

Sistema Semiautomático con Control Térmico para Fase de Coagulación en Fabricación de
Queso Campesino en la Industria Artesanal

Duván Santiago Amézquita Pulido
David Santiago Hurtado Vélez

Universidad de Boyacá
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Ingeniería Mecatrónica
Tunja
2022

Sistema Semiautomático con Control Térmico para Fase de Coagulación en Fabricación de
Queso Campesino en la Industria Artesanal

Duván Santiago Amézquita Pulido
David Santiago Hurtado Vélez

Trabajo de Grado para optar por el título de
Ingeniero Mecatrónico

Asesores

Julián Andrés Avendaño León
Ingeniero Electrónico
Yeison Daniel Molina Monsalve
Ingeniero Mecatrónico

Universidad de Boyacá
Facultad de Ciencias e Ingeniería
Ingeniería Mecatrónica
Tunja
2022

Nota de aceptación:

Firma Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja, 25 de abril de 2022

“Únicamente el Graduando es Responsable de las Ideas Expuestas en el Presente Trabajo”
(Universidad de Boyacá, Acuerdo 958 del 30 de marzo de 2017, Artículo Décimo Primero).

Dedicamos este trabajo con corazón y alma a nuestros padres, nuestra luz y guía a lo largo del camino que hemos decidido tomar, esperamos que nos sigan acompañando por mucho más tiempo, y para las padres que ya partieron de éste mundo, su bendición nos guíen desde el cielo; padres, la vida no es igual de bella sin ustedes, su dedicación, esfuerzo y motivación nos permitieron hacer posible nuestro sueño de ser ingenieros mecánicos, muchas gracias, esperamos poder retribuir y hacer honor a sus enseñanzas dando nuestro título de ingeniero al servicio y progreso de nuestro país, comunidad y medio ambiente.

En general a toda la familia que en medio de bromas siempre nos brindaron apoyo y celebran nuestros triunfos, no hay mayor bendición en el mundo que poder compartir este nuevo logro de nuestras vidas a lado de ustedes.

Gracias a nuestra nueva familia de universidad, amigos de todas las carreras y nuestros próximos colegas, personal de servicios generales, administrativos y nuestros apreciados ingenieros y otros docentes, resaltando la calidad humana del ingeniero Julián Avendaño, esperamos que la vida le devuelva todo el esfuerzo que le dedica a cada uno de sus estudiantes, ellos lo aprecian, no se imagina cuánto. Ingenieros y docentes, su mensaje de progreso y respeto por la comunidad y el medio ambiente será nuestra bandera y carta de presentación, llevaremos ese legado a todas las partes a donde nuestra profesión nos lleve, muchas gracias por todo.

Agradecimientos

Agradecemos a la comunidad de Quebrada Honda, en especial a la familia Avella Rojas por permitirnos realizar el trabajo, por aportar sus conocimientos, por brindarnos una taza de café caliente, por su hospitalidad.

Agradecemos a nuestros queridos ingenieros, por su paciencia e interés en nuestro trabajo de grado, en especial a quienes nos guiaron en la construcción del mismo, ingeniero Julián Avendaño e ingeniero Yeison Molina.

A Janneth Ortiz, profesional de procesos técnicos por su pronta colaboración.

A nuestros compañeros Néstor Pulido, Alejandro Díaz por colaborarnos durante la prueba realizada al prototipo.

Por último, a nuestros Jurados Ingeniero Andrés Rodríguez e ingeniera Erika Rodríguez, por sus aportes hechos al trabajo con el fin de mejorar la calidad del mismo.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción.....	12
Resumen	13
Abstrac	14
Diagnóstico de la Comunidad Quebrada Honda y su Forma de Producción de Queso Campesino	15
Condiciones Actuales de la Población	15
Procesos Productivos para la Fabricación del Queso Campesino.....	17
Resultado del Diagnóstico	20
Condiciones de las Instalaciones.....	21
Diseño de Prototipo con Control Térmico para el Proceso de Adición de Cuajo	22
Desarrollo Mecánico	22
Material para los contenedores.....	23
Análisis matemático para los contenedores.	24
Transferencia del calor.....	30
Desarrollo Electrónico.....	35
Elección del microcontrolador a utilizar.	35
Elección del sensor para medir temperatura.....	35
Diseño electrónico del control de temperatura.....	37
Proceso de Homogenización.....	40
Equipos de mezcla.	40
Motorreductor – acople.....	53
Estructura.	58
Tapa- soporte motorreductor.....	63
Efecto del Sistema de Control Térmico en el Prototipo en el Proceso de Coagulación en la Producción de Queso Campesino Artesanal	70

Recepción y Visualización de Datos	74
Adición de Leche.....	76
Adición de Cuajo.....	76
Calentar la Leche.....	76
Diferencial de Temperatura Baño María vs Leche Fresca.....	76
Pruebas Prototipo	80
Recomendaciones	83
Conclusiones.....	84
Referencias	85
Anexo A Anteproyecto.....	87
Anexo B Encuesta.....	126

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Proceso de elaboración de quesos frescos artesanales.....	19
<i>Figura 2.</i> Diagrama de extracción manual de suero	19
<i>Figura 3.</i> Proceso de moldeado y prensado del queso campesino	20
<i>Figura 4.</i> Resistencia a la Corrosión en Acero Inoxidable 304L en Función de la Temperatura.	23
<i>Figura 5.</i> Convenciones para Análisis de Corrosión del Acero Inoxidable.....	24
<i>Figura 6.</i> Análisis de carga generada por presión hidrostática en el tanque.....	27
<i>Figura 7.</i> Analogía sistema electro-térmico sección elevación de temperatura.....	31
<i>Figura 8.</i> Modelo en enfriamiento del contenedor	32
<i>Figura 9.</i> Modelo de calentamiento en el contenedor	32
<i>Figura 10.</i> Simulación transferencia de calor	35
<i>Figura 11.</i> Diagrama PI&D proceso de coagulación de la leche	39
<i>Figura 12.</i> Mezcla de fluidos solubles.....	42
<i>Figura 13.</i> Representación de flujos: radial, axial y tangencial	42
<i>Figura 14.</i> Semejanzas geométricas impulsor.....	44
<i>Figura 15.</i> Diseño en SolidWorks de agitador-mezclador.....	46
<i>Figura 16.</i> Diagrama de velocidades en un agitado	48
<i>Figura 17.</i> Numero de potencia vs NRe	50
<i>Figura 18.</i> Dimensiones largo de eje superior e inferior del acople.....	54
<i>Figura 19.</i> Dimensiones machón acoplamiento superior.....	55
<i>Figura 20.</i> Resistencia del perno	57
<i>Figura 21.</i> Esquema análisis de carga en la estructura por medio de SolidWorks	61
<i>Figura 22.</i> Simulación - análisis estructura.....	61
<i>Figura 23.</i> Acoplamiento cantina – estructura	62
<i>Figura 24.</i> Tapa caso I. Fuente:.....	64
<i>Figura 25.</i> Tapa caso II. Fuente: elaborado	65
<i>Figura 26.</i> Tapa caso III. Fuente: elaborado	66
<i>Figura 27.</i> Tapa caso IV. Fuente: elaborado.....	67

<i>Figura 28.</i> Croquis Tapa Caso IV. Fuente: elaborado	68
<i>Figura 29.</i> Deformaciones Unitarias de la Tapa Caso IV	68
<i>Figura 30.</i> Deformaciones para Eje y Tapa Caso IV	69
<i>Figura 31.</i> Construcción mecánica contenedor doble fondo.....	71
<i>Figura 32.</i> Resistencias implementadas en el prototipo	73
<i>Figura 33.</i> Circuito transmisor - resistencia – controlador	75
<i>Figura 34.</i> Diferencial de temperatura leche fresca - baño maría	79
<i>Figura 35.</i> Peso en báscula digital cuajada obtenida con el prototipo.....	81

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Cantidad de materias primas requeridas en la producción	16
Tabla 2 Precio de venta del queso campesino	17
Tabla 3 Datos Relevantes de la Producción Artesanal	21
Tabla 4 Criterios de diseño para la determinar fuerza cortante en materiales	26
Tabla 5 Máxima eficiencia permitida para juntas soldadas con arco y gas	29
Tabla 6 Propiedades mecánicas del acero inoxidable.....	30
Tabla 7 Tabla de clasificación de sensores de temperatura	35
Tabla 8 Especificaciones del circuito.....	38
Tabla 9 Características impulsor de pala tipo paleta o rejilla.....	43
Tabla 10 Semejanzas geométricas impulsor	44
Tabla 11 Datos de entrada para el diseño de un agitador de fluidos	44
Tabla 12 Especificaciones del motorreductor	54
Tabla 13 Dimensiones Largo de eje Superior e Inferior	55
Tabla 14 Especificaciones del material utilizado en la estructura.....	59
Tabla 15 Especificaciones acoplamiento cantina - estructura.....	62
Tabla 16 Especificaciones tapa-soporte	63
Tabla 17 Especificaciones resistencia de diseño (niquelinas).....	72
Tabla 18 Equivalencias	75
Tabla 19 Diferencial de temperatura a la ideal para la coagulación del queso con el prototipo	77
Tabla 20 Diferencial de temperatura leche fresca - baño maría.....	78
Tabla 21 Eficiencia del prototipo	80
Tabla 22 Comparación entre la cantidad de cuajada obtenida de forma artesanal vs prototipo	81

Introducción

La producción de queso campesino artesanal se ha heredado de generación en generación, en un principio era destinado para el consumo del hogar, pero posteriormente con el aumento de producción de leche la comunidad destinó este producto para la venta, de tal forma que dicha actividad hace parte de su sustento económico.

