

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



**EQUIPO PARA CAMELIZAR PAN “TIPO ROSCA”
PARA INDUSTRIA PANIFICADORA DE ORIENTE, S.A.**

Trabajo de graduación presentado por

José Luis Ordóñez Alarcón

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala,

2014

**EQUIPO PARA CARMELIZAR PAN “TIPO ROSCA”
PARA INDUSTRIA PANIFICADORA DE ORIENTE, S.A.**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

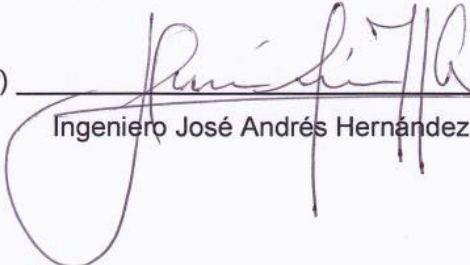
**EQUIPO PARA CARMELIZAR PAN “TIPO ROSCA”
PARA INDUSTRIA PANIFICADORA DE ORIENTE, S.A.**

Trabajo de graduación presentado por José Luis Ordóñez Alarcón
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

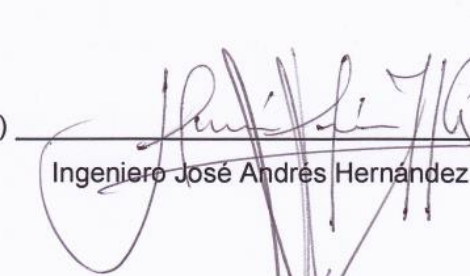
Guatemala,


2014

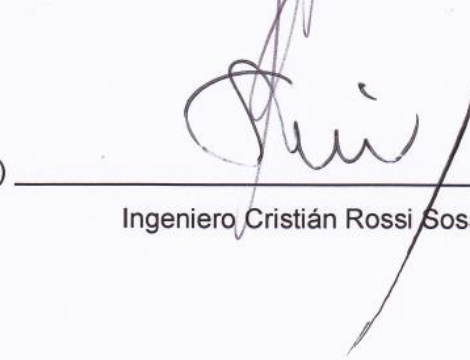
Vo. Bo. :

(f) 
Ingeniero José Andrés Hernández Gaitán

Tribunal Examinador:

(f) 
Ingeniero José Andrés Hernández Gaitán

(f) 
Ingeniero Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

(f) 
Ingeniero Cristián Rossi Sosa

Fecha de aprobación: Guatemala, 24 de enero de 2014

CONTENIDO

	Página
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABLAS	viii
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
A. Objetivo general	2
B. Objetivos específicos	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. MARCO TEÓRICO	4
A. Pan	4
B. Historia	4
C. Materias primas para pan “tipo rosca”	6
D. Caramelo	8
E. Equipo empleado para producir pan “tipo rosca”	11
F. Proceso de producción de pan “tipo rosca”	18
V. ANTECEDENTES	22
A. Pan “tipo rosca”	22
B. Características del pan “tipo rosca” producido:	23
C. Descripción del proceso de realización de pan “tipo rosca”:	23
D. Descripción del caramelo empleado:	26
VI. METODOLOGÍA	27
A. Primera etapa:	27
B. Segunda etapa:	28

C.	Tercera etapa:	29
D.	Cuarta etapa:	30
E.	Quinta etapa:	30
VII.	RESULTADOS	31
A.	Condiciones:	31
B.	Balances de masa y energía para fabricación:	32
C.	Diseño del equipo:	35
D.	Costo:	36
VIII.	DISCUSIÓN	37
IX.	CONCLUSIONES	48
X.	RECOMENDACIONES	50
XI.	BIBLIOGRAFÍA	52
A.	Fuentes de libros	52
B.	Fuentes de internet	52
C.	Entrevista	54
XII.	Anexos	55
A.	Diagrama de bloques	55
B.	Diagrama de flujo	56
C.	Imágenes equipo construido	57
D.	Forma de operación del equipo construido	58
E.	Datos originales	59
F.	Cálculos de muestra	62
G.	Análisis de error	70
H.	Datos calculados	72
I.	Análisis económico	83
J.	Planos del equipo construido	84

K.	Planos del equipo diseñado	86
L.	Plano del área de trabajo	88

LISTA DE FIGURAS

Figura No. 1. Pan “tipo rosca”	22
Figura No. 2. Pan “tipo rosca” recién caramelizado	23
Figura No. 3. Prueba experimental de composición y temperatura adecuada.....	29
Figura No. 4. Diagrama de bloques de proceso empleando olla	55
Figura No. 5. Diagrama de bloques de equipo diseñado y construido	55
Figura No. 6. Diagrama de flujo del proceso de caramelización y cobertura en el equipo diseñado.....	56
Figura No. 7. Diagrama de flujo del proceso de caramelización y cobertura del equipo construido.....	56
Figura No. 8. Tanque para realización de caramelo con agitación	57
Figura No. 9. Tina para caramelización	57
Figura No. 10. Plano vista frontal equipo construido	84
Figura No. 11. Vista isométrica del equipo construido	85
Figura No. 12. Plano vista frontal equipo diseñado	86
Figura No. 13. Vista isométrica del equipo diseñado	87
Figura No. 14. Plano vista superior del área de trabajo con el equipo construido	88

LISTA DE TABLAS

Tabla No. 1. Concentraciones adecuadas para la realización del caramelo y sus temperaturas .	31
Tabla No. 2. Pérdida de caramelo en el equipo con respecto a la solución inicial	31
Tabla No. 3. Balance de masa y energía promedio ideal de olla con un 5% de pérdidas de caramelo	32
Tabla No. 4. Balance de masa y energía promedio experimental de olla a una temperatura ambiental de 23°C.....	32
Tabla No. 5. Balance de masa y energía diseño propuesto considerando que hay 5% de pérdidas de caramelo.....	33
Tabla No. 6. Balance de masa y energía ideal de equipo construido con un 5% de pérdidas de caramelo.....	33
Tabla No. 7. Balance de masa y energía experimental promedio de equipo construido a una temperatura ambiental de 25°C.....	34
Tabla No. 8. Tiempos de operación.....	34
Tabla No. 9. Dimensiones equipo diseñado	35
Tabla No. 10. Dimensiones equipo construido	35
Tabla No. 11. Agitador	35
Tabla No. 12. Tubería y accesorios utilizados	35
Tabla No. 13. Dimensiones jaulas para sumergir roscas	36
Tabla No. 14. Costo del pan “tipo rosca” por cada 1206 unidades de 0.063 kg de masa	36
Tabla No. 15. Evaluación de caramelo	59
Tabla No. 16. Evaluación para rango de caramelo	60
Tabla No. 17. Capacidad calorífica del caramelo (Mathlouthi, 1995).....	61
Tabla No. 18. Conductividad térmica de metales (Çengel, 2011)	61
Tabla No. 19. Energía proporcionada por el gas propano (ECII, 2013)	61
Tabla No. 20. Características olla	61
Tabla No. 21. Dimensiones equipo construido	61
Tabla No. 22. Dimensiones jaulas para sumergir roscas	61
Tabla No. 23. Pérdida de caramelo en el equipo con respecto a la solución inicial	62
Tabla No. 24. Concentraciones adecuadas para la realización del caramelo y sus temperaturas	72
Tabla No. 25. Cálculo de transferencia de calor por radiación teórica en la olla	73

Tabla No. 26. Cambio en temperatura causado por el material para la transferencia de calor por conducción experimental en la olla.....	73
Tabla No. 27. Cálculo de transferencia de calor por convección teórica en la olla	73
Tabla No. 28. Tiempo utilizado de quemador y cantidad de propano empleado en cálculo teórico de la olla.....	73
Tabla No. 29. Balance de masa y energía promedio ideal de olla con un 5% de pérdidas de caramelo	74
Tabla No. 30. Cálculo de transferencia de calor por radiación experimental en la olla	74
Tabla No. 31. Cambio en temperatura causado por el material para la transferencia de calor por conducción experimental en la olla.....	74
Tabla No. 32. Cálculo de transferencia de calor por convección experimental en la olla	75
Tabla No. 33. Tiempo utilizado de quemador y cantidad de propano empleado en cálculo experimental de la olla	75
Tabla No. 34. Balance de masa y energía promedio experimental de olla a una temperatura ambiental de 23°C.....	75
Tabla No. 35. Dimensiones equipo diseñado	76
Tabla No. 36. Cálculo de transferencia de calor por radiación teórico equipo diseñado	76
Tabla No. 37. Cambio en temperatura causado por el material para la transferencia de calor por conducción teórico equipo diseñado	76
Tabla No. 38. Cálculo de transferencia de calor por convección teórico equipo diseñado	77
Tabla No. 39. Tiempo utilizado de quemador y cantidad de propano empleado en cálculo teórico equipo diseñado.....	77
Tabla No. 40. Balance de masa y energía diseño propuesto considerando que hay 5% de pérdidas de caramelo.....	78
Tabla No. 41. Cálculo de transferencia de calor por radiación teórico equipo construido	78
Tabla No. 42. Cambio en temperatura causado por el material para la transferencia de calor por conducción teórico equipo construido	78
Tabla No. 43. Cálculo de transferencia de calor por convección teórico equipo construido	79
Tabla No. 44. Tiempo utilizado de quemador y cantidad de propano empleado en cálculo teórico equipo construido.....	79
Tabla No. 45. Balance de masa y energía ideal de equipo construido con un 5% de pérdidas de caramelo.....	80
Tabla No. 46. Cálculo de transferencia de calor por radiación experimental equipo construido	80

Tabla No. 47. Cambio en temperatura causado por el material para la transferencia de calor por conducción experimental equipo construido.....	80
Tabla No. 48. Cálculo de transferencia de calor por convección experimental equipo construido.....	81
Tabla No. 49. Tiempo utilizado de quemador y cantidad de propano empleado en cálculo experimental equipo construido	81
Tabla No. 50. Balance de masa y energía experimental promedio de equipo construido a una temperatura ambiental de 25°C.....	82
Tabla No. 51. Cálculo motor agitador	82
Tabla No. 52. Agitador	82
Tabla No. 53. Cálculos para determinar tubería	82
Tabla No 54. Tubería y accesorios utilizados	83
Tabla No. 55. Tiempos de operación	83
Tabla No. 54. Análisis de costo por cada 1206 unidades producidas de pan “tipo rosca”	83
Tabla No. 55. Tiempo de recuperación de inversión por el equipo	83

RESUMEN

El objetivo principal del trabajo fue diseñar el equipo para caramelizar roscas en Industria Panificadora de Oriente, S.A. y de esta forma, mejorar el proceso de fabricación de este producto, aumentar la velocidad de producción y rendimientos. Además, se determinó la caramelización adecuada para el proceso y la cantidad de pérdidas en la elaboración del caramelo. Por último, se obtuvo el costo del producto con el proceso previo y con el nuevo.

A partir de pruebas experimentales se delimitó un rango de 88-92% de azúcar en el caramelo. El equipo propuesto constó de un tanque cilíndrico de 0.276m^3 con agitador de hélice y una tina de caramelización de 0.17m^3 , cada una con quemadores de gas propano. Este fue diseñado con acero inoxidable 316 calibre 20. El equipo construido varió en el tanque agitado, ya que este se redujo a $0.185\pm 0.001\text{m}^3$ y se construyó de forma rectangular debido al presupuesto para el equipo y la fabricación más sencilla de los quemadores de gas propano. En el equipo se tuvo pérdidas de azúcar de 8.98% respecto a la solución realizada, inicialmente se tenía un 11.58% teniendo así un ahorro de Q.33.83 por cada 1206 unidades de pan “tipo rosca”.

La recomendación principal para el sistema es construir un tanque de agitación según se propuso, así como colocar un sifón con válvula para limpieza de la tina. Además, se recomienda utilizar un levantador de recipientes para colocar las materias primas en el tanque tal como un Bowl Hoist de la marca Hinds-Bock.

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo fue diseñar el equipo para producir un caramelo de cobertura y caramelizar roscas en Industria Panificadora de Oriente, S.A. y de esta forma, hacer más eficiente el proceso de fabricación del pan y aumentar la velocidad de producción.

En el oriente de Guatemala, el pan “tipo rosca” es un producto con alta demanda y por lo tanto se requiere de una gran producción diaria del mismo en esta empresa. Actualmente, en esta panificadora, se utilizan fabrican diariamente 9648 unidades del mismo (equivalente a 362.87 kg u ocho quintales de harina de trigo para la fabricación de este pan). Abarcando de esta forma la demanda diaria del producto. El inconveniente que se encuentra en esta producción es la lentitud de la caramelización en el proceso, esto se debe a que no hay un equipo donde se pueda producir el caramelo y caramelizar varias roscas al mismo tiempo por lo que la producción no se cumple en el tiempo laboral de ocho horas provocando que la empresa tenga que pagar más a sus empleados por horas extras.

La caramelización es el proceso mediante el cual el azúcar en influencia con el calor es convertido a un compuesto que varía de color entre amarillo pálido y café oscuro y produce caramelo. El caramelo que se produce en esta industria incluye agua y colorante, esto es para disminuir la viscosidad del mismo y darle color, pero la caramelización no es completa ya que quedan residuos de azúcar al fondo de los recipientes donde se realiza el mismo, en este caso, estos recipientes son ollas de aluminio. (Hui, 2006)

Por lo anteriormente expuesto, se buscó el total aprovechamiento de las materias primas para la caramelización y también se realizó una mejora del proceso mediante el diseño e implementación de un equipo capaz de facilitar el mismo. De esta forma, se pudo disminuir el tiempo de producción y cumplir con la misma en las ocho horas de trabajo por turno, además que dada la tendencia al alza de la demanda de este producto, es necesario tomar en cuenta un crecimiento.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Diseñar el equipo para caramelizar roscas en Industria Panificadora de Oriente, S.A. y de esta forma, mejorar el proceso de fabricación de este pan, aumentar la velocidad de producción y rendimiento.

B. Objetivos específicos

- Determinar la cantidad de pérdidas en el proceso tradicional de elaboración del caramelo según la cantidad de azúcar utilizada.
- Determinar las características del caramelo para el pan “tipo rosca” a diferentes temperaturas para disminuir las pérdidas de azúcar en la elaboración del caramelo.
- Diseñar, obtener, instalar y evaluar el equipo para la caramelización y cobertura del pan “tipo rosca” considerando un incremento en la demanda.
- Operar el sistema de caramelización para determinar las condiciones y ajustes de operación para obtener el producto con las características deseadas por la empresa.
- Determinar el costo del pan “tipo rosca” utilizando el nuevo proceso de caramelización y cobertura y compararlo con el costo anterior para determinar el ahorro.

III. JUSTIFICACIÓN

La empresa en cuestión actualmente utiliza diariamente 362.87 kg (ocho quintales) de harina para la fabricación del pan “tipo rosca” con un rendimiento de 9648 unidades de 0.063 kg cada una, pero el proceso utilizado para la realización del caramelo y la cobertura eran lentos (16 horas para las unidades producidas) y debido a esto no se lograba cumplir con dicho requerimiento en las ocho horas de trabajo por lo que se realizaba en dos turnos y además, se estaba perdiendo azúcar al momento de hacer el caramelo debido a que esta se sedimentaba en la parte inferior de la olla. Se realizaban cuarenta y cuatro lotes de caramelo. Era necesario diseñar, construir e instalar el equipo que permitiera cumplir con el requerimiento diario de producción, en el horario de trabajo, y que además se aumentara la producción.

Este proyecto será de gran interés para las panificadoras que produzcan pan “tipo rosca” (aproximadamente, 6 industrias más lo realizan así como unas 50 personas independientes que la realizan en sus casas para la venta en ferias), ya que se determinará la composición adecuada de azúcar y agua para la caramelización de pan “tipo rosca”. Aunque cada panificadora tenga su propia fórmula y proceso para realización de este caramelo, la composición encontrada les puede servir como un parámetro de inicio para encontrar la forma adecuada de realizar su caramelo. Con base en esta composición, se determinó la temperatura necesaria de fabricación para la reducción de pérdidas del azúcar y así, se podrá diseñar el equipo para caramelizar este pan. El principal objetivo de este trabajo es generar un impacto económico tanto para la empresa, en este caso Industria Panificadora de Oriente, S.A., como para la industria panificadora de Guatemala en general. Ya que permite optimizar el proceso de caramelización y cobertura del producto, aprovechando al máximo los recursos, disminuyendo tiempos de producción y obteniendo el máximo efecto económico que podría ser de hasta un 5% por cada 9648 unidades de 0.063 kg cada una de pan “tipo rosca”.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Pan

El pan es un producto alimenticio que se elabora a partir del cocimiento de una mezcla de harina (la harina de trigo es la ideal para elaborar este producto) con un líquido (normalmente agua o leche) y puede contener otros ingredientes (como huevo, azúcar, sal, manteca, etc.). Existen dos tipos generales de pan de acuerdo al contenido de levadura. El que contiene levadura se denomina pan fermentado y el que no la contiene se conoce como pan ácimo. Éste último se caracteriza por ser un pan de aspecto plano y poco esponjoso, mientras que el fermentado posee más proteínas, olor y sabor. (Botanical, 2013)

B. Historia

En un inicio, el hombre consumía los granos de trigo que caían de las plantas; luego, los empezó a cocer en agua y más adelante, los asó en el fuego, hasta que se comenzó a quitar la corteza a los granos y a molerlos usando dos piedras. Con esta molienda, se realizaba una harina y esta se humedecía para producir galletas. Esto fue así por mucho tiempo. (I.A.G., 2013)

Según los datos históricos que se han estudiado, se le acredita a los egipcios como los inventores del pan fermentado, no se sabe en sí como fue que lo crearon y hay diversas declaraciones sobre lo mismo, pero se cree que fue por un accidente y éste se realizó a mano durante mucho tiempo. Luego de su descubrimiento, éste se extendió por todo Egipto, a los hebreos y pueblos vecinos como parte de su alimentación. Después, fue adoptado por los griegos y romanos (300 años A.C.), quienes desarrollaron nuevas recetas y dieron paso a una gran diversidad de panes, que contenían ingredientes como arroz, leche, queso, sal, granos de ajonjolí, nueces, almendras, pimienta, hojas de laurel, etc. (I.A.G., 2013)

Durante la Edad Media (Siglo V-XV) se disminuyó la cantidad de panes y la Corte Francesa los determina como una comida para los que tenían abundancia de dinero. En esta época, se realizaron 20 tipos de panes entre los cuales están: el pan del noble (comido en la Corte), el pan de Valet (comido en oficinas y mucho mejor que el que comía el pueblo), el pan del escudero, etc., pero ninguno de estos fue tan elaborado y sólo contenían ciertas semillas en la masa debido a su alto precio. Además, es en Francia donde nace el nombre de panadero para la persona a quien elabora pan en forma de bola. (I.A.G., 2013)

Al finalizar la Edad Media, se dieron muchas innovaciones en la técnica de realización de pan entre las cuales se encuentran:

- En el siglo XVIII se empieza a emplear levadura de cerveza para la realización del pan para que este tuviera más sabor y fuera más ligero.
- De 1840-1920, se empleó una nueva técnica de panificación empleando la levadura de cerveza que consistía en la realización de una masa madre (se emplea agua, harina y levadura) y esta se deja fermentar por un tiempo y luego, se agrega ésta a la formulación restante del pan para elaborar así el pan del día.
- En el siglo XIX, en Holanda, se introdujo la levadura en granos fabricada únicamente para la panificación que se obtenía de la proliferación de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. (I.A.G., 2013)

Desde el siglo XIX hasta hoy en día, ha cambiado la forma de fabricación del pan, ya que se ha industrializado. Debido a esto, se han mejorado las formas de cultivo y recolección del trigo, así como también la forma producción de harina, y sobre todo, la tecnología que se emplea para realizar el pan. Por ejemplo, en el cultivo se emplean fertilizantes los cuales aumentan las cosechas, el uso de pesticidas asegura la recolección, la modernización de los hornos (antes se empleaban de leña) permiten controlar la temperatura y tiempo por lo que se obtiene una mejor cocción del pan. (Díaz, 2011) (I.A.G., 2013)

Así, hoy en día, el pan se realiza a través de máquinas con controles electrónicos que aumentan la capacidad de producción y para su realización se utiliza la levadura especial de panificación (como la desarrollada en Holanda) junto con una mezcla de ingredientes entre los cuales se puede encontrar harina de trigo, de maíz, arroz o papa, además del uso de leche, queso, sal, saborizantes, granos de ajonjolí, etc. En algunas industrias, se emplea premezclas (mezclas realizadas con harina y otros compuestos como mejorantes químicos) para aumentar la velocidad de producción ya que a estas solo se debe de agregar ciertos ingredientes (varían depende de la premezcla) para realizar el pan. La invención del pan fue muy importante ya que conforme pasó el tiempo, se fueron realizando nuevas formulaciones y hoy en día, es parte de la dieta del día al día de las personas. (Díaz, 2011) (I.A.G., 2013)

C. Materias primas para pan “tipo rosca”

1. **Harina de trigo:** El harina es obtenida a través de la molienda del grano de trigo. En el ámbito panadero, la harina de trigo es caracterizada de acuerdo a la composición de proteínas, almidón, fibras y otras propiedades fisicoquímicas tales como el tamaño de las partículas de la misma y la calidad de la proteína contenida. Un ejemplo de esto, es que el harina cuando posee un mayor contenido de proteína, incrementa su capacidad en la masa para retener gas y por esto, aumenta el volumen del pan. La función del almidón en el pan depende de la capacidad de absorción de agua del mismo debido a que las moléculas de almidón se inflan al absorber agua. (Cauvain, 2006)

2. **Agua:** Es el ingrediente más simple de los usados en panadería y es importante para las propiedades del pan influyendo en la calidad del producto final y su tiempo de caducidad. El nivel de agua que se emplea en una fórmula de pan debe ser óptimo para conseguir las propiedades necesarias para el manejo del producto a lo largo de su producción. En la masa del pan los niveles de agua se relacionan con la capacidad de manejo de la masa durante su proceso y las cantidades utilizadas deben ser lo más altas posibles para tener un buen rendimiento, ya que en base a ésta se solubilizan y dispersan los ingredientes durante el mezclado. Por último, el contenido de agua en el producto final determina la cantidad de tiempo que el producto puede resistir sin que se enmohezca. (Cauvain, 2006)

Se debe tomar en cuenta que el agua no puede contener cloro ya que éste tiene un efecto negativo en la masa, particularmente en la actividad de la fermentación ya que la levadura es sensible al cloro. Además, un alto nivel de cloro podría también alterar la función de algunos componentes de la harina, enzimas particularmente. Así como el cloro afecta a la masa, también afecta al caramelo, ya que el cloro puede causar un cambio de color así como un cambio de sabor en el mismo. Por estos motivos, es necesario el uso de un filtro de carbón activado para remover el cloro. (Cauvain, 2006) (Rosada, 2011)

