del proceso es la de transporte, filtrado, y separación de partículas metálicas.

II.3.2.3. Intercambio de calor por serpentinas

En esta etapa, el almíbar proveniente de la bomba circula por una serpentina de acero inoxidable. Esta se encuentra dentro de una carcasa, donde circula vapor. El equipo entero es un intercambiador de calor llamado condensador, ya que el vapor cuando le entrega calor al almíbar, condensa. La finalidad de esta etapa es la de entregar el calor necesario al almíbar, para que evapore agua más adelante (en la zona de cámaras). Para el caso de un almíbar sin azúcar, la temperatura de cocción oscila entre los 163 y 167°C.

II.3.2.4. Concentración a 1 atm (flasheo)

El almíbar abandona la serpentina e ingresa en la cámara de vahos. Aquí, sufre una descompresión que ocasiona una evaporación parcial del agua que trae. El almíbar ya posee la energía necesaria para evaporar el agua, por lo que en esta etapa no se le entrega calor. La función de esta cámara es la de iniciar la evaporación del agua para concentrar el almíbar y formar el caramelo.

II.3.2.5. Concentración por vacío

El almíbar abandona la cámara de vahos, pasando por la apertura que comunica las cámaras, regulada por la válvula solenoide. Llega a la cámara de vacío, donde el sistema se encuentra a presión reducida, con el objeto de lograr una gran velocidad de evaporación a baja temperatura. Bajo esta condición, la masa de azúcar hierve a una temperatura más baja y evapora mayor cantidad de agua, de modo que el contenido de sustancia seca de la masa aumenta y al mismo tiempo se enfría debido a la pérdida de calor durante la evaporación. Con el aumento de la sustancia seca y la disminución de la temperatura, el producto descargado es una masa de alta viscosidad con humedad residual de aproximadamente 2% (Ling-Min, 1992).

II.3.2.6. Agregado y mezcla de aditivos

La masa de caramelo abandona el extractor y se dirige al ILM (tornillo mezclador). Este dispositivo tiene la función de mezclar la masa con todos los aditivos como esencias, colorantes y ácidos, los cuales ingresan al tornillo mediante bombas pistón o transportados por tornillos sinfín en el caso de los polvos. Con relación a la masa de caramelo sin azúcar, en esta etapa sólo se adiciona esencia.

II.3.3. Temperizado

La masa de caramelo abandona el ILM y previo paso por el tobogán, es direccionada a la cinta de temperizado. Aquí la masa se enfría al ponerse en contacto con una cinta de acero inoxidable con funcionamiento en continuo, la cual es enfriada mediante chorros de agua desde la parte inferior. Luego se pliega para homogeneizar las temperaturas y queda lista para pasar a la etapa de conformado.

La función del temperizado es enfriar la masa desde aproximadamente 130°C a 80°C, siendo la temperatura óptima para el conformado. Este enfriamiento debe ser gradual y homogéneo.

En el sistema de temperizado se distinguen dos zonas. 1) Enfriamiento rápido: en esta etapa, la parte inferior de la masa pierde calor rápidamente. Esto hace que la masa no se pegue a la cinta de temperizado. Este proceso se da en el primer tercio de la cinta. 2) Homogeneización de temperaturas: aquí aparece el plegado, el cual es fundamental en el proceso de temperizado, ya que se dobla la masa de caramelo en los extremos y se pliega hacia el centro, empleando plegadores de teflón y rodillos de metal que se encuentran ubicados por encima de la cinta. En este tramo el enfriamiento es más lento, y ocurre la distribución de temperaturas en el seno de la masa.

II.3.4. Bastonado

En esta etapa del proceso la masa ingresa por la parte trasera de la bastonadora y mediante el giro de los rolos se convierte en un bastón de masa. Los rolos bastonadores son cuatro conos de acero inoxidable texturados, que giran en el mismo sentido, de manera de formar un bastón de masa y mantenerla permanentemente girando. La masa de caramelo va avanzando y reduciendo el diámetro progresivamente en su camino hacia el cuádruple. La función de la bastonadora es la de generar un cordón de masa para prepararla para la etapa siguiente de egalizado (Jiménez Munayco, 2016). Por otro lado, la bastonadora permite inyectar relleno al cordón cuando se trabaja con la jeringa.

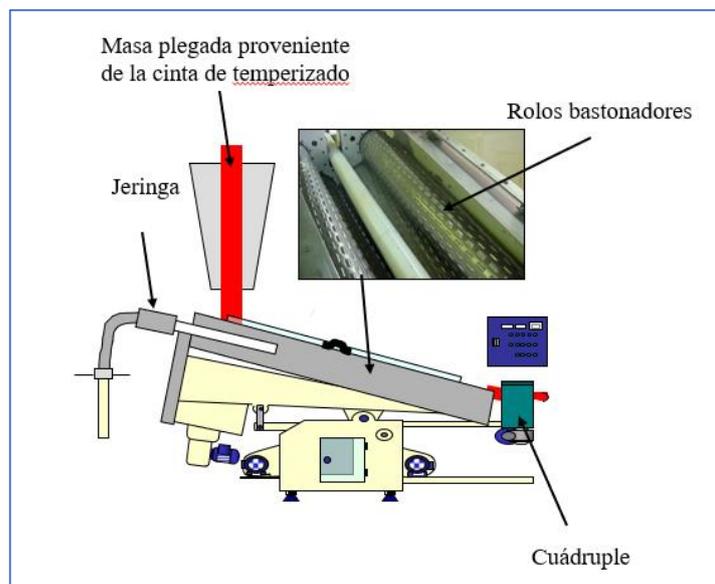


Figura N°6. Esquema de la bastonadora

II.3.5. Egalizado

En esta etapa, el cordón de masa ingresa desde la bastonadora pasando por el cuádruple y luego por las cuatro etapas de egalizado, donde se produce la reducción de diámetro de la varilla de masa, hasta llegar al quinto trefilador con el diámetro deseado según el peso del caramelo que se esté fabricando.

El cuádruple tiene la función de traccionar la masa desde la bastonadora, abasteciendo a los trefiladores con un determinado caudal que es regulado a través de su velocidad. Está formado por cuatro trefiladores, con un ángulo de 90° entre ellos y posee una resistencia que mantiene la calefacción en el mismo. Como se mencionó, el caudal de masa en el cuádruple se regula con su velocidad; si ésta aumenta, también lo hace el caudal de masa, si bajamos la velocidad disminuye el caudal de masa. Si el caudal de masa es muy alto, la varilla se atasca en el primer trefilador, si el caudal de masa es muy bajo los trefiladores no traccionan correctamente y ocasionan variación en el peso del caramelo.

La egalizadora está compuesta por cuatro pares de discos texturados, llamados trefiladores, que están ubicados sobre una base móvil en altura para permitir su regulación. La función principal del egalizado es disminuir el diámetro del cordón de masa hasta lograr un diámetro óptimo y sin variaciones para obtener el peso final del caramelo. Esto se consigue pasando la varilla de masa a través de los trefiladores que giran a diferentes velocidades y se regulan con diferentes diámetros.

El quinto trefilador es muy importante en el proceso de egalizado, porque es el que define el peso del caramelo, ya que es el último en traccionar la varilla de masa antes de que ingrese al molde o troqueladora. Cuando el quinto trefilador no tracciona, el que tira de la varilla es el molde, causando variación de tamaño o de peso en el caramelo, debido a que la tracción del molde no es homogénea. Cuando el trefilador está muy cerrado, la varilla comienza a vibrear y es muy posible que la masa se atore. Si la varilla tiene relleno este se va a amontonar en el trefilador reventando la varilla de masa. Cuando el trefilador está traccionando correctamente, la varilla debe estar tirante.

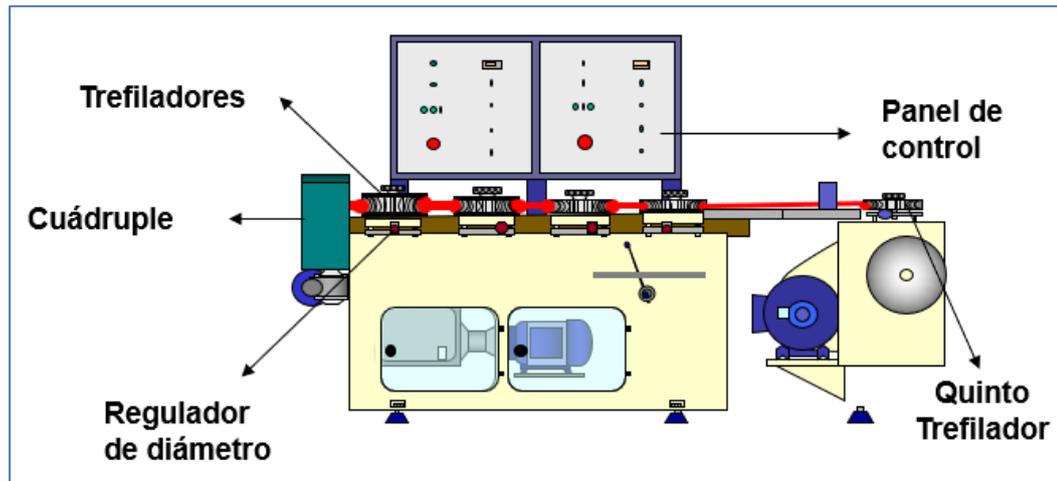


Figura N°7. Esquema de la egalizadora

II.3.6. Conformado (Troquelado)

Esta etapa del proceso se da en la maquina troqueladora, sistema compuesto por un molde, un aro exterior de corte y una cámara de matrices, donde la varilla de masa formada con un diámetro determinado, ingresa en primera instancia a la zona de corte, luego a la zona de estampado y por último a la zona de expulsión, donde sale el caramelo (Jaramillo Almeida, 2017).

II.3.7. Enfriado

En el túnel de frío, el caramelo ya formado debe ser enfriado a la temperatura óptima para ser envuelto. Para esto, debe transferir calor a una velocidad tal que evite su deformación y/o su rotura. Para el caso de los caramelos sin azúcar, la temperatura de refrigeración oscila entre los 8,5 a 10,5 °C.

El túnel de frío consta básicamente de tres bandas, cintas o mallas que son las encargadas de transportar el producto a una dada velocidad, tal que se enfríe a la temperatura requerida por el proceso. Éstas son traccionadas mecánicamente por un motor (cadenas) que está conectado a un variador de frecuencia para poder regular la velocidad de la misma y así ajustar el tiempo de residencia del producto en el túnel. El mecanismo de enfriamiento es por contacto directo del producto con aire frío.