Ahora bien, los productores han identificado la siguiente problemática:

No se está aprovechando al máximo las materias primas a causa de la fabricación artesanal del queso, en consecuencia, las ganancias económicas por la venta del producto no han dado el resultado esperado por ellos, debido a que los procesos artesanales no tienen control sobre las variables fisicoquímicas involucradas en el mismo.

Actualmente la fabricación implica procesos como recolección de materia prima (leche), coagulación de la leche, extracción de suero, corte de cuajada, moldeado y prensado, los cuales se explican en detalle en el capítulo 1 y que permite concluir que para la producción actual es de 14 quesos diarios cada uno de 500 g se requiere 80 litros de leche y un tiempo de fabricación aproximado de 60 minutos.

La finalidad de este proyecto fue diagnosticar el proceso de producción artesanal del queso y a partir de esto plantear una solución de ingeniería que permita disminuir pérdidas en materia prima por medio del control de variables fisicoquímicas como la temperatura, sin modificar la forma artesanal de realizar el queso campesino, a lo largo de todo el proyecto se buscó mejorar tiempos de producción y alternativas en donde el campesino no tenga la necesidad de manipular directamente la materia prima.

Resumen

Amézquita Pulido, Duván Santiago

Sistema semiautomático con control térmico para fase de coagulación en fabricación de queso campesino en la industria artesanal / Duván Santiago Amézquita Pulido, David Santiago Hurtado Vélez. - - Tunja : Universidad de Boyacá, Facultad de Ciencias e Ingeniería, 2022.

128 p. : il. + 1 CD ROM. - - (Trabajo de Grado UB, Ingeniería Mecatrónica ; n°)

Trabajo de Grado (Ingeniero Mecatrónico). - - Universidad de Boyacá, 2022.

En el siguiente trabajo de grado se presenta el caso estudio de una comunidad campesina, cuya fuente secundaria de ingresos económicos es la fabricación y venta de queso campesino artesanal fresco, buscando por medio de un proyecto de ingeniería mecatrónica mejorar su modo de fabricación y disminuir tiempos de producción, esfuerzo por porte del artesano y pérdidas de materia prima. Para lograr tal fin, primero se diagnosticó la comunidad que participa en el caso estudio, luego se diseñó un prototipo con control térmico para el proceso de adición de cuajo y por último se analizó el efecto del sistema de control térmico en el prototipo durante el proceso de coagulación en la producción de queso campesino artesanal.

Se caracterizó el proceso de coagulación en la producción artesanal de queso campesino mediante la inclusión de un prototipo de control térmico.

Se utilizó el tipo de investigación estratégica con el fin de entender procesos relevantes para el sector, cuya fuente primaria es la comunidad que participa en el caso estudio, con ayuda de ellos y visitas de campo, se identificaron las condiciones actuales en las cuales se encuentra la población, y se aprendió de ellos la forma de fabricación artesanal del queso. Los instrumentos de recolección de información fueron videos sobre el proceso de fabricación, observación directa y entrevistas a los artesanos; a partir de ello, se diseñó estrategias que permitieron mejorar sus niveles de producción.

Con el diagnóstico y pruebas realizadas con el prototipo se logró determinar los parámetros que inciden en el proceso para la elaboración de queso campesino: tiempo de coagulación de 30 minutos a 40 minutos y temperatura de la leche 32°, los resultados obtenidos fue un incremento del 57,6% cuajada respecto a la producción artesanal y reducción del tiempo del proceso de coagulación en un 55,6%.

Palabras clave: (*tesauro NAL Agricultural Thesaurus and Glossary*)

Coagulación de la leche, tecnología lechera, prototipos, queso artesanal, campesinos menos favorecidos, tratamiento UHT.

Abstrac

Amézquita Pulido, Duván Santiago

Semiautomatic system with thermal control for coagulation phase in peasant cheese manufacturing in the artisanal industry / Duván Santiago Amézquita Pulido, David Santiago Hurtado Vélez. - Tunja : Boyacá University, Faculty of Science and Engineering, 2022.

128 p. : il. + 1 CD ROM. - - (UB Degree Work, Mechatronic Engineering ; n°)

Degree Work (Mechatronic Engineer). - - University of Boyacá, 2022.

The following undergraduate study presents the case study of a peasant community, whose second source of economic income is the manufacture and sale of artisanal cheese, seeking by means of a mechatronic engineering project to improve its mode of manufacture and to reduce production times, effort by the craftsman and losses of raw material. To achieve this, the community involved in the case study was first diagnosed, then a prototype with thermal control was designed for the rennet addition process and finally the effect of the thermal control system on the prototype was analyzed during the coagulation process in the production of artisanal peasant cheese.

The coagulation process in the artisanal production of peasant cheese was characterized by the inclusion of a prototype thermal control.

The type of strategic research was used in order to understand processes relevant to the sector, whose primary source is the community involved in the case study, with the help of them and field visits, the current conditions in which the population is located were identified, and the artisanal way of making cheese was learned from them. The instruments for collecting information were videos about the manufacturing process, direct observation and interviews with artisans; from this, strategies were designed to improve their production levels.

With the diagnosis and tests carried out with the prototype it was possible to determine the parameters that affect the process for the elaboration of peasant cheese: coagulation time of 30 minutes to 40 minutes and milk temperature 32°, the results obtained were an increase of 57.6% of curds compared to artisanal production and a reduction in the time of the coagulation process by 55.6%.

Keywords: (*thesaurus NAL Agricultural Thesaurus and Glossary*)

Coagulation of milk, milk technology, prototypes, artisanal cheese, less favored farmers, UHT treatment.

Diagnóstico de la Comunidad Quebrada Honda y su Forma de Producción de Queso Campesino

La vereda Quebrada Honda Se encuentra ubicada a 20 minutos de la zona centro del municipio de Paipa, su temperatura promedio es 15°C. La población que participó en el desarrollo de este proyecto se conforma por dos familias entre tres y siete personas cada una en donde la mayor parte de su economía se sustenta en la venta de leche, carne de res, cerdo y producción de queso campesino artesanal fresco. Según los productores, el sostenimiento económico de sus familias depende del día a día ya que sus ingresos diarios son menores a \$60.000.

El queso campesino tiene una amplia aceptación en el mercado del municipio de Paipa lo que sugiere que existe una oportunidad para la fabricación y comercialización del mismo, además es la base para producir queso de origen, denominado queso Paipa.

Para conocer la problemática derivada del proceso de fabricación del queso se realizó una visita de campo en la cual, se tomaron algunos videos en donde los fabricantes permitieron grabar con el fin de conocer el paso a paso del proceso de elaboración del queso. La comunidad mostró y relató el cómo realiza la fabricación del queso, mencionando las problemáticas que se presentan actualmente con respecto a la producción artesanal y brindó recomendaciones sobre temas relacionados con la misma.

El Anexo 2_Encuesta, narra algunas preguntas realizadas a la comunidad que no se mencionan en los videos. Por petición de la comunidad, ellos decidieron no hablar frente a las cámaras y las imágenes fotográficas y tomas de video, se realizaron en determinados sitios del lugar destinado a la fabricación del queso, teniendo en cuenta que, para ellos es importante conservar su privacidad pues el lugar de fabricación del queso queda adentro de la vivienda de estas familias productoras.

Condiciones Actuales de la Población

Para el municipio de Paipa una de sus actividades económicas más relevantes es la ganadería y la fabricación de los productos derivados de ella, como por ejemplo la elaboración

del queso campesino que al igual que otros procesos agroindustriales en la región carecen de tecnificación e incorporación de tecnología para incrementar sus niveles de productividad.

Para fabricar queso campesino la comunidad utiliza una serie de herramientas como baldes plásticos, tazas plásticas, canastos de fique, rocas para ejercer presión, moldes en tubo PVC, el proceso se realiza de manera manual generando demoras en la producción y expone el producto a contaminación microbiana por manipulación directa del operario con la leche, este proceso demanda un tiempo aproximado de dos horas y en ciertas ocasiones pérdidas de materia prima por derrames y/o quemaduras al operario encargado.

Tabla 1

Cantidad de materias primas requeridas en la producción

Insumo	Cantidad	Valor
Leche utilizada en el proceso de fabricación de queso campesino	80 litros	\$800 (litro)
Leche producida por el campesino	Entre 80 y 85 litros	\$600 (precio de venta)
Cantidad de cuajo aproximada utilizado en el proceso (dos cucharadas)	6mL	\$350
Cantidad de sal utilizada aproximadamente (dos puñados)	50 g	\$250

Nota: Información adaptada de datos proporcionados por la comunidad Quebrada Honda, muestra las cantidades y el precio de las materias primas además de otros tipos de materias utilizadas por la comunidad campesina para la elaboración del queso campesino. Fuente: Autores, 2020.

La fase inicial es el proceso del ordeño seguido del proceso de coagulación de la leche, el cual implica el uso de las materias primas que se muestran en la Tabla 1.

Para activar el proceso de coagulación los productores utilizan cuajo líquido, en la primera etapa del proceso de coagulación se mezcla el cuajo y la leche por un tiempo aproximado de 20 minutos, actividad que es realizada por el operario en una posición inclinada mediante la flexión del tronco que resulta bastante incómoda.