3. Sal: Se emplea para diversos propósitos en el pan. El propósito principal es la contribución al sabor. Además, influye en la durabilidad del producto ya que contribuye al control de humedad en el mismo al aumentar de esta forma el tiempo libre de mohos. Un punto importante que se debe tomar en cuenta sobre la sal en el pan fermentado es que ésta limita la actividad de la levadura y por esto es que la formulación debe de estar equilibrada. En otras palabras, mientras menor sea el contenido de sal, menos levadura se emplea manteniendo un el tiempo determinado de fermentación. (Cauvain, 2006)

4. Levadura: La levadura empleada en la producción de pan es *Saccharomyces cerevisiae* y se utiliza para formar dióxido de carbono en la elaboración del pan. Esto se lleva a cabo químicamente mediante el rompimiento de azúcares simples y producción de dióxido de carbono y alcohol. El dióxido de carbono es el responsable del crecimiento y textura del pan, mientras que el alcohol es un producto no deseado del proceso de fermentación y se elimina durante el horneado. Es importante recordar que la reacción de la levadura es sensible a la temperatura, siendo el rango ideal de 40-43°C y ésta se inactiva a los 55°C. (Cauvain, 2006)

5. Manteca: La manteca es una grasa animal o vegetal. Para la realización de este pan, se utiliza la manteca vegetal. La manteca se emplea en el pan fermentado para incrementar su sabor. Además, desde el punto de vista de la estructura del pan, la manteca aumenta la estabilización de las burbujas del gas en la masa lo que produce una mejor retención de gas dentro de la masa mejorando así su forma y tamaño al momento de ser horneado el pan. Inhibe la unión de burbujas de gas lo que le da una estructura más fina al pan terminado, y por último, ayuda a la suavidad de la miga del pan. (Cauvain, 2006)

6. **Azúcar refinada:** En la fabricación de pan se emplea azúcar refinada debido a que presenta una solubilidad rápida. El azúcar es la materia prima que da dulzura a los productos de panadería pero a la vez determina la estructura del pan y la forma en como este crece. En panes fermentados (que poseen levadura) el incremento en sacarosa afecta la capacidad de producción de gas de la levadura, por lo que un pan al contener más azúcar, necesitará mayor tiempo de fermentación para alcanzar el volumen deseado. Esta misma azúcar es la que se emplea para la realización del caramelo debido a que su pureza es aproximadamente 99.8% de sacarosa y de esta forma, no contiene otras sustancias como minerales que afecten la solvatación del azúcar en el agua. (Cauvain, 2006)

7. **Colorante artificial en polvo:** Es utilizado para dar color a un producto, en este caso, se utiliza para dar color al caramelo empleado sobre el pan “tipo rosca”. Los colorantes artificiales son probados de forma rigurosa cuando se emplean en alimentos para asegurarse que estos no sean dañinos para las personas al momento de consumirlos. Las ventajas de estos colorantes frente a los naturales es que son más estables a la luz, al calor y a diversos pH. Estos pueden ser fabricados en polvos, soluciones preparadas, pastas o gelatinas pero la más utilizada es la de polvos y se puede utilizar la tonalidad apropiada mediante la disolución del mismo en agua. (Edwards, 2007)

D. Caramelo

El caramelo es un alimento realizado a base de azúcar. Este se realiza según las fases de cocción de la misma. Para hacer el caramelo, se lleva a cabo la reacción de caramelización. Esta reacción es un tipo de pardeamiento no enzimático, llamada también pirolisis, es una reacción de oscurecimiento que tiene lugar cuando los azúcares se calientan por encima de su punto de fusión. Su utilización más importante se da en la producción de caramelos comerciales. No obstante, la reacción se presenta también en la elaboración de leche condensada y azucarada, frituras, derivados del pan o dulces a base de leche como las natillas. (Hui, 2006) (Urruego, 2011)

Las fases de cocción son las siguientes:

1. Punto de napado

a. Temperatura: 105°C

b. Identificación: Una fina película de jarabe se estira como un napado en la superficie y forma gotas antes de caer.

c. Ejemplo: Jalea. (Urruego, 2011)

2. Punto de hebra fina

a. Temperatura: 107°C

b. Identificación: Una gota de jarabe entre el pulgar y el índice forman un filamento muy fino cuando los dedos se separan.

c. Ejemplo: mousse de frutas. (Urruego, 2011)

3. Punto de hebra gruesa

a. Temperatura: 110°C

b. Identificación: Una gota igual a la anterior en filamento que se alarga sin romperse y es más viscosa, gruesa y resistente.

c. Ejemplo: Crema de mantequilla. (Urruego, 2011)

4. Punto de bola

a. Temperatura: 115°C-117°C

b. Identificación: Sumergir dedos en agua fría y tomar una muestra de azúcar, sumergirlos nuevamente y se formará una pequeña bola blanda y suave.

c. Ejemplo: merengue italiano. (Urruego, 2011)

5. Punto de bola suave

- a. Temperatura: 120°C
- b. Identificación: la bola formada es más consistente
- c. Ejemplo: Fondant suave. (Urruego, 2011)

6. Punto de bola fuerte

- a. Temperatura: 125°C - 130°C
- b. Identificación: La bola se vuelve más firme y conserva su forma redonda.
- c. Ejemplo: Fondant duro. (Urruego, 2011)

7. Punto caramelo suave

- a. Temperatura: 135°C - 140°C
- b. Identificación: Al sumergir los dedos cubiertos de azúcar en agua fría, el azúcar se endurece emitiendo pequeños crujidos y ya no se forma una bola.
- c. Ejemplo: Pasta de almendra. (Urruego, 2011)

8. Punto de caramelo fuerte

- a. Temperatura: 145°C - 150°C
- b. Identificación: En agua fría el azúcar se endurece de inmediato y se oye un chisporroteo y el azúcar se rompe.
- c. Ejemplo: frutas glaseadas con caramelo. (Urruego, 2011)

9. Caramelo Claro

- a. Temperatura: 155°C -165°C
- b. Identificación: El caramelo muestra un color más intenso de lo que es realmente.
- c. Ejemplo: Azúcar estirada. (Urruego, 2011)

10. Caramelo Medio

- a. Temperatura: 170°C - 180°C
- b. Identificación: Se revisa el color con papel de cera.
- c. Ejemplo: Crema de caramelo. (Urruego, 2011)

11. Caramelo Oscuro

- a. Temperatura: 185°C - 190°C
- b. Identificación: El azúcar se oscurece rápidamente y hay humo.
- c. Ejemplo: figuras decorativas. (Urruego, 2011)

E. Equipo empleado para producir pan “tipo rosca”

El Reglamento Técnico Centroamericano para las buenas prácticas de manufactura en la industria de alimentos y bebidas procesados (RTCA 67.01.33:06) en el punto 6 indica que:

«6. CONDICIONES DE LOS EQUIPOS Y UTENSILIOS

6.1 El equipo y utensilios deberán estar diseñados y contruidos de tal forma que se evite la contaminación del alimento y facilite su limpieza. Deben:

- a) Diseñados de manera que permitan un rápido desmontaje y fácil acceso para su inspección, mantenimiento y limpieza.

- b) Funcionar de conformidad con el uso al que está destinado
- c) De materiales no absorbentes ni corrosivos, resistentes a las operaciones repetidas de limpieza y desinfección
- d) No deberán transferir al producto materiales, sustancias tóxicas, olores, ni sabores.”»
(RTCA, 2003)

Debido a esta normativa, se emplea acero inoxidable en el equipo y utensilios empleados en las fábricas de alimentos, el tipo de acero inoxidable que se emplea normalmente es el AISI 304 o el AISI 316. Se utiliza el acero inoxidable ya que tiene una elevada resistencia a la corrosión, resistencia a variaciones térmicas y óptima capacidad de limpieza y, en consecuencia, elevado grado de eliminación de bacterias y microorganismos. De esta forma se impide que las materias primas, productos intermedios y productos finales se contaminen con microorganismos y bacterias. (Raca, 2004)

Entre los equipos empleados para la producción del pan “tipo rosca” se encuentran:

1. **Bandejas y carros para bandejas:** Las bandejas son de acero inoxidable y se emplean para colocar la masa ya boleada y figurada, y en estas pasará por la fermentación, horneado y enfriamiento. Los carros también son de acero inoxidable y se utilizan para almacenar y transportar las bandejas y de esta forma facilitar su transporte a través de la fábrica, en el caso de esta fábrica, los carros se colocan dentro de los hornos para el horneado del pan que está en las bandejas. (PS Group, 2013)

2. **Balanza:** Equipo empleado para pesar las materias primas para la producción de pan. Para mediciones más exactas se prefiere que estos equipos sean digitales ya que su precisión es mayor a una análoga. El rango de operación de la balanza varía dependiendo de la cantidad de producción dentro de la planta, por lo que puede que en una misma planta haya balanzas de distintos rangos. Las balanzas que normalmente se utilizan en la industria son balanzas de pie. (Quaglia, 1991)

3. Amasadora: Las amasadoras mecánicas se componen de un motor eléctrico de una o dos velocidades, que accionan el órgano (dispositivo de mezcla). Estas poseen un recipiente para la masa, que puede ser rotativo o fijo, abierto o cerrado, y posee un órgano para amasar. (Cauvain, 1998)

Existen diversos órganos que se pueden utilizar entre los cuales se encuentran la horquilla, espiral, zeta y en árbol vertical rotante a alta velocidad. Las amasadoras de espiral poseen una capacidad de mezcla de 1.81- 63.50 kg (4-140 lb) y la producción puede llegar a 453.59 kg/h (1000 lb/h). Estas trabajan la masa con una presión desde la parte de arriba hacia abajo pudiendo operar con masas que posean de 45-70% (m/m) de agua. Poseen un tiempo de amasado menor que cualquier otro tipo de amasadora y una capacidad de pasta mayor con respecto al resto de amasadoras que poseen menor capacidad. Al emplear esta amasadora se consigue una menor aireación y un desarrollo mayor de calor. (Cauvain, 1998) (Quaglia, 1991)

4. Boleadora divisora de masa: Este es un equipo empleado para dividir la masa en el volumen deseado pero a la vez, bolearla de forma automática. La forma en cómo funciona es que la boleadora permite el ingreso de una cantidad de volumen de masa determinada según el espacio que posee para así dividirla y bolearla mediante presión sobre la misma. Mediante el uso de este equipo se evita el esfuerzo físico de los trabajadores para realizar esta función. Además, asegura que haya una igualdad en el volumen de las bolas de masa realizadas por lo tanto la masa de cada una también será uniforme. Al dividir la masa de forma manual, hay mayor rango de pesos finales. (PS Group, 2013)

5. Cámara fermentadora: Hay diversas cámaras de fermentación entre las cuales se encuentran las tradicionales donde se aplica calor y humedad, las controladas y global retardadas donde se varía calor, humedad y frío, y también están las de bloqueo de fermentación donde se aplica frío. En las cámaras controladas se ingresan los carros con bandejas y se cierran, y mediante la variación de temperatura, humedad y tiempo que pasan los mismos dentro, se puede controlar la fermentación por las levaduras en el pan. (Tejero, 2013)

6. Horno: Hay diversos tipos de horno dependiendo del tipo de combustible y forma de horneado. Entre los más utilizados según el combustible que utilizan están los de gas propano, diésel y electricidad (este tiene el costo de operación más alto por el consumo eléctrico). Por la forma de horneado, están los de convección en los cuales las bandejas no se mueven, los rotativos donde se coloca el carro en estos y gira sobre un eje vertical permitiendo así un cocimiento uniforme y por último están los de pisos que funcionan mediante resistencias eléctricas. (PS Group, 2013)

El horno rotativo permite un fácil ingreso y egreso de los carros ya que la puerta se abre 180°. Este utiliza un quemador diésel, cuyo sistema se basa en una cabina de cocción redonda, que permite una circulación constante del aire y posee un sistema de recuperación de calor para evitar la caída de la temperatura entre las bandejas. (PS Group, 2013)

7. Estufa y olla: Estos equipos son empleados para la realización del caramelo y la cobertura de la rosca. La estufa a emplear es una estufa de gas propano industrial con quemadores de aluminio. La olla a utilizar debe ser de acero inoxidable tal como el resto de los equipos. Esta debe ser cilíndrica para tener así una mayor área de transferencia de calor por la parte inferior asegurando así la transferencia eficiente de la energía. Dentro de esta se realiza el caramelo y luego se sumerge el pan “tipo rosca” en el mismo. (ComercializadoraDF, 2013)

8. Silos y tolvas de almacenamiento: Se pueden utilizar para el almacenaje de materias primas en industrias panaderas. Existen tres tipos que son: cilíndricos, cuadrados y rectangulares. La carga de los mismos, se hace normalmente por el centro, mediante un sistema de elevación del producto, compuesto por un transportador de inyector, otro transportador que sube el producto de forma vertical y el transportador repartidor. La descarga de los mismos puede ser por gravedad o por descarga forzada (empleando vibradores). En esta industria deben ser de acero inoxidable y además, en su diseño, se debe considerar el material a colocar ya que cada uno posee distintos ángulos de reposo que pueden permitir o no que el material fluya por la parte baja del silo. (Nuteco, 2013)

9. Quemadores de gas: Son aparatos diseñados para realizar la mezcla del combustible con el aire y permitir la combustión controlada del gas. Los quemadores se diseñan de forma que cumplan con mantener una llama estable, deben mezclar homogéneamente el gas y el aire, la cantidad de gas quemado debe ser adecuada a la potencia y la combustión del gas debe ser completa. Hay dos tipos, los atmosféricos y los presurizados. (Hernandez, 2008)

a. **Quemadores atmosféricos:** Los quemadores atmosféricos son aquellos en los que el aire se toma del ambiente que los rodea. Hay de llama blanca, en los cuales no se da una mezcla previa de gas y aire y normalmente están hechos con un tubo metálico con orificios por donde sale el gas a la atmósfera. También hay quemadores de llama azul, en éstos, el aire que se precisa para realizar una combustión completa se aporta en dos etapas: en la primera una parte del aire se mezcla con el gas antes de la combustión (aire primario) y en la segunda, el resto del aire se aporta a la altura de la llama (aire secundario). Las llamas de estos quemadores, cuando están bien reguladas y con una combustión completa, son estables y de color azul. También hay de radiación infrarroja y catalíticos. En los de radiación infrarroja, la llama se forma en las proximidades del extremo exterior de los pequeños canales que tiene una placa cerámica. Al calentarse la placa se pone al rojo y genera calor en forma de radiación infrarroja. Los catalíticos poseen un catalizador que tiene la misión de favorecer la reacción química entre el combustible y el oxígeno del aire. (Hernandez, 2008)

b. **Quemadores presurizados:** Estos quemadores se caracterizan por disponer de un sistema de alimentación forzada de aire y dispositivos de regulación, control y seguridad que los ponen en marcha o paran automáticamente en función de los valores de determinados parámetros como la temperatura de la solución que calientan. (Hernandez, 2008)

10. Tanque agitado: Generalmente el equipo consiste en un recipiente cilíndrico (cerrado o abierto), y un agitador mecánico, montado en un eje y accionado por un motor eléctrico. Las proporciones del tanque varían ampliamente, dependiendo de la naturaleza del problema de agitación. El fondo del tanque debe ser redondeado, con el fin de eliminar los bordes rectos o regiones en las cuales no penetrarían las corrientes del fluido. La altura del líquido, es aproximadamente igual al diámetro del tanque. Sobre un eje suspendido desde la parte superior, va montado un agitador. El eje está accionado por un motor, que puede estar conectado directamente al eje, pero generalmente se conecta utilizando una caja de engranajes reductores. El agitador crea un cierto tipo de flujo dentro del sistema, dando lugar a que el líquido circule por todo el recipiente y vuelva de vez en cuando al agitador. (DESCOM, 2009).

11. Agitadores:

a. **Agitadores de hélice:** Un agitador de hélice es un agitador de flujo axial que opera con velocidad elevada y se emplea para líquidos pocos viscosos. Los agitadores de hélice más pequeños giran a toda la velocidad del motor. Las corrientes de flujo, que parten del agitador, se mueven a través del líquido en una dirección determinada hasta que son desviadas por el fondo o las paredes del tanque. La columna de remolinos de líquido de elevada turbulencia, que parte del agitador, arrastra en su movimiento al líquido estancado, generando un efecto considerablemente mayor que el que se obtendría mediante una columna equivalente creada por una boquilla estacionaria. Las palas de la hélice cortan o friccionan vigorosamente el líquido. Debido a la persistencia de las corrientes de flujo, los agitadores de hélice son eficaces para tanques de gran tamaño. (ITESCAM, 2013)

b. **Agitadores de paletas:** Para problemas sencillos, un agitador eficaz está formado por una paleta plana, que gira sobre un eje vertical. Son corrientes los agitadores formados por dos y 3 paletas. Las paletas giran a velocidades bajas o moderadas en el centro del tanque, impulsando al líquido radial y tangencialmente sin que exista movimiento vertical respecto del agitador, a menos que las paletas estén inclinadas. Las corrientes de líquido que se originan se dirigen hacia la pared del tanque y después siguen hacia arriba o hacia abajo. Las paletas también pueden adaptarse a la forma del fondo del tanque, de tal manera que en su movimiento rascan la superficie o pasan sobre ella con una holgura muy pequeña. Un agitador de este tipo se conoce como agitador de ancla. Estos agitadores son útiles cuando se desea evitar el depósito de sólidos sobre una superficie de transmisión de calor, como ocurre en un tanque enchaquetado, pero no son buenos mezcladores. Generalmente trabajan conjuntamente con un agitador de paletas de otro tipo, que se mueve con velocidad elevada y que gira normalmente en sentido opuesto (ITESCAM, 2013).

c. **Agitadores de turbina:** La mayor parte de ellos se asemejan a agitadores de múltiples y cortas paletas, que giran con velocidades elevadas sobre un eje que va montado centralmente dentro del tanque. Las paletas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales. El rodete puede ser abierto, semicerrado o cerrado. Los agitadores de turbina son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades; en líquidos poco viscosos, producen corrientes intensas, que se extienden por todo el tanque y destruyen las masas de líquido estancado (ITESCAM, 2013).

12. **Termómetro:** instrumento empleado para medir la temperatura de una solución, objeto o entorno. Hay de diversos tipos según su funcionamiento y los más utilizados son:

a. **Piró metros:** Se basa en el calor o la radiación visible emitida por objetos calientes, y mide el calor de la radiación mediante un par térmico o la luminosidad de la radiación visible, comparada con un filamento de tungsteno incandescente conectado a un circuito eléctrico. (USDA, 2012)

b. **De líquido en tubo de vidrio:** Los líquidos que se utilizan más frecuentemente son el mercurio y el alcohol etílico. Estos termómetros están constituidos por un depósito de vidrio, esférico o cilíndrico, que se prolonga por un tubo capilar también de vidrio, cerrado por el otro extremo. Por el calor, el líquido encerrado en el depósito se expande y asciende por el tubo de vidrio. La temperatura se lee gracias a una escala graduada cuyo valor corresponde al extremo de la columna del líquido cuando ésta se para. (USDA, 2012)

c. **Bimetálicos:** El órgano sensible llamado lámina bimetálica está formado por dos láminas metálicas escogidas entre metales que tengan sus coeficientes de dilatación lo más dispares posibles, y están soldados una contra la otra, a lo largo de toda su longitud. Cuando la temperatura varía, una de las láminas se dilata más que la otra, obligando a todo el conjunto a curvarse sobre la lámina más corta. (USDA, 2012)

13. **Refractómetro:** instrumento óptico que funciona mediante la refracción de luz que pasa a través de una solución. Este instrumento mide los grados Brix que son el cociente total de sacarosa disuelta en un líquido. (Gallardo, 2007)

14. **Balanza de humedad:** ésta determina la sustancia seca que queda tras un proceso de secado con energía infrarroja de la sustancia total previamente pesada y calcula así la humedad de la masa pesada húmeda. Durante el proceso de secado se puede ver en la pantalla la disminución del contenido de humedad. (PCE, 2013)

F. Proceso de producción de pan “tipo rosca”

1. **Análisis de materias primas:** El primer paso en el proceso de producción es el análisis de las materias primas para ver que estas cumplan los requerimientos de la empresa. Las materias primas principales para este análisis son los siguientes. (Hui, 2006)

a. **Harina:** El análisis a realizar debe incluir los criterios técnicos de: humedad, alveograma y porcentaje de proteínas. (Tejero, 2013)

b. **Levadura:** Se realizará un control del color, olor y sabor, determinar la humedad, actividad fermentativa y temperatura de ingreso. (Tejero, 2013)

c. **Sal:** debe disolverse en agua limpia y observar si se depositan sustancias insolubles en el fondo, además, debe medirse granulometría. Además, debe analizarse su humedad. (Tejero, 2013)

d. **Agua:** debe realizarse un análisis de la cantidad de cloro, microbiológico y físico-químico. (Tejero, 2013)

e. **Azúcar:** debe medirse la humedad, solubilidad y granulometría. (Tejero, 2013)

Hay que considerar que este análisis no lo pueden realizar todas las industrias debido a que el equipo requerido para realizarlo por completo requiere de inversión. Por lo tanto las industrias que no lo realizan deben pedir los certificados a las empresas que realizan la materia prima para asegurarse que cumplan con los estándares requeridos. (Hui, 2006)

2. **Almacenamiento de materias primas:** al aprobar las materias primas para su ingreso a la planta, estas se deben almacenar de forma adecuada. La levadura debe almacenarse en 3°C por lo que se utiliza un cuarto frío o una refrigeradora. Con el resto de materias primas, estas pueden almacenarse en una bodega de materias primas estibadas en sacos o bien, utilizando silos de almacenamiento. (Hui, 2006)

3. **Pesar materias primas:** Todas las materias primas (harina, agua, levadura, manteca vegetal, azúcar y sal) deben ser pesadas correctamente para asegurarse que una vez se agreguen a la masa, estas estén en las proporciones adecuadas para que el producto que se obtenga sea tal y como se espera. Esto se realiza mediante el uso de balanzas digitales aunque también pueden emplearse balanzas analógicas así como balanzas de contra peso. En estas balanzas, se coloca un recipiente y se tara, y sobre este se agrega la materia prima a pesar. Se pesa la cantidad requerida por lote de producción y se identifica con un papel. (Hui, 2006)

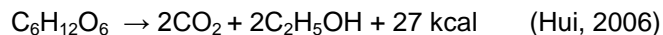
4. **Mezcla y amasado:** Luego de pesar los ingredientes, estos se mezclan en la amasadora para proceder a amasarlos y formar la masa del pan, el orden de mezclado está indicado en la sección de antecedentes). Al momento de mezclar los ingredientes, se tiene que tener cuidado con la sal y la levadura, esto se debe a que si la levadura entra en contacto con la sal, debido a que es higroscópica empezará a consumir el agua de la célula de la levadura y ésta se deshidratará. Si la sal se coloca sobre la levadura, se empezará a disolver y la mezcla se volverá líquida. (Hui, 2006)