El mismo cuenta además con dos cámaras o ductos; uno de entrada de aire frío y otro de salida o retorno de aire más caliente, producto del intercambio. Ambos ductos regulan su caudal de aire por medio de un deflector o clapeta (Abierto/Cerrado).

II.3.8. Seleccionador de Caramelos

Consiste en un equipo que clasifica por tamaños y de forma continua, los caramelos provenientes del túnel de frío. La selección se realiza por medio de rodillos paralelos de apertura progresiva, que avanzan al tiempo que permiten el paso de los diferentes tamaños de producto, destinando cada uno a una aplicación distinta.

Los caramelos medianos (tamaño óptimo), son reservados para su posterior etapa de envoltura. Los caramelos chicos y grandes son descartados por el seleccionador, cuyo destino es el reproceso. Éstos se mezclan con agua en una olla de fundición que posee camisa de calefacción, y luego se incorpora este jarabe de reproceso durante la preparación del almíbar.

II.3.9. Envasado en estuches y cajas exhibidoras

El empaque juega un papel importante en la vida útil de los productos de confitería, puesto que debe brindar una barrera a la influencia de factores tanto internos como externos, particularmente a los efectos de la migración de humedad que tanto puede afectar a estos productos (Martínez de León, 2016).

Los caramelos con formato óvalo, son envueltos primero individualmente con un material similar al celofán. Posteriormente se agrupan en porciones de 7 piezas, que se envuelven en conjunto con un material aluminizado y encerado. Éste es sellado primeramente en sentido longitudinal, para terminar, siendo sellado en los extremos. Los paquetes obtenidos son acomodados de a 12 unidades de forma manual dentro de una caja exhibidora. Cada exhibidor se fecha y luego es recubierto por un envoltorio transparente, para finalmente ser embalado en cajas de 12 unidades.

El formato de la máquina envasadora donde se ubican los 7 caramelos ya envueltos individualmente, mide 84 mm de largo. Por lo que, partiendo de esa

premisa, la altura máxima que podrá tener cada unidad es de 12 mm. Por tal motivo, como las variables peso y altura de los caramelos se encuentran correlacionadas, existe una especificación para la altura (Límite Inferior: 11,2 mm | Estándar: 11,6 mm | Límite Superior: 12 mm) y una especificación para el peso (Límite inferior: 3,6 g | Estándar: 3,8 g | Límite superior: 4 g).

Aquellas unidades que superan estos límites, ya sea por encima o por debajo, son descartados por el seleccionador como tamaño grande y chico respectivamente, formando parte del reproceso que se mencionara con anterioridad.

Este tema será tratado en el siguiente Capítulo.

CAPÍTULO III: Diagnóstico y mejora del proceso productivo del caramelo duro sin azúcar

III.1. Introducción

Todos los procesos de transformación en la industria de alimentos requieren el manejo de materias primas, insumos, productos en proceso y productos terminados que deben estar en cantidades perfectamente definidas, dado que de ellas depende la calidad y el costo del proceso e influyen directamente en las decisiones de los departamentos de compras y almacenamiento en una empresa.

El balance entre materia y energía constituye la herramienta más importante para el diseño, operación, control, evaluación económica y optimización de procesos en la industria alimentaria. El balance de materia o también conocido como balance de masa, se emplea para determinar rendimientos de los procesos. Con esta herramienta se cuantifica la porción de producto obtenido por cantidad de materia prima suministrada en el proceso, lo que permite reducir al máximo las mermas de materias primas y optimizar recursos en plantas industriales.

Este rendimiento puede verse afectado por diferentes tipos de fallos que se presentan de manera puntual o aleatoria durante el proceso de producción, generando pérdidas que impactan en el balance de masa y disminuyen la eficiencia de la línea.

Dentro de las pérdidas por defectos de calidad se encuentran el *decomiso*, constituido por productos irrecuperables y el *reproceso* formado por material rechazado que debe volver a un proceso previo para convertirlo en aceptable.

III.2. Análisis del Balance de Masa de la planta de Caramelos Duros

A partir del análisis del balance de masa de la planta de Caramelos Duros, se detectó que las tres principales pérdidas estaban relacionadas con, reproceso en primer lugar, luego decomiso y desvío de peso en tercer lugar. En

la siguiente Figura (N°8) se muestran las pérdidas mencionadas con anterioridad, siendo el reproceso el enfoque de esta tesis.

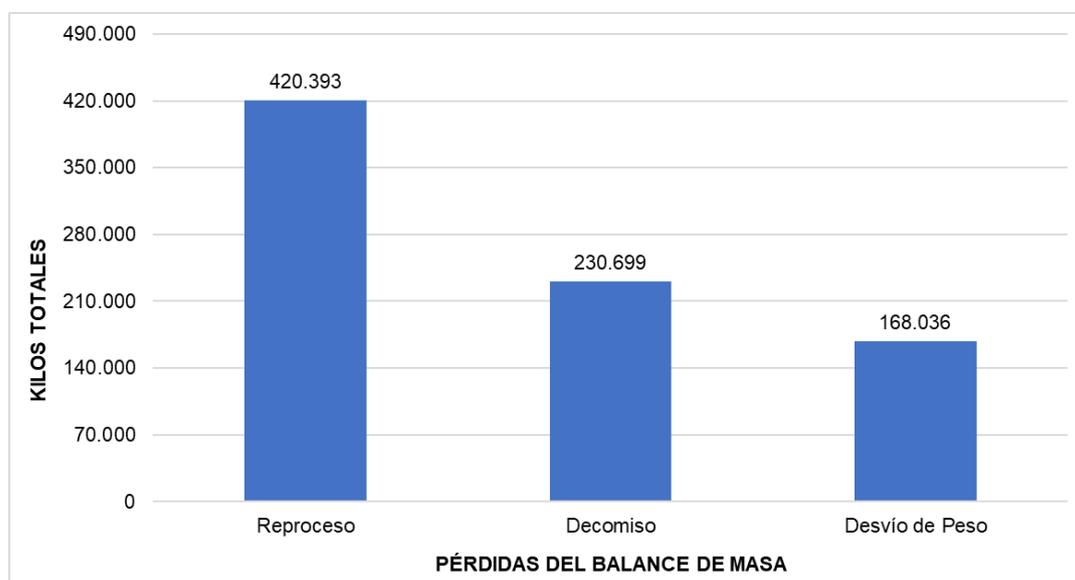


Figura N°8. Principales pérdidas (kg) del balance de masa de la planta de caramelos duros

Examinando el indicador de reproceso por línea (Figura N°9), las principales generadoras de reproceso, son línea 5 y línea 1. Como el reproceso de la primera se encuentra abordado por otro equipo de trabajo, la orientación de esta tesis se realiza sobre línea 1, la cual se encuentra a mi cargo.

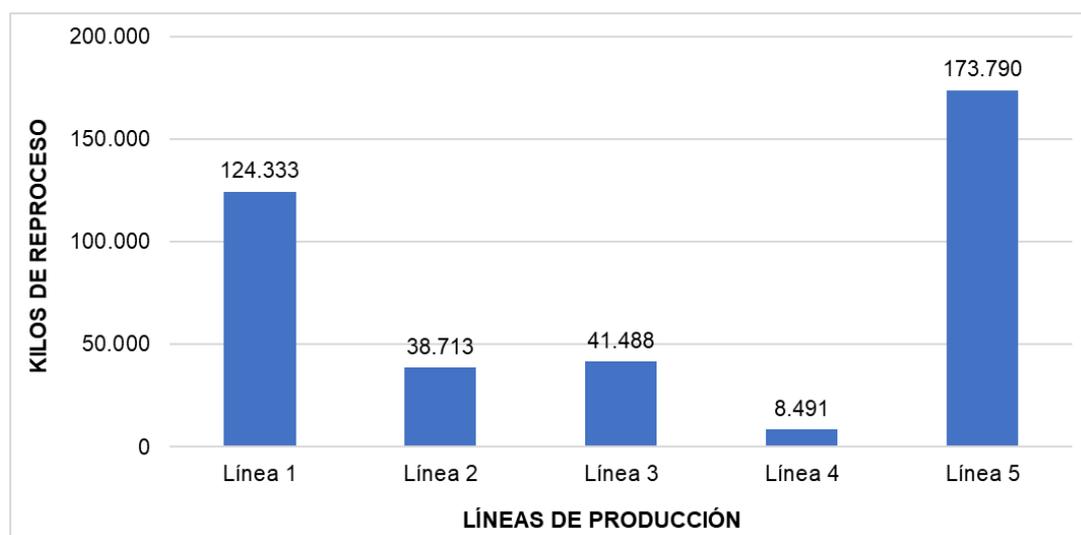


Figura N°9. Reproceso (kg) analizado por línea de producción (solo se muestran las principales líneas)

En la línea 1 se elaboran caramelos con y sin azúcar. Observando el reproceso de la línea en cuestión y teniendo en cuenta cada tipo de caramelo, se destaca como principal desvío el reproceso de los caramelos sin azúcar. Esta situación determina el motivo por el cual el análisis de este trabajo se encuentra enfocado en dicha variedad de caramelos.