El proceso de extracción del suero residual y compactación de la cuajada, se realiza por medio de una canastilla y una piedra para ejercer presión sobre el contenedor, posteriormente se moldea el queso en recipientes fabricados por la misma comunidad en tubo PVC cuya capacidad es de 1 libra y son dispuestos en una prensa rudimentaria para ejercer presión con ayuda de tablas y galones de agua.

El resultado del proceso de producción de queso campesino con la cantidad de materia prima presentada en la Tabla 1, son 14 quesos de 500g o de libra y en la Tabla 2 se muestran los precios de venta de la comunidad al intermediario y del intermediario al cliente.

Tabla 2

Precio de venta del queso campesino

Tipo de venta	Cantidad	Valor comercial
Venta directa por parte del fabricante	Unidad	\$5.000
Venta a través de intermediario	Unidad	\$7.000

Nota: Información adaptada de datos recolectados durante la investigación de mercado, los precios suelen variar en un rango de \$1000 según la demanda en el mercado. Fuente: Autores, 2020.

Procesos Productivos para la Fabricación del Queso Campesino

A diferencia de otros productos lácteos en el mercado, para el queso campesino se inicia el proceso de fabricación media hora después de haber ordeñado el ganado, lo cual da como resultado un producto fresco ya que no requiere de procesos previos de pasteurización o reposo, lo anterior le brinda al producto consistencia y sabor diferente a otros quesos del mercado.

Para la recolección de la leche se utiliza un recipiente plástico y es llevada a las instalaciones donde es almacenada en un recipiente más grande en donde pasa por un proceso de filtrado con un colador de cocina o un paño, con el propósito de limpiar impurezas como pelo, pasto o cualquier insecto de la leche.

Con respecto a la producción de este queso se utiliza cuajo líquido (los productores afirman que brinda facilidad en el proceso de fabricación y da mejores resultados en el procedimiento de coagulación) por lo cual es importante estimar el nivel de la temperatura de la leche. De forma práctica el campesino utiliza una cuchara extrayendo un poco de leche del contenedor y colocándola sobre la palma de su mano, en ese momento decide si ya es hora de aplicar o no el cuajo al contenedor.

Después de aplicar el cuajo a la leche el fabricante debe realizar la labor de mezclado para homogeneizar la mezcla durante un tiempo aproximado de 20 minutos, el proceso de homogenización es manual, por lo cual el operario se encuentra en una posición incómoda y se

ve afectada su salud física pues la postura recarga su peso corporal sobre la parte baja de la espalda.

Posteriormente se da inicio a la extracción del suero en varios ciclos de extracción manual con una taza plástica sobre el suero que queda flotando en la parte superior del contenedor, en la Figura 2 se incluye el procedimiento. Se utiliza un canasto de fique y una roca desinfectada para realizar un prensado rudimentario, el objetivo es permitir que la cuajada se sienta en el fondo del recipiente plástico y con un recipiente se extrae manualmente el suero que se encuentra dentro del canasto de fique facilitando la extracción.

Al concluir el proceso de extracción del suero se obtiene cuajada, permitiendo al productor pasar a la siguiente etapa de elaboración del queso campesino la cual consiste en desmenuzar la cuajada antes de pasar al proceso de moldeado.

Para el proceso de moldeado el campesino utiliza moldes circulares fabricados en tubo PVC cada molde contiene en su interior un paño de tela, con el fin de soportar la cuajada dentro del molde y permitir extraer el suero faltante, se posicionan en fila (véase Figura 3) sobre una superficie plana y con ayuda de una tabla ejercer presión con dos galones de agua sobre la misma.

Al concluir el proceso de extracción del suero se obtiene cuajada, permitiendo al productor pasar a la siguiente etapa de elaboración del queso campesino la cual consiste en desmenuzar la cuajada antes de pasar al proceso de moldeado.

Para el proceso de moldeado el campesino utiliza moldes circulares fabricados en tubo PVC cada molde contiene en su interior un paño de tela, con el fin de soportar la cuajada dentro del molde y permitir extraer el suero faltante, se posicionan en fila (véase Figura 3) sobre una superficie plana y con ayuda de una tabla ejercer presión con dos galones de agua sobre la misma.

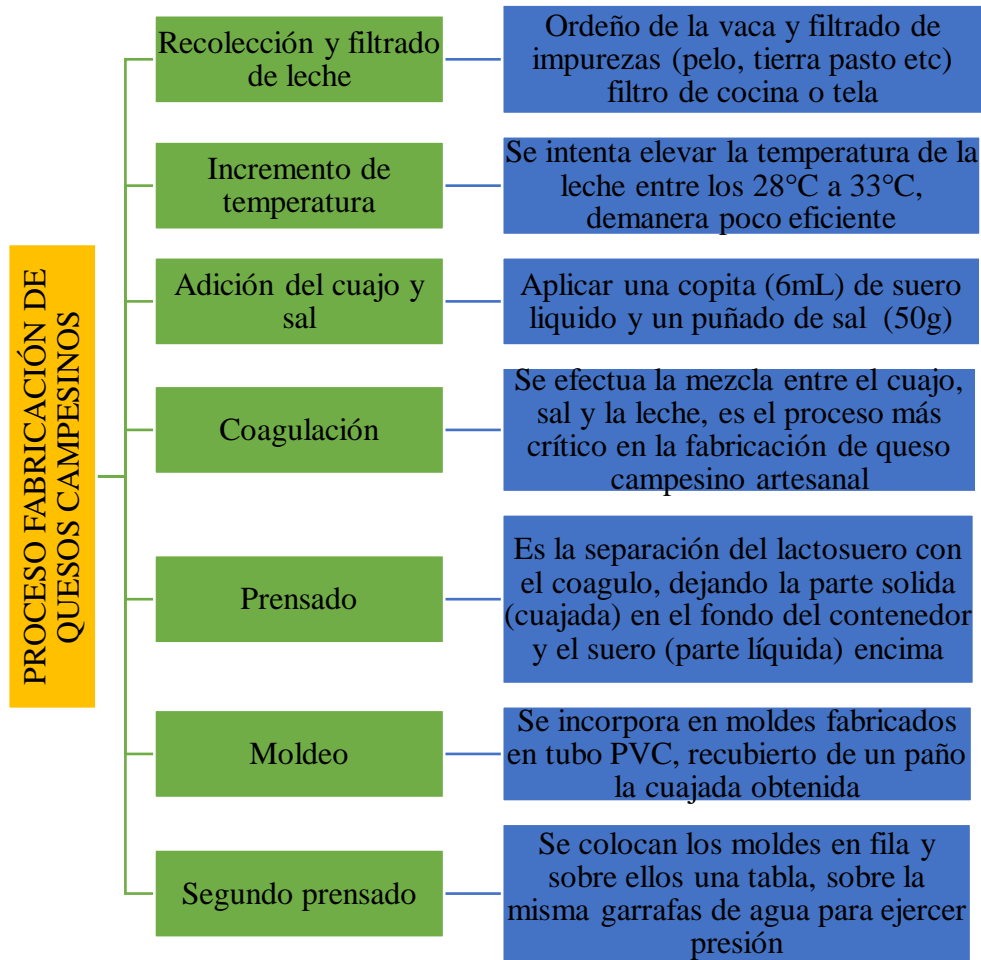


Figura 1. Proceso de elaboración de quesos frescos artesanales. Fuente: elaborado por Autores, 2021.

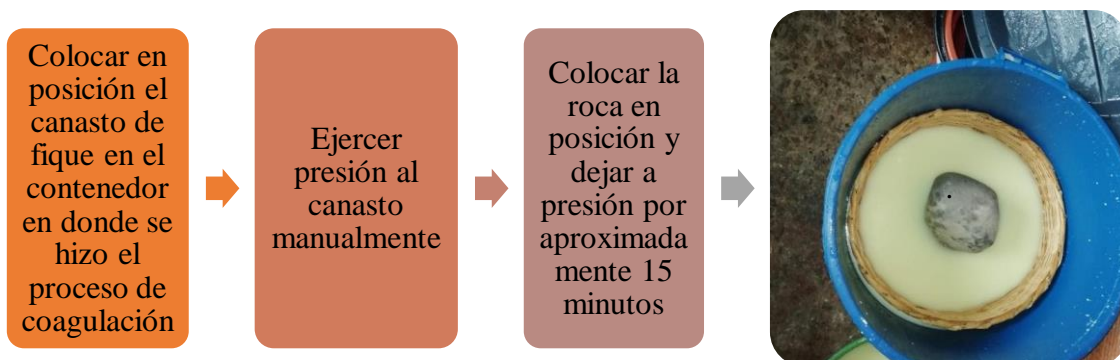


Figura 2. Diagrama de extracción manual de suero. Fuente: elaborado por Autores, 2021. * El proceso de extracción manual, puede tomarle al operario 30 minutos en promedio, lo que significa aumento de tiempo en la producción, lo anterior según la entrevista realizada.

Resultado del Diagnóstico

Al finalizar la producción artesanal que los artesanos realizaron para exponer la forma de fabricar su producto se obtuvo los datos mostrados en la Tabla 3. Los instrumentos utilizados para la toma de los datos fue un cronómetro, balde plástico con indicativo en litros, balanza.