Durante la mezcla y el amasado se determinan las características del pan a obtener, ya que si la masa no se amasa lo suficiente o se amasa demasiado las propiedades de la masa serán distintas, puede ser más blanda o más dura o inclusive pudo haber llegado a una temperatura muy alta debido a exceso de amasado lo que provoca que parte de la levadura muera y ya no crezca como se desea al momento de fermentar y también afectará el color final del producto. Al terminar el amasado, la masa ya queda amasada y refinada (el término refinada se refiere a que se desarrolló adecuadamente el gluten, el cual es una proteína que permite que la masa sea elástica y tenga buenas propiedades de retención de gas). A lo largo del amasado, se pueden observar diversas etapas, primero, la masa está pegajosa y fría, luego se empieza a calentar y secar. Se forma una masa que cambia de un color amarillento a uno más blanco y por último la temperatura y el manejo de la masa es el requerido. Si se amasa de más, ésta se calentará demasiado, perderá elasticidad y se volverá un puré. Debido a esto es que hay que tener cuidado en esta etapa del proceso. (Hui, 2006)

5. **División, boleo y figura:** Para esta parte del proceso, se utiliza una divisora y boleadora automática, esto con el objetivo de disminuir tiempo, mejorar rendimientos y asegurarse que cada bola contenga la misma cantidad de masa, en este caso, cada bola es de 0.06 kg (2.25 oz) y el boleo dentro de la máquina es de tres segundos a una velocidad de 15 golpes por minuto. Luego de que las bolas ya están hechas, se procede a figurarlas en la forma deseada, en este caso, una rosca. (Hui, 2006)

6. Fermentación: Durante el proceso de fermentación, se controla la temperatura y humedad del ambiente en el cual se encuentra la masa, en este caso dentro de una cámara de fermentación, por un tiempo determinado. A lo largo de este proceso, la masa pasará a ser más grande y suave, esto se lleva a cabo mediante la acción de las levaduras que convierten los azúcares en la masa a dióxido de carbono permitiendo una expansión volumétrica y un descenso del pH de la masa. Por último, se lleva a cabo una hidrólisis mediante enzimas que suavizan el gluten de la masa y de esta forma cambian las características de la masa y permite que esta pueda retener mayor cantidad de gases. (Hui, 2006)

El proceso de las levaduras en la fermentación, se consumen azúcares para producir dióxido de carbono, alcohol y calorías según la siguiente reacción química:



El dióxido de carbono que se va produciendo se va disolviendo en la masa hasta que esta llega a un punto de saturación y luego de este punto, el dióxido de carbono producido se disuelve en burbujas de aire que contiene la masa debido al proceso previo de amasado y solo un poco escapa al ambiente. Así, lo que provoca el crecimiento volumétrico de la masa es que cuando el dióxido de carbono se disuelve en las burbujas de aire, estas aumentan su presión y se van agrandando y mientras se agrandan el volumen de la mezcla incrementa al igual que su elasticidad. El pH en la masa decrece debido a que el dióxido de carbono disuelto dentro de esta se convierte a ácido carbónico el cual es un ácido débil y éste es el que provoca el cambio de pH. Este cambio de pH sirve para que las enzimas dentro de la masa se vuelvan más activas y se realice la hidrólisis de azúcares y proteínas. (Hui, 2006)

En el proceso de la hidrólisis las enzimas actúan sobre los azúcares y de esta forma suavizan la masa, en donde la α -amilasa en la harina convierte las azúcares dañadas a dextrina y la β -amilasa convierte la dextrina a maltosa. Durante este proceso se libera agua que al inicio es absorbida por las azúcares dañadas, se provoca una suavización de la masa y se forme una red de estructuras de gluten. La hidrólisis de las proteínas, por proteasas, suaviza el gluten y provocan los cambios reológicos en la masa ya que le brindan más elasticidad al gluten permitiendo que pueda retener mayor cantidad de gas y permite que el producto final contenga un mejor desarrollo en cuanto a tamaño y consistencia. (Hui, 2006)

7. Horneo: Durante este proceso, la masa se transforma a un producto liviano comestible y con diversos sabores debido a la influencia del calor. Esto se da debido a que a lo largo del horneo, la estructura de la masa es alterada irreversiblemente por una serie de interacciones químicas, físicas y bioquímicas. Entre las físicas se puede observar la expansión volumétrica, la formación de una corteza. En las químicas, se encuentra la gelatinización de las proteínas de la harina y la evaporación del alcohol formado en la fermentación. Entre las bioquímicas están inactivación de la levadura y las enzimas. Mediante este proceso es que se obtendrá el producto con una dureza deseada y un color de corteza determinado. (Hui, 2006)

8. Caramelización y cobertura: Proceso mediante el cual el azúcar en influencia con el calor es convertido a un compuesto que varía de color entre amarillo pálido y café oscuro y produce caramelo. Para esto, se emplea agua y azúcar. Luego, de realizar la caramelización, se cubre el pan con el mismo. Este proceso se realiza en ollas sobre una estufa. (Hui, 2006)

9. Enfriamiento: Una vez cubierto de caramelo el producto, se debe de permitir un tiempo para que este enfríe y se pueda proceder a empacar. Normalmente el tiempo de enfriamiento es de 10 a 15 minutos para productos pequeños y de 30 a 45 minutos de productos grandes. (Hui, 2006)

10. Empaquetado: Ya frío el pan, se procede a empaquetarlo, este proceso se puede realizar de forma manual colocándolo en bolsas de polipropileno tipo celofán, o bien, de forma automática utilizando una empaquetadora, y esto se realiza según la presentación deseada para el mercado. (Hui, 2006)

11. Limpieza: Se efectúa usando de forma combinada métodos físicos y métodos químicos. El detergente se disuelve en agua caliente entre una temperatura de 48 a 50 °C. Para eliminar las suciedades de las superficies se enjabona y se restriega enérgicamente con un cepillo. Las piezas de los equipos pueden sumergirse en la solución detergente durante 10 minutos para ablandar los restos de suciedades. (Hui, 2006)

V. ANTECEDENTES

Esta información se obtuvo del Gerente de Producción de la Industria Panificadora de Oriente, S.A., Ingeniero Mecánico con 5 años de experiencia en la producción de pan y con un técnico en panificación.

A. Pan “tipo rosca”

Es un pan blanco desabrido con la diferencia que éste permanece más tiempo dentro del horno, permitiendo así que sea más crujiente que lo normal. Además de esto, su forma es de una rosca y se cubre con caramelo para darle un sabor dulce y característico. Se le llama pan blanco debido a que utiliza harina de trigo sin adición de harina integral o de otros granos, y desabrido debido a que es un pan con poco sabor. Contiene una pequeña cantidad de sal y azúcar para permitir una mejor corteza, buena textura de miga y mayor tiempo de caducidad sin influir mucho en su sabor. Este producto se vende principalmente en el oriente de Guatemala.

Figura No. 1. Pan “tipo rosca”



Figura No. 2. Pan “tipo rosca” recién caramelizado



B. Características del pan “tipo rosca” producido:

El pan “tipo rosca” producido en esta empresa, tiene una masa de 0.06 kg (2.25 oz) más la masa de caramelo que es aproximadamente de 0.10 kg (3.7 oz). El caramelo realizado, debe ser de color rojo y debe ser duro, que al momento de morderse se quiebre. El producto tiene una duración de 15 días y este producto se almacena empacado en bolsas de celofán con seis unidades y se colocan en cajas contenedoras estibadas en la bodega de producto terminado.

C. Descripción del proceso de realización de pan “tipo rosca”:

1. Mezcla y amasado: Para el pan “tipo rosca”, luego de pesar adecuadamente los ingredientes, se coloca primero agua con azúcar y sal y se deja disolver estas partículas, luego se coloca la harina y sobre esta la levadura y se activa la amasadora, una vez ya se esté amasando, se agrega la manteca. El amasado dura 10 minutos en segunda velocidad (amasadora de dos velocidades)

2. **División, boleo y figura:** Una vez se da la división y boleo y se obtiene cada bola de 0.06 kg (2.25 oz), esta es figurada a mano primero, se estira la masa y luego, se realiza la forma de rosca. El pan ya figurado se coloca en bandejas engrasadas a suficiente distancia para que no topen entre ellas. Estas bandejas se colocan en los carros de bandejas.

3. **Fermentación:** Durante el proceso de fermentación, se controla la temperatura y humedad del ambiente en el cual se encuentra la masa, en este caso dentro de una cámara de fermentación, por un tiempo determinado. En este proceso, los carros de bandejas que contienen el producto se ingresan en la cámara de fermentación. Para la producción del pan “tipo rosca”, la cámara de fermentación trabaja a 90% de humedad y temperatura de 40°C durante 1 hora.

4. **Horneo:** Los carros de bandejas que se sacan de la cámara de fermentación se ingresan en los hornos rotativos. El horneado del pan “tipo rosca” se da a una temperatura de 185°C por 20 minutos. Una vez se retira el carro del horno, este se deja enfriando antes de proceder al siguiente paso.

5. **Caramelización:** Actualmente en la industria donde se desarrolla el trabajo se trabaja con un caramelo realizado de la siguiente manera: primero, se mezclan los ingredientes en este caso, 39.92 kg (88 lb) de azúcar, 5.04 kg (11.12 lb) de agua y 0.06 kg (0.13 lb) de colorante rojo por cada 76.92 kg de pan “tipo rosca” que se produzca (aproximadamente 1206 unidades), y se llega a una temperatura de 90°C manteniéndolo en movimiento constante por aproximadamente 40 minutos, luego se baja la temperatura y se mantiene a 70° C durante el proceso de cobertura con el caramelo al producto. Al haber llegado a esta temperatura, se inicia la inmersión de las roscas en el caramelo utilizando tenazas hasta que estén totalmente cubiertas por el mismo. Para medir la temperatura, se utiliza un termómetro digital bimetálico el cual se coloca en el centro de la solución y se sumerge un poco en la misma.

Este proceso se realiza en una olla sobre una estufa. La olla es de aluminio su capacidad es de 0.0344 m^3 (34.4L) y su forma es de cono truncado invertido. Debido a la capacidad de la olla, el proceso es en lotes, en los que se realice el caramelo para la olla completa y cuando el nivel del mismo ya va por la mitad de la olla, se agrega más agua y azúcar para caramelizar. El nivel no se permite que baje de la mitad para que no haya variación en el caramelo y por lo tanto en la cobertura del producto. El área disponible para realizar el proceso es de 3 m^2 . La pérdida del caramelo en el proceso es de 11.57% lo que representa una pérdida neta de 230.12 kg diarios.

6. Enfriamiento: Una vez cubierto el pan “tipo rosca” con el caramelo, se debe de asegurar que este no esté goteando caramelo y que este ya se haya adherido adecuadamente en el pan. Luego este es colocado sobre una bandeja sin grasa y colocar las bandejas en un carro de bandejas. El pan se coloca en bandejas para permitir que se enfríe hasta una temperatura de aproximadamente 25°C . Esto lleva un tiempo aproximado de 5 minutos. Si el pan estuviera goteando caramelo o este no se haya adherido adecuadamente al pan, al momento de enfriarse, el pan podría quedarse pegado en la bandeja o bien, el caramelo puede desprenderse del pan

7. Empaquetado: Luego de que ya se haya enfriado se empaqueta manualmente en bolsas de celofán selladas mediante un tape. Se utiliza el celofán ya que posee baja permeabilidad a la grasa y a las bacterias. La forma de presentación de este producto es en paquetes de 6 unidades con un peso aproximado de 1.02 kg. Su tiempo de vida es de 15 días aunque a los 8 días se da una decoloración en el caramelo del producto. A la bolsa se le coloca una etiqueta identificadora del lote. La forma de almacenaje del mismo es la colocación de las bolsas en cajillas y estas se estiban en la bodega de producto terminado para su despacho.

8. Limpieza: Luego de realizar la producción, se debe realizar una limpieza del equipo. Primero, se limpia con agua y detergente. Luego, a los hornos se les aplica un desengrasante Portos A50, y también a los hornos como al resto de los equipos se aplica un desinfectante Lemin 32 para terminar así con su limpieza. Esta limpieza también es necesaria antes de iniciar la producción.

D. Descripción del caramelo empleado:

Como se puede observar en el marco teórico, se expuso lo que era caramelo y los puntos de cocción del azúcar para realizar el mismo. Como se podrá ver en este trabajo, el caramelo que se realiza para el pan "tipo rosca" no es un caramelo en su significado científico (ya que nunca se lleva al mismo a las temperaturas necesarias para producir caramelo), sino que es una solución de agua saturada con azúcar. Esta solución se calienta para que se dé la solvatación de del azúcar y así tenga la consistencia deseada en el producto. En la industria panadera, a esta solución de azúcar con agua y colorante se le conoce como caramelo. Además, en el ámbito de la industria panadera, el término caramelización incluye los procesos de realizar el caramelo (la solución) y cubrir el producto con el mismo.

VI. METODOLOGÍA

A. Primera etapa:

Se observó el proceso de producción de pan “tipo rosca” y el proceso que se lleva a cabo para caramelizarlo. Es decir, se observó las condiciones de la producción, el cuidado que se le da al producto, las características y temperatura del caramelo que se utiliza. Se realizó también un estudio del producto, en cuanto a su tamaño y forma para el diseño del equipo. Se determinó la cantidad de pérdidas en el proceso mediante la recolección de los desperdicios de caramelo y la realización de un balance de masa y energía.

El proceso de recolección se realizó en triplicado y los datos necesarios para la realización del balance de masa y energía se realizaron en triplicado también, pero para el cálculo del balance de masa y energía se utilizó un promedio de esos datos. Entre los datos se obtuvo la temperatura ambiental, la temperatura del caramelo antes y después de llegar a su punto (empleando un termómetro digital: marca Winco, modelo TMT-DG5 con un rango de -45 a 200°C y una incertidumbre de $\pm 0.01^\circ\text{C}$.), además de la cantidad de unidades a caramelizar y su peso (obtenido con una balanza digital marca “GSC”, modelo “983451”), así como también se midió el tiempo de operación mediante el uso de un cronómetro marca Casio. Esta recolección de datos se realizó en distintos días durante la mañana con el primer lote para evitar que hubiera factores que afectaran la medición tales como una variación en la temperatura inicial del equipo. La recolección de los desperdicios se realizó utilizando una paleta para juntar los desperdicios y poniéndolos en un recipiente tarado y se pesó en la balanza digital.

Además, se midió el área disponible para la colocación del equipo y la cantidad de demanda que se desea realizar empleando el equipo (aproximadamente 9650 unidades de producto al día). El área disponible cuenta con espacio para colocar el tanque de gas propano e instalación eléctrica. Además, para la limpieza, al igual que el resto de la planta, se utilizan mangueras a presión y estas mangueras llegan a cubrir la zona para limpiarla.

B. Segunda etapa:

Determinación experimental de la composición y temperatura adecuada para la realización del caramelo trabajando en triplicado. Se realizaron ocho soluciones distintas de agua con azúcar con diversas concentraciones cada una basándose en la concentración que se empleaba inicialmente en la producción (88.67% masa/masa de azúcar en la solución). Las soluciones se realizaron a 80, 85, 87, 88, 88.67, 90, 92 y 95% masa/masa de azúcar en la solución. Estas soluciones contenían el porcentaje de azúcar deseado, y el resto de la solución era agua y colorante, en el cual el colorante es un 1.17% m/m en relación con el agua que se utiliza. Cada una de las soluciones se realizó a 4 diferentes temperaturas que fueron a 85, 90, 95 y 100°C, como se mencionó en antecedentes, el caramelo realizado no cumple las temperaturas de cocción del azúcar por lo que estas temperaturas se basaron en la temperatura utilizada en la producción. Una vez se realizó las pruebas a estas temperaturas.

El equipo utilizado para esto fue:

- Olla de acero inoxidable de 0.002 m³ (2 L)
- Termómetro digital: marca Winco, modelo TMT-DG5 con un rango de -45 a 200°C y una incertidumbre de $\pm 0.01^\circ\text{C}$.
- Paleta de madera de 30 cm con la parte inferior redondeada.
- Estufa de gas propano marca Acros de cinco hornillas.
- Balanza digital: marca Camry, modelo EK3250 con un rango de 0-5kg y 0-11 lb con una incertidumbre de ± 0.01 kg y lb.

Los pasos para las corridas fueron:

- Pesar azúcar, agua y colorante según el porcentaje en la formulación para la solución.
- Colocarlos en la olla.
- Encender la estufa y colocar la olla sobre la hornilla.
- Colocar el termómetro para leer la temperatura, este debe colocarse en el centro siempre teniendo cuidado de no tocar las paredes de la olla ni el fondo.

- Agitar constantemente utilizando la paleta.
- Llegar hasta la temperatura deseada.
- Observar la solución y establecer si esta es adecuada o no mediante un análisis sensorial del color, textura y endurecimiento del mismo al enfriar a temperatura ambiente (25°C aproximadamente).

De esta forma, se determinó la relación de agua con azúcar, así como la mejor temperatura para trabajar la misma dentro de los valores evaluados.

Figura No. 3. Prueba experimental de composición y temperatura adecuada



C. Tercera etapa:

Diseño del equipo a partir del área disponible en la planta de producción (3m², 3m de largo por 1 m de ancho) para la colocación del equipo, capacidad de producción y la concentración de azúcar y agua para el caramelo, a la temperatura determinada en la segunda etapa. Debido a que es un equipo para una industria alimenticia, se debe utilizar acero inoxidable como material y este puede ser Aisi 304 o Aisi 316, debido a que se trabajará con calor, es necesario que sea Aisi 316 debido a que posee una mayor resistencia. Además, se realizó diagramas de bloques del equipo para la comprensión del sistema.

D. Cuarta etapa:

Construcción del equipo en un taller profesional que trabaja con acero inoxidable a partir del diseño realizada de la tercera etapa.

E. Quinta etapa:

Montaje y prueba del equipo en planta. En esta etapa, se estableció la forma adecuada de operación del equipo para que se utilice adecuadamente (observarlos en anexos en la sección de forma de operación del equipo construido). Se determinó las pérdidas de caramelo utilizando un recipiente tarado para almacenar los residuos y pesando la misma en una balanza digital marca "GSC", modelo "983451", esto se realizó con el objetivo de determinar las mejoras que se habían realizado al proceso. Además, se determinó la cantidad de tiempo que se ahorra en la producción del producto, este tiempo se determinó empleando un cronómetro marca Casio para medir el tiempo de operación. Se realizó un balance de masa y energía y comparación contra el primero que se realizó en la primera etapa. Por último, se hizo un diagrama de flujo del proceso a realizar empleando el equipo y se elaboró un plano de vista superior donde se puede observar cómo se colocó el equipo en el área de trabajo.

VII. RESULTADOS

A. Condiciones:

Tabla No. 1. Concentraciones adecuadas para la realización del caramelo y sus temperaturas

Concentración (% m/m)	Temperatura Final (°C)	Temperatura de estabilidad (°C)
88% azúcar 11.86% agua 0.14% colorante	90.00±0.10	80.33±0.58
90% azúcar 9.88% agua 0.12% colorante	90.10±0.10	82.33±0.58
92% azúcar 7.91% agua 0.09% colorante	84.73±0.31	80.40±0.53

Tabla No. 2. Pérdida de caramelo en el equipo con respecto a la solución inicial

Equipo	Pérdida (±0.01 kg)	Porcentaje de pérdida (%)
Olla con solución de 88.67% de azúcar (Proceso original). En base a 45.20 kg de caramelo.	5.23	11.57%
Olla con solución de 92% de azúcar. En base a 45.20 kg de caramelo.	2.19	4.46%
Equipo construido con solución de 92% de azúcar. En base a 211.38 kg de caramelo.	18.98	8.98%

B. Balances de masa y energía para fabricación:

Tabla No. 3. Balance de masa y energía promedio ideal de olla con un 5% de pérdidas de caramelo

Entradas		Proceso	Salidas	
Descripción	Cantidad		Descripción	Cantidad
Gas propano	0.20±7.32E-05 kg	Quemador	Energía empleada para calentar olla	7646.49±138.18 kJ
Aire ambiental	---		Gases de combustión	---
			Energía a los alrededores	2548.83±46.06 kJ
Azúcar	20.49±0.60 kg	Olla		
Agua	1.76±0.05 kg		Pan tipo rosca con caramelo (0.13 kg/unidad)	19.82±1.1 kg
Colorante	0.02±1.29E-03 kg		Energía perdida por convección	412.44±7.19 kJ
Pan tipo roscas (0.063 kg/unidad)	17.64±1.1 kg		Pérdidas de caramelo	2.45 kg
Energía	7646.49±138.18 kJ			

Tabla No. 4. Balance de masa y energía promedio experimental de olla a una temperatura ambiental de 23°C.

Entradas		Proceso	Salidas	
Descripción	Cantidad		Descripción	Cantidad
Gas propano	0.21±4.75E-05 kg	Quemador	Energía empleada para calentar olla	7881.76±144.91 kJ
Aire ambiental	---		Gases de combustión	-----
			Energía a los alrededores	2627.25±48.30 kJ
Azúcar	20.49±0.60 kg	Olla		
Agua	1.76±0.05 kg		Pan tipo rosca con caramelo (0.13 kg/unidad)	37.72±1.1 kg
Colorante	0.02±1.29E-03 kg		Energía perdida por convección	647.71±11.51 kJ
Pan tipo roscas (0.063 kg/unidad)	17.64±1.1 kg		Pérdidas de caramelo	2.19±0.01 kg
Energía	7881.76±144.91 kJ			

Tabla No. 5. Balance de masa y energía diseño propuesto considerando que hay 5% de pérdidas de caramelo

Entradas		Proceso	Salidas	
Descripción	Cantidad		Descripción	Cantidad
Gas propano	1.22 kg	Quemador tanque	Energía empleada por tanque	49006.25 kJ
Aire ambiental	---		Gases de combustión	---
			Energía a los alrededores	12251.56 kJ
Azúcar	136.91 kg	Tanque agitado	Caramelo	148.81 kg
Agua	11.76 kg		Energía perdida por convección	674.22 kJ
Colorante	0.14 kg			
Energía	49006.25 kJ			
Gas propano	0.55 kg	Quemador tina	Energía empleada por tina	21879.81 kJ
Aire ambiental	----		Gases de combustión	---
			Energía a los alrededores	5469.95 kg
Pan tipo roscas (0.063 kg/unidad)	69.3 kg	Tina para cobertura (emplea solo 75.60 kg de caramelo)	Energía perdida por convección	222.85 kJ
Caramelo	75.60 kg		Pan tipo rosca con caramelo (0.11 kg/unidad)	136.88 kg
Energía	21879.81 kJ		Pérdidas de caramelo	8.02 kg

Tabla No. 6. Balance de masa y energía ideal de equipo construido con un 5% de pérdidas de caramelo

Entradas		Proceso	Salidas	
Descripción	Cantidad		Descripción	Cantidad
Gas propano	$0.78 \pm 1.27E-03$ kg	Quemador tanque	Energía empleada por tanque	31403.27 ± 811.70 kJ
Aire ambiental	---		Gases de combustión	---
			Energía a los alrededores	7850.82 ± 202.92 kJ
Azúcar	88.08 ± 3.30 kg	Tanque agitado	Caramelo	95.74 ± 3.31 kg
Agua	7.57 ± 0.29 kg		Energía perdida por convección	312.02 ± 29.22 kJ
Colorante	0.09 ± 0.01 kg			
Energía	31403.27 ± 811.70 kJ			
Gas propano	$0.54 \pm 1.36E-03$ kg	Quemador tina	Energía empleada por tina	21835.17 ± 462.43 kJ
Aire ambiental	---		Gases de combustión	---
			Energía a los alrededores	5458.79 ± 115.61 kg
Pan tipo roscas (0.063 kg/unidad)	69.3 ± 1.1 kg	Tina para cobertura (emplea solo 75.60 kg de caramelo)	Energía perdida por convección	178.21 ± 10.57 kJ
Caramelo	75.60 ± 7.36 kg		Pan tipo rosca con caramelo (0.011 kg/unidad)	136.88 ± 16.26 kg
Energía	21835.17 ± 462.43 kJ		Pérdidas de caramelo	8.02 kg

Tabla No. 7. Balance de masa y energía experimental promedio de equipo construido a una temperatura ambiental de 25°C.