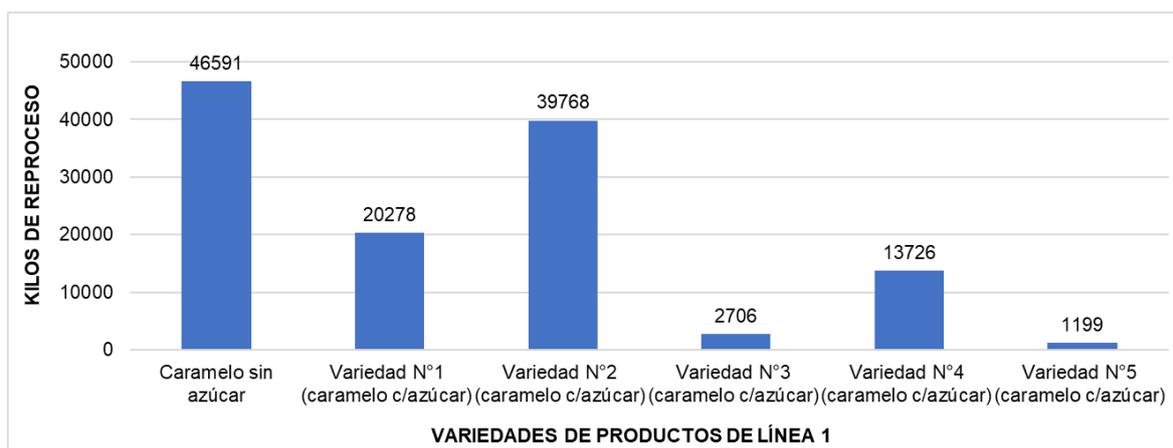


Figura N°10. Reproceso (en kilos) generados según la variedad de caramelos elaborados en línea 1

III.3. Análisis de la situación inicial

Al inicio del estudio, se determinaron los kilos de reproceso generados en cada etapa del proceso de producción de la línea en cuestión (empleando una planilla que se encuentra en el Anexo 1), y que fue completada durante 6 turnos por el personal que opera línea 1. En la misma se detalló la fecha, el turno, la hora, el sector de la línea de dónde provenía el reproceso, la variedad/sabor del caramelo sin azúcar, la cantidad en kilos del reproceso generado y la causa potencial que puede haber generado dicho reproceso.

Para facilitar el relevamiento de los datos, se dividió la línea de producción en tres etapas o sectores. El primero es el sector de *cocción*, que comprende desde la elaboración del almíbar y la transformación de éste en la masa de caramelo, hasta su enfriamiento. El segundo sector es el *troquelado*, que abarca la bastonadora, la egalizadora, el molde o troqueladora y el túnel de frío, donde

se le otorga la forma a la masa de caramelo y luego se enfría para ser enviado al tercer y último sector de la línea, que es el *seleccionador de caramelos*.

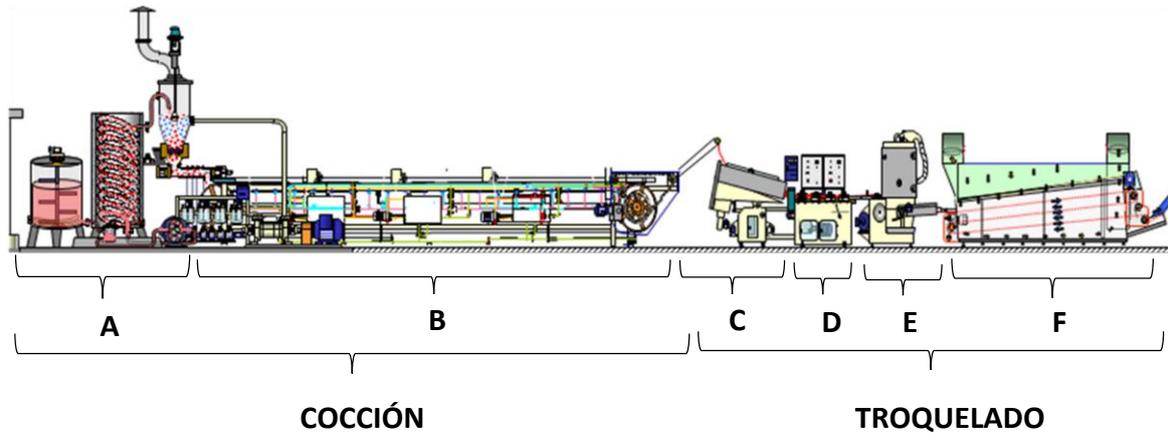


Figura N°11. Esquema de la línea de producción de caramelos duros (el equipo seleccionador de caramelos se encuentra luego del túnel de frío, pero no se detalla en este esquema)

- A- Equipo cocinador
- B- Cinta de temperizado
- C- Bastonadora
- D- Egalizadora
- E- Molde o Troqueladora
- F- Túnel de frío

III.3.1. Análisis de causas

A partir del análisis de datos relevados, se confeccionó un gráfico en el cual se especifica el porcentaje de reproceso del caramelo sin azúcar según el sector de la línea.

En la Figura N° 12, puede observarse que el sector que mayor cantidad de reproceso genera es el seleccionador de caramelos.

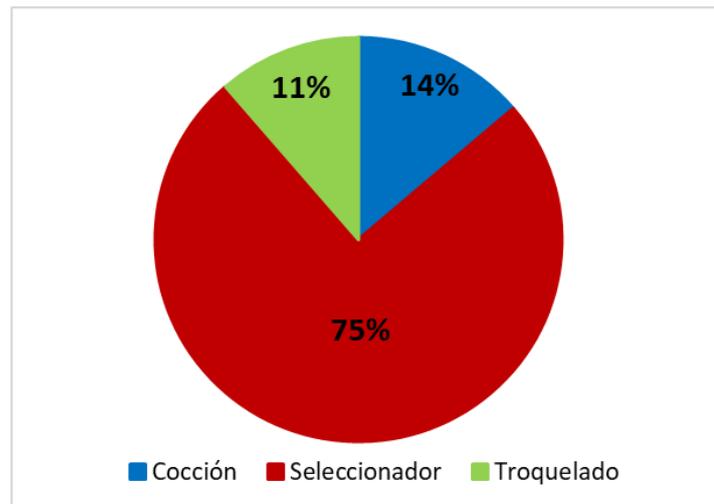


Figura N°12. Sectores de línea 1 donde se genera el reproceso del caramelo sin azúcar

Las variables de peso y altura tienen especificaciones fijadas por la empresa. La especificación para la altura se encuentra definida por un límite inferior igual a 11,20 mm, un valor estándar de 11,60 mm y un límite superior igual a 12 mm; y para el peso el límite inferior se encuentra definido en 3,60 g, el valor estándar en 3,80 g y el límite superior en 4 g. Aquellas unidades que superan estos límites, ya sea por encima o por debajo, son descartadas por el seleccionador como tamaño grande y chico respectivamente, formado parte del reproceso.

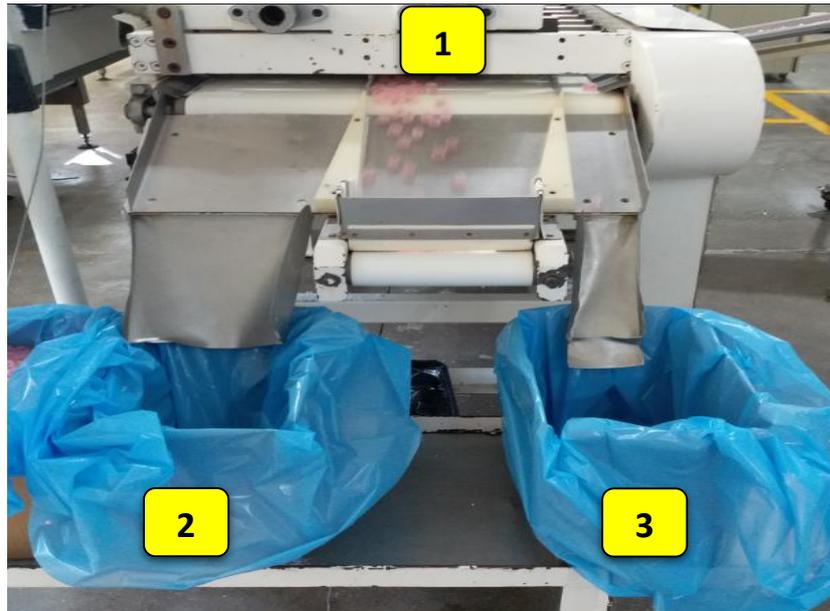


Figura N°13. Vista lateral del seleccionador de caramelos

- 1- Caramelos medianos destinados a envoltura (tamaño óptimo y dentro de la especificación de altura)
- 2- Descarte de caramelo chico (por debajo del límite inferior de altura), destinado a reproceso
- 3- Descarte de caramelo grande (por encima del límite superior de altura), destinado a reproceso

En este análisis de la situación inicial se detectó que la principal causa de generación de reproceso en el seleccionador con una incidencia del 73%, es la *variación de tamaño del caramelo*, el cual será el foco de estudio de esta tesis.

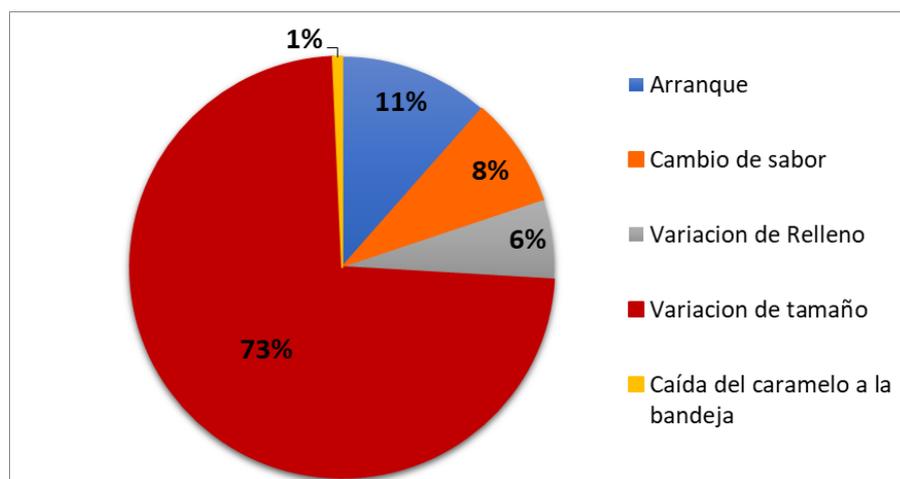


Figura N°14. Principales causas de generación de reproceso del caramelo duro sin azúcar en el seleccionador de línea 1

III.3.2. Reproceso en la fase inicial

Antes de realizar el diseño de experimento y sin modificar ningún parámetro de la línea de producción, se pesaba en cada turno la cantidad de reproceso como caramelo chico y grande descartado por el seleccionador.