Según lo comentado por los fabricantes y lo que se pudo observar en las salidas de campo existen dificultades en algunos pasos de la producción artesanal de queso campesino fresco:

- Ajustar la temperatura de la leche a su temperatura ideal de coagulación (28°C – 33°C) y mantenerla durante todo el proceso de homogenización (mezclado constante entre el cuajo y la leche).
- La posición incómoda como el operario realiza el proceso de homogenización.
- Piso irregular que no permite una estabilidad al contenedor donde se realiza la producción.
- Tiempo que le toma al operario extraer el suero manualmente.



Figura 3. Proceso de moldeado y prensado del queso campesino. Fuente: elaborado por Autores, 2021. *Los quesos duran bajo la prensa rudimentaria un tiempo aproximado de 2 horas, lo que hace del proceso de fabricación más extenso, después de ello, son refrigerados y empacados para ser comercializados al día siguiente.

Condiciones de las Instalaciones

Las familias encuestadas destinan un lugar dentro de sus viviendas para realizar la fabricación del queso, manteniendo las condiciones de higiene para tal fin ya que las características del sitio son apropiadas para elaborar el queso, sin embargo, son espacios cerrados con flujo de aire, piso en cemento con algunos desniveles, no tienen instalación de gas natural ni usan pipeta de gas las instalaciones eléctricas del sitio son monofásicas a 120V.

Como conclusión de la visita a la comunidad de Quebrada Honda, se identificaron los aspectos que requieren mejora en la producción artesanal, sumando las recomendaciones realizadas conociendo específicamente el proceso artesanal y teniendo en cuenta las condiciones geográficas, familiares y económicas de la población, fue posible definir los parámetros de diseño que se encuentran en el capítulo II, en lo correspondiente al diseño de prototipo con control térmico para el proceso de adición de cuajo.

Tabla 3

Datos relevantes de la producción artesanal

Tiempo estimado de producción	1 hora
Proceso artesanal más largo	Prensado y extracción del suero
Cantidad de materia prima perdida durante el proceso de coagulación	1 L (aproximadamente)
Cantidad de cuajada en gramos producidos con 80 litros de leche	7180g
Cuajada no prensada	180g
Suero	52 L

Nota: Información adaptada de datos recolectados durante la investigación La materia prima perdida es un dato relevante de la producción artesanal, hace referencia a las pérdidas que se obtienen mientras el operario calienta la leche en fogón de leña y la lleva hasta el punto donde se realiza el proceso de fabricación y en algunas ocasiones se riega o se evapora por las altas temperaturas del fogón. Fuente: Autores, 2020.

Diseño de Prototipo con Control Térmico para el Proceso de Adición de Cuajo

En el presente capítulo se muestra la construcción mecánica y electrónica del prototipo, además se incluye el proceso de homogenización que es un subproceso importante para la coagulación del queso y se aborda desde la ingeniería, dando una alternativa para optimizar dicho subproceso así mismo todo se sustenta desde un análisis matemático, termodinámico e hidrodinámico, proporcionando diseños y simulaciones.

El prototipo se diseñó específicamente para el proceso de coagulación donde se requiere aplicar un control de temperatura a la leche de tal forma que se aplique el cuajo en un rango de temperatura entre los 28 °C - 32 °C.

Ramírez (1942) afirma:

Para que la leche se corte en forma normal por la acción del cuajo, es menester tomar en consideración ciertos factores de gran importancia, a saber:

- Temperatura de la leche.
- Cantidad de cuajo.
- Reacción de la leche.
- Modificación de las sales de la leche por el calentamiento y agregación de éstas.

Además, agrega: “Para que la leche coagule tal como interesa en la industria quesera, con el objeto de conseguir productos de calidad es indispensable trabajar con una temperatura adecuada. (...) La leche corrientemente coagula a 30° C” (Ramírez, 1942, pp. 408-409)

La anterior información se tuvo en cuenta durante la construcción del prototipo para el control térmico siendo la temperatura una variable fisicoquímica clave en el manejo de la producción.

Desarrollo Mecánico

El siguiente apartado describe las consideraciones tomadas en cuenta durante la construcción de la fase mecánica, se hizo el análisis con materiales y especificaciones que pueden ser usadas a un nivel de máquina con el fin de que la comunidad pueda aplicar los siguientes diseños y consideraciones cuando se cuente con los recursos económicos.

Material para los contenedores.

El material adecuado para la construcción de máquinas destinadas al procesamiento de alimentos es el acero inoxidable AISI 304L, “Tienen una excelente resistencia a la corrosión en una amplia variedad de medios corrosivos incluyendo comestibles, químicos orgánicos, tintas y químicos inorgánicos.” (Laufgang, 2003, p. 5) Es importante la resistencia a la corrosión del material debido a la ligera acidez de la leche entre 6.4 y 6.6 en la escala de pH, de la misma forma el cuajo tiene cierto nivel de acidez pues tiene como principio activo la quimosina siendo un suero macropéptido (ácido hidrofílico).

Para analizar la acidez que afecta al contenedor se tiene en cuenta la acidez de la leche (que se mencionó anteriormente) y la quimosina pH 4.0 los fabricantes de aceros inoxidables (en su mayoría) proporcionan un gráfico de resistencia a la corrosión, la Figura 4 muestra el grafico de resistencia a la corrosión para el acero inoxidable por medio de las fichas técnicas proporcionadas por el fabricante para aceros inoxidables 304L (acero inoxidable para alimentos) se eligió la ficha para el ácido acético con un pH de 4,8 el más cercano a la acidez de la quimosina, los gráficos se toman en función a la temperatura pues a mayor temperatura los ácidos afectan en mayor proporción al material, para fines de este proyecto las temperaturas manejadas se consideran bajas.

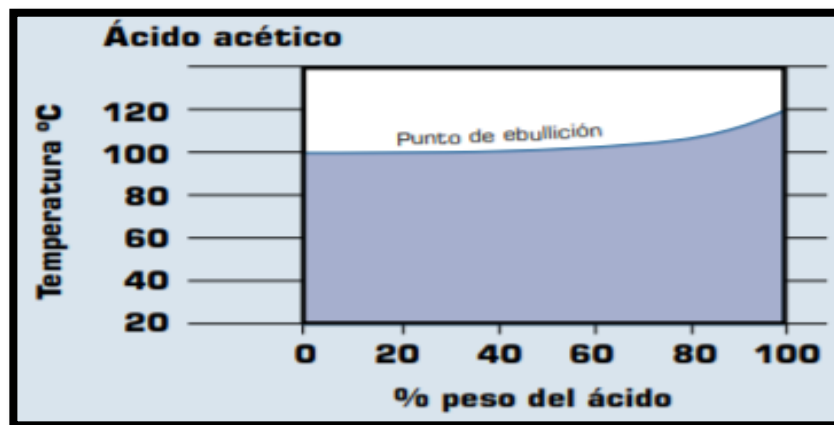


Figura 4. Resistencia a la Corrosión en Acero Inoxidable 304L en Función de la Temperatura. Fuente: Cía. General de Aceros (2020). AISI 304 (características técnicas de producto). Recuperado de <https://www.cga.com.co/producto/aisi-304/>

En el análisis de la gráfica se realiza con las siguientes convenciones:

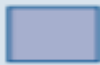


Convenciones		
	milésimas de pulgada/año	mm/año
	<4	<0.1
	4 - 40	0.1 - 1
	>40	>1

Figura 5. Convenciones para Análisis de Corrosión del Acero Inoxidable Fuente: Cía. General de Aceros (2020). *AISI 304* (características técnicas de producto). Recuperado de <https://www.cga.com.co/producto/aisi-304/>

La temperatura máxima de trabajo será de 40°C esto quiere decir que el acero se desgastará por corrosión menos de 0.1 mm por año aproximadamente.

Análisis matemático para los contenedores.

Se dimensiono para 80 litros de leche.

Dimensiones del tanque. Se pudo observar que durante la mezcla se hace de forma manual y fervorosamente para garantizar la homogenización del cuajo con la leche y evitar derrames, es necesario sobredimensionar el contenedor entre un 35 % y 45 % de la cantidad de leche utilizada considerando que el valor del dimensionamiento es de 40%.

$$V_T = V_p + 40\%V_p \quad (1)$$

Siendo;

V_T = volumen total del contenedor en litros.

V_p = volumen maximo de litros de leche utilizada para la producción.

Obteniendo;

$$V_T = 112 \text{ litros ; } 0,112 \text{ m}^3$$

Para dimensionar el contenedor se utiliza la siguiente ecuación:

$$V = A * h \quad (2)$$

Siendo;

$V = \text{Volumen del sólido.}$

$A = \text{Área de la figura del sólido.}$

$h = \text{Altura de la figura del sólido.}$

De la ecuación 1 se obtuvo el valor en volumen, el área depende del sólido que se vaya a utilizar y la altura se obtiene de la ecuación 2 se eligió un sólido circular dicho sólido tiene un área determinada por la siguiente ecuación:

$$A_{\text{circulo}} = \pi * r^2 \quad (3)$$

Despejando de la ecuación 3 y dándole un valor de $r = 0.25 \text{ m}$

$$h = \frac{0,112 \text{ m}^3}{\pi * (0.25 \text{ m})^2}$$

Resolviendo;

$$h = 0,57 \text{ m}$$

Presión hidrostática ejercida en el tanque. Cualquier líquido en un recipiente ejerce una presión sobre el mismo y sobre el recipiente que lo contiene, como lo explica el principio isostático:

Los cambios de presión son prácticamente constantes y uniformes, ya que la presión aplicada se transmite de manera isostática, y de forma casi instantánea en todos los puntos del producto, independientemente del volumen y la geometría del producto. Con esto se evita la deformación y hace que no se presenten zonas sobre tratadas. (Pradas-Baena & Moreno-Rojas, 2016, p. 4)

Es necesario analizar este ítem con el fin de determinar el factor de diseño y de seguridad del prototipo, debido a que la ecuación de presión hidrostática está dada por:

$$P_H = g\delta h \quad (4)$$

Siendo;

$P_H = \text{presión hidrostática.}$

g = gravedad ($9,8 \text{ m/s}^2$).