Entradas		Proceso	Salidas	
Descripción	Cantidad		Descripción	Cantidad
Gas propano	0.78±1.14E-03 kg	Quemador tanque	Energía empleada por tanque	31439.29±813.22 kJ
Aire ambiental	---		Gases de combustión	---
			Energía a los alrededores	7859.82±203.31 kJ
Azúcar	88.08±0.01 kg	Tanque agitado	Caramelo	95.75±0.02 kg
Agua	7.57±0.01 kg		Energía perdida por convección	348.36±32.62 kJ
Colorante	0.09±0.01 kg			
Energía	31439.29±813.22 kJ			
Gas propano	0.54±1.27E-03 kg	Quemador tina	Energía empleada por tina	21847.59±462.84 kJ
Aire ambiental	---		Gases de combustión	---
			Energía a los alrededores	5461.90±115.71 kg
Pan tipo roscas (0.063 kg/unidad)	69.3±1.1 kg	Tina para cobertura (emplea solo 75.60 kg de caramelo)	Energía perdida por convección	190.63±11.31 kJ
Caramelo	75.60±7.36 kg		Pan tipo rosca con caramelo (0.12 kg/unidad)	130.49±16.27 kg
Energía	21847.59±462.84 kJ		Pérdidas de caramelo	14.41±0.01 kg

Tabla No. 8. Tiempos de operación

Equipo	Tiempo (±0.16 min)
Olla por lote de 280 unidades de pan "tipo rosca"	51.25
Tanque de agitación y tina de cobertura por lote de 1100 unidades de pan "tipo rosca"	18.58

C. Diseño del equipo:

Tabla No. 9. Dimensiones equipo diseñado

	Tanque agitado	Tina caramelización
Ancho	No aplica	0.75 m
Largo	No aplica	1.50 m
Alto	0.94 m	0.15 m
Diámetro	0.62 m	No aplica
Capacidad volumétrica	0.276 m ³	0.17 m ³
Diámetro agitador	0.15 m	No aplica
Distancia del agitador al fondo	0.15 m	No aplica
Quemador	Llama azul diámetro de 0.62 m	Dos quemadores en U de llama blanca para ocupar el área superficial de 1.13 m ²
Material	Acero inoxidable 316	
Calibre lámina	20	
Grosor lámina	0.892 mm	

*Referirse a la figura no. 12 y 13 para ver los planos

Tabla No. 10. Dimensiones equipo construido

	Tanque agitado	Tina caramelización
Ancho	0.758±0.001 m	0.75±0.01 m
Largo	0.800±0.001 m	1.50±0.01 m
Alto	0.305±0.001 m	0.15±0.01 m
Capacidad volumétrica	0.185±0.001 m ³	0.17±0.01 m ³
Diámetro agitador	0.15 m	No aplica
Distancia del agitador al fondo	0.15 m	No aplica
Quemador	Tres quemadores de flauta de llama blanca	Dos quemadores en U de llama blanca para ocupar el área superficial de 1.13 m ²
Material	Acero inoxidable 316	
Calibre lámina	20	
Grosor lámina	0.892 mm	

*Referirse a la figura no. 10 y 11 para ver los planos

Tabla No. 11. Agitador

Motor	0.37 kW (½ hp)
Agitador	Hélice con rodete de 0.15 m

Tabla No 12. Tubería y accesorios utilizados

Diámetro	0.04m (1.610")
Material	Acero Inoxidable. 316
Catalogo	40
Diámetro nominal	0.038m (1.5")
Tipo de válvula	De compuerta
Codo	90°
Largo tubería	0.60 m

Tabla No. 13. Dimensiones jaulas para sumergir roscas

	Jaula
Ancho	0.73±0.01 m
Largo	1.48±0.01 m
Alto	0.10±0.01 m
Capacidad volumétrica	0.11±0.01 m ³
Material	Acero inoxidable 304
Forma material	Varilla de 10 mm

D. Costo:

Tabla No. 14. Costo del pan "tipo rosca" por cada 1206 unidades de 0.063 kg de masa

Descripción	Sin Equipo	Con Equipo
Materia prima	Q594.99	Q588.61
Salarios	Q55.62	Q37.08
Horas Hombre (horas por empleado)	3	2
Gas propano	Q8.00	Q7.52
Gasto fábrica	Q91.24	Q91.24
Total por 1206 unidades (45.36 kg equivalente a 100 lb de harina)	Q749.86	Q724.46
Costo unitario	Q0.62	Q0.60

VIII. DISCUSIÓN

El objetivo principal de este trabajo fue diseñar el equipo para caramelizar roscas en Industria Panificadora de Oriente, S.A. y de esta forma, mejorar el proceso de fabricación de este pan y aumentar la velocidad de producción y rendimiento. Para esto, fue necesario desarrollar objetivos generales con los cuales se pudiera hacer un mayor enfoque en el proceso de producción y las mejoras a realizar. Estos objetivos fueron determinar las pérdidas durante la elaboración del caramelo según la cantidad de azúcar utilizada, la temperatura adecuada para la realización del caramelo, diseñar el equipo, obtenerlo, instalarlo y evaluarlo en la planta y por último, se buscó determinar el costo del pan “tipo rosca” con el nuevo proceso de producción y compararlo con el proceso anterior para así, determinar el ahorro.

Para cumplir con los objetivos, primero, fue necesario conocer el proceso de producción del caramelo y la concentración de azúcar en la solución así como la temperatura a la cual se realiza. Como se puede observar en el marco teórico, se expuso lo que era caramelo y los puntos de cocción del azúcar para realizar el mismo. Como se puede ver en este trabajo, el caramelo que se realiza para el pan “tipo rosca” no es un caramelo debido a que no se realiza mediante la cocción del azúcar, sino que es una solución de agua saturada con azúcar y colorante. En la industria panadera, a esta solución de azúcar con agua se le conoce como caramelo.

El caramelo se calienta hasta una temperatura (en la producción era de aproximadamente 90°C) para permitir la solvatación adecuada entre el agua y el azúcar así como también que esta tenga la consistencia deseada. La industria al inicio, realizaba el caramelo empleando una olla de aluminio, el material de esta no es el adecuado en la industria alimentaria debido a que este puede reaccionar con alimentos con componentes ácidos o alcalinos además, al momento de limpiarlo o por mucha fricción con un objeto, se desprenden pedazos de aluminio lo que puede quedar en el producto. Debido a esto, la olla no cumple con lo exigido en la normativa RTCA 67.01.33:06 en el punto 6. Debido a la normativa, se debe emplear acero inoxidable en la industria alimentaria ya que este tiene una elevada resistencia a la corrosión, resistencia a variaciones térmicas y óptima capacidad de limpieza eliminando así bacterias y microorganismos que puedan contaminar la materia prima y el producto, por esto, el equipo que se construyó fue realizado con acero inoxidable AISI 316.

Luego, se buscó determinar la concentración adecuada de los componentes del caramelo y a que temperatura se debe realizar la misma y mantener para un trabajo adecuado. Para esto, se realizó 4 soluciones con concentraciones de 80-95% (m/m) de azúcar y también una solución con la concentración empleada en la producción que era de 88.67% (m/m) de azúcar y estas se calentaban a una temperatura de 85, 90, 95 y 100°C para lograr determinar la concentración con las características óptimas para el pan rosca según los requerimientos de la empresa, ya que se quiere que se diluyan todos los sólidos de una forma adecuada, esto quiere decir que no se vean cristales en la solución y que no se vea cristalina, sino que posea el color rojo como lo desean.

Con estas soluciones, se determinó que la concentración óptima para trabajar era a 90% (m/m) de azúcar, teniendo así un 9.88% (m/m) de agua y 0.22% (m/m) de colorante a una temperatura aproximada de $90.1 \pm 1.1^\circ\text{C}$. Esta fue la óptima debido a que poseía las características de color, solvatación y textura tal y como la empresa la deseaba. Al determinar este valor, se decidió realizar soluciones cercanas a esta concentración de azúcar para encontrar un rango en el que la realización del caramelo sea adecuada. Este rango experimental determinado fue de 88-92% (m/m) de azúcar. Por lo tanto, los cálculos realizados para el equipo se realizaron en base al límite superior del rango teniendo así una composición de 92% (m/m) de azúcar, 7.91% (m/m) de agua y 0.09% (m/m) de colorante y la temperatura empleada para los cálculos fue de $84.73 \pm 0.31^\circ\text{C}$ y se puede mantener la solución a $80.40 \pm 0.53^\circ\text{C}$ para trabajar de forma adecuada. Se realizó de esta forma para determinar el peor de los casos al momento de trabajar con la concentración máxima de azúcar en la solución.

Una vez se determinó la concentración de los compuestos en el caramelo a nivel de laboratorio, se procedió a realizar pruebas en la producción empleando la concentración de 92% (m/m) de azúcar. Se realizó la prueba en la olla de aluminio que se utilizaba. Esta olla no es en forma de cilindro, sino que es de un cono truncado con el diámetro pequeño en la parte inferior. El diámetro pequeño es de $0.310 \pm 0.005\text{m}$, el diámetro grande (el superior) es de $0.570 \pm 0.005\text{m}$ y el alto es de 0.220 ± 0.005 . Teniendo así un volumen calculado de $0.034 \pm 0.001\text{ m}^3$. Además, el grosor de la lámina de aluminio utilizada en la olla es de $0.0015 \pm 0.0005\text{m}$. Las desventajas del uso de esta olla en cuanto a su forma es que el área de contacto con la transferencia de calor es poca en comparación a si se utilizará una olla cilíndrica de la misma capacidad ya que el diámetro inferior sería mayor. Al realizar la prueba en la olla, se determinó que el caramelo así como su composición eran adecuados para el proceso basándose en las características deseada por la empresa, y se redujo la pérdida de azúcar de $5.23 \pm 0.01\text{ kg}$ (11.57% de la solución) a $2.19 \pm 0.01\text{ kg}$ (4.46% de la solución). Además, se procedió a realizar un balance de masa y energía. Para esto, se realizó de forma ideal y experimental.

Con la forma ideal, se supuso que había pérdidas de caramelo de un 5% al realizar el proceso. Esto se supuso para realizar un cálculo de la forma ideal de trabajo del equipo. Se utiliza únicamente un 80% del volumen de la olla por lo que 22.27 kg de componentes para el caramelo, teniendo este 20.49 ± 0.60 kg de azúcar, 1.76 ± 0.05 kg de agua y $0.02 \pm 1.29 \times 10^{-3}$ kg de colorante. Se obtuvo que para el calentamiento que tarda 27.27 ± 0.36 minutos se utilizan $0.20 \pm 7 \times 10^{-5}$ kg de gas propano generando así 7646.49 ± 138.18 kJ de energía que utilizará el tanque y 2548.83 ± 46.06 kJ de energía que se disipa al ambiente por radiación. En la olla se pierden 412.44 ± 7.19 kJ por convección hacia el aire ambiental desde las paredes de la olla y la parte superior del caramelo. El calor por conducción que retiene la olla es despreciable debido a que la temperatura solo varía en $0.39 \pm 0.07^\circ\text{C}$.

El caramelo producido se puede utilizar para 280 unidades de pan "tipo rosca" (17.64 kg de producto). Para sumergir esta cantidad de pan, es necesario que el caramelo no baje de 80°C , es importante controlar la temperatura regulando el flujo de gas, por lo tanto, el gas utilizado no se pudo determinar, pero se sabe que es menor que 0.20 kg pero se considera este por efectos prácticos, y si se desea realizar 362.87 kg (ocho quintales) de harina para la fabricación del pan "tipo rosca" con un rendimiento de 9648 unidades de 0.063 kg cada una, se utiliza un total aproximado de 11 kg diarios de gas propano, por lo que el tanque de 45.36 kg (100 lb) dura aproximadamente 4 días. De esta forma, la cantidad de gas propano es adecuada para la fabricación del pan "tipo rosca" y al diseñar el equipo, se debe de considerar que este consumo no debe aumentarse, debe permanecer igual o disminuir.

Al realizar el cálculo de la olla de forma experimental se obtuvo que se usaron 22.27 kg de componentes para el caramelo, teniendo este 20.49 ± 0.60 kg de azúcar, 1.76 ± 0.05 kg de agua y $0.02 \pm 1.29 \times 10^{-3}$ kg de colorante. Se obtuvo que para el calentamiento que tarda 41.25 ± 0.56 minutos se utilizan $0.21 \pm 4.75 \times 10^{-5}$ kg de gas propano generando así 7881.76 ± 144.91 kJ de energía que utilizará el tanque y 2627.25 ± 48.30 kJ de energía que se disipa al ambiente por radiación. En la olla se pierden 647.71 ± 11.51 kJ por convección hacia el aire ambiental desde las paredes de la olla y la parte superior del caramelo. El calor por conducción que retiene la olla es despreciable debido a que la temperatura solo varía en $0.26 \pm 0.06^\circ\text{C}$ y debido a las temperaturas que se trabajan, esta temperatura es muy baja para ser considerada un factor influyente en el sistema. Se comprobó que el tanque de gas propano dura aproximadamente 4 días al igual que en el cálculo de forma ideal.

En sí, el tiempo utilizado para sumergir las 280 unidades (285.6 kg) de pan es de 51.25 minutos. Que como se puede ver es bastante tiempo para la preparación de esa cantidad de unidades. Este tiempo es con la preparación del caramelo de 41.25 ± 0.56 minutos y el tiempo de 10 minutos de sumergir las roscas. Como se puede ver, al realizar los cálculos de forma experimental, el uso de la olla es muy tardado, para producir 1206 unidades de pan “tipo rosca” de 0.063 kg cada una se lleva aproximadamente 120 minutos considerando que en la empresa no vacían por completo la olla sino que cuando va por la mitad, agregan más agua, azúcar y colorante para realizar caramelo. De esta forma, para realizar las 9648 unidades de 0.063 kg cada una, se necesitan de 960 minutos, lo que equivale a 16 horas de trabajo continuo realizando 44 lotes de caramelo. Por lo que la producción la realizan en dos turnos teniendo tres operarios en total. Este es un tiempo que debe disminuirse para poder aumentar la rapidez del proceso.

Con base a los resultados obtenidos con anterioridad, se determinó que se debía disminuir el tiempo de realización del caramelo así como realizar una caramelización de mayor cantidad de roscas al mismo tiempo. Debido a esto, el diseño realizado para el equipo consiste de dos operaciones principales siendo el primero un tanque donde se realiza el caramelo y una tina donde se sumergen las roscas para caramelizarlas.

En cuanto al tanque diseñado, se propuso un tanque de 0.276 m^3 , con dimensiones de 0.92 m de alto y un diámetro de 0.62 m para cumplir de esta forma con la relación de diámetro-alto de la norma DIN que indica que el alto debe ser 1.5 veces el diámetro. Debido a que se requiere de un movimiento constante para la realización del caramelo ya que se requiere que la transferencia de calor se de en toda la mezcla, es necesario el uso de un agitador, y ya que el caramelo a 85°C tiene una viscosidad de $0.0383 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$ se puede emplear un agitador de hélice el cual es común en la industria alimentaria para procesos en los que la viscosidad de la solución es baja (parecida a la del agua de $0.028 \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$) a esa temperatura. Debido a la relación del diámetro del rodete contra el diámetro del tanque (1/4 de diámetro del tanque es el diámetro del rodete), el diámetro del rodete debe ser de 0.15 m. Al ser un agitador de hélice, se aproxima que este tendrá una velocidad de rotación de 0.20 rps debido al motor del agitador de 0.37 kW ($\frac{1}{2}$ hp).

La forma como se llevará a cabo el calentamiento es empleando un quemador de gas propano de llama azul en la parte inferior del tanque y este debe tener una temperatura de llama de aproximadamente 1500 K para poder realizar el caramelo, este debe ser redondo y que cubra el área superficial del equipo. Esto se realizará de esta manera ya que la otra opción sería emplear una resistencia por la parte de adentro, pero esta tomaría más tiempo para calentar el tanque además de que aumentaría el costo debido al consumo eléctrico y por último, la limpieza del equipo se dificultaría. Al analizar los costos, se determinó que según la energía necesaria para realizar el caramelo (70886 kJ) y un costo de energía eléctrica de Q2.01 por kWh y el tiempo a utilizar el mismo, se gastaría más de Q. 50.00 si se empleara energía eléctrica mientras que usando gas propano se gastaría menos de Q. 10.00.

El calentamiento es necesario para que se dé de forma adecuada la solvatación del azúcar en el agua y se tenga el caramelo tal y como se desea. Como se estableció anteriormente, el material de este tanque es de acero inoxidable AISI 316 ya que soporta una temperatura directa continua de 1000°C y debido a que, el calor se transfiere por radiación y no por contacto directo con la fuente de calor por lo que si soportará el calentamiento.

Realizando un cálculo teórico, se obtuvo que para el calentamiento en el tanque agitado se emplean 1.22 kg de gas propano generando así 68433.62 kJ de energía que utilizará el tanque y 17108.41 kJ de energía que se disipa al ambiente por radiación. En el tanque se pierden 674.22 kJ por convección hacia el aire ambiental desde las paredes del tanque y la parte superior del caramelo. El calor por conducción que retiene el tanque es despreciable debido a que la temperatura solo varía en 11.89°C y en relación a la cantidad de calor transferido no es un cambio significativo. El calentamiento tiene una duración de 11.94 min.

La tina diseñada es de acero inoxidable AISI 316 al igual que el tanque. Esta tina posee las siguientes dimensiones: largo 1.5 m, ancho 0.75 m y alto de 0.15 m. Con estas dimensiones, se puede llenar de caramelo hasta una altura de 0.10 m y así, se tienen 0.1125 m³ para el caramelo. Con esta capacidad, se puede caramelizar un total de 1200 roscas en lotes de 300 roscas, siendo así 4 lotes.

Para sumergir la rosca en la tina, se utilizará una jaula de varillas de acero inoxidable AISI 304 de 10 mm de diámetro teniendo unas dimensiones de 1.48 m de largo, 0.73 m de ancho y 0.10 m de alto que será levantada por los operadores. Esta jaula entrará en la tina permitiendo que todas las roscas se cubran con caramelo. Al sumergir las roscas, el nivel en la tina sube aproximadamente 0.03 m. El calentamiento que se requiere en la tina para que la mezcla no baje de temperatura y se mantenga sus propiedades es de un mínimo de 80.40°C. Se obtiene de utilizar dos quemadores de gas propano en forma de U de llama blanca para ocupar por completo el área inferior que es el área de contacto para la transferencia de calor.

Teóricamente para la tina de caramelización propuesta, se obtuvo que para mantener el sistema constante se emplean 0.55 kg de gas propano generando así 73877.33 kJ de energía que utilizará la tina y 18469.33 kJ de energía que se disipa al ambiente por radiación. En el tanque se pierden 222.85 kJ por convección hacia el aire ambiental desde las paredes de la tina y la parte superior del caramelo. El calor por conducción que retiene la tina es despreciable debido a que la temperatura solo varía en 3.41°C. El calentamiento tiene una duración de 4.94min.

La transferencia del caramelo entre el tanque y la tina se realizará mediante una tubería de 0.0381m (1.5") de diámetro nominal catálogo 40 de acero inoxidable AISI 316 que permita un flujo de 1 m/s de 0.60 m de largo en total con un codo de 90° para dirigir el flujo. Para permitir el paso del flujo, se utiliza una válvula de compuerta. Se utiliza una válvula de compuerta ya que esta es la que permite mayor higiene debido a que el producto no tocará partes móviles ni hay lugares donde se puedan acumular bacterias siguiendo así la norma RTCA 67.01.33:06 en el punto 6 del equipo a emplear según las buenas prácticas de manufactura en la industria de alimentos. Además, no se desea una regulación del flujo, solo se desea abrir o cerrar el mismo y esta válvula permite esta acción, otro motivo es que debido a las propiedades del fluido (viscosidad y textura) esta válvula es la que permite el flujo adecuado. El caramelo se moviliza por gravedad. Tanto la tubería como la válvula deben estar unidas por bridas para permitir que se puedan quitar de forma fácil y de esta manera limpiar de forma sencilla. Para la limpieza de la tina, se debe colocar una tubería de vaciado de 0.0254 m (1") de diámetro nominal catálogo 40 de acero inoxidable AISI 316. La tubería debe colocarse en la esquina derecha del equipo y además esta debe contener una válvula de compuerta y debe estar colocada más abajo del quemador de gas propano para evitar accidentes. Esta tubería será recta, sin codos, y para la recolección del caramelo, se deben emplear recipientes de acero inoxidable que se colocan debajo de esta tubería.

Así, con el equipo diseñado, se calcula que se pueden sumergir 1200 unidades de pan “tipo rosca” (1224 kg) en la tina antes de añadir más caramelo a la misma, además, se pueden sumergir 300 panes (306 kg) a la vez utilizando la jaula. De esta forma, el tiempo de realización de 1200 unidades es de 17.71 min considerando la preparación del caramelo de 9.21 ± 0.17 minutos en el tanque agitado, el tiempo de transferencia del tanque a la tina de 2 min y sumergir las rosas que son 30 segundos aproximadamente (bajar, sumergir, subir y cambiar de jaula). De esta forma, si se ve una mejora en el tiempo, ya que de 120 minutos por quintal de harina utilizado se logra preparar en 17.71 min, disminuyendo así el tiempo de producción y por lo tanto, también la necesidad de personal que antes se empleaban tres empleados en el proceso de caramelización y ahora solo 2, por lo que un empleado puede destinarse a otra área de producción y disminuir de esta forma el costo directo de su salario sobre la producción de este producto.