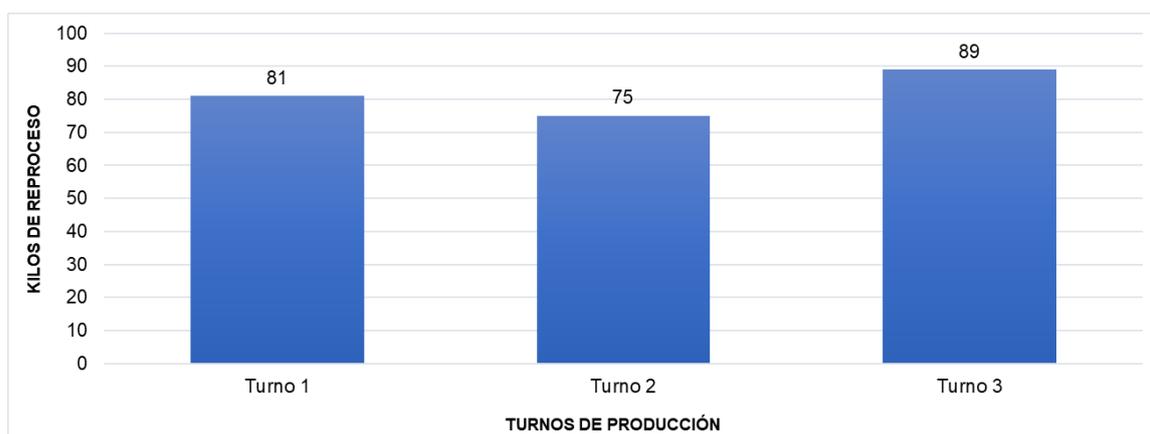


Figura N°15. Reproceso por turno (en kilos) descartados por el seleccionador de caramelos de línea 1

Teniendo en cuenta que la línea de producción genera 800 kilos de caramelos por hora, en un turno de producción de 8 horas se producen 6400 kilos de producto. La cantidad de reproceso detallado en el gráfico anterior, representan los siguientes porcentajes de reproceso en la línea:

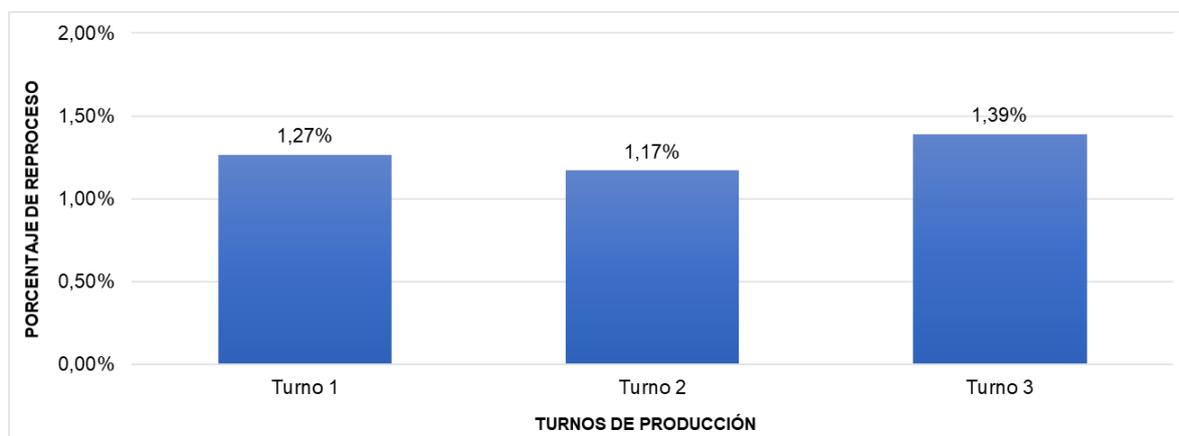


Figura N°16. Porcentaje de reproceso por turno descartados por el seleccionador de caramelos de línea 1

Considerando todas las variables de proceso que se emplean en cada una de las etapas de producción del caramelo sin azúcar, se seleccionaron aquellas más influyentes sobre la altura y el peso de los caramelos.

Esta selección se realizó a partir de la bibliografía consultada, los parámetros del proceso y la experiencia previa del personal que trabaja en el lugar, empleando una herramienta conocida como *tormenta de ideas*. La misma consiste en una técnica de trabajo grupal que facilita el surgimiento de nuevas ideas sobre un tema o problema determinado (Mínguez García, 2015).

Una vez seleccionadas las variables de proceso más influyentes en la variación de tamaño del caramelo, se diseñó el experimento.

III.4. Planificación del diseño de experimento

La aplicación de la metodología estadística en la determinación de factores que causan variación en un proceso productivo y la cuantificación del efecto que cada uno de ellos tiene sobre esa variación, fue analizada siguiendo los lineamientos de los Experimentos Factoriales. La ventaja de este procedimiento sobre el de hacer un experimento individual para cada factor, radica en que se pudieron evaluar interacciones entre los factores de estudio, se ahorró tiempo, esfuerzo y además las conclusiones a las que se llegaron tuvieron mayor aplicabilidad debido a que cada factor se estudió bajo condiciones variables de los otros.

Para este análisis se emplearon de forma simultánea dos softwares estadísticos, Minitab (V.18) y S.P.A.C FL (Sistema para el Aseguramiento de la Calidad fuera de línea, que es el software disponible por la empresa). En primer lugar, se confeccionó una grilla para la carga de datos obtenidos en la línea de producción de acuerdo con las variables seleccionadas para el estudio. Se realizaron 8 ensayos, que permitieron evaluar el efecto de 3 factores con dos niveles cada uno, efectuando 2 repeticiones para cada combinación de los niveles elegidos de cada factor. De esta manera se completaron un total de 16 tratamientos. En cada corrida experimental se tomaron muestras de 40 caramelos a los cuales se le midió el peso y la altura (variables). Los factores seleccionados para el diseño del experimento y los niveles de interés fueron:

- **Factor N° 1:** Velocidad del Cuádruple

Nivel 1: 39%

Nivel 2: 40%

La función principal del cuádruple es abastecer de masa a los trefiladores, con un determinado caudal que se regula a través de su velocidad. Si aumenta la velocidad, aumenta el caudal de masa y viceversa. Si el caudal es muy alto, la varilla de masa se atora en el primer trefilador, si el caudal de masa es muy pequeño, los trefiladores no traccionan correctamente y se puede generar variación en el peso del caramelo. Es por esta razón que se seleccionó este factor, dado que influye en el peso final del caramelo.

- **Factor N° 2:** Velocidad Igualizadora-Velocidad Troqueladora

Nivel 1: 48% y 58% respectivamente

Nivel 2: 49% y 59% respectivamente

En este caso, se tomaron estas dos variables de forma conjunta, ya que una depende de la otra. Cuando aumenta la velocidad de la igualizadora, también debe aumentar en la misma proporción la velocidad de la troqueladora y viceversa. De lo contrario, si ambos equipos no trabajaran de forma conjunta, se producirían tirones en la varilla de masa (incluso el riesgo de que se corte), o se atascaría en alguna de estas etapas. El nivel de interés 48% -58 %, se seleccionó porque eran las velocidades que se empleaban en la empresa al momento de iniciar este trabajo. Por tal motivo estos valores se tomaron como valores iniciales. El valor de 49%-59%, se eligió como la velocidad adecuada para un proceso continuo de producción, con una velocidad de línea de 800 kg/h.

- **Factor N° 3:** Apertura de quinto trefilador

Nivel 1: 4,5 cm

Nivel 2: 5 cm

Este factor es muy importante, dado que el quinto trefilador es el último que se ubica antes de que la varilla de masa ingresa al molde. Por tal motivo mediante su apertura se regula el peso final del caramelo. Diferentes operadores

emplean distintos niveles para este factor, motivo por el cual se toman los dos niveles más empleados, a efectos de determinar el nivel óptimo.

Los datos del ensayo se analizaron empleando el procedimiento de Análisis de la Varianza para un modelo multifactorial. Se utilizó el test LSD de Fisher para las comparaciones múltiples, considerando un nivel de significación del 5%. Los resultados obtenidos se procesaron con los softwares Minitab y S.P.A.C. FL.

III.5. Verificación de los resultados mediante corrida de confirmación

Al llevar a cabo este experimento se pudieron obtener los valores óptimos para cada variable de proceso que permitieron determinar la mejor condición de altura y peso de los caramelos, disminuyendo la generación de reproceso en la etapa de selección de la línea durante las producciones de caramelos duros sin azúcar.

Para corroborar que los resultados obtenidos mediante el análisis experimental fueran adecuados, se realizó una corrida de confirmación en la línea de producción. Esta corrida consistió en configurar durante un tiempo determinado de producción los valores recomendados por el diseño para cada variable de proceso seleccionada, relevando nuevamente los kilos de reproceso generados en el seleccionador. El objetivo residió en verificar si se presentaba una mejora empleando los nuevos valores de proceso propuestos a partir del diseño de experimentos realizado.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

IV.1. Introducción

Como fue descrito en el Capítulo III, el diseño de experimento se realizó sobre 3 variables: velocidad de cuádruple, velocidad de egalizadora-troqueladora y apertura de quinto trefilador, con el fin de evaluar sus efectos sobre las variables dependientes peso y altura de los caramelos. Para ello se utilizó una grilla de carga donde se colocaron de manera simultánea los resultados del peso y altura de los caramelos de cada corrida experimental.

A continuación, en la Tabla N°1 se detalla el límite inferior, el valor central y el límite superior especificados para el peso y la altura del producto.

Tabla N°1: Especificación para altura y peso de los caramelos duros sin azúcar.

Variable	Límite Inferior Especificado	Óptimo Especificado	Límite Superior Especificado
Altura	11,20 mm	11,60 mm	12 mm
Peso	3,60 gr	3,80 gr	4 gr

IV.2. Estadística descriptiva para variables de diseño

Se comenzó el estudio con un análisis descriptivo de las variables seleccionadas y sus niveles, para efectuar el experimento. La Tabla N° 2 muestra los estadísticos descriptivos para la altura, mientras que la Tabla N° 3 muestra los estadísticos descriptivos para la variable peso.

En la Tabla N°2, se puede observar que la media del producto se acerca al óptimo de la especificación de la altura cuando la velocidad del cuádruple se encuentra a menor velocidad, es decir en 39%. Para los diferentes valores estudiados de velocidad egalizadora-troqueladora y de apertura de 5^{to} trefilador la media de altura de los caramelos prácticamente no presenta variaciones (Tabla N°2).

Tabla N°2: Estadísticos descriptivos para la altura según velocidad del cuádruple, la velocidad egalizadora-troqueladora y la apertura del 5to trefilador.