δ = densidad de la leche (1032 M/m^3).

h = altura del recipiente ($0,57 \text{ m}$).

Resolviendo;

$$P_H = 5057 P_a$$

Factor de diseño y seguridad. El análisis para el diseño de máquinas involucra la determinación de esfuerzos y deformaciones, el esfuerzo es una carga (peso) que se efectúa sobre una determinada área.

La leche tiene un peso y va a estar albergado en el área del contenedor debido a ello es necesario analizar el nivel de esfuerzo que se genera sobre el tanque, la razón evitar fugas o deformaciones del material por el peso de la leche, el nivel de esfuerzo es “aquel nivel que puede desarrollarse en un material al tiempo que se asegura que el miembro que soporta la carga sea seguro” (León, de 2021) además agrega que para calcular el esfuerzo de diseño deben especificarse dos factores: el factor de diseño N y la propiedad del material en la que se basará el diseño. Del resultado de la ecuación 4 donde se calculó la presión hidrostática se multiplica por factor de diseño dado por la Tabla 4 para cargas estáticas $N=2$, dando como resultado 10114 Pa para, comprobar si la presión hidrostática genera un esfuerzo en el tanque que puede deformarlo se utilizó software SolidWorks para realizar la simulación (Figura 6)

Tabla 4

Criterios de diseño para la determinar fuerza cortante en materiales dúctiles

Forma de carga	$T_d = S_{ys}/N = 0.5$	$S_y/N = S_y/2N$
Estática	Use $N=2$	$T_d = S_y/4$
Repetida	Use $N=4$	$T_d = S_y/8$
Impacto	Use $N=6$	$T_d = S_y/12$

Fuente: Anónimo. (2012). *Resistencia de materiales*, Universidad de las Américas, *capítulo 3*. Recuperado de <http://resistenciadelosmaterialeseip445.blogspot.com>

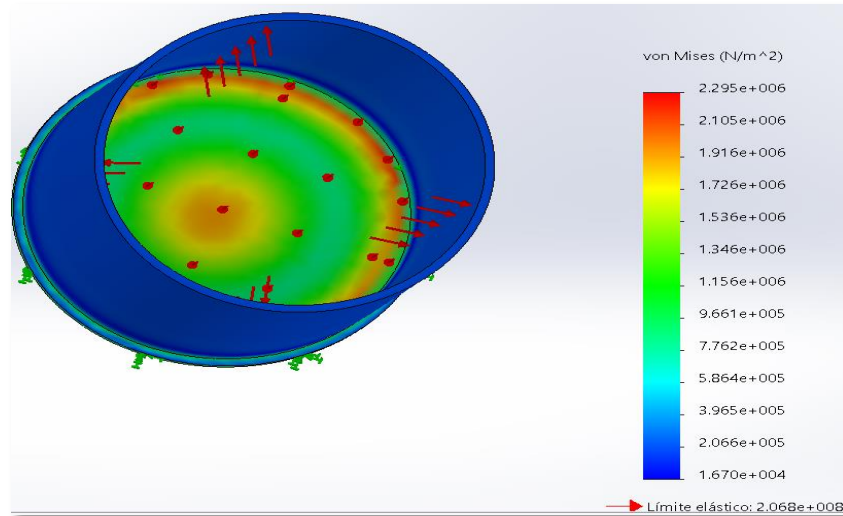


Figura 6. Análisis de carga generada por presión hidrostática en el tanque. Fuente: elaborado por Autores, 2021.

Al introducir el valor del esfuerzo generado por la presión hidrostática el software muestra que el esfuerzo propiciado sobre el contenedor no lo deforma, con el propósito de la simulación se eligió acero inoxidable AISI 304L de espesor de 1mm.

El resultado de la simulación muestra que el mayor esfuerzo se genera en la base del contenedor la ecuación 5, recuperada de cálculos de recipientes a presión (Lozano-Margariño, 2012) permite calcular el espesor del tanque.

$$t = \frac{(P * R)}{(S * E) - (0,6 * P)} \quad (5)$$

Siendo;

t = Espesor del cilindro.

P = Presión de diseño.

R = Radio del cilindro.

S = Esfuerzo permisible.

E = Eficiencia de la junta o soldadura.

La ecuación 5, relaciona un parámetro importante a tener en cuenta la eficiencia de la soldadura.

La eficiencia de la junta o soldadura E ; está determinada por el tipo de soldadura que se le aplica al acero inoxidable teniendo en cuenta la consulta realizada sobre soldaduras para

aceros inoxidable, se eligieron las siguientes tres soldaduras más usadas para aceros inoxidable:

Soldadura por arco manual con electrodo revestido o SMAW (del inglés shielded metal arc welding) para acero inoxidable, este tipo de soldadura “se caracteriza por el mantenimiento y creación de un arco eléctrico entre el material base a soldar y una varilla metálica a la que llamamos electrodo” (Gnc Caldereria, 2016) suele ser una soldadura muy agresiva y más para un material que solo tendrá un espesor de 1mm ya que la soldadura por arco genera salpicadura.

Soldadura TIG (del inglés tungsten inert gas) para acero inoxidable: el proceso o soldadura TIG es el segundo procedimiento que queremos destacar para soldar acero inoxidable en el cual según Gnc Caldereria (2016) “el arco eléctrico va a establecerse entre el metal base y un electrodo no consumible de Tungsteno, bajo una atmósfera protectora que ha sido generada por el gas inerte que normalmente se trata de argón.” Gnc Caldereria agrega las siguientes ventajas para este tipo de soldadura:

- No suele generar escorias en el cordón lo que va a permitir reducir las tareas de limpieza posteriores a la soldadura.
- Este proceso puede ser empleado en cualquier posición de la soldadura permitiendo que sea bastante recomendable para soldadura de cañerías y tubos.
- Este tipo de soldadura no genera ninguna salpicadura alrededor del cordón.
- No afecta a la composición química y propiedades del metal base que se esté utilizando durante el proceso de soldadura

La tercera soldadura, soldadura MIG (del inglés metal inert gas) este tipo de soldadura es ideal para acero inoxidable, “tanto la soldadura como el arco protegerán del aire de la atmósfera gracias a la acción de una envolvente gaseosa, la cual está compuesta por gases inertes, destacando el argón y/o helio como más utilizados.” (Gnc Caldereria, 2016)

Teniendo en cuenta que las mejores opciones son las soldaduras con arco y gas, ya que no generan salpicaduras, es decir el cordón no genera escorias (permitiendo que el proceso de pulir el material sea más suave y no debilite el acero inoxidable) y, sobre todo, no afecta la composición química del material (que puede causar cambios en las propiedades físico-químicas del material, provocando que el material disminuya su resistencia a la fractura y posteriormente no pueda soportar la presión hidrostática que es ejercida sobre él) se analizará

la eficiencia de la soldadura con la Tabla 5 que muestra el análisis con diferentes técnicas y permite saber la calidad de soldadura aplicada en la unión del material soldado, cuando se aplica soldadura por arco y gas.

Tabla 5

Máxima eficiencia permitida para juntas soldadas con arco y gas

Fig.	Descripción de la junta	Grado de examen		
		Radiografía completa	Examen por puntos	No examinado por puntos
6-138				
a, b	Juntas por ensamble con soldadura doble o con medios que permitan obtener la misma calidad de metal soldado ambos lados de la junta	1.00	0.85	0.70
B	Junta por ensamble de soldadura simple, con banda de respaldo en su lugar	0.90	0.80	0.65
C	Junta por ensamble de soldadura simple, con banda de respaldo. Solo se permite para algunas juntas perimetrales.			0.60

Fuente: Estructplan. (2012). *Especificaciones para el diseño y fabricación de recipientes a presión*. Recuperado de <https://estructplan.com.ar/especificaciones-para-el-diseno-y-fabricacion-de-recipientes-a-presion/>

El contenedor va a llevar una “doble” soldadura esto quiere decir que se debe realizar un cordón de soldadura interno y otro externo, lo cual evitará que posibles fugas se presenten. La técnica de no examen por puntos fue elegida por la forma como se realizó la soldadura en el contenedor por lo anterior el valor utilizado es 0,70.

El valor de esfuerzo permisible (S) es tomado de la Tabla 6 tomando el valor límite de la fluencia del material, pues es el caso en donde el material puede presentar fallas y en el caso más extremo donde el material es deformado por el esfuerzo que está soportando, como ya se ha venido mencionando el material usado es acero inoxidable 304L por lo tanto el valor elegido en el análisis matemático es 170MPa.