El equipo que la empresa decidió hacer al final varía con el equipo diseñado. Esta variación en el equipo se debe a factores económicos debido a que se debe ajustar a un presupuesto pero se busca que el equipo cumpla con los requisitos del proceso. La variación del equipo construido es en el tanque de agitación y la forma de unión de la tubería para trasladar el caramelo del tanque a la tina. Además, a la tina no se le colocó la tubería de descarga sino que solo se utilizó tapones para poder realizar la limpieza del equipo. El tanque de agitación construido es únicamente de $0.185 \pm 0.001 \text{ m}^3$, no de 0.276 m^3 , lo cual es el mínimo necesario para realizar el caramelo necesario para llenar la tina hasta la altura deseada y aun así, no vaciar por completo el tanque. Además, se varió la forma del tanque de un tanque cilíndrico a un tanque rectangular, esto lo prefirieron realizar de esta manera para economizar el equipo. El quemador adecuado para este equipo sería un quemador en forma de tenedor pero por la dificultad de fabricación del mismo, se emplean tres quemadores de flautas. Estos quemadores son de llama blanca y no de llama azul.

De esta forma, aunque se disminuya la eficiencia de la agitación en el equipo debido a la dificultad de realizar este proceso adecuadamente debido a las esquinas, se disminuye el consumo de gas propano realizando así una disminución en el costo de la rosca. Al cambiar el volumen del tanque, sus dimensiones son: $0.305 \pm 0.001 \text{ m}$ de alto, $0.758 \pm 0.001 \text{ m}$ de ancho y $0.800 \pm 0.001 \text{ m}$ de largo. La tubería utilizada ya no se unió por bridas sino que es enroscada, esto para mantenerse dentro del presupuesto. Debido a que la tina solo varía en que no posee la tubería de descarga, los cálculos teóricos realizados son los mismos que se indicaron con anterioridad.

Con estos cambios, el tanque de agitación del equipo construido que tiene una llama que puede hacer que el tanque llegue a temperatura de 1200K generada por tres quemadores de gas propano de llama blanca se obtuvo que para el calentamiento se necesita $0.94 \pm 1.27 \times 10^{-3}$ kg de gas propano generando así 56820.15 ± 1032.65 kJ de energía que utilizará el tanque y 14205.04 ± 258.16 kJ de energía que se disipa al ambiente por radiación. En el tanque se pierden 310.72 ± 29.10 kJ por convección hacia el aire ambiental desde las paredes del tanque y la parte superior de la solución. El calor por conducción que retiene el tanque es despreciable debido a que la temperatura solo varía en $4.86 \pm 0.30^\circ\text{C}$ y en relación a la cantidad de calor transferido no es un cambio significativo. El calentamiento tiene una duración de 9.21 ± 0.17 min. En cuanto a la tina de caramelización construida, se tiene que se emplean $0.54 \pm 1.36 \times 10^{-3}$ kg de gas propano generando así 73877.33 ± 1101.30 kJ de energía que utilizará el tanque y 18469.33 ± 275.33 kJ de energía que se disipa al ambiente por radiación. En la tina se pierden 178.21 ± 10.57 kJ por convección. El calor por conducción que retiene el tanque es despreciable debido a que la temperatura solo varía en $3.41 \pm 0.23^\circ\text{C}$. El calentamiento tiene una duración de 4.93 ± 0.07 min.

Experimentalmente, el tanque de agitación del equipo construido que tiene una llama de $1168.00 \pm 0.01\text{K}$, de tres quemadores de gas propano de llama blanca, se obtuvo que para el calentamiento se necesitan $0.78 \pm 1.14 \times 10^{-3}$ kg de gas propano generando así 50975.26 ± 926.43 kJ de energía que utilizará el tanque y 12743.81 ± 231.61 kJ de energía que se disipa al ambiente por radiación. En el tanque se pierden 346.75 ± 32.47 kJ por convección hacia el aire ambiental desde las paredes del tanque y la parte superior del caramelo. El calor por conducción que retiene el tanque es despreciable debido a que la temperatura solo varía en $4.36 \pm 0.28^\circ\text{C}$ y en relación a la cantidad de calor transferido no es un cambio significativo. El calentamiento tiene una duración de 10.28 ± 0.19 min. En cuanto a la tina de caramelización construida, se trabaja a $1082.00 \pm 0.01\text{K}$ se tiene que se emplean $0.54 \pm 1.27 \times 10^{-3}$ kg de gas propano generando así 69105.75 ± 1030.17 kJ de energía que utilizará el tanque y 17276.44 ± 257.54 kJ de energía que se disipa al ambiente por radiación. En el tanque se pierden 190.63 ± 11.31 kJ por convección. El calor por conducción que retiene el tanque es despreciable debido a que la temperatura solo varía en $3.19 \pm 0.22^\circ\text{C}$. El calentamiento tiene una duración de 5.27 ± 0.08 min.

Como se puede observar, la relación entre el tiempo teórico del equipo diseñado y el tiempo experimental del equipo construido, el equipo diseñado quema gas propano por un total de 16.98 min y para el equipo construido es de 15.55 ± 0.12 min. En cuanto al consumo de gas, el diseñado utiliza 1.77 kg y el construido $1.22 \pm 1.20 \times 10^{-3}$ kg. Además, los cálculos del tanque están para una temperatura de 1500K de llama, pero en el construido se trabaja a 1168 ± 0.01 K por lo que realmente, si el diseñado trabajara a la temperatura del construido, este consumiría mayor cantidad de gas propano emplearía una mayor cantidad de tiempo ya que la temperatura es menor a la de 1500K con la que se realizaron los datos teóricos. Según el caramelo producido y la forma en cómo trabaja el equipo, este cumple con los requerimientos del proceso así como los requerimientos de la empresa y por esto, se puede establecer que el equipo construido cumple su finalidad en el proceso.

El caramelo producido se puede utilizar para 1100 unidades de pan “tipo rosca” (1122 kg de producto). Para sumergir esta cantidad de pan, es necesario mantener la temperatura del caramelo arriba de 80°C , es importante controlar la temperatura regulando el flujo de gas por lo que se sabe que se utiliza $0.54 \pm 1.27 \times 10^{-3}$ kg, así, se utiliza un total de $1.22 \pm 1.20 \times 10^{-3}$ kg y si se desea realizar 9648 unidades de 0.063 kg cada una, se utiliza un total aproximado de 11 kg de gas propano, por lo que el tanque de 45.36 kg (100 lb) dura para la realización de 4 veces la producción diaria actual de 9648 unidades.

Con el equipo construido, se calculó que se pueden sumergir 1100 unidades de pan “tipo rosca” en la tina antes de añadir más caramelo a la misma, además, se pueden sumergir 300 panes a la vez utilizando la jaula diseñada. De esta forma, el tiempo de realización de 1100 unidades es de 18.58 min considerando la preparación del caramelo de 10.28 ± 0.19 minutos en el tanque agitado, el tiempo de transferencia del tanque a la tina de 2 min y sumergir las roscas que son 30 segundos aproximadamente (bajar, sumergir, subir y cambiar de jaula). Así, comparando con el tiempo de realización de caramelización de 280 unidades de pan en la olla que es de 32.67 minutos, hay una reducción de 18.79 minutos en el tiempo como unidad absoluta, pero hay que considerar que se caramelizan 3.93 veces más de unidades en el equipo construido en comparación con la olla que se utilizaba. Y la mejora económica del mismo es una reducción de Q. 19.02 por cada 9648 unidades de 0.063 kg cada una utilizado en la producción de pan “tipo rosca”.

En cuanto al uso adecuado del equipo construido, el equipo se debe trabajar a una temperatura no mayor de 90°C en el tanque con agitación y no mayor a 85°C en la tina de cobertura. Esto se debe de realizar así debido a que si se pasa de esta temperatura, ebulle el agua de la mezcla que se está llevando a cabo con el azúcar para el caramelo y hace que esta azúcar se adhiera al equipo dificultando su limpieza. Además, hay que asegurarse que el agitador no este activado si el caramelo no cubre el agitador, esto es así para que no salpique caramelo ya que este está caliente y puede provocar pérdidas de caramelo y accidentes a los operarios si el caramelo caliente les cae en la piel.

Para la utilización del equipo se debe abrir por completo las válvulas de los quemadores de gas propano mientras se realiza la caramelización para el ahorro de tiempo, una vez se traslade la mayor cantidad de caramelo a la tina, cerrar las válvulas a la mitad y además, rellenar el tanque para que este no trabaje sin caramelo. Realizar los lotes necesarios para cumplir con la demanda necesaria y realizar una limpieza al inicio y final de la producción. El tiempo que la jaula debe estar sumergida en la tina es de 30 segundos y el tiempo que se debe de dejar sobre la tina una vez esta se levante es de aproximadamente 10 segundos para que ya no gotee caramelo y así no se desperdicie el mismo y se mantenga limpia el área de trabajo. Para el enfriamiento, se debe permitir que repose por 30 segundos. Esto quiere decir que una vez se cambie la jaula para sumergir, se dan 30 segundos antes de bajarla para permitir el enfriado, así, en lo que la otra jaula está sumergida, se procede a vaciar la jaula con el producto ya caramelizado. El enfriamiento realizado no es completo, las roscas todavía se dejan sobre bandejas en carros de bandejas previo a empaque para que se enfríen por completo, pero con ese tiempo de 30 segundos se permite que el caramelo endurezca y ya no se desprenda del pan.

La inversión del equipo fue de Q. 9,000.00. Esta inversión a largo plazo simboliza ahorros que se generan debido a la reducción del costo del pan “tipo rosca” y esto hará que se pague la inversión de la misma en 45 días, además que traerá otros beneficios a la empresa. Los beneficios son la disminución de pérdidas de caramelo en el equipo, reducción del tiempo de producción del pan “tipo rosca”, el consumo de gas propano y además, la cantidad de empleados para esta etapa de producción del proceso, que de tres empleados solo se necesitan dos, por lo que el tercer empleado se trasladó a otra área de producción.

De esta forma, el ahorro por el empleado menos en la producción de este pan es de Q. 18.54 por cada 1206 unidades de pan “tipo rosca” producido (equivalente a 45.36 kg de harina para producirlo) en cuanto al uso de gas propano, se ahorra una pequeña cantidad que es de Q. 0.48. De esta forma, de un costo inicial de Q749.86 por cada 1206 unidades (Q. 0.62 por unidad) de pan “tipo rosca” de 0.063 kg cada una se logró reducir a un costo de Q. 724.46 por las 1206 unidades y Q. 0.60 por unidad. En total, se ahorran Q. 25.40 por cada 1206 unidades de pan “tipo rosca” producido y según estos ahorros, considerando una producción al día de 9648 unidades de 0.063 kg cada una, se tiene un ahorro diario de Q. 203.21. De esta forma, como se mencionó anteriormente la inversión de Q. 9,000.00 se recupera en 45 días y se debe recordar que los ahorros permanecerán constantes mejorando la rentabilidad de la empresa en relación con el pan “tipo rosca”.

Este equipo, permite producir 14472 unidades de pan “tipo rosca” de 0.063 kg cada una en seis horas. Así, se emplearían 544.31 kg (12 quintales) de harina para la producción. De esta forma, la planta puede aumentar su producción diaria en un 50% sin siquiera llegar al límite de 8 horas y así, cumplir con la producción en un solo turno de trabajo tomando en cuenta la misma cantidad de empleados lo cuales son dos, por lo tanto las horas hombre por producto bajan de 2 a 1.5 horas por quintal disminuyendo el costo a Q. 712.09 por cada 1206 panes “tipo rosca” producidos teniendo así un ahorro de Q12.37 en relación al costo anterior de Q724.46. Por lo que al aumentar las ventas de rosca, la planta podrá cumplir con el crecimiento de la demanda, y se debe considerar que si esta se da los primeros 60 días de producción con el equipo, el tiempo de recuperación de la inversión disminuiría. El posible aumento en la demanda, puede deberse al crecimiento poblacional de Guatemala de aproximadamente un 5% anual, además que pueden influir otros factores mercadológicos tal como un aumento en la fuerza de ventas que cubra una mayor región.

Para mejoras futuras del proceso se recomienda construir un tanque de agitación mayor tamaño, de forma cilíndrica y con quemador de gas propano circular de llama azul según fue diseñado. Este tanque debe tener un volumen de 0.276 m^3 con un alto de 0.94m y un diámetro de 0.62m. Así como también se debe de colocar el sifón en la tina para facilitar su limpieza y recuperación de pérdidas en el equipo. Además, se recomienda adquirir un levantador de recipientes para colocar las materias primas en el tanque tal como un Bowl Hoist de la marca Hinds-Bock.

IX. CONCLUSIONES

- Para la caramelización, experimentalmente se comprobó que se puede utilizar un rango de 88-92% (m/m) de azúcar en la solución bajo las condiciones de operación de $90.00 \pm 0.10^\circ\text{C}$ en el tanque y a $80.33 \pm 0.58^\circ\text{C}$ en la tina cuando se tiene una solución a 88%; a $90.00 \pm 0.10^\circ\text{C}$ en el tanque y a $82.33 \pm 0.58^\circ\text{C}$ en la tina con una solución a 90% y a $84.73 \pm 0.31^\circ\text{C}$ en el tanque y $80.40 \pm 0.53^\circ\text{C}$ en la tina cuando se trabaja al 92%.
- Las pérdidas iniciales del azúcar en la olla al usar 88.67% (m/m) de azúcar eran de 5.23 ± 0.01 kg, representando un 11.57% de pérdidas en relación con la solución realizada. Con la concentración de 92% de azúcar determinada experimentalmente, se logró reducir las pérdidas a 2.19 ± 0.01 kg en la olla, estas son un 4.46% en la solución. En cuanto al equipo construido, en este se tiene unas pérdidas de 18.98 ± 0.01 kg que representan un 8.98% respecto a la solución.
- El diseño del equipo consta de un tanque cilíndrico y una tina de caramelización, cada una con quemadores de gas propano y el tanque posee un agitador de hélice. El tanque diseñado tiene un volumen de 0.276 m^3 teniendo un alto de 0.94m y un diámetro de 0.62m. La tina, tiene un volumen de 0.17 m^3 un alto de 0.15m, un ancho de 0.75m y un largo de 1.50m. Todo el equipo fue diseñado con acero inoxidable AISI 316 calibre 20.
- El equipo construido varió en el tanque cilíndrico con agitación, ya que este se construyó de forma rectangular debido al presupuesto para el equipo y la fabricación más sencilla de los quemadores de gas propano. El tanque agitado posee un ancho de $0.758 \pm 0.001 \text{ m}$, un largo de $0.800 \pm 0.001 \text{ m}$ y un alto de $0.305 \pm 0.001 \text{ m}$ teniendo así un volumen de $0.185 \pm 0.001 \text{ m}^3$.
- Se determinaron las condiciones de operación del equipo, se debe trabajar a una temperatura no mayor de 90°C en el tanque con agitación y no mayor a 85°C en la tina de cobertura. En el tanque de agitación, se debe utilizar el agitador para la distribución del calor, únicamente cuando el caramelo cubra por completo el agitador, sino, no se debe utilizar por seguridad.

- Para la utilización del equipo se debe abrir por completo las válvulas de los quemadores de gas propano mientras se realiza la caramelización para el ahorro de tiempo, una vez se traslade la mayor cantidad de caramelo a la tina, cerrar las llaves a la mitad y además, rellenar el tanque para que este no trabaje sin caramelo. Realizar los lotes necesarios para cumplir con la demanda necesaria y realizar una limpieza al inicio y final de la producción.
- El pan “tipo rosca” tenía un costo inicial de Q749.86 por cada 1206 unidades (45.36 kg u 100lb de harina utilizada para su producción) y se logró reducir a un costo de Q. 724.46.
- El equipo tuvo un costo de Q. 9,000.00 y tiene un período de recuperación de 45 días.

X. RECOMENDACIONES

- Colocar láminas dentro del tanque rectangular para redondear los bordes por dentro y evitar la acumulación de azúcar en las esquinas que posee.
- Construir un tanque de agitación según el diseño propuesto, así como colocar una tubería para vaciar con válvula de compuerta para la limpieza de la tina.
- Utilizar un levantador de recipientes para colocar las materias primas en el tanque tal como un Bowl Hoist de la marca Hinds-Bock.
- Colocar instrumentos de control en el equipo para controlar así las condiciones de operación.
- Equipo de protección para personas que operan el equipo, guantes aislantes por si llegan a tocar el equipo y bata por sí les cayera caramelo caliente.
- Colocar el tanque de gas fuera de la planta de producción para reducir el riesgo de accidentes.
- Emplear un extractor para remover los gases de combustión generados.
- Utilizar guías al momento de figurar (alargado de la masa y realización de la forma de la rosca) para asegurar el control del tamaño del pan “tipo rosas” asegurando así un tamaño estándar en la producción.

- Implementar un laboratorio de control de calidad tanto para la materia prima como para el producto terminado.

XI. BIBLIOGRAFÍA

A. Fuentes de libros

Cauvain, Stanley. y Young, Linda. 1998. *Fabricación de pan*. Primera edición. Zaragoza, España: Acribia, S.A. 419 págs.

Cauvain, Stanley. y Young, Linda. 2006. *Productos de Panadería: Ciencia, Tecnología y Práctica*. Primera edición. Zaragoza, España: Acribia, S.A. 243 págs.

Çengel, Yunus. y Ghajar, Afshin. 2011. *Transferencia de calor y masa*. Cuarta edición. México D.F., México: McGraw-Hill. 920 págs.

Edwards, W. P. 2007. *The Science of Bakery Products*. Inglaterra: Royal Society of Chemistry Publishing. 259 págs.

Hui, Y. H. et al. 2006. *Bakery Products: Science and Technology*. Primera edición. Inglaterra: Blackwell Publishing. 576 págs.

McCabe, Warren. y Smith, Julian. 1980. *Operaciones básicas de Ingeniería Química*. España: Editorial Reverté, S.A. 1048 págs.

Mathlouthi, Mohamed. y Reiser, Robert. 1995. *Sucrose properties and applications*. Great Britain: Chapman & Hall. 222 págs.

B. Fuentes de internet

Botanical. 2013. *Pan*. Documento en línea en: <http://www.botanical-online.com/pan.htm>

ComercializadoraDF. 2013. *Estufas*. Documento en línea en: <http://www.comercializadoradf.com/2011/03/estufa-4-quemadores-en-acero.html>

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). 2012. *Termómetros*. Documento en línea en: http://www.fsis.usda.gov/wps/wcm/connect/75d81818-a55e-45ff-8ba7-f3f995aa74f4/SP_Kitchen_Thermometers.pdf?MOD=AJPERES

DESCOM. 2009. *Agitación y mezcla*. Universidad Técnica Federico Santa María. Documento en línea en: <http://descom.jmc.uffsml.cl/jcarmi/.../agitacion.doc>

Díaz, Ismael. 2011. *Historia y presente del pan*. Documento en línea en: http://www.mercasa.es/files/multimedios/1298393176_pag_070-079_Pan_yubero.pdf

Engineered Controls International, Inc (ECII). 2013. *LP-Gas Serviceman's manual*. Documento en línea en: <http://gameco.com.au/files/24.pdf>

Fundación I.A.G. Instituto Argentino de Gastronomía. 2013. *Historia del pan*. Documento en línea en: <http://www.panlafamilia.com.mx/index.php?q=node/31>

Gallardo, Felipe. 2007. *El refractómetro*. Documento en línea en: http://dungun.ufro.cl/~explora/index_archivos/refractometro.pdf

Hernández, Alberto. 2008. *Quemadores*. Documento en línea en: <http://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com/2013/01/quemadores-de-gas.pdf>

ITESCAM. 2013. *Tipos de agitadores*. Instituto Tecnológico Superior de Calkiní en el Estado de Campeche, México. Documento en línea en: www.itescam.edu.mx/principal/.../r41436.DOC

Nuteco. 2013. *Silos y tolvas de almacenamiento*. Documento en línea en: <http://www.nutecomes.com/silos-y-tolvas-de-almacenamiento/>

Racca Bulones & Soluciones. 2004. *Aceros Inoxidables*. Documento en línea en: http://www.raccasoluciones.com/Informacion/Info_Ac-Inox/info_ac-inox.html

Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA). 2003. *Industria de Alimentos y Bebidas Procesados: Buenas Prácticas de Manufactura. Principios Generales (RTCA 67.01.33:06)*. Documento en línea en: http://asp.salud.gob.sv/regulacion/pdf/rtca/rtca_67_01_3306_bebidas_procesadas_buenas_practicas.pdf

Rosada, Didier. 2011. *Función del agua en panificación*. Documento en línea en: http://www.elclubdelpan.com/es/libro_maestro/funci%C3%B3n-del-agua-en-panificaci%C3%B3n-parte-i

PCE. 2013. *Balanza de humedad*. Documento en línea en: http://www.pce-instruments.com/espanol/productos-generales-para-profesionales/balanzas/balanza-de-humedad-kat_70122_1.htm

PS Group. 2013. *Maquinaria de panadería*. Documento en línea en: <http://www.psgroup.es/maquinaria-de-panaderia/>

Tejero, Francisco. 2013. *Asesoría técnica en panificación*. Documento en línea en: <http://www.franciscotejero.com/>

Urruego, Alberto. 2011. *Fases de cocción del azúcar*. Documento en línea en: <http://urregoelhostalero.blogspot.com/2011/04/fases-de-coccion-del-azucar.html>

C. Entrevista

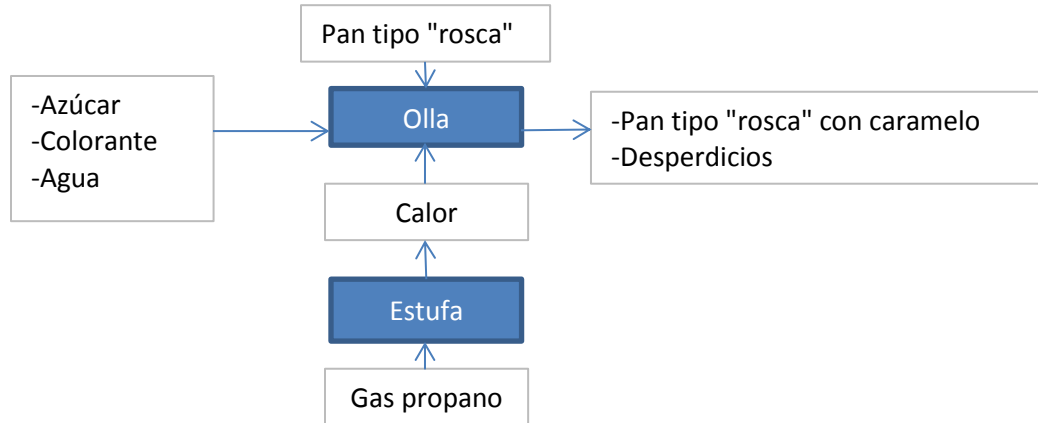
Pérez, Rudi. Marzo 2013. Información proporcionada por el gerente de planta de Industria Panificadora de Oriente, S.A. Industria Panificadora de Oriente, S.A. en el km 124 ruta al Atlántico, Rio Hondo, Zacapa, Guatemala, C.A. Email: rudi.perez@pandelasierra.com. Tel.:(502)58723166