Factores	Niveles	Media	Error estándar de la media	Desv. Est.	Coef. Var.(%)	Mínimo	Máximo
Vel.Cuádruple (%)	39	11,64	0,0123	0,0348	0,30	11,59	11,69
	40	11,69	0,0192	0,0543	0,46	11,58	11,75
Vel. Egalizadora/Troqueladora	48-58	11,66	0,0151	0,0426	0,37	11,58	11,72
	49-59	11,67	0,0214	0,0606	0,52	11,59	11,75
Ap. 5to Trefilador	4,5	11,66	0,0163	0,0461	0,40	11,58	11,73
	5,0	11,66	0,0207	0,0586	0,50	11,59	11,75

Respecto al peso del caramelo, como se visualiza en la Tabla N° 3, la media se acerca al óptimo de su especificación cuando la velocidad del cuádruple se encuentra en 39%, la velocidad de la egalizadora-troqueladora en 48-58 % y la apertura del 5^{to} trefilador en 4,5 cm.

Tabla N°3: Estadísticos descriptivos para el peso según velocidad del cuádruple, la velocidad egalizadora-troqueladora y la apertura del 5to trefilador.

Factores	Niveles	Media	Error estándar de la media	Desv. Est.	Coef. Var.(%)	Mínimo	Máximo
Vel.Cuádruple (%)	39	3,82	0,00475	0,0134	0,35	3,80	3,84
	40	3,84	0,00772	0,0218	0,57	3,80	3,87
Vel. Egalizadora/Troqueladora	48-58	3,82	0,00545	0,0154	0,40	3,80	3,84
	49-59	3,84	0,00769	0,0218	0,57	3,80	3,87
Ap. 5to Trefilador	4,5	3,82	0,00635	0,0180	0,47	3,80	3,86
	5,0	3,83	0,00777	0,0220	0,57	3,80	3,87

IV.3. Resultados experimentales

IV.3.1. Resultados para la altura del caramelo

Los factores que fueron importantes para determinar la altura del caramelo fueron la velocidad del cuádruple y la velocidad del troquelado, siendo éstos estadísticamente significativos con un $\alpha = 0,05$ (Figura 17). El diagrama también muestra una línea de referencia, basada en la distribución T de Student, para indicar cuáles efectos son estadísticamente significativos con $\alpha = 0,05$. En el diagrama de Pareto, las barras que cruzan la línea de referencia hacia la derecha, son estadísticamente significativas. Por ejemplo, en este diagrama de Pareto, las barras que representan los factores AB, A y AC cruzan la línea de referencia que está en 2,26. Estos factores son estadísticamente significativos en el nivel $\alpha=0.05$ con los términos del modelo actuales.

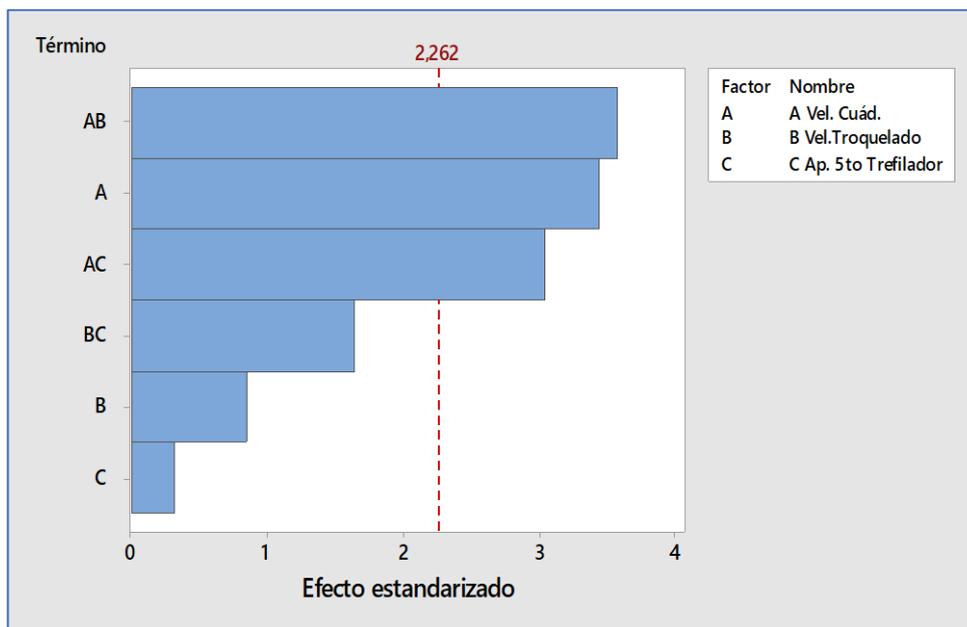


Figura N°17. Gráfico de Pareto para efectos (la respuesta es ALTURA. $\alpha = 0,05$)

Teniendo en cuenta este resultado junto con otros análisis estadísticos obtenidos del ensayo experimental, se pudo concluir que las variables que tienen mayor influencia en la altura de los caramelos son; la velocidad del cuádruple en interacción con la velocidad de la egalizadora-troqueladora (AB), y la velocidad del cuádruple en interacción con la apertura del 5^{to} trefilador (AC). El factor

velocidad de cuádruple (A) parece ser el factor que más influencia tiene en la altura del caramelo, pero no puede analizarse individualmente dado que interactúa con los factores B y C. En la siguiente Figura, se muestra el efecto de las interacciones entre todos los factores tomados de a pares.

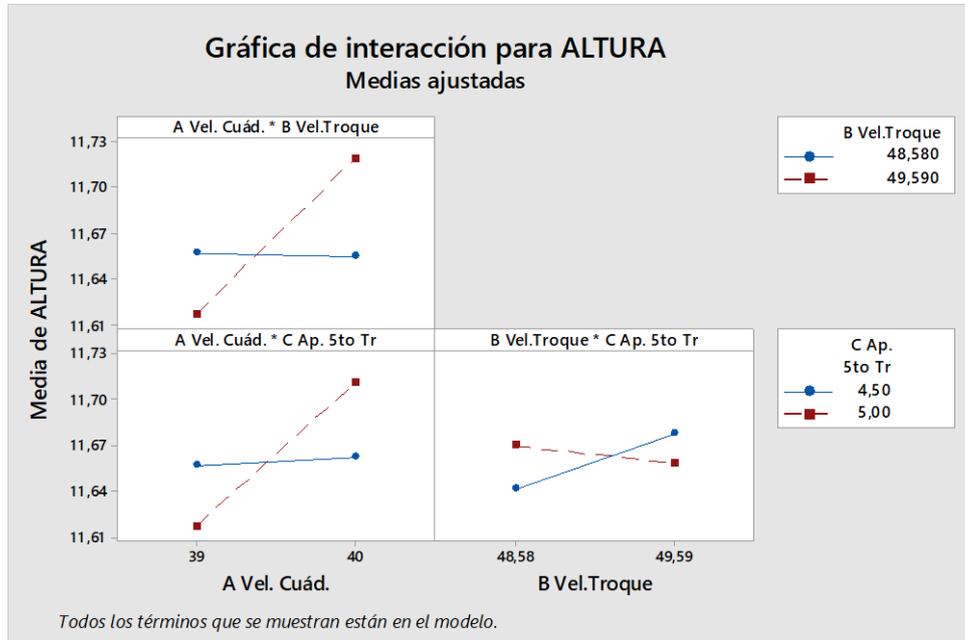


Figura N°18. Interacción entre pares de factores

A partir del análisis del gráfico anterior, se puede observar que la altura promedio de los caramelos se acercan al valor óptimo de 11,60 mm cuando la velocidad del cuádruple es de 39 % (A), la velocidad de la egalizadora-troqueladora (B) se encuentra en 49-59% y la apertura del quinto trefilador es de 5 cm (C).

IV.3.2. Resultados para el peso del caramelo

Los resultados para el peso de los caramelos se muestran en la Figura N°19. Puede observarse que los factores más influyentes son la velocidad del cuádruple (A) y la velocidad de la egalizadora-troqueladora (B).

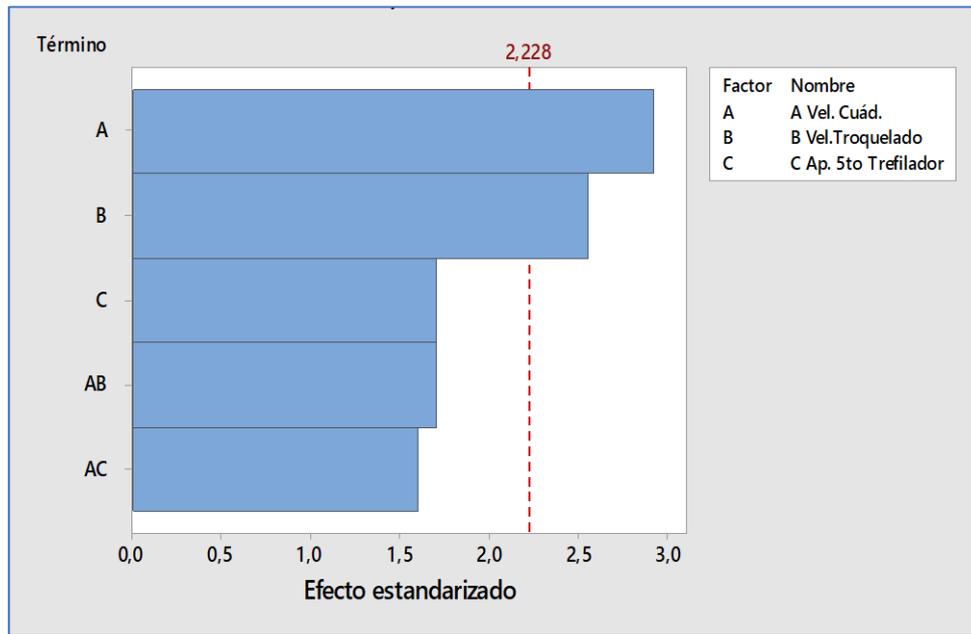


Figura N°19. Gráfico de Pareto para efectos (la respuesta es PESO. $\alpha = 0,05$)

En este diagrama de Pareto, las barras que representan los factores A y B cruzan la línea de referencia que está en 2,23. Estos factores son estadísticamente significativos en el nivel $\alpha=0.05$ con los términos del modelo actuales.

La siguiente Figura (N° 20), muestra el efecto de las interacciones entre todos los factores tomados de a pares. Se puede observar que el peso promedio de los caramelos se acerca al valor óptimo de 3,80 g cuando la velocidad del cuádruple es de 39% y la velocidad de la egalizadora-troqueladora se encuentra en 48-58%. A su vez, la apertura del trefilador puede ubicarse en 4,5 o 5 cm, siempre que la velocidad del cuádruple permanezca en 39%.