Tabla 6

Propiedades mecánicas del acero inoxidable

Grado	Resistencia a la tracción MPa	Límite de fluencia MPa
AISI 304	515	205
AISI 304L	485	170
AISI 316	515	205
AISI 316L	485	170
ASI 310L	515	205

Fuente: Cía. General de Aceros (2020). *AISI 304* (características técnicas de producto). Recuperado de <https://www.cga.com.co/producto/aisi-304/>

Retomando la ecuación 5 y remplazando;

$$t = \frac{(10114 P_a * 0,25 m)}{(170 \times 10^6 Pa * 0,70) - (0,6 * 10114 P_a)} = 0,00001156 m$$

En milímetros 0,01156 *mm*, esto indica que la simulación con 1*mm* de espesor es bastante confiable para realizar la máquina en función del esfuerzo ejercido por la presión hidrostática de la leche en el contenedor.

Vida Útil del Contenedor. Por efectos de las materias primas utilizadas el material se desgastaría 0,1*mm* al año, eligiendo un espesor de 1 *mm* la maquina tendría una vida útil aproximada de 10 años. Considerando que el material está sobredimensionado se calcula que pueden ser más años de vida útil.

Transferencia del calor.

Para analizar la transferencia de calor que experimenta el contenedor desde la resistencia hasta la leche se hizo de la misma forma como se analiza un sistema electrónico, ya que los sistemas electrónicos y los sistemas térmicos son análogos en su forma de análisis.

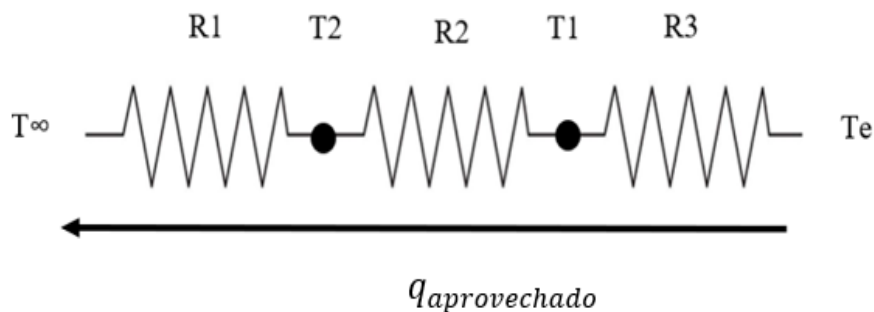


Figura 7. Analogía sistema electro-térmico sección elevación de temperatura. Fuente: elaborado por Autores, 2021. *Diagrama electro-térmico que muestra la transferencia de calor a lo largo del contenedor y la dirección de transferencia de calor desde donde se origina hacia el infinito.

Siendo;

T_e = Temperatura que impone la resistencia al contenedor.

$R3$ = Resistencia térmica por convección que experimenta el contenedor.

$T1$ = Temperatura que experimenta la base del contenedor.

$R2$ = Resistencia térmica por conducción que experimenta la base del contenedor y la leche.

$T2$ = Temperatura que experimenta la leche.

$R1$ = Resistencia térmica por convección que experimenta la leche y el entorno.

T_{∞} = Temperatura que se disipa en el ambiente.

$q_{aprovechado}$ = potencia de transferencia de calor necesaria para calentar la leche.

La Figura 8, expone gráficamente el modelo de enfriamiento cuando el prototipo se encuentre en estado de reposo. La Figura 9 muestra como al aplicar una fuente de calor externa (para el caso las resistencias eléctricas) el flujo de calor cambia de sentido ya que la fuente de calor tiene más velocidad de transferencia de calor que la temperatura del entorno, pero en el momento donde la fuente de calor externa se apague el contenedor buscará la temperatura ambiente.

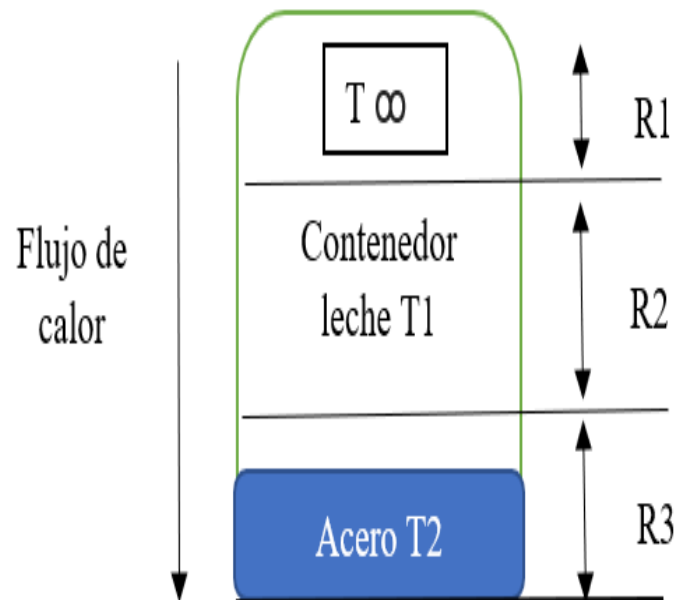


Figura 8. Modelo en enfriamiento del contenedor. Fuente: elaborado por Autores, 2021.

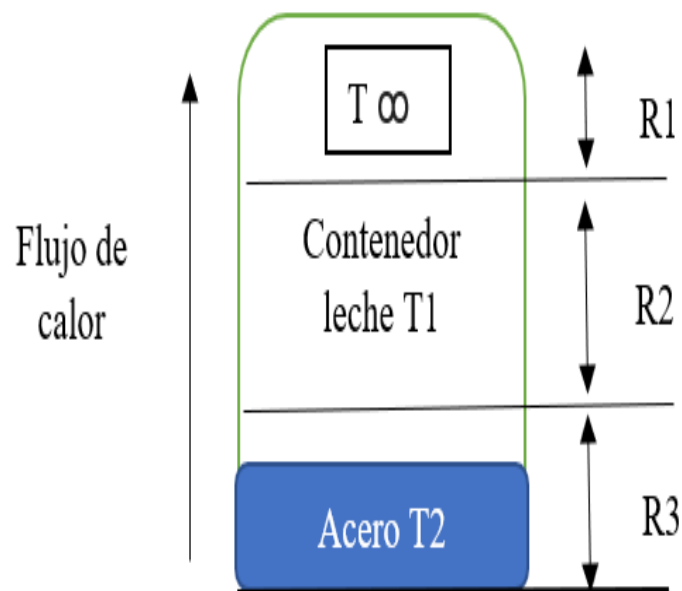


Figura 9. Modelo de calentamiento en el contenedor. Fuente: elaborado por Autores, 2021.

Para calcular la potencia de transferencia de calor necesaria para calentar la leche se utiliza la siguiente ecuación:

$$q = \dot{m} * C_p * (T_e - T_\infty) \quad (6)$$

T_e = Temperatura que impone las resistencias al contenedor.

T_∞ = Temperatura que se disipa en el ambiente.

\dot{m} = Flujo másico de leche.

C_p = calor específico del líquido a presión constante (leche).

El calor específico de la leche se toma de sus propiedades físico-químicas $0.94 \frac{cal}{g \cdot ^\circ C}$.

Como las unidades del calor específico son $\frac{cal}{g \cdot ^\circ C}$ se pasa esos gramos a kilogramos para realizar la operación:

$$0,94 \frac{cal}{g \cdot ^\circ C} * \frac{1000g}{1kg} = 954 \frac{cal}{kg \cdot ^\circ C}$$

Y el flujo másico se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\dot{m} = \frac{m}{\Delta t} \quad (7)$$

Siendo;

m = Masa de la leche al calentar en cierto tiempo [Kg].

\dot{m} = Flujo másico de leche [Kg/s].

Δt = Variación de tiempo que tarda la leche para calentar.

Para calcular la masa antes de aplicar la ecuación de densidad es necesario ver cómo varía el volumen respecto a la temperatura, para ello se utiliza la ley de Charles la cuál dice que a presión constante, la temperatura y el volumen son directamente proporcionales.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (8)$$

Siendo;

V_1 = volumen de cantidad de leche utilizada a temperatura ambiente $15^\circ C$ [$0.04m^3$].

T_1 = temperatura ambiente en el municipio de Paipa $15^\circ C$.

T_2 = Temperatura que experimentará en el proceso $33^\circ C$.

V_2 = volumen que experimentará a $33^\circ C$.

\therefore 1

¹ Este símbolo (\therefore) indica una secuencia lógica (por lo tanto) matemática entre las dos ecuaciones que se presentan antes y después de él.

$$\frac{V_1 T_2}{T_1} = V_2 \quad (9)$$

Remplazando;

$$V_2 = 0,018 \text{ m}^3$$

De la ecuación de densidad despejamos m.

$$m = \rho * V_2 \quad (10)$$

Siendo;

m= Masa de la leche al calentar en cierto tiempo [Kg].

ρ = densidad de la leche 1032[Kg/m³].

V₂= volumen a temperatura de 33°C 0,018 [m³].

∴

Resolviendo de la ecuación 10, el valor de la masa m al experimentar un aumento en la temperatura es 103,2Kg.

∴

De la ecuación de flujo másico \dot{m} , para un tiempo de proceso que según la comunidad dura 20 minutos (1200 s).

$$\dot{m} = 0.086 \text{ kg/s}$$

Obteniendo todos los datos de la ecuación 6, se opera la potencia de transferencia de calor $q_{aprovechado}$ necesaria para calentar la leche a 33°C es:

$$q_{aprovechado} = 984,3 \frac{\text{cal}}{\text{s}}$$

$$q_{aprovechado} = 984,3 \text{ W}$$

Con este dato se puede determinar la potencia mínima necesaria que debe tener la resistencia para calentar el contenedor, también permite determinar la temperatura disipada alrededor del contenedor, los factores de seguridad y de salud ocupacional para proteger el operario, se analizó la temperatura que se acumulará durante el proceso.