XII. Anexos

A. Diagrama de bloques

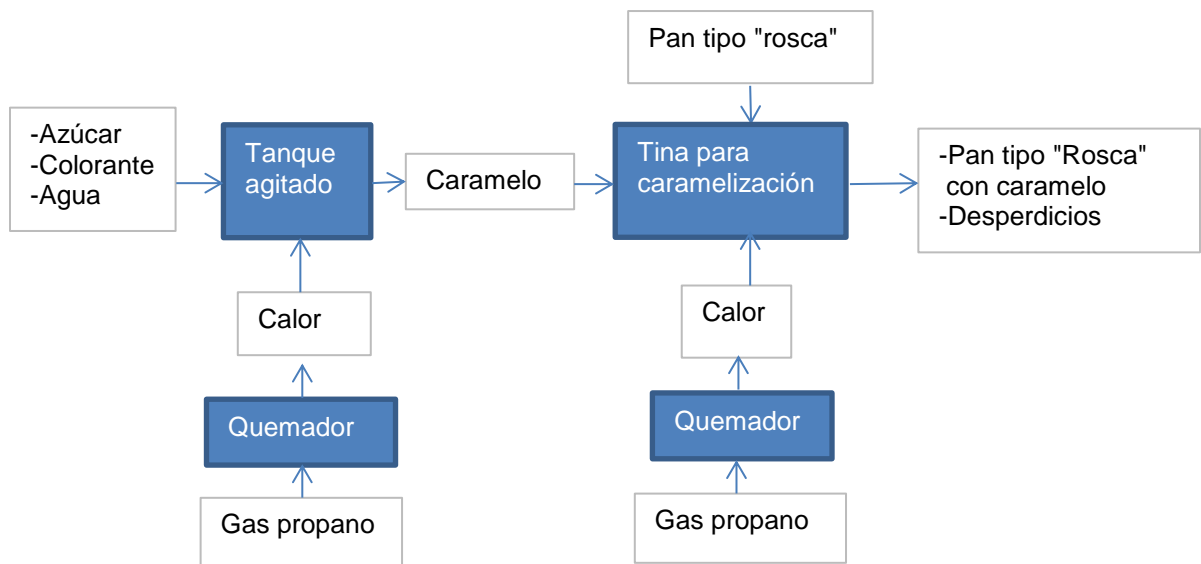
1. Proceso inicial (olla):

Figura No. 4. Diagrama de bloques de proceso empleando olla



2. Equipo diseñado y construido:

Figura No. 5. Diagrama de bloques de equipo diseñado y construido



B. Diagrama de flujo

Figura No. 6. Diagrama de flujo del proceso de caramelización y cobertura en el equipo diseñado

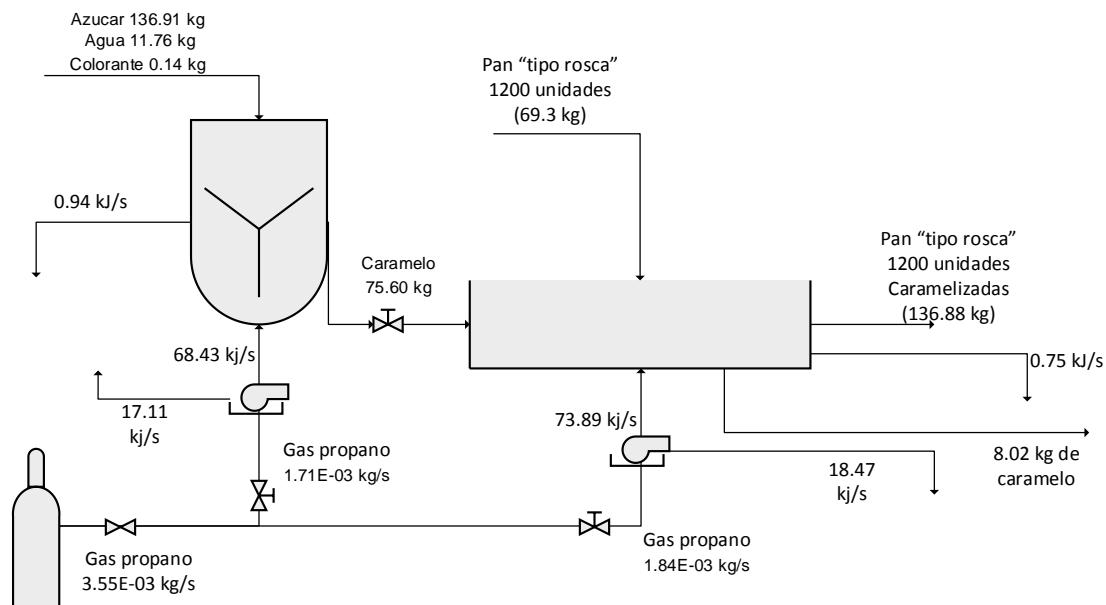
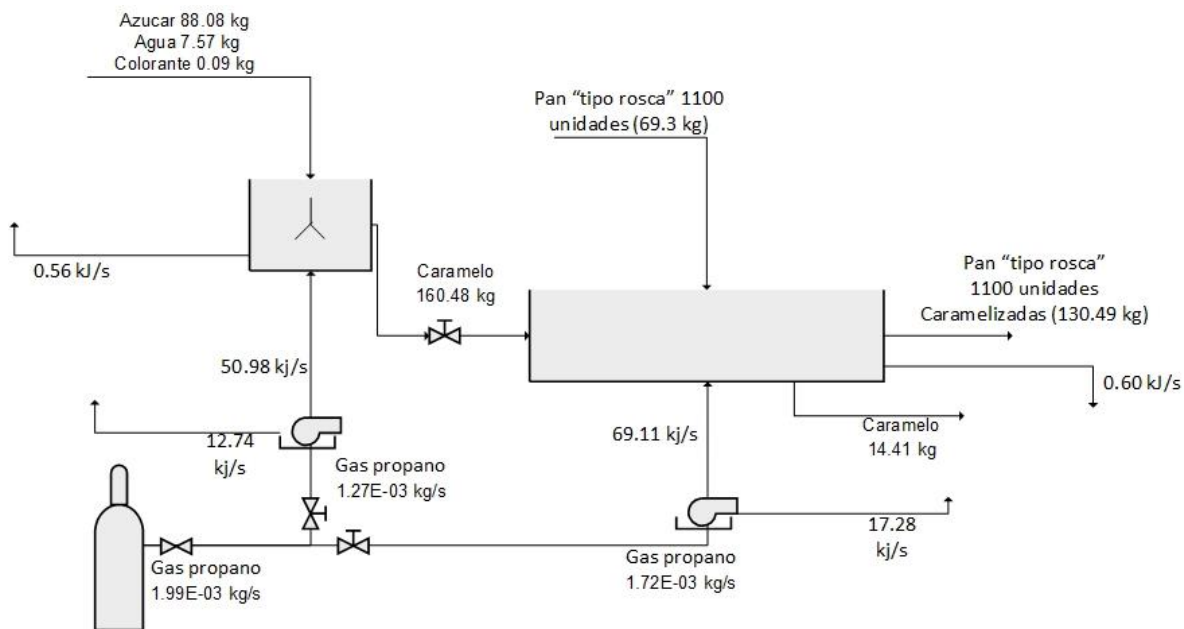


Figura No. 7. Diagrama de flujo del proceso de caramelización y cobertura del equipo construido



C. Imágenes equipo construido

Figura No. 8. Tanque para realización de caramelo con agitación



Figura No. 9. Tina para caramelización



D. Forma de operación del equipo construido

Para la utilización del equipo se debe realizar los siguientes pasos:

- Colocar las materias primas ya pesadas en el tanque para realizar el caramelo.
- Encender el agitador para que este inicie la agitación.
- Abrir por completo las llaves del gas propano y encender los quemadores.
- La realización del caramelo dura aproximadamente 10 minutos.
- Mientras se realiza el caramelo, llenar la jaula de sumersión con roscas para cubrir con caramelo.
- Una vez el caramelo ya este hecho, abrir la llave que conduce al caramelo del tanque a la tina donde se realizará la cobertura.
- Permitir que la tina se llene hasta una altura de 10 cm. Mientras se cubre de caramelo, se puede realizar más caramelo en el tanque.
- Encender los quemadores de gas propano de la tina para evitar que el caramelo se endurezca.
- Sumergir la jaula con las roscas por 30 segundos. En lo que una jaula está sumergida, llenar otra jaula con roscas.
- Levantar la jaula y dejar sobre la tina por 10 segundos para que ya no gotee caramelo.
- Para el enfriamiento, se debe permitir que repose por 30 segundos. Esto quiere decir que una vez se cambie la jaula para sumergir, se dan 30 segundos antes de bajarla para permitir el enfriado, así, en lo que la otra jaula está sumergida, se procede a vaciar la jaula con el producto ya caramelizado.
- El enfriamiento realizado no es completo, las roscas todavía se dejan sobre bandejas colocadas en los carros de bandejas previo a empaque para que se enfríen por hasta una temperatura de 25°C.

E. Datos originales

Tabla No. 15. Evaluación de caramelo

Número	Concentración	Corrida	Temperatura Final ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$)	Temperatura de estabilidad ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$)	Resultados
1	Azúcar 88.6650% Agua 11.2040% Colorante 0.1310%	1	90.0	80	Adecuado
		2	90.1	81	
		3	89.9	80	
		1	95.0	Inicia a ebulir	
		1	100.0	Ebulle	
		1	105.0	Ebulle	
2	Azúcar 80.0000% Agua 19.7689% Colorante 0.2311%	1	85.0	Muy líquido	
		2	85.0		
		3	85.0		
		1	90.0		
		2	90.0		
		3	90.0		
		1	95.0		
3	Azúcar 85.0000% Agua 14.8267% Colorante 0.1733%	1	85.0	Líquido	
		2	85.0		
		3	85.0		
		1	90.0		
		1	95.0	Ebulle	
		1	100.0		
		2	100.0		
		3	100.0		
4	Azúcar 90.0000% Agua 9.8844% Colorante 0.1156%	1	85.0	No ha llegado a textura deseada	
		2	85.0		
		1	90.1	82.0	Adecuado
		2	90.0	83.0	
		3	90.2	82.0	
		1	95.0	Inicia a ebulir	
		2	95.0		
		1	100.0		
2	100.0	Ebulle			
5	Azúcar 95.0000% Agua 4.9422% Colorante 0.0578%	1	85.0	Sólida	
		2	85.0		
		1	90.0		
		2	90.0		
		1	95.0		
		2	95.0		
		1	100.0		
2	100.0				

Tabla No. 16. Evaluación para rango de caramelo

Número	Concentración	Corrida	Temperatura Final ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$)	Temperatura de estabilidad ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$)	Resultados
1	Azúcar 87.0000% Agua 12.8500% Colorante 0.1502%	1	85.0	Líquido	
		2	85.0		
		3	85.0		
		1	90.0		
		2	90.0		
		3	90.0		
		1	95.0		
		2	95.0		
		3	95.0		
		1	100.0	Ebulle	
		2	100.0		
		3	100.0		
2	Azúcar 88.0000% Agua 11.8613% Colorante 0.1387%	1	85.2	81.0	Límite de líquido
		2	85.2	81.0	
		3	85.1	80.0	
		1	90.0	80.0	Adecuado
		2	90.1	81.0	
		3	89.9	80.0	
		1	95.0	Inicia a ebulir	
		2	95.0		
		3	95.0		
		1	100.0	Ebulle	
		2	100.0		
		3	100.0		
		2	100.0		
		3	100.0		
		3	100.0		
3	Azúcar 92.0000% Agua 7.9076% Colorante 0.0924%	1	84.4	80.0	Límite de sólidos
		2	85.0	81.0	
		3	84.8	80.2	
		1	89.9	81.0	Límite de sólidos
		2	90.1	81.0	
		3	90.2	82.0	
		1	95.0	Ebulle	
		2	95.0		
		3	95.0		
		1	100.0	Ebulle	
		2	100.0		
		3	100.0		

Tabla No. 17. Capacidad calorífica del caramelo (Mathlouthi, 1995)

Cp a 84.7°C	2.466142174	kJ/kg K
Cp a 80.4°C	2.43601857	kJ/kg K

Tabla No. 18. Conductividad térmica de metales (Çengel, 2011)

Aluminio	240	W/m K
Acero inoxidable 316	17.2	W/m K

Tabla No. 19. Energía proporcionada por el gas propano (ECII, 2013)

Energía propano	21548	BTU/libra
-----------------	-------	-----------

Tabla No. 20. Características olla

	Olla
Diámetro superior	0.570±0.005 m
Diámetro inferior	0.310±0.005 m
Alto	0.220±0.005 m
Capacidad volumétrica	0.034±0.001 m ³
Grosor lámina	0.0015±0.0005 m
Material	Aluminio

Tabla No. 21. Dimensiones equipo construido

	Tanque agitado	Tina caramelización
Ancho	0.758±0.001 m	0.75±0.01 m
Largo	0.800±0.001 m	1.50±0.01 m
Alto	0.305±0.001 m	0.15±0.01 m
Capacidad volumétrica	0.185±0.001 m ³	0.17±0.01 m ³
Diámetro agitador	0.15 m	No aplica
Distancia del agitador al fondo	0.15 m	No aplica
Quemador	Tres quemadores de flauta de llama blanca	Dos quemadores en U de llama blanca para ocupar el área superficial de 1.13 m ²
Material	Acero inoxidable 316	
Calibre lámina	20	
Grosor lámina	0.892 mm	

*Referirse a la figura no. 10 y 11

Tabla No. 22. Dimensiones jaulas para sumergir roscas

	Jaula
Ancho	0.73±0.01 m
Largo	1.48±0.01 m
Alto	0.10±0.01 m
Capacidad volumétrica	0.11±0.01 m ³
Material	Acero inoxidable 304
Forma material	Varilla de 10 mm

Tabla No. 23. Pérdida de caramelo en el equipo con respecto a la solución inicial

Equipo	Pérdida (±0.01 kg)	Porcentaje de pérdida (%)
Olla con solución de 88.67% de azúcar (Proceso original). En base a 45.20 kg de caramelo.	5.23	11.57%
Olla con solución de 92% de azúcar. En base a 45.20 kg de caramelo.	2.19	4.46%
Equipo construido con solución de 92% de azúcar. En base a 211.38 kg de caramelo.	18.98	8.98%

F. Cálculos de muestra

1. Dimensiones del tanque de agitación: Las dimensiones se calculan a partir del volumen,

$$V = \pi r^2 h \quad \text{Ecuación No. 1}$$

Donde V es volumen, r el radio y h la altura del tanque. Se sabe que h es 3 veces el radio y el volumen deseado es de 0.28 m^3 , por lo tanto:

$$0.28 \text{ m}^3 = \pi r^2 * 3r$$

Despejando r se obtiene que: $r=0.31 \text{ m}$. Por lo tanto, $h=0.93 \text{ m}$

2. Área transversal del tanque

$$A = \pi r^2 \quad \text{Ecuación No. 2}$$

Donde A es el área y r el radio del tanque. Ejemplo con el área del tanque diseñado para el equipo:

$$A = \pi * 0.31 \text{ m}^2 = 0.30 \text{ m}^2$$

Este cálculo se realizó para el cálculo de las áreas transversales de la olla, el equipo diseñado y el equipo construido.

3. **Determinación del factor de visión para tanque:** El factor de visión (F) es importante para la realización del cálculo del calor por radiación. Para el del tanque, se debe emplear la figura 13-7 del libro de Çengel, 2011. Para esto, se necesita la relación L/r_1 y r_2/L , siendo r_1 el radio del disco de abajo (en este caso la llama del gas) y r_2 el radio del disco de arriba (en este caso el tanque) y L es la distancia entre ellos. Ejemplo con el F del tanque diseñado: Se sabe que el radio tanto del tanque como del quemador de gas propano es del mismo tamaño, teniendo así un radio de 0.31m y una distancia entre cada objeto de 0.05m, entonces, L/r_1 es 0.16 y r_2/L es 6.16 por lo que según la gráfica, F es 0.82. Este cálculo también se realizó para la olla y el equipo construido.

4. **Determinación del factor de visión para tina:** El factor de visión (F) para la tina se calcula empleando la figura 13-5 del libro de Çengel, 2011. Para esto, se necesita la relación L_1/D y L_2/D , siendo L_1 es el ancho de la tina y L_2 es el largo de la tina (considerando que ambos la tina y el quemador tienen el mismo tamaño) y D es la distancia entre ellos. Ejemplo con el F de la tina diseñada: Se sabe que el radio tanto del tanque como del quemador de gas propano es del mismo tamaño, teniendo así un radio de 0.31m y una distancia entre cada objeto de 0.05m, entonces, L/r_1 es 0.16 y r_2/L es 6.16 por lo que según la gráfica, F es 0.82. Este cálculo también se realizó para la olla y el equipo construido.

5. Calor reflejado por radiación:

$$Q_{12} = (A\sigma(T_1^4 - T_2^4)) / \left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right) \quad \text{Ecuación No. 3 (Çengel, 2011)}$$

Donde Q_{12} es el calor transferido del quemador al tanque o tina, A es el área transversal, σ es la constante de Stefan-Boltzmann, T_1 es la temperatura del equipo y T_2 es la temperatura de la flama de gas propano; ε es la emisividad, la 1 es del equipo y la 2 es de la flama, que en este caso se toma como cuerpo negro por lo tanto tiene un valor de 1.

Ejemplo con el cálculo del calor por radiación del quemador al tanque diseñado:

$$Q_{12} = (0.30\text{m}^2 * 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{\text{m}^2\text{K}^4} * (298^4 - 1500^4) \text{K}^4) / \left(\frac{1}{0.2} + \frac{1}{1} - 1 \right) = -17108.41 \text{ J/s}$$

Este cálculo se realizó para el cálculo de la resistencia térmica de la olla, la el equipo diseñado y el equipo construido. Para el caso del calor absorbido, se utilizó la misma fórmula pero se utilizó la emisividad como $1-\varepsilon_1$

6. Resistencia térmica del tanque:

$$R = L/kA \quad \text{Ecuación No. 4 (Çengel, 2011)}$$

Donde R es la resistencia térmica, L es el grosor de la lámina, k es la conductividad térmica del acero y A es el área de contacto. Ejemplo con el cálculo de la resistencia térmica del tanque diseñado:

$$R = \frac{8.92 \times 10^{-4} \text{ m}}{17.2 \left(\frac{\text{W}}{\text{mK}} \right) * 0.30 \text{ m}^2} = 1.74 \times 10^{-4} \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Este cálculo se realizó para el cálculo de la resistencia térmica de la olla, la el equipo diseñado y el equipo construido.

7. Temperatura perdida por conducción: esta diferencia de temperatura se obtiene con el calor absorbido por el tanque (Q) y la resistencia térmica del acero inoxidable (R). Como se sabe:

$$Q = (\Delta T_{pared}) / (R_{pared}) \quad \text{Ecuación No. 5 (Çengel, 2011)}$$

Por lo tanto para determinar ΔT se tiene que:

$$(\Delta T_{pared}) = Q * R_{pared} = 5175.31 \text{ W} * 1.74 \times 10^{-4} \frac{\text{K}}{\text{W}} = 11.89 \text{ K}$$

Este cálculo se realizó para el cálculo del cambio de temperatura por conducción de la olla, la el equipo diseñado y el equipo construido.

8. **Diámetro de agitador:** el diámetro (D_a) del agitador se calcula según el diámetro (D) del tanque. Por ser un tanque de hélice se sabe teóricamente que:

$$D_a = \frac{1}{4}D \quad \text{Ecuación No. 6}$$

Por lo tanto, el diámetro del agitador diseñado para el tanque es:

$$D_a = \frac{1}{4}(0.62m) = 0.16m$$

9. **Número de Reynolds para el fluido en el tanque:** el número de Reynolds se calcula para determinar el comportamiento del fluido dentro del tanque.

$$N_{Re} = D_a^2 n \rho / \mu \quad \text{Ecuación No. 7 (McCabe, 1980)}$$

Donde N_{Re} es el número de Reynolds, D_a es el diámetro del agitador, n es la velocidad rotacional del agitador, ρ es la densidad del líquido y μ es la viscosidad del líquido. Ejemplo con el cálculo del tanque diseñado:

$$N_{Re} = ((0.16m^2)(20/s)(1426.50kg/m^3)) / \left(0.0383 \frac{kg}{ms}\right) = 17693.03$$

Este cálculo también se realizó para la olla y el tanque del equipo construido.

10. **Número de Prandtl para el fluido en el tanque:** el número de Prandtl se utiliza para describir el espesor relativo de las capas límite de velocidad y térmica.

$$N_{Pr} = \mu C_p / k \quad \text{Ecuación No. 8 (Çengel, 2011)}$$

Donde N_{Pr} es el número de Prandtl, C_p es la capacidad calorífica de la solución, μ es la viscosidad del líquido y k es la resistividad térmica de la solución. Ejemplo con el cálculo del tanque diseñado:

$$N_{Pr} = (0.0383)(2.4661) / (0.1327) = 0.71$$

Este cálculo también se realizó para la olla y el tanque del equipo construido.

11. Número de Nusselt para el fluido en el tanque: este es necesario para conocer el comportamiento del calor convectivo dentro del tanque.

$$N_{Nu} = 0.023 N_{Re}^{4/5} N_{Pr}^{0.4} \quad \text{Ecuación No. 9 (Çengel, 2011)}$$

Donde N_{Nu} es el número de Nusselt, N_{Re} es el número de Reynolds y N_{Pr} es el número de Prandtl. Ejemplo con el cálculo del tanque diseñado:

$$N_{Nu} = 0.023 * 17693.03^{4/5} * 0.71^{0.4} = 50.23$$

Este cálculo también se realizó para la olla y el tanque del equipo construido.

12. Coeficiente de convección del fluido dentro del tanque: este coeficiente es de suma importancia para el cálculo de la energía que se transfiere mediante convección.

$$N_{Nu} = \frac{h_c D}{k} \quad \text{Ecuación No. 10 (Çengel, 2011)}$$

Donde N_{Nu} es el número de Nusselt, h_c es el coeficiente convectivo de la solución en el tanque, D es el diámetro del tanque y k es la resistividad térmica de la solución. Por lo tanto, para obtener el coeficiente convectivo este se despeja y se obtiene:

$$h_c = \frac{N_{Nu} k}{D}$$

Ejemplo con el cálculo del tanque diseñado:

$$h_c = \frac{50.23 * 0.1327 \frac{W}{mK}}{0.62 m} = 10.81 \frac{W}{m^2K}$$

Este cálculo también se realizó para la olla y el tanque del equipo construido.