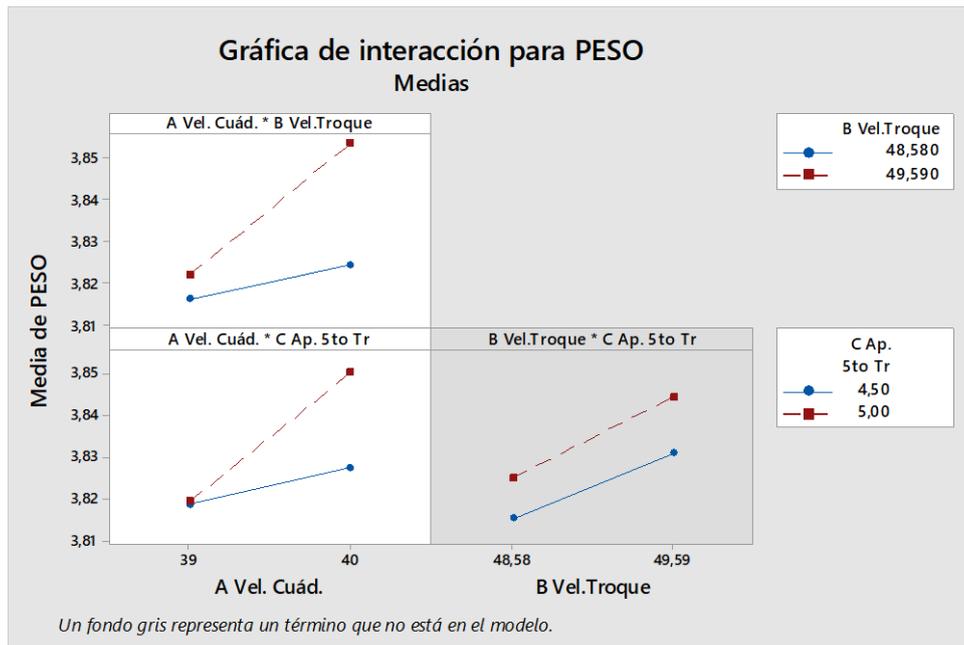


Figura N°20. Interacción entre pares de factores

IV.3.3. Ensayos de confirmación de resultados experimentales

Con el objetivo de verificar la legitimidad de los resultados de este análisis, se efectuó un ensayo denominado “Comprobación de Hipótesis”. Según el análisis estadístico de las variables de proceso estudiadas en el diseño (fuentes de variación del proceso o factores), aquellos niveles que optimizan en forma conjunta el peso y la altura de los caramelos aproximándolos a los valores óptimos de sus especificaciones, son los siguientes: Velocidad del Cuádruple 39%, Velocidad Egalizadora-Troqueladora 49-59% y Apertura de quinto trefilador 5 cm (Tabla N°4).

Tabla N°4: Niveles de los factores que optimizan la altura y el peso de los caramelos

Factor	Valor de configuración
A - Vel. Cuádruple	39 %
B - Vel. Egalizado-Troquelado	49-59 %
C - Apertura 5to Trefilador	5 cm

Con estos valores se realizó un ensayo de confirmación, relevando los kilos de reproceso generados en el seleccionador por diferencia de tamaño en el producto terminado. Los mismos se configuraron en la línea de producción durante 2 turnos (16 horas de producción), obteniendo los resultados que se muestran en la Figura N° 21.

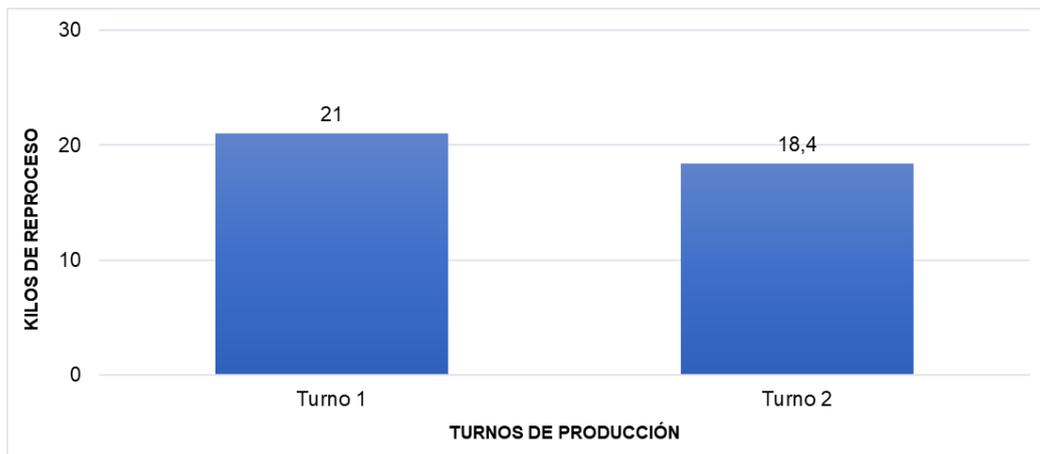


Figura N°21. Reproceso por turno (en kilos) descartados por el seleccionador de caramelos de línea 1 durante el ensayo de confirmación

Teniendo en cuenta que la línea de producción genera 800 kilos de caramelos por hora, en un turno de producción de 8 horas se producen 6400 kilos de producto. La cantidad de reproceso detallado en el gráfico anterior, representan los siguientes porcentajes de reproceso en la línea:

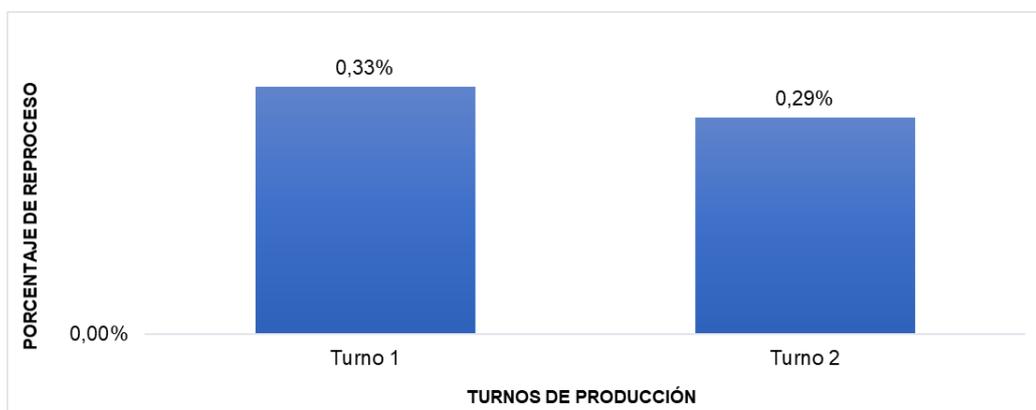


Figura N°22. Porcentaje de reproceso por turno descartados por el seleccionador de caramelos de línea 1 durante el ensayo de confirmación

IV.4. Situación inicial y final

Contrastando los resultados obtenidos del ensayo de confirmación respecto a la situación inicial, el seleccionador descartó un 76% menos de caramelos, pasando de un promedio de descarte de 1,28% por turno a 0,31% por turno (Figura N° 23).

Aplicando los niveles óptimos para las variables seleccionadas en el estudio y acorde a los resultados experimentales, se espera lograr una mejora anual de un 76% en la cantidad de reproceso de la línea de producción de los caramelos duros sin azúcar, lo que evidentemente redundará en una reducción igual en los costos. Considerando que el kilo de este producto tiene un valor de \$70, la reducción en los niveles de reproceso originaría un beneficio económico de \$ 1.249.920 anuales.

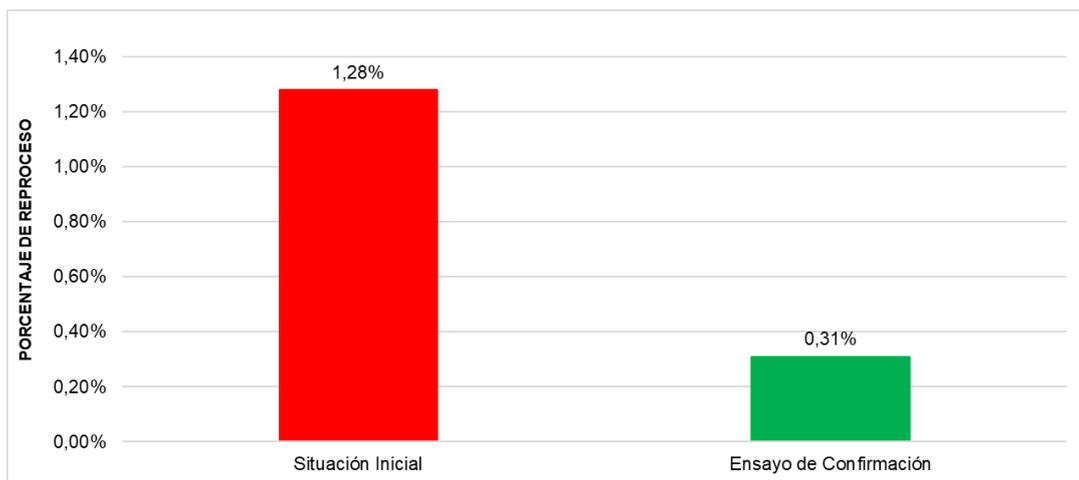


Figura N°23. Porcentaje de reproceso descartado por el seleccionador antes y después del ensayo de confirmación

IV.5. Comentario final

El análisis estadístico, realizado sobre los datos obtenidos de un diseño de experimento en la industria, nos permitió averiguar peculiaridades de una o varias variables de proceso o fuentes de variación del proceso de producción que no podemos percibir a primera vista. A través de este estudio se pudo obtener información para comprender mejor el proceso y tomar decisiones sobre cómo optimizarlo. Esto permitirá lograr mejoras en el rendimiento y reducir los

costos de producción. Más del 70 % del producto que hasta ahora se debía retrabajar por no cumplir con los parámetros de calidad, podrá considerarse como producto final dentro de especificación, aumentando la eficiencia de la línea de producción y disminuyendo las pérdidas del balance de masa.