La grafica de simulación (Figura 10) muestra el comportamiento del contenedor cuando se aplica transferencia de calor en su base, las condiciones de simulación estaban dadas por una temperatura inicial (de ambiente) de 15°C, se sometió durante 1800 segundos. Tiene un paso de 180 repeticiones esto quiere decir que se tomaron valores cada 10 segundos durante la simulación.

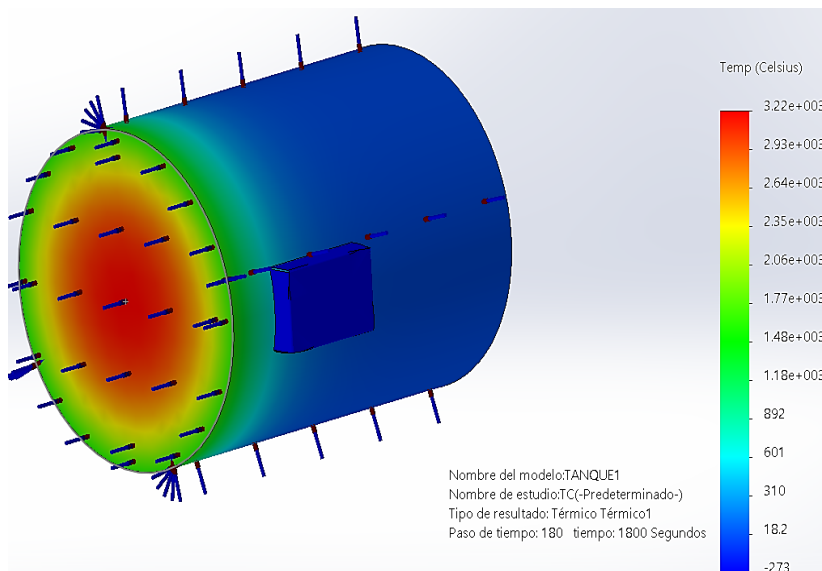


Figura 10. Simulación transferencia de calor. Fuente: elaborado por Autores, 2021.

Desarrollo Electrónico

Elección del microcontrolador a utilizar.





El microcontrolador utilizado PIC18F4550 es debidamente elegido por razones económicas, por otra parte, se puede aplicar sin ningún problema para controlar cada uno de los componentes necesarios.

Elección del sensor para medir temperatura.

En la Tabla 7 se propone una tabla con posibles sensores a utilizar, a continuación, se dan las pautas que orientaron a postular dichos sensores.

Tabla 7

Tabla de clasificación de sensores de temperatura

Nombre	Rangos	Precisión	Estructura	Precio
Crocsee Rtd Pt100				
	-50 a 300 ° C	+/-1%	Acero inoxidable 304	\$92.900
Ds18b20				
	-55°C a 125°C	+5%	Acero inoxidable y plástico	\$6.300
Sonda de sensor de temperatura termómetro infrarrojo fijo Ac				
	-70°C a 380°C	+/-0.5%	Acero inoxidable	\$505.000
Sensor de temperatura por infrarrojo Mlx90614, Gy-906				
	-70 a 380 ° C	+/-1%	Acero, pasta, bronce	\$30.481

Nota: Se presenta una tabla con la comparación pertinente respecto a los sensores estudiados; los cuales se consideran como los sensores más apropiados por sus características y funcionalidad. Fuente: Autores, 2021. Adaptado de MercadoLibre (2021, abril). *Sensor Crocsee Rtd Pt100* (características técnicas de producto). Recuperado de mercadolibre.com; MercadoLibre (2021, abril). *Sensor Ds18b20* (características técnicas de producto). Recuperado de mercadolibre.com; MercadoLibre (2021, abril) *Sonda de sensor de temperatura termómetro infrarrojo fijo Ac* (características técnicas de producto). Recuperado de mercadolibre.com; MercadoLibre (2021, abril) *Sensor de temperatura por infrarrojo Mlx90614, Gy-906* (características técnicas de producto). Recuperado de mercadolibre.com.

Proceso de elección. Posteriormente se muestra los ítems que deben ser cumplidos en la elección del sensor.

Aplicación del sensor. Medir temperatura en un envase que contiene leche.

Tipo de alimentación. La mayoría de componentes electrónicos utilizados en el circuito manejan voltajes de 5V con un módulo elevador de voltaje se puede incrementar hasta 30V, debido a que el rango debe estar entre 0.1V-30V además debe tener una conexión a tomacorriente de 110V alterna, de ser necesario se procedería a modificar el voltaje para alimentar el sensor.

¿Cuál es el tipo de salida necesario para el proceso? ¿Análoga o digital? La temperatura es una señal analógica que en este caso tiene un rango de medición entre los 0 °C a 40°C según los datos enviados desde el sensor al microcontrolador, se da una respuesta binaria (digital) en donde se controle la apertura o cierre del funcionamiento de las resistencias eléctricas.

Características del objeto. Es usado en la industria láctea y las condiciones del sitio presentan demasiado ruido factor que puede afectar la medición. El material de construcción del sensor debe ser apto para procesamiento de alimentos.

Características del medio donde se va a instalar el sensor. Puede ser un sensor análogo o digital, debe tener una precisión de 5% o menos para que las señales de ruido del medio no afecten la medición; otras cualidades como protección IP, vibraciones e interferencia de campos magnéticos.

Rango. Entre 0 °C a 34 °C

Por las anteriores consideraciones se eligió el sensor **Crocsee Rtd Pt100**.

Diseño electrónico del control de temperatura.

El controlador PIC 18f4550 recibe una señal de voltaje correspondiente a la variación de temperatura recibida por el sensor de temperatura estudiado RTD PT 100, dado que este sensor es de naturaleza resistiva varía el valor de su resistencia en función de la temperatura.

Para comprobar el funcionamiento del circuito se utilizó software PROTEUS, con él se realizaron simulaciones y construcción del circuito.

Tabla 8

Especificaciones del circuito

Especificaciones	Valor
Microcontrolador	PIC 18F4550
VARIABLES ANÁLOGAS	1
VARIABLES DIGITALES	3
Voltaje de ingreso	120V
Voltajes internos	24V, 12V, 5V
Elementos de control de salida	3
Elementos de control de entrada	1
Dimensiones placa PCB	12 cm x 15 cm
Visualización	SCADA
Elementos externos de emergencia	4 pulsadores

Nota: Los elementos de emergencia se presentan como alternativa para su posible incorporación, constan de 4 pulsadores externos programados por medio de excepciones en CCS en caso tal, servirán para detener el flujo de corriente a las niquelinas; esto se hace como método de prevención. Fuente: Autores, 2021.

Diagrama PI&D. Los diagramas PI&D son dibujos articulados que muestra el plan de procesamiento de una maquina dentro de un proceso industrial y la forma como está constituida.

Para fines de este trabajo se diseñó un diagrama que contiene el funcionamiento del prototipo desde su sistema de control térmico con el uso de elementos soportados en el apartado proceso de homogenización. La base del prototipo es el control térmico por ende, todos los otros elementos mostrados en este trabajo e incluidos en el diagrama PI&D funcionan a partir de los datos proporcionados por el control térmico diseñado.

Los elementos identificados con las iniciales YIC representan indicadores que no se encuentran expuestos, es decir no hay un elemento externo como una LCD o display que

muestren lo que pasa en ese estado del proceso. Los elementos identificados como YV identifican a compuertas o relés que están montadas en el campo, el operario puede verlas responden a una salida binaria producida por la respuesta generada desde el microcontrolador o de otro elemento.

El sensor de temperatura se puede reconocer en el diagrama con las siglas TT indicando que el sensor está mostrado en campo, la primera T indica temperatura y la segunda T transmisión de datos. El símbolo TIC indica donde se encuentra ubicado el control de temperatura y en donde interviene para el funcionamiento del prototipo, el número en la parte inferior de este mismo bloque indica a qué lazo pertenece, para fines de este prototipo solo existe un control de temperatura por lo cual es el mismo lazo para todo el sistema.

PI&D Proceso de Coagulación de la Leche.