13. Calor transferido por convección y conducción hacia los alrededores por las paredes: cálculo requerido para determinar las pérdidas de calor entre el sistema y el área que lo rodea. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = A * (T_{\infty 1} - T_{\infty 2}) / \left(\frac{1}{h_{\text{solución}}} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_{\text{aire}}} \right) \quad \text{Ecuación No. 11 (Çengel, 2011)}$$

Donde Q es el calor, A es el área de la pared del tanque, $T_{\infty 1}$ y $T_{\infty 2}$ son las temperaturas de adentro y fuera del tanque respectivamente, h_c es el coeficiente convectivo de cada sustancia respectiva, L es el grosor de la lámina y k es la resistividad térmica del material. Ejemplo con el cálculo del tanque diseñado:

$$Q = \left(2 * \pi * 0.92m * \frac{0.62m}{2} \right) * (84.73 - 25)K / \left(\frac{1}{10.81 \frac{W}{m^2K}} + \frac{0.002m}{17.2 \frac{W}{mK}} + \frac{1}{25 \frac{W}{m^2K}} \right) = 806.56 \frac{J}{s}$$

Este cálculo se realizó para el cálculo de la olla, la del equipo diseñado y el equipo construido.

14. Calor transferido por convección hacia los alrededores por la parte superior del tanque: cálculo requerido para determinar las pérdidas de calor entre la solución y el aire que se encuentra en la parte superior ya que el equipo no está sellado por arriba. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = A * (T_{\infty 1} - T_{\infty 2}) / \left(\frac{1}{h_{\text{solución}}} + \frac{1}{h_{\text{aire}}} \right) \quad \text{Ecuación No. 12 (Çengel, 2011)}$$

Donde Q es el calor, A es el área de contacto entre la solución (área de un círculo $A = \pi r^2$) y el aire, $T_{\infty 1}$ y $T_{\infty 2}$ son las temperaturas de adentro y fuera del tanque respectivamente y h_c es el coeficiente convectivo de cada sustancia respectiva. Ejemplo con el cálculo del tanque diseñado:

$$Q = \left(\frac{\pi}{4} 0.62^2 \right) * (84.73 - 25)K / \left(\frac{1}{10.81 \frac{W}{m^2K}} + \frac{1}{25 \frac{W}{m^2K}} \right) = 134.54 J/s$$

Este cálculo se realizó para el cálculo de la olla, la del equipo diseñado y el equipo construido.

15. Energía necesaria para la solvatación y calentamiento de la solución: cálculo requerido para determinar la cantidad de energía necesaria para que el azúcar se disuelva adecuadamente en el agua y además, se logre llegar a la temperatura deseada de 85°C. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = mC(T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación No. 13}$$

Donde Q es el calor necesario, m es la masa empleada de solución, C es el calor específico de la solución y el aire, T₂ la temperatura final y T₁ la temperatura inicial de la solución. Ejemplo con el cálculo del tanque diseñado:

$$Q = (148.83 \text{ kg}) \left(2.47 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right) (84.73 - 25) \text{K} = 48332.04 \text{ kJ}$$

Este cálculo se realizó para el cálculo de la olla, la del equipo diseñado y el equipo construido.

16. Tiempo de calentamiento teórico: se obtiene según la energía requerida para la solvatación. Según los cálculos, los calores determinados fueron en J/s, por lo que se puede despejar de los mismos para obtener la temperatura.

$$Q_{\text{necesaria}} = Q_{\text{absorbidarad}} - Q_{\text{convección}} \quad \text{Ecuación No. 14}$$

Donde Q_{necesaria} es el calor necesario para la solvatación, Q_{absorbidarad} es el calor absorbido por radiación en el tanque y Q_{convección} es el calor perdido por convección hacia el aire. Ejemplo con el cálculo del tanque diseñado:

$$48332.04 \text{ kJ} = t[(68433.62 \text{ J/s}) - (806.56 + 134.54) \text{ J/s}] \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right) \left(\frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}} \right)$$

Despejando t, se tiene:

$$t = 11.94 \text{ min}$$

Este cálculo se realizó para el cálculo del tiempo de calentamiento en la olla, la del equipo diseñado y el equipo construido.

17. Tubería a utilizar: este cálculo se realizó para determinar el diámetro de la tubería a utilizar en el equipo para transferir el caramelo del tanque a la tina. Además, en base a este diámetro también se coloca la válvula. Para esto, se realizó lo siguiente:

El flujo másico es de 106 kg/min con una densidad de 1427 kg/m³. Se desea una velocidad lineal de 1 m/s. Así, en dos minutos que se desea de descarga, se tienen 6360 kg/h y el flujo volumétrico es de 4.46 m³/h al dividir el flujo en kg/h dentro de la densidad. Para obtener el diámetro de la tubería se utilizó la siguiente formula:

$$D = \sqrt{\frac{\text{Flujo volumétrico}}{\text{Velocidad lineal}}} \quad \text{Ecuación No. 15}$$

Sustituyendo se obtiene que:

$$D = 18.8 \sqrt{\frac{4.46 \text{ m}^3/\text{h}}{1 \text{ m/s}}} = 39.70\text{mm} * \left(\frac{1}{10}\right) * \left(\frac{1}{2.54}\right) = 1.56 \text{ in}$$

Según el diámetro obtenido, se necesita utilizar una tubería de 1.5" catálogo 40, que posee un diámetro interno de 1.610" y se desea de acero inoxidable 316.

18. Gas propano utilizado: este se calculó de forma matemática ya que no se poseía una balanza para determinar la diferencia de masa del tanque utilizado. Así, teóricamente, una libra de gas propano genera 21548 BTU. Así, con la cantidad de kJ necesarios, se convierten a BTU y se busca la masa utilizada en kg. Ejemplo con el cálculo del tanque diseñado:

$$\text{Gas propano} = 61257.46\text{kJ} * \frac{0.95 \text{ BTU}}{1 \text{ kJ}} * \frac{\text{lb gas propano}}{21548 \text{ BTU}} * \frac{0.45 \text{ kg}}{\text{lb}} = 1.22 \text{ kg gas propano}$$

Este cálculo se realizó para el cálculo del gas propano consumido en la olla, la del equipo diseñado y el equipo construido.

19. Potencia del agitador: este cálculo se realiza para determinar la potencia necesaria para el agitador del tanque. Se realiza según la siguiente ecuación:

$$P = \phi \rho n^3 D_a^5 \quad \text{Ecuación No. 16 (McCabe, 1980)}$$

Donde P es la potencia, D_a es el diámetro del agitador, n es la velocidad rotacional del agitador, ρ es la densidad del líquido y ϕ es la función de potencia del agitador determinado empleando el N_{re} (número de Reynolds) y la fig. 9-15 de McCabe, 1980. Ejemplo con el cálculo del tanque diseñado empleando una eficiencia del 80% del motor:

$$P = (0.32) \left(\frac{1426.50kg}{m^3} \right) \left(\frac{20}{s} \right)^3 (0.16m^2)^5 \left(\frac{0.001341022Hp}{1W} \right) (1.2) = 0.50 Hp$$

G. Análisis de error

1. Media: se utiliza para obtener un valor medio de los datos obtenidos durante toda la medición de datos y toma de muestras en el transcurso de un proceso. La media se calcula utilizando AVERAGE en Excel pero se basa en la siguiente ecuación.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_n}{n} \quad \text{Ecuación No. 18}$$

Donde x es cada dato y n es el total de datos. Ejemplo con la media de la temperatura determinada como temperatura final para la solución del tanque en la primera etapa del trabajo:

$$T_{media} = \frac{84.40^\circ C + 85^\circ C + 84.80^\circ C}{3} = 84.73 \pm 0.31^\circ C$$

Este proceso se realiza para encontrar todas las medias de resultados.

2. **Desviación estándar:** se utiliza cuando calculamos un promedio de varios datos obtenidos. Por ejemplo, para el cálculo de la eficiencia promedio del aislante. Se calcula como un promedio de todas las eficiencias calculadas, por lo que se calcula una desviación estándar. La desviación estándar se calcula utilizando las funciones de Excel, en este caso, STDEV, pero se basa en la siguiente ecuación:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Ecuación No. 19

Donde x es cada dato, \bar{x} es la media y n es el total de datos. Un ejemplo en el que se utiliza la desviación estándar en este proyecto es para el cálculo del error de la media de la temperatura final para la solución del tanque en la primera etapa del trabajo. Para esta temperatura, eran tres temperaturas las cuales eran 84.40°C, 85.00°C y 84.80°C y se calculó que la desviación estándar es de 0.31°C. Este proceso se aplica a todos los errores obtenidos de las medias calculadas durante la práctica.

3. Propagación de error:

a. **Propagación para sumas y restas:** Este valor se calcula para determinar la propagación del error en valores que se suman o se restan.

$$s_y = \sqrt{s_a^2 + s_b^2 + \dots + s_n^2}$$

Ecuación No. 20

Los valores S dentro de la raíz cuadrada es la incertidumbre de cada medición y la S_y es la incertidumbre de la suma o resta de la operación.

Se aplica para el cálculo del calor perdido por convección en la olla para el cálculo teórico:

$$S_w = \sqrt{(5.06)^2 + (3.40)^2} = 7.19 \text{ kJ}$$

Así,

$$\begin{aligned} Q_{\text{perdido por convección}} &= Q_{\text{paredes}} + Q_{\text{superior}} = 224.25 \pm 5.06 \text{ kJ} + 188.18 \pm 3.40 \text{ kJ} \\ &= 412.44 \pm 7.19 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \end{aligned}$$

Este proceso se utilizó para todas las incertidumbres generadas por sumas y restas.

b. Propagación para multiplicación y división: Este valor se calcula para determinar la propagación del error en valores que se multiplican o dividen.

$$s_y = y \sqrt{\left(\frac{s_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{s_b}{b}\right)^2 + \dots + \left(\frac{s_n}{n}\right)^2} \quad \text{Ecuación No. 21}$$

Los valores S dentro de la raíz cuadrada es la incertidumbre de cada medición y está dividido entre el valor medido y la Sy es la incertidumbre de la multiplicación o división de la operación.

Se ejemplifica el cálculo de la diferencia en temperatura ocasionada por la conducción en la olla de forma teórica:

$$S_F = 0.39 \sqrt{\left(\frac{58.00}{4673.92}\right)^2 + \left(\frac{2.76 \times 10^{-5}}{8.28 \times 10^{-5}}\right)^2} = 0.36K$$

Así,

$$F = (4673.92 \pm 58.00 J/s) \left(8.28 \times 10^{-5} \pm 2.76 \times 10^{-5} \frac{K}{W}\right) = 0.39 \pm 0.36K$$

Este proceso se utilizó para todas las incertidumbres generadas por multiplicaciones y divisiones.

H. Datos calculados

Tabla No. 24. Concentraciones adecuadas para la realización del caramelo y sus temperaturas

Concentración (% m/m)	Temperatura Final (°C)	Temperatura de estabilidad (°C)
88% azúcar 11.86% agua 0.14% colorante	90.00±0.10	80.33±0.58
90% azúcar 9.88% agua 0.12% colorante	90.10±0.10	82.33±0.58
92% azúcar 7.91% agua 0.09% colorante	84.73±0.31	80.40±0.53

Tabla No. 25. Cálculo de transferencia de calor por radiación teórica en la olla

L/r1	0.32±0.03	
r2/L	3.10±0.31	
F12	0.75	fig 13-7 (Cengel, 2011)
Emisividad quemador	1.00	(Cengel, 2011)
Emisividad olla	1.00	(Cengel, 2011)
T flama	1100.00±0.10	K
T inicial	298.00±0.10	K
A	0.08±9.36E-04	m ²
constante	5.67E-08	W/m ² K ⁴
Q	4673.94±58.01	J/s
Q perdida	1557.98±19.34	J/s

Tabla No. 26. Cambio en temperatura causado por el material para la transferencia de calor por conducción experimental en la olla

Cambio en Temperatura	0.39±0.36	K
Q	4673.94±58.01	J/s
Resistencia olla	8.28E-05±2.76E-05	K/W

Tabla No. 27. Cálculo de transferencia de calor por convección teórica en la olla

hc aire	25.00	W/m ² K
T aire	25.00±0.01	°C
q aire	625.00	W/m ²
hc solución	10.81	W/m ² K
T solución	84.73±0.01	°C
q solución	645.69±76.79	W/m ²
q/a paredes	450.75±1.15E-03	W/m ²
q/a superior	450.77±6.53E-04	W/m ²
q paredes	137.08±2.52	W
q superior	115.03±1.43	W

Tabla No. 28. Tiempo utilizado de quemador y cantidad de propano empleado en cálculo teórico de la olla

Tiempo	27.27±0.36	min
Cantidad propano	0.20±7.32E-05	kg

Tabla No. 29. Balance de masa y energía promedio ideal de olla con un 5% de pérdidas de caramelo

Entradas		Proceso	Salidas	
Descripción	Cantidad		Descripción	Cantidad
Gas propano	0.20±7.32E-05 kg	Quemador	Energía empleada para calentar olla	7646.49±138.18 kJ
			Gases de combustión	---
Aire ambiental	---		Energía a los alrededores	2548.83±46.06 kJ
Azúcar	20.49±0.60 kg	Olla		
Agua	1.76±0.05 kg		Pan tipo rosca con caramelo (0.13 kg/unidad)	19.82±1.1 kg
Colorante	0.02±1.29E-03 kg		Energía perdida por convección	412.44±7.19 kJ
Pan tipo roscas (0.063 kg/unidad)	17.64±1.1 kg		Pérdidas de caramelo	2.45 kg
Energía	7646.49±138.18 kJ			

Tabla No. 30. Cálculo de transferencia de calor por radiación experimental en la olla

L/r1	0.32±0.03	
r2/L	3.10±0.31	
F12	0.75	fig 13-7 (Cengel, 2011)
Emisividad quemador	1.00	(Cengel, 2011)
Emisividad olla	1.00	(Cengel, 2011)
T flama	1000.00±0.10	K
T inicial	298.00±0.10	K
A	0.08±9.36E-04	m ²
constante	5.67E-08	W/m ² K ⁴
Q	3184.34±39.52	J/s
Q perdida	1061.45±13.17	J/s

Tabla No. 31. Cambio en temperatura causado por el material para la transferencia de calor por conducción experimental en la olla

Cambio en Temperatura	0.26±0.06	K
Q	3184.34±39.52	J/s
Resistencia olla	8.28E-05±2.76E-05	K/W

Tabla No. 32. Cálculo de transferencia de calor por convección experimental en la olla

hc aire	25.00	W/m ² K
T aire	23.00±0.01	°C
q aire	675.00	W/m ²
hc solución	10.81	W/m ² K
T solución	85.00±0.01	°C
q solución	670.23±79.70	W/m ²
q/a paredes	467.88±1.19E-03	W/m ²
q/a superior	467.90±6.72E-04	W/m ²
q paredes	142.29±2.61	W
q superior	119.40±1.48	W

Tabla No. 33. Tiempo utilizado de quemador y cantidad de propano empleado en cálculo experimental de la olla

Tiempo	41.25±0.56	min
Cantidad propano	0.21±4.75E-05	kg

Tabla No. 34. Balance de masa y energía promedio experimental de olla a una temperatura ambiental de 23°C.

Entradas		Proceso	Salidas	
Descripción	Cantidad		Descripción	Cantidad
Gas propano	0.21±4.75E-05 kg	Quemador	Energía empleada para calentar olla	7881.76±144.91 kJ
			Gases de combustión	-----
Aire ambiental	---		Energía a los alrededores	2627.25±48.30 kJ
Azúcar	20.49±0.60 kg	Olla		
Agua	1.76±0.05 kg		Pan tipo rosca con caramelo (0.13 kg/unidad)	37.72±1.1 kg
Colorante	0.02±1.29E-03 kg		Energía perdida por convección	647.71±11.51 kJ
Pan tipo roscas (0.063 kg/unidad)	17.64±1.1 kg		Pérdidas de caramelo	2.19±0.01 kg
Energía	7881.76±144.91 kJ			

Tabla No. 35. Dimensiones equipo diseñado

	Tanque agitado	Tina caramelización
Ancho	No aplica	0.75 m
Largo	No aplica	1.50 m
Alto	0.94 m	0.15 m
Diámetro	0.62 m	No aplica
Capacidad volumétrica	0.276 m ³	0.17 m ³
Diámetro agitador	0.15 m	No aplica
Distancia del agitador al fondo	0.15 m	No aplica
Quemador	Llama azul diámetro de 0.62 m	Dos quemadores en U de llama blanca para ocupar el área superficial de 1.13 m ²
Material	Acero inoxidable 316	
Calibre lámina	20	
Grosor lámina	0.892 mm	

*Referirse a la figura no. 12 y 13

Tabla No. 36. Cálculo de transferencia de calor por radiación teórico equipo diseñado

	Tanque agitado	Tina caramelización	
L/r1 (tanque) L2/D (tina)	0.16±0.03	30.00±6.00	
r2/L (tanque) L1/D (tina)	6.16±1.24	15.00±3.01	
F12	0.85	1.00	fig 13-7 (Cengel, 2011)
Emisividad quemador	1.00	1.00	(Cengel, 2011)
Emisividad olla	0.80	0.80	(Cengel, 2011)
T flama	1500.00±0.10	1100.00±0.01	K
T inicial	298.00±0.10	357.73±0.01	K
A	0.30±0.01	1.13±0.02	m2
constante	5.67E-08	5.67E-08	W/m2K4
Q	68433.62±1570.02	73877.33±1101.30	J/s
Q perdida	17108.41±392.50	18469.33±275.33	J/s

Tabla No. 37. Cambio en temperatura causado por el material para la transferencia de calor por conducción teórico equipo diseñado

	Tanque agitado	Tina caramelización	
Cambio en Temperatura	11.89±0.52	3.41±0.23	K
Q	68433.62±1570.02	73877.33±1101.30	J/s
Resistencia olla	1.74E-04±2.75E-03	4.61E-05±5.17E-04	K/W

Tabla No. 38. Cálculo de transferencia de calor por convección teórico equipo diseñado

	Tanque agitado	Tina caramelización	
hc aire	25.00	25.00	W/m ² K
T aire	25.00±0.01	25.00±0.01	°C
q aire	625.00	625	W/m ²
Viscosidad jarabe	0.04	0.04	kg/ms
Densidad jarabe	1426.50	1426.50	kg/m ³
Diametro rodete	0.15±0.01	No aplica	m
velocidad de rodete	20.00±0.01	No aplica	rps
Re	17693.03±1623.58	No aplica	
Pr	0.71	No aplica	
n (para elevar pr)	0.40	No aplica	
Nusselt	50.23±4.61	No aplica	
hc solución	10.81±1.01	10.81±1.01	W/m ² K
T solución	84.73±0.01	80.40±0.01	°C
q solución	645.69±97.55	598.88±90.48	W/m ²
q/a paredes	450.60±0.26	417.93±0.24	W/m ²
q/a superior	450.77±6.53E-04	418.09±6.74E-04	W/m ²
q paredes	806.95±15.74	282.10±42.62	W
q superior	134.54±3.09	470.36±7.01	W

Tabla No. 39. Tiempo utilizado de quemador y cantidad de propano empleado en cálculo teórico equipo diseñado

	Tanque agitado	Tina caramelización	
Tiempo	11.94±0.28	4.94±0.07	min
Cantidad propano	1.22±1.94E-03	0.55±1.36E-03	kg

Tabla No. 40. Balance de masa y energía diseño propuesto considerando que hay 5% de pérdidas de caramelo

Entradas		Proceso	Salidas	
Descripción	Cantidad		Descripción	Cantidad
Gas propano	1.22 kg	Quemador tanque	Energía empleada por tanque	49006.25 kJ
Aire ambiental	---		Gases de combustión	---
			Energía a los alrededores	12251.56 kJ
Azúcar	136.91 kg	Tanque agitado	Caramelo	148.81 kg
Agua	11.76 kg		Energía perdida por convección	674.22 kJ
Colorante	0.14 kg			
Energía	49006.25 kJ			
Gas propano	0.55 kg	Quemador tina	Energía empleada por tina	21879.81 kJ
Aire ambiental	----		Gases de combustión	---
			Energía a los alrededores	5469.95 kg
Pan tipo roscas (0.063 kg/unidad)	69.3 kg	Tina para cobertura (emplea solo la mitad del caramelo del tanque)	Energía perdida por convección	222.85 kJ
Caramelo	75.60 kg		Pan tipo rosca con caramelo (0.11 kg/unidad)	136.88 kg
Energía	21879.81 kJ		Pérdidas de caramelo	8.02 kg

Tabla No. 41. Cálculo de transferencia de calor por radiación teórico equipo construido

	Tanque agitado	Tina caramelización	
L2/D	8.00±0.81	30.00±6.00	
L1/D	7.58±0.76	15.00±3.01	
F12	1	1.00	fig 13-7 (Cengel, 2011)
Emisividad quemador	1.00	1.00	(Cengel, 2011)
Emisividad olla	0.80	0.80	(Cengel, 2011)
T flama	1200.00±0.10	1100.00±0.01	K
T inicial	298±0.10	357.73±0.01	K
A	0.61±0.01	1.13±0.02	m ²
constante	5.67E-08	5.67E-08	W/m ² K ⁴
Q	56820.15±1032.65	73877.33±1101.30	J/s
Q perdida	14205.04±258.16	18469.33±275.33	J/s

Tabla No. 42. Cambio en temperatura causado por el material para la transferencia de calor por conducción teórico equipo construido

	Tanque agitado	Tina caramelización	
Cambio en Temperatura	4.86±0.30	3.41±0.23	K
Q	56820.15±1032.65	73877.33±1101.30	J/s
Resistencia olla	8.55E-05±9.59E-04	4.61E-05±5.17E-04	K/W

Tabla No. 43. Cálculo de transferencia de calor por convección teórico equipo construido

	Tanque agitado	Tina caramelización	
hc aire	25.00	25.00	W/m ² K
T aire	25.00±0.01	25.00±0.01	°C
q aire	625.00	625	W/m ²
Viscosidad jarabe	0.04	0.04	kg/ms
Densidad jarabe	1426.50	1426.50	kg/m ³
Diametro rodete	0.15±0.01	No aplica	m
velocidad de rodete	20.00±0.01	No aplica	rps
Re	16760.47±1580.21	No aplica	
Pr	0.71	No aplica	
n (para elevar pr)	0.40	No aplica	
Nusselt	48.10±4.53	No aplica	
hc solución	7.98±0.76	7.98±0.76	W/m ² K
T solución	84.73±0.01	80.40±0.01	°C
q solución	476.46±72.55	441.92±67.29	W/m ²
q/a paredes	361.10±0.21	334.92±0.19	W/m ²
q/a superior	361.21±5.23E-04	335.02±5.40E-04	W/m ²
q paredes	343.18±51.47	226.07±34.15	W
q superior	219.04±3.98	376.90±5.62	W

Tabla No. 44. Tiempo utilizado de quemador y cantidad de propano empleado en cálculo teórico equipo construido

	Tanque agitado	Tina caramelización	
Tiempo	9.21±0.17	4.93±0.07	min
Cantidad propano	0.78±1.27E-03	0.54±1.36E-03	kg

Tabla No. 45. Balance de masa y energía ideal de equipo construido con un 5% de pérdidas de caramelo