Mediante el diseño de experimentos llevado a cabo se pudo estudiar el efecto de varios factores sobre el comportamiento del producto, entender la relación entre las variables de entrada y las variables de salida, identificar las condiciones óptimas del proceso que maximizan la respuesta, reducir la variabilidad en las características del producto, mejorar la confiabilidad del mismo y reducir los costos de manufactura.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Según el trabajo publicado por López Sarmiento, L. (2007) en su tesis “Optimización de Recursos y reducción de los Índices de Desperdicio y Reproceso en el Área de Caramelos Duros en la Empresa Universal Sweet Industries S.A”, la principal causa de generación de reproceso es el caramelo deformado en la etapa de troquelado, como consecuencia del agregado de caramelo durante la etapa de amasado que no posee un tratamiento previo al ser añadido sobre línea de producción.

A diferencia de este documento, donde el análisis de la generación de reproceso se orienta a la presencia de caramelos deformados en un proceso de elaboración prácticamente manual, esta tesis realiza un enfoque sobre la variación de tamaño del caramelo sin azúcar en un proceso de producción continuo e industrializado, donde se considera importante eliminar las causas raíces de dicha variabilidad.

Adicionalmente, en el proceso de producción del caramelo duro sin azúcar estudiado en esta tesis, los caramelos destinados a reproceso son previamente fundidos con agua antes de ser incorporados al almíbar. Es decir, al almíbar compuesto por isomaltosa, maltitol y agua se le añade un porcentaje de jarabe de reproceso en estado líquido, que luego de la cocción dará origen a la masa final de caramelo evitando, de esta manera, inconvenientes como la presencia de grumos que se mencionan en el trabajo citado anteriormente.

Existen varios trabajos de investigación publicados, donde se trató de mejorar el proceso de producción de caramelos duros, pero ninguno con el desarrollo de un análisis estadístico que permita determinar las variables más influyentes en la variación de las dimensiones del producto.

Por ejemplo, en el estudio publicado por Coronel Egas, F. (2012) “Mejoramiento del proceso de producción de caramelo duro, mediante la aplicación de la metodología Six Sigma en la empresa Ecuagolosinas CIA. LTDA”, se llevó a cabo un análisis para disminuir el reproceso del caramelo duro generado a partir del producto no conforme en el sector de envoltura.

En este caso, la solución que sugirieron los autores a partir del análisis realizado, tuvo como objetivo retornar a su condición básica los equipos y el

proceso, estandarizar la metodología de elaboración y capacitar al personal. No se aplicó un análisis estadístico para relevar las variables responsables de la variación del tamaño de los caramelos duros durante la etapa de troquelado.

En la investigación llevada a cabo por Mansilla del Valle, N. (2011) sobre la “Aplicación de la metodología de Mantenimiento Productivo Total (TPM) para la estandarización de procesos y reducción de pérdidas en la fabricación de goma de mascar en una industria nacional”, se plantea la disminución de reproceso debido a la variación de dimensiones del producto. Si bien el proceso de producción de goma de mascar difiere del de caramelos duros, ambos trabajos comparten la misma causa que origina elevadas cantidades de reproceso.

A diferencia de esta tesis, en el desarrollo del trabajo presentado se realizó una selección de variables de proceso responsables de la variación de las dimensiones de la goma de mascar, y se llevaron a cabo diferentes pruebas industriales modificando sus niveles para analizar el efecto generado en el producto. Una vez encontrados los niveles para cada variable que permitieron optimizar el proceso, se estandarizaron en las especificaciones y se capacitó al personal. Es decir, la metodología para detectar las variables influyentes fue similar a la aplicada en esta tesis de caramelos duros, aunque no se llevó a cabo un diseño de experimento para descubrir por ejemplo interacciones entre ellas, sino que se analizó cada variable individualmente.

El diseño de experimento (DOE) implementado en este trabajo permitió identificar las condiciones del proceso y los componentes del producto que afectaban la calidad, para luego determinar la configuración de factores que optimizaron los resultados. Este diseño se podría aplicar en el proceso de elaboración de cualquier tipo de caramelos duros con azúcar, ya que donde existan una o más variables en un proceso de producción se podrá medir el efecto que estas tienen sobre el producto final u objetivo.

Si bien los caramelos con y sin azúcar comparten el mismo proceso de producción, incluso se emplean las mismas maquinarias para su elaboración, fue importante enfocar este estudio en el caramelo sin azúcar, dado los elevados costos de sus materias primas que lo convierten en un producto caro. Adicionalmente, como se menciona al inicio de esta tesis, el proceso de producción no es lo suficientemente estable como lo es el tradicional y ya

estudiado proceso de caramelos con azúcar. Por otra parte, cabe destacar que el tipo de empaque en formato agrupado del caramelo sin azúcar otorga menos flexibilidad al proceso que una envoltura individual empleada en los caramelos con azúcar, exigiendo al producto un mayor cumplimiento de sus dimensiones dentro de la especificación planteada.

En cuanto a las dificultades encontradas durante la etapa de diseño es importante mencionar que, en un primer momento se había llevado a cabo otro diseño cuya dificultad fue la definición de las variables de proceso a ser estudiadas. En el mismo, se habían tenido en cuenta tanto variables de la etapa de cocción como de la etapa de troquelado. Sin embargo, al momento de llevarlo a cabo sobre la línea industrial fue compleja su coordinación dada la velocidad del proceso en continuo, tanto para fijar los niveles previamente definidos para cada variable como para la toma de las muestras correspondientes para cada corrida. Adicionalmente, durante el análisis de los resultados de este primer experimento, se detectó que las variables más influyentes sobre la altura y el peso del producto se encontraban en la etapa de troquelado. Por tal motivo se decidió avanzar con la planificación de un segundo experimento enfocado exclusivamente en variables de proceso de este sector. Como se mencionó en el Capítulo III, la selección de las variables de proceso se realizó a partir de la bibliografía consultada, los parámetros del proceso y la experiencia previa del personal que trabaja en el lugar a través de una *tormenta de ideas*.

Por último, es importante destacar que el análisis estadístico efectuado abre las puertas al estudio de otras variables importantes del proceso en etapas previas a la conformación del producto, como podrían ser las materias primas, la formación del almíbar y la cocción de la masa de caramelo.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIÓN

En el presente trabajo de tesis se pudieron detectar las variables de proceso que producían variaciones en la altura y el peso del producto, generando elevados niveles de reproceso en la etapa de selección de la línea de producción. Se observó que las variables de proceso más significativas sobre las dimensiones del producto se encontraron en la etapa de troquelado, ya que justamente es en ese lugar donde se define la conformación final del caramelo.

Las conclusiones que se desprenden a partir del análisis estadístico efectuado son:

VI.1. El mejor nivel para la velocidad del cuádruple es 39%, el cual acerca la altura y el peso del caramelo al óptimo de su especificación, evitando que la masa se atasque en los trefiladores. Además, permite una correcta tracción para estabilizar el tamaño de los caramelos.

VI.2. Para los kilogramos por hora de producción a los cuales se encuentra funcionando la línea, resulta más estable, para ambas variables, una velocidad egalizadora-troqueladora funcionando en 49-59%. Esto permite abastecer de masa en forma pareja tanto a los trefiladores como a la troqueladora.

VI.3. En el diseño llevado a cabo, tanto la altura como el peso del producto se ubicaron en el óptimo de la especificación cuando la apertura del 5^{to} trefilador se encuentra en 5 cm, permitiendo que éste traccione la varilla hacia el molde evitando que la masa pueda obstruir esta apertura.

Empleando en cada factor los niveles descritos con anterioridad, se pudo comprobar en el ensayo de confirmación una reducción del 76% de los kilos de caramelos descartados en la etapa de selección ubicada al final de la línea de producción.

Esta importante disminución en los niveles de reproceso contribuirá a mejorar el balance de masa de la planta industrial y al mismo tiempo, disminuir los costos de producción del caramelo duro sin azúcar.

A su vez, se emplearán menos recursos para elaborar el jarabe de reproceso (tiempo, energía y operadores), disminuirá la generación de producto no conforme por caramelos que no cumplan con las dimensiones y favorecerá al orden y al despeje de la planta evitando la acumulación de producto destinado a reproceso.

BIBLIOGRAFÍA

Ampudia Montúfar, E. Y. (2019). Creación de línea de productos de confitería: gomitas, caramelos suaves y deshidrataciones a base de tomate de árbol, tuna y granada dirigido a niños y adolescentes. (Tesis de grado). Universidad de las Américas, Quito, Ecuador. Recuperado de:
<http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/10531>

Aranda-González, Irma, Tamayo-Dzul, Óscar, Barbosa-Martín, Enrique, Segura-Campos, Maira, Moguel-Ordoñez, Yolanda, & Betancur-Ancona, David. (2015). Desarrollo de una golosina tipo "gomita" reducida en calorías mediante la sustitución de azúcares con Stevia rebaudiana B. *Nutrición Hospitalaria*, 31(1), 334-340. Recuperado de:
<https://dx.doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.8013>

Asociación Distribuidores Golosinas y Afines. *Revista ADGYA* (2019) N° 664- La Cámara del Mayorista y Distribuidor de Golosinas, Galletitas y Afines. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: ADGYA. Recuperado de:
http://www.adgya.org.ar/revista_ok.php?mes=2019_664&key=lc1EWW7Bz4I8A25Y

Campo, Y., Gélves, V., y Restrepo, J. (2018). Elaboración y estandarización de un confite (caramelo duro) a base de panela. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*. 5(2), 7479. Recuperado de:
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/36704>

Código Alimentario Argentino (CAA). (2019). Código Alimentario de Argentina. Capítulo X. Artículo 789 -Alimentos Azucarados.

Código Alimentario Argentino (CAA). (2017). Código Alimentario de Argentina. Capítulo V. Artículo 235 - Normas para la Rotulación y Publicidad de los Alimentos.

Coronel Egas, F. (2012). Mejoramiento del proceso de producción de caramelo duro, mediante la aplicación de la metodología Six Sigma en la empresa Ecuagolosinas CIA LTDA. (Tesis de pregrado). Universidad de las Américas, Quito, Ecuador. Recuperado de:
<http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/2472>

Edwards, W., (2002). La ciencia de las golosinas. España: ACRIBIA, S.A.

Food and Drug Administration (FDA), (2014). High-Intensity Sweeteners. Recuperado de: <https://www.fda.gov/food/food-additives-petitions/high-intensity-sweeteners>

García-Almeida, J. M.; Casado Fernández, Gracia M. y García Alemán, J. (2013). Una visión global y actual de los edulcorantes: aspectos de regulación. *Nutrición Hospitalaria*, 28 (Supl.4), 17-31. Recuperado de:
http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S021216112013001000003&lng=es&tlng=es

Garza Elizondo, A., (2005). Kaizen, Una mejora continua. *Ciencia UANL*. Vol. VII, No. 3, Julio-Septiembre 2005. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Herbstreith & Fox KG. (2010). *Jam, Jellies and Marmalade*. Corporate Group.