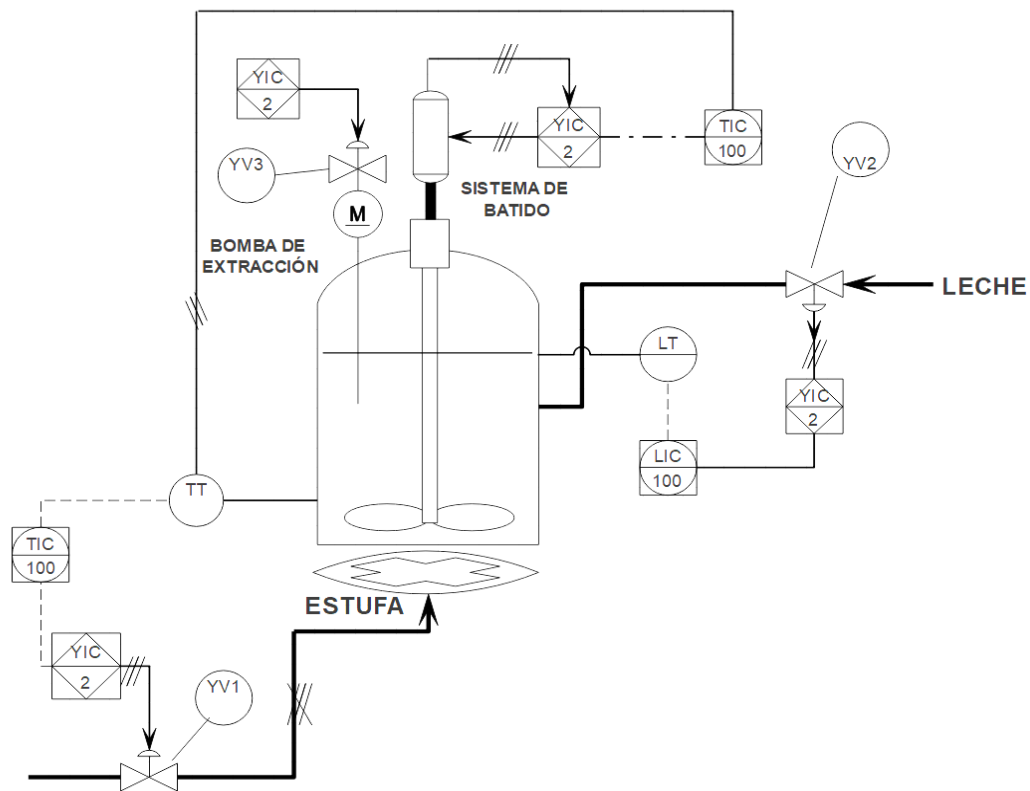


Figura 11. Diagrama PI&D proceso de coagulación de la leche. Fuente: elaborado por Autores, 2021. *el Diagrama PI&D, muestra elementos que se mencionan en el apartado proceso de homogenización.

Proceso de Homogenización

Es un subproceso del proceso de coagulación del queso que consiste en mantener un ritmo de mezclado constante entre el cuajo, la sal y la leche, además son una parte importante en el proceso general de fabricación del queso pues es en este punto en donde se comienza a formar la cuajada, por lo tanto, los productores saben que es importante mantener un ritmo constante de mezclado.

Actualmente la comunidad lo realiza de forma artesanal pero dicho proceso permite ser tecnificado trayendo consigo varios beneficios:

- Sustituir una tarea artesanal que afecta la salud del operario pues la postura inclina su cuerpo hacia el frente y recarga su peso corporal en su espalda baja.
- Se puede ampliar el proceso de mezclado actualmente se realiza por un periodo menor a 20 minutos la principal razón fatiga en el brazo del operario.
- Permite un mezclado constante y uniforme por más que el operario quiera a través del tiempo presenta fatiga.

Este apartado muestra la construcción de las paletas de mezclado con todo su fundamento matemático analizado a partir de la hidrodinámica, así mismo, se presentan las especificaciones del motorreductor y la base que soporte a todo el prototipo brindando la estabilidad que necesita para ser incorporado en el sitio donde actualmente se realiza la producción del queso que como se mencionó en el capítulo 1, el piso es irregular y presenta desniveles.

Equipos de mezcla.

Con la ayuda de la hidrodinámica se procede a analizar lo propuesto. Según Hernandez (2014) la hidrodinámica “estudia el comportamiento del movimiento de los fluidos; en sí la hidrodinámica se fundamenta principalmente en los fluidos incompresibles es decir los líquidos para ello considera la velocidad, presión, flujo y gasto.” Se tiene en cuenta esta ciencia para entender el fenómeno de mezclado que ocurre en el tanque en el momento de la homogenización entre el cuajo, sal y la leche; “La hidrodinámica de los fluidos y la configuración geométrica de

los reactores son claves para entender los fenómenos de mezclado.” (García-Cortés & Jáuregui-Haza, 2006, p. 99)

“Los tanques agitados por su parte han sido utilizados históricamente en la industria alimenticia, la química y la biotecnológica constituyendo el tipo de reactor utilizado por excelencia.” (García-Cortés et al., 2006, p. 99) La industria de los lácteos no se queda atrás en este tipo de tecnología, agitar la leche con el cuajo permite una absorción más uniforme.

Homogeneización de un fluido. Tiene gran aplicación en industrias incluidas las industrias lácteas. “Se utiliza entre otras cosas para la neutralización de ácidos/base, diluir disoluciones de alta concentración, mezcla de fluidos con temperaturas distintas y distribución de polímeros en suspensión para floculación.” (Castillo Uribe, 2013, p. 9)

Todo fluido que pasa de estado de reposo a estado de movimiento experimenta un flujo que depende directamente de la acción del elemento que cambia su estado de reposo. La hidrodinámica determina tres tipos de flujos para tanques agitados, radiales, axiales y tangenciales.

“Generalmente para flujos radiales se utilizan impulsores de turbinas planas, para flujos axiales se utilizan hélices marinas con ángulos en sus palas no mayores a 90° y para flujos tangenciales (velocidades bajas) se utilizan impulsores de palas.” (Castillo Uribe, 2013, p. 22). Para fines del proyecto se va analizar desde el flujo tangencial “trabaja a bajas velocidades en estanques amplios y bajos. Se utiliza principalmente para fluidos muy viscosos que requieren poco esfuerzo de corte.” (Castillo-Uribe, 2013, p. 16) Lo que se forma de la coagulación (cuajada) es un fluido viscoso y de fácil corte.

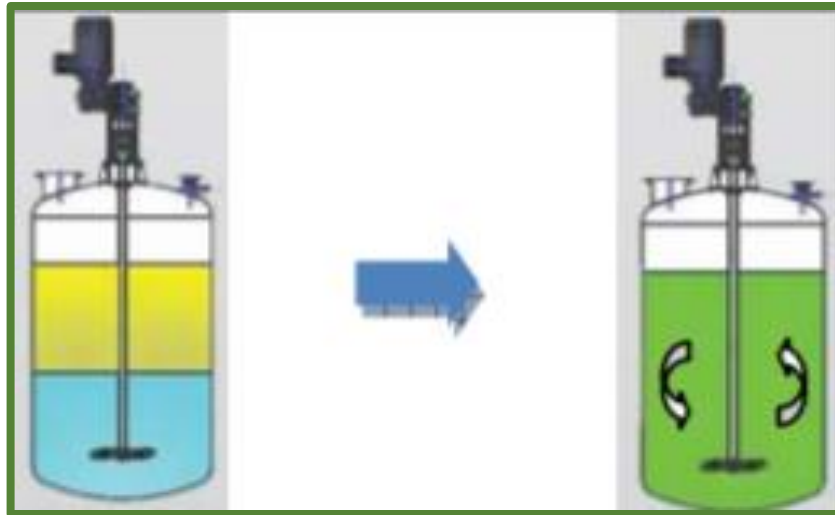


Figura 12. Mezcla de fluidos solubles, adaptado de diseño y cálculo de un agitador de fluidos por Castillo Uribe, V. (2013). *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos*. (Seminario de titulación). Universidad del Bío Bío. Chile. Recuperado de http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/412?mode=full&submit_simple=Mostrar+el+registro+Dublin+Core+completo+del+%C3%ADtem+d

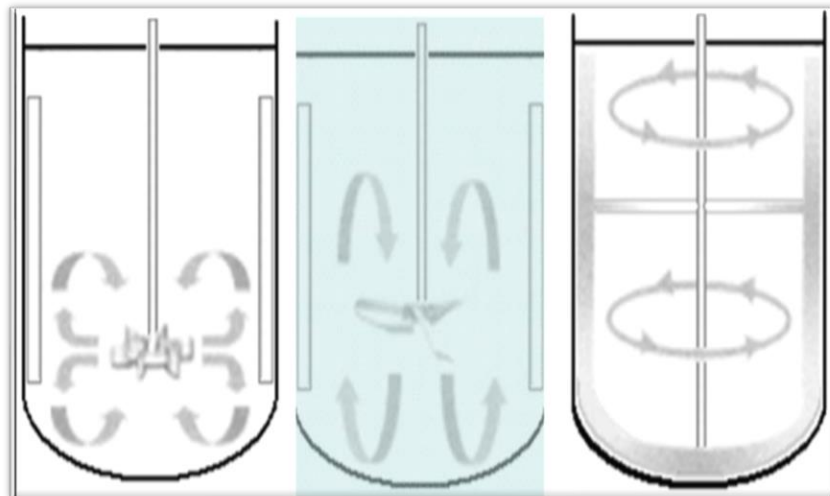


Figura 13. Representación de flujos: radial, axial y tangencial, adaptado de diseño y cálculo de un agitador de fluidos. Fuente: Castillo Uribe, V. (2013). *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos*. (Seminario de titulación). Universidad del Bío Bío. Chile. Recuperado de http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/412?mode=full&submit_simple=Mostrar+el+registro+Dublin+Core+completo+del+%C3%ADtem+d

Dimensionamiento del agitador tipo rejilla de palas planas inclinadas. Cuando se inicia a formar la cuajada se comienza a hacer más viscosa la mezcla. Por otro lado, la velocidad con la que se agita no es de consideración dado que el cuajo y la leche son líquidos homogéneos. El agitador seleccionado proporciona un flujo tangencial.

Diseño y cálculo del agitador de mezcla. Para