Entradas		Proceso	Salidas	
Descripción	Cantidad		Descripción	Cantidad
Gas propano	0.78±1.27E-03 kg	Quemador tanque	Energía empleada por tanque	31403.27±811.70 kJ
Aire ambiental	---		Gases de combustión	---
			Energía a los alrededores	7850.82±202.92 kJ
Azúcar	88.08±3.30 kg	Tanque agitado	Caramelo	95.74±3.31 kg
Agua	7.57±0.29 kg		Energía perdida por convección	312.02±29.22 kJ
Colorante	0.09±0.01 kg			
Energía	31403.27±811.70 kJ			
Gas propano	0.54±1.36E-03 kg	Quemador tina	Energía empleada por tina	21835.17±462.43 kJ
Aire ambiental	---		Gases de combustión	---
			Energía a los alrededores	5458.79±115.61 kg
Pan tipo roscas (0.063 kg/unidad)	69.3 ±1.1 kg	Tina para cobertura (emplea solo 75.60 kg de caramelo)	Energía perdida por convección	178.21±10.57 kJ
Caramelo	75.60±7.36 kg		Pan tipo rosca con caramelo (0.011 kg/unidad)	136.88±16.26 kg
Energía	21835.17±462.43 kJ		Pérdidas de caramelo	8.02 kg

Tabla No. 46. Cálculo de transferencia de calor por radiación experimental equipo construido

	Tanque agitado	Tina caramelización	
L2/D	8.00±0.81	30.00±6.00	
L1/D	7.58±0.76	15.00±3.01	
F12	1	1.00	fig 13-7 (Cengel, 2011)
Emisividad quemador	1.00	1.00	(Cengel, 2011)
Emisividad olla	0.80	0.80	(Cengel, 2011)
T flama	1168.00±0.01	1082.00±0.01	K
T inicial	298±0.01	357.73±0.01	K
A	0.61±0.01	1.13±0.02	m ²
constante	5.67E-08	5.67E-08	W/m ² K ⁴
Q	50975.26±926.43	69105.75±1030.17	J/s
Q perdida	12743.81±231.61	17276.44±257.54	J/s

Tabla No. 47. Cambio en temperatura causado por el material para la transferencia de calor por conducción experimental equipo construido

	Tanque agitado	Tina caramelización	
Cambio en Temperatura	4.36±0.28	3.19±0.22	K
Q	50975.26±926.43	69105.75±1030.17	J/s
Resistencia olla	8.55E-05±9.59E-04	4.61E-05±5.17E-04	K/W

Tabla No. 48. Cálculo de transferencia de calor por convección experimental equipo construido

	Tanque agitado	Tina caramelización	
hc aire	25.00	25.00	W/m ² K
T aire	25.00±0.01	25.00±0.01	°C
q aire	625.00	625	W/m ²
Viscosidad jarabe	0.04	0.04	kg/ms
Densidad jarabe	1426.50	1426.50	kg/m ³
Diámetro rodete	0.15±0.01	No aplica	m
Velocidad de rodete	20.00±0.01	No aplica	rps
Re	16760.47±1580.21	No aplica	
Pr	0.71	No aplica	
n (para elevar pr)	0.40	No aplica	
Nusselt	48.10±4.53	No aplica	
hc solución	7.98±0.76	7.98±0.76	W/m ² K
T solución	84.73±0.01	80.40±0.01	°C
q solución	476.46±72.55	441.92±67.29	W/m ²
q/a paredes	361.10±0.21	334.92±0.19	W/m ²
q/a superior	361.21±5.23E-04	335.02±5.40E-04	W/m ²
q paredes	343.18±51.47	226.07±34.15	W
q superior	219.04±3.98	376.90±5.62	W

Tabla No. 49. Tiempo utilizado de quemador y cantidad de propano empleado en cálculo experimental equipo construido

	Tanque agitado	Tina caramelización	
Tiempo	10.28±0.19	5.27±0.08	min
Cantidad propano	0.78±1.14E-03	0.54±1.27E-03	kg

Tabla No. 50. Balance de masa y energía experimental promedio de equipo construido a una temperatura ambiental de 25°C.

Entradas		Proceso	Salidas	
Descripción	Cantidad		Descripción	Cantidad
Gas propano	0.78±1.14E-03 kg	Quemador tanque	Energía empleada por tanque	31439.29±813.22 kJ
			Gases de combustión	---
Aire ambiental	---		Energía a los alrededores	7859.82±203.31 kJ
Azúcar	88.08±0.01 kg	Tanque agitado	Caramelo	95.75±0.02 kg
Agua	7.57±0.01 kg		Energía perdida por convección	348.36±32.62 kJ
Colorante	0.09±0.01 kg			
Energía	31439.29±813.22 kJ			
Gas propano	0.54±1.27E-03 kg	Quemador tina	Energía empleada por tina	21847.59±462.84 kJ
			Gases de combustión	---
Aire ambiental	---		Energía a los alrededores	5461.90±115.71 kg
Pan tipo roscas (0.063 kg/unidad)	69.3±1.1 kg	Tina para cobertura (emplea solo 75.60 kg de caramelo)	Energía perdida por convección	190.63±11.31 kJ
Caramelo	75.60±7.36 kg		Pan tipo rosca con caramelo (0.12 kg/unidad)	130.49±16.27 kg
Energía	21847.59±462.84 kJ		Pérdidas de caramelo	14.41±0.01 kg

Tabla No. 51. Cálculo motor agitador

Np	0.32	Fig 9-15 (McCabe 1980)
hp	0.32 kW	0.42579 hp
Se necesita	0.37 kW	0.5 hp

Tabla No. 52. Agitador

Motor	0.37 kW (½ hp)
Agitador	Hélice con rodete de 0.15 m

Tabla No. 53. Cálculos para determinar tubería

Flujo másico	212.00	kg/min
Densidad	1,427	kg/m ³
Velocidad Lineal	1	m/s
Flujo Másico	6360.0	kg/h
Flujo Volumétrico	4.46	m ³ /h
Diámetro Tubería	39.70	mm
Diámetro Tubería	1.56	in

Tabla No 54. Tubería y accesorios utilizados

Diámetro	0.04m (1.610")
Material	Acero Inoxidable. 316
Catalogo	40
Diámetro nominal	0.038m (1.5")
Tipo de válvula	De compuerta
Codo	90°
Largo tubería	0.60 m

Tabla No. 55. Tiempos de operación

Equipo	Tiempo (± 0.16 min)
Olla por lote de 280 unidades de pan "tipo rosca"	51.25
Tanque de agitación y tina de cobertura por lote de 1100 unidades de pan "tipo rosca"	18.58

I. Análisis económico

Tabla No. 56. Análisis de costo por cada 1206 unidades producidas de pan "tipo rosca"

Descripción	Sin Equipo	Con Equipo
Materia prima	Q594.99	Q588.61
Salarios	Q55.62	Q37.08
Horas Hombre (horas por empleado)	3	2
Gas propano	Q8.00	Q7.52
Gasto fábrica	Q91.24	Q91.24
Total por 1206 unidades (45.36 kg equivalente a 100 lb de harina)	Q749.86	Q724.46
Costo unitario	Q0.62	Q0.60

Tabla No. 57. Tiempo de recuperación de inversión por el equipo

Inversión	Q 9000.00
Ahorro por 1206 unidades (45.36 kg u 100 lb de harina)	Q 25.40
Ahorro diario por producción en base a la producción de 9648 unidades (362.87 kg equivalente a 8 quintales de harina)	Q 203.21
Días para recuperación de inversión	44.29 días

J. Planos del equipo construido

Figura No. 10. Plano vista frontal equipo construido

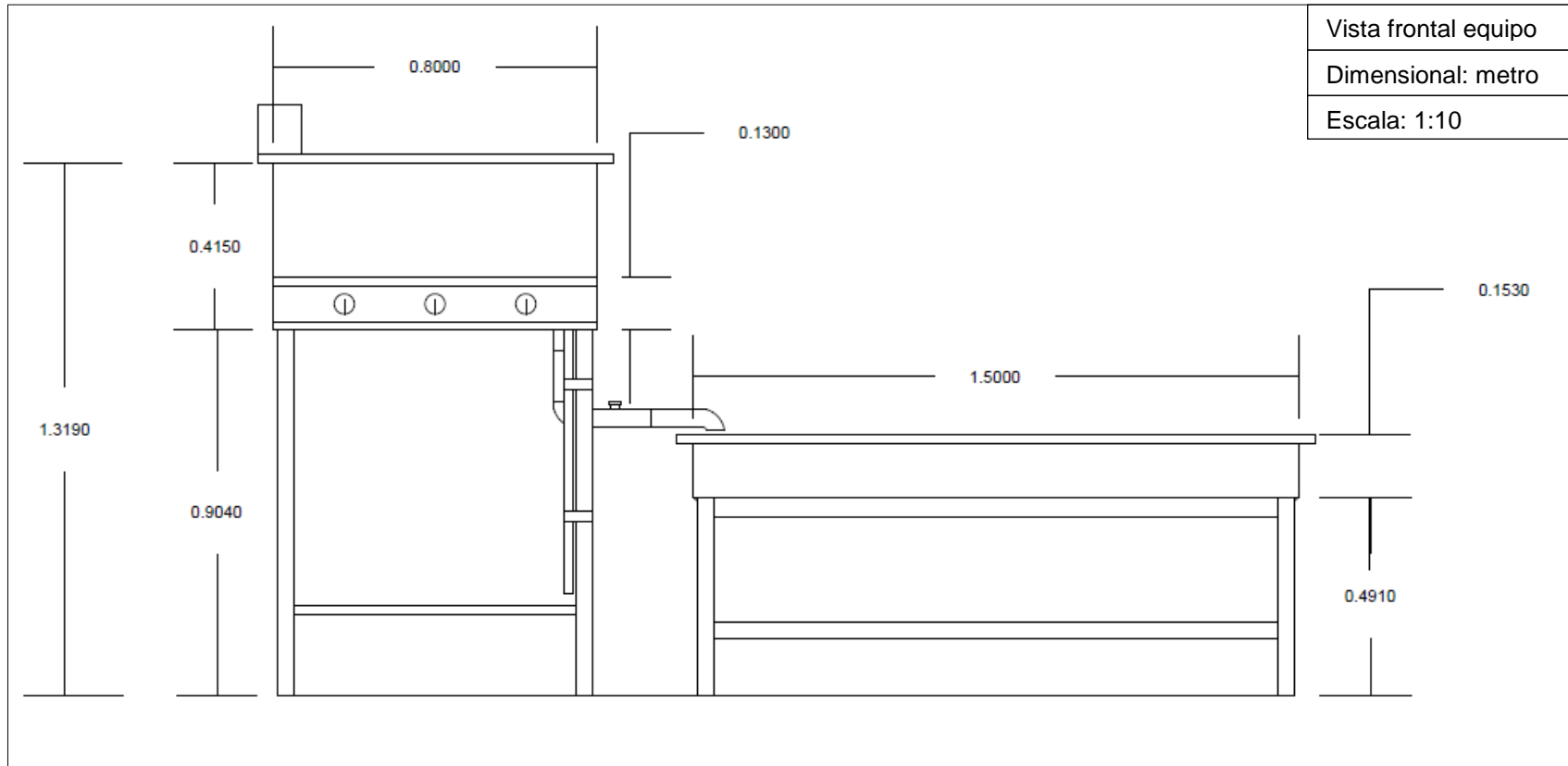
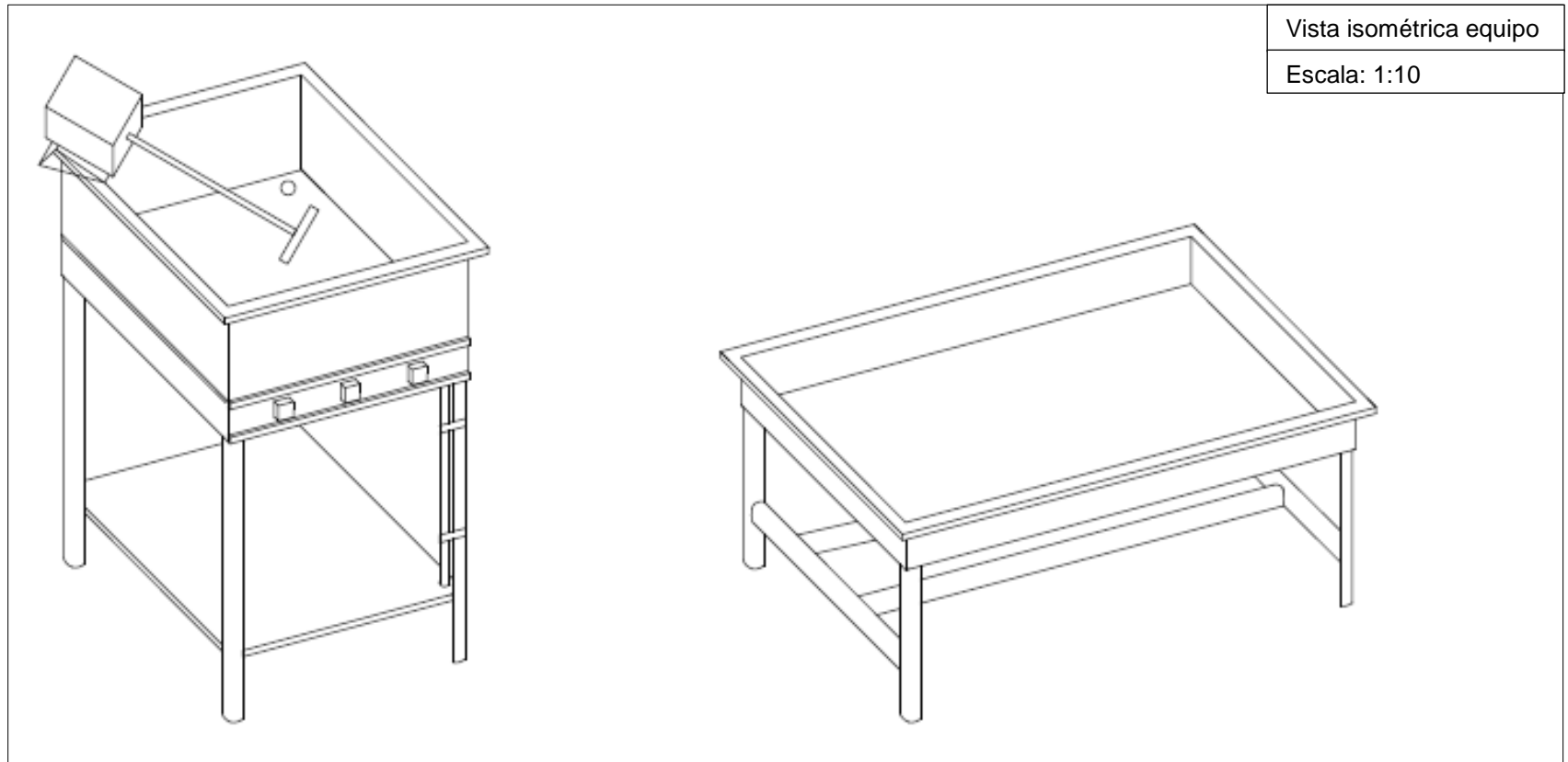


Figura No. 11. Vista isométrica del equipo construido



K. Planos del equipo diseñado

Figura No. 12. Plano vista frontal equipo diseñado

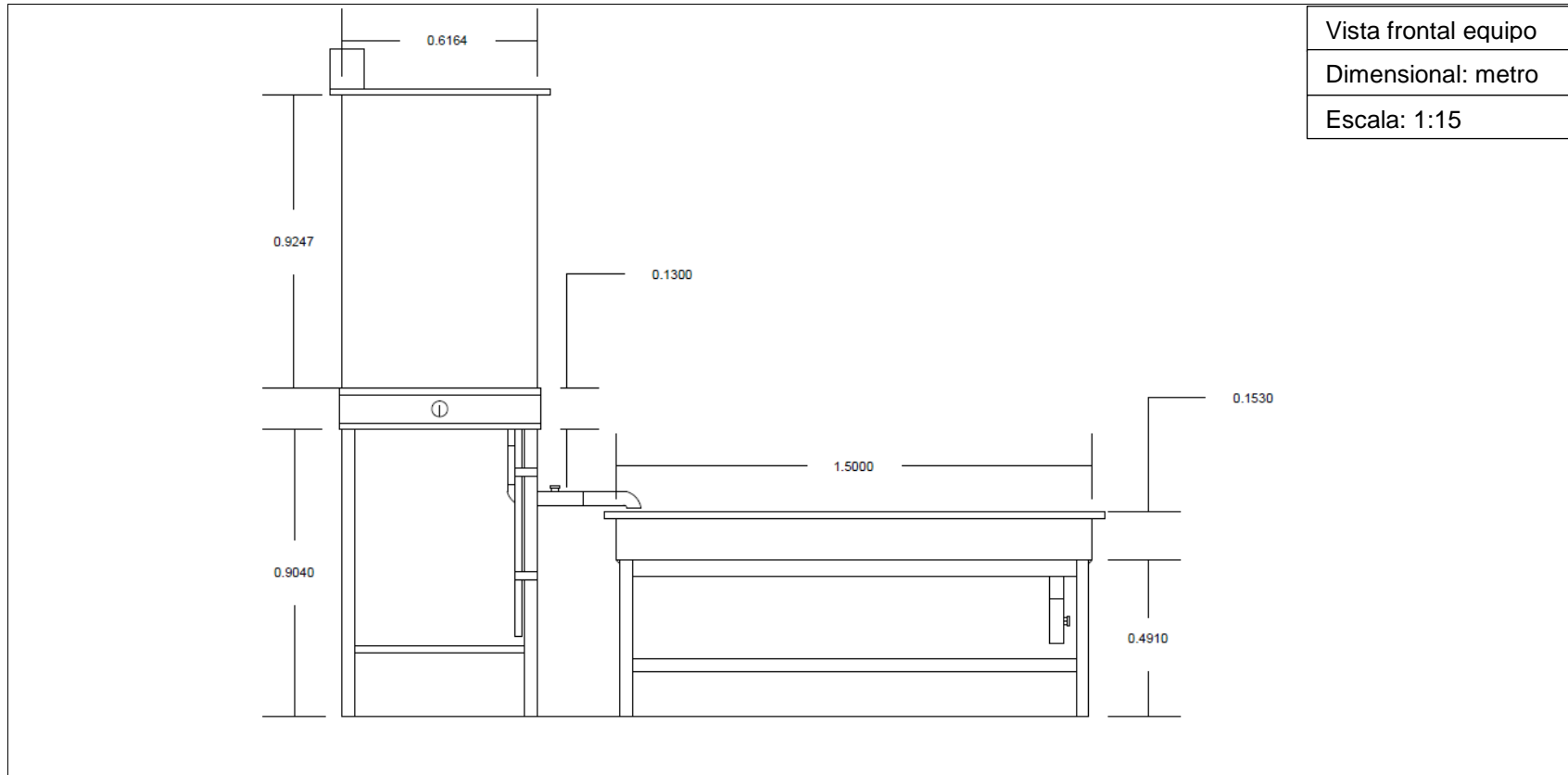
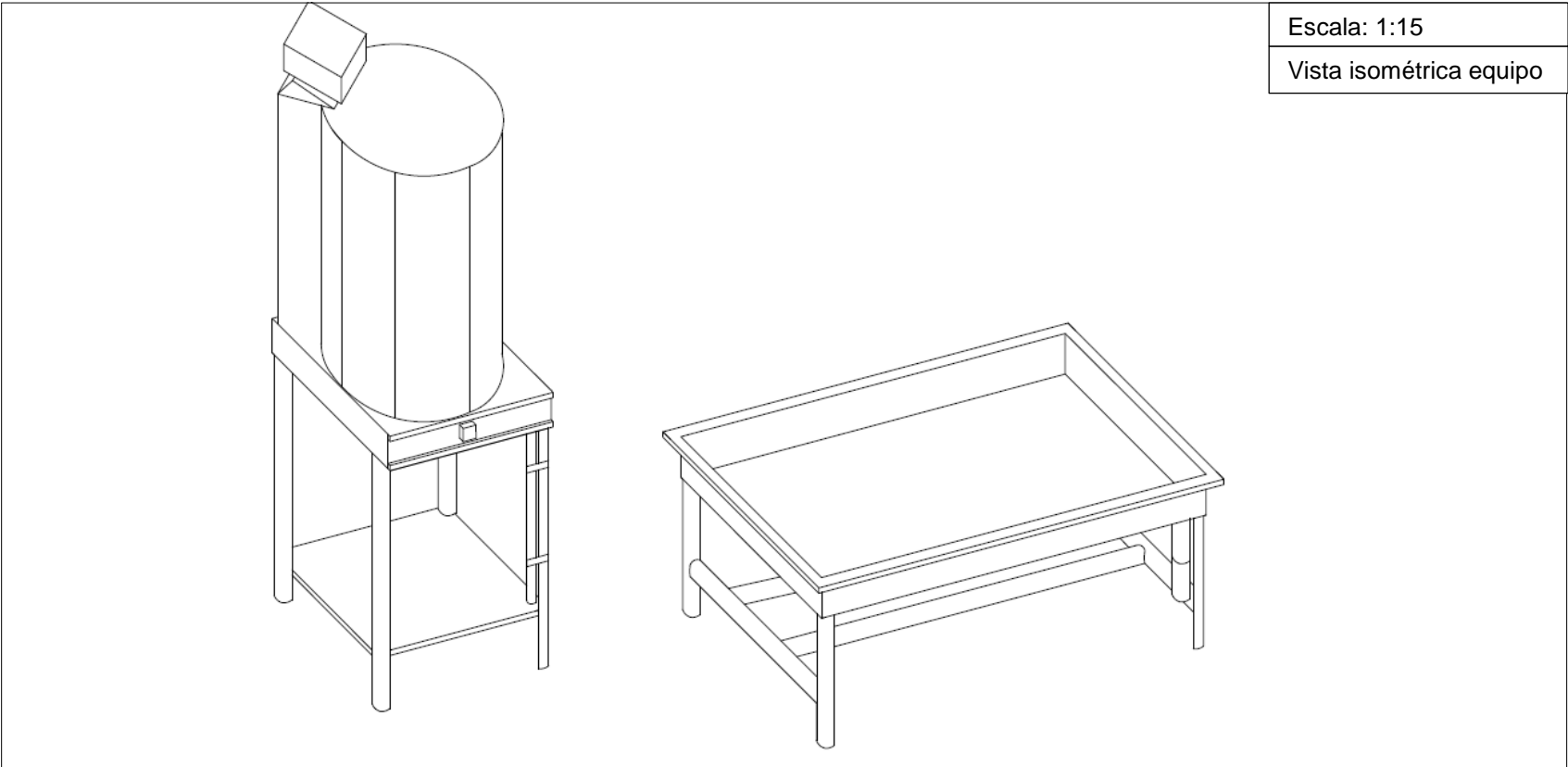


Figura No. 13. Vista isométrica del equipo diseñado



L. Plano del área de trabajo

Figura No. 14. Plano vista superior del área de trabajo con el equipo construido