Hull, P. (2010). Sugar alcohols: an overview. En P. Hull, *Glucose Syrups: Technology and application* (págs. 107-118). India: Wiley-BlackWell.

Jaramillo Almeida, D. A., & De la Torre Moreno, E. J. (2017). Modelo de Mejora Continua Aplicando en la Línea de Caramelo duro menta glacial de la Empresa Universal Sweet Industries S.A. (Tesis de grado). Universidad de Guayaquil. Recuperado de:
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/32371>

- Jiménez Munayco, M. C., & Yáñez Bellido, A. A. (2016). Manual de buenas prácticas de manufactura y control estadístico del peso de caramelos duros en la empresa EZ Business SRL. (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. Recuperado de:
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2245>
- Ling-Min, C. (1992). Food machinery for the production of cereal foods, snack foods and confectionery. Inglaterra: Ellis Horwood Limited.
- López Sarmiento, L. (2007). Optimización de Recursos y reducción de los Índices de Desperdicio y Reproceso en el Área de Caramelos Duros en la Empresa Universal Sweet Industries S.A. (Tesis de grado). Universidad de Guayaquil. Recuperado de:
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/4565>
- Mansilla del Valle, N. (2011). Aplicación de la metodología de Mantenimiento Productivo Total (TPM) para la estandarización de procesos y reducción de pérdidas en la fabricación de goma de mascar en una industria nacional. (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Recuperado de:
<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/115896>
- Marcarian L., (2014). Área de Estudios Sectoriales – Dirección de Agroalimentos. Golosinas. Informe Sectorial N°4. Evolución del Saldo de Balanza Sectorial. Recuperado de Alimentos Argentinos:
http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Golosinas/informes/Golosinas_anuario_2014.pdf
- Martínez de León, M.J. (2016). Evaluación de la calidad para dulces duros en compañía de productos industrializados, S.A. (Tesis de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de:
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/4636>

McNutt K. y A. Sentko (2003). Isomalt - IUFOST Report. International Union of Food Science and Technology, Elsevier Science Ltd. [Figura 1 y Figura 2].

Meiners, A.; Kreiten, K. y Joike, H. (1984). Silesia Confiserie Manual No.3. El nuevo manual para la industria de la confitería – Tomo 2. Alemania: Fábrica de Esencias Silesia Gerhard Hanke K.G., Depto. Fachbücherei.

Mínguez García, Juan Manuel (2015). Desarrollo de un producto de la industria alimentaria para la Escuela Lean. Caramelos. Trabajo fin de Máster. Universidad de Valladolid, España. Recuperado de:
<http://uvadoc.uva.es/handle/10324/14564>

Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto (2011). Informe sector alimentos industrializados. Golosinas y Productos de Confitería. Recuperado de:
<https://www.comercioexterior.org.ar/img/noticias/Informegolosinas.pdf>

Pollak, R. (2016). Estudio panorámico de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. Alimentos saludables. Alimentos alineados con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Reducción de azúcares en alimentos. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Secretaría de Planeamiento y Políticas - Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva - Presidencia de la Nación. Recuperado de:
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/est_agr_estudio-panoramico-alimentos-alineados-oms-reduccion-de-azucares.pdf

Sánchez Pineda de la Infantas, M.T. (2003). Proceso de elaboración de alimentos y bebidas. Primera edición. A. Madrid Vicente, Ediciones. Ediciones Mundi-Prensa. Recuperado de:
<https://books.google.com.ar/books?id=PxrIhy9UbZkC&pg=PA148&lpg=PA148&dq=caramelos+duros+scielo&source=bl&ots=Jw1y05klbH&sig=60x8N78Wiz-qR-Oc3g-xUKZdK6w&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjV8-j66sDYAhWSI5AKHTDFDUUsQ6AEIRjAF#v=onepage&q=caramelos%20duros%20scielo&f=false>

Suzuki, T., (2003). TPM en industrias de proceso. España: TGP-HOSHIN, S.L

Vásquez, G., & Shisell, K. (2015). Desarrollo de un modelo de mejoramiento productivo para la fabricación de caramelos de la Industria de Caramelos Pérez Bermeo ICAPEB Cia. Ltda., basado en el modelo de gestión por procesos (Tesis de grado). Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito, Ecuador. Recuperado de:

<http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/5409>

ANEXO 2

- Resultados de altura en cada corrida experimental.

Se realizaron 8 ensayos, que permitieron evaluar el efecto de 3 factores con dos niveles cada uno, efectuando 2 repeticiones para cada combinación de los niveles elegidos de cada factor. De esta manera se completaron un total de 16 tratamientos.

Orden	Rep.	Vel. Cuádruple	Vel. Igualadora-Vel. Troqueladora	Ap. 5to Trefilador	ALTURA
1	2	39	49,59	5,0	11,595
2	1	39	49,59	4,5	11,624
3	1	40	48,58	4,5	11,646
4	2	40	49,59	4,5	11,731
5	2	39	48,58	4,5	11,656
6	1	40	49,59	5,0	11,706
7	2	39	48,58	5,0	11,663
8	2	40	48,58	4,5	11,579
9	2	40	49,59	5,0	11,745
10	1	39	48,58	5,0	11,623
11	1	40	49,59	4,5	11,694
12	2	39	49,59	4,5	11,662
13	2	40	48,58	5,0	11,671
14	1	39	48,58	4,5	11,685
15	1	39	49,59	5,0	11,588
16	1	40	48,58	5,0	11,723

ANEXO 3

- Resultados de peso en cada corrida experimental.

Se realizaron 8 ensayos, que permitieron evaluar el efecto de 3 factores con dos niveles cada uno, efectuando 2 repeticiones para cada combinación de los niveles elegidos de cada factor. De esta manera se completaron un total de 16 tratamientos.

Orden	Rep.	Vel. Cuádruple	Vel. Igualadora-Vel.Troqueladora	Ap. 5to Trefilador	PESO
1	2	39	49,59	5,0	3,811
2	1	39	49,59	4,5	3,807
3	1	40	48,58	4,5	3,823
4	2	40	49,59	4,5	3,834
5	2	39	48,58	4,5	3,830
6	1	40	49,59	5,0	3,866
7	2	39	48,58	5,0	3,821
8	2	40	48,58	4,5	3,798
9	2	40	49,59	5,0	3,858
10	1	39	48,58	5,0	3,803
11	1	40	49,59	4,5	3,855
12	2	39	49,59	4,5	3,827
13	2	40	48,58	5,0	3,834
14	1	39	48,58	4,5	3,810
15	1	39	49,59	5,0	3,842
16	1	40	48,58	5,0	3,842

ANEXO 4

- Tabla de Análisis de la Varianza para Altura y Peso.

Análisis de Varianza para Altura:

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	6	0,0315	0,0052	6,24	0,008
Lineal	3	0,0106	0,0035	4,22	0,040
A Vel. Cuád.	1	0,0099	0,0099	11,83	0,007
B Vel. Troquelado	1	0,0006	0,0006	0,73	0,416
C Ap. 5to Trefilador	1	0,0001	0,0001	0,10	0,757
Interacciones de 2 términos	3	0,0208	0,0069	8,25	0,006
A Vel. Cuád.*B Vel. Troquelado	1	0,0108	0,0108	12,79	0,006
A Vel. Cuád.*C Ap. 5to Trefilador	1	0,0077	0,0078	9,26	0,014
B Vel. Troquelado*C Ap. 5to Trefilador	1	0,0023	0,0023	2,71	0,134
Error	9	0,0076	0,0008		
Total	15	0,0390			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
0,0290	80,61%	67,68%

Optimización de respuesta: ALTURA**Parámetros**

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior
ALTURA	Objetivo	11,20	11,60	12

Solución

Solución	A Vel. Cuád.	B Vel. Troquelado	C Ap. 5to Trefilador	ALTURA Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	39,07	49,55	4,98	11,60	0,9999

Predicción de respuesta múltiple

Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
ALTURA	11,6000	0,0170	(11,5617. 11,6384)	(11,5240. 11,6760)

Análisis de Varianza para Peso:

Fuente	G L	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0,0043	0,0009	4,71	0,018
Lineal	3	0,0033	0,0011	6,02	0,013
A Vel. Cuád.	1	0,0016	0,0016	8,58	0,015
B Vel. Troquelado	1	0,0012	0,0012	6,55	0,028
C Ap. 5to Trefilador	1	0,0005	0,0005	2,93	0,118
Interacciones de 2 términos	2	0,0010	0,0005	2,75	0,112
A Vel. Cuád.*B Vel. Troquelado	1	0,0005	0,0005	2,93	0,118
A Vel. Cuád.*C Ap. 5to Trefilador	1	0,0005	0,0005	2,57	0,140
Error	10	0,0018	0,0002		
Total	15	0,0062			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)
0,0136	70,21%	55,31%

Optimización de respuesta: PESO

Parámetros

Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior
PESO	Objetivo	3,60	3,80	4

Solución

Solución	A Vel. Cuád.	B Vel. Troquelado	C Ap. 5to Trefilador	PESO Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	40	48,58	4,5	3,81	0,9350

 Predicción de respuesta múltiple

Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
PESO	3,81	0,0083	(3,7945. 3,8315)	(3,777. 3,8485)

Optimización de respuesta: ALTURA. PESO

Solución	A Vel. Cuád.	B Vel. Troquelado	C Ap. 5to Trefilador	ALTURA Ajuste	PESO Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	39	49,3599	5	11,6000	3,82082	0,946533

Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
ALTURA	11,60	0,0160	(11,5637. 11,6363)	(11,5250. 11,6750)
PESO	3,82	0,0073	(3,8046. 3,8370)	(3,7865. 3,8551)

ANEXO 5

Publicaciones:

- Cipriani M. G. "Reducción de reproceso en línea de producción continua de caramelos duros sin azúcar". XXXII Congreso Argentino de Química. CABA, Buenos Aires, Argentina. Marzo 12-15, 2019. Recuperado de:
<https://www.aqa.org.ar/images/congreso/CAQ2019.pdf>.
Código 11-010, páginas 736-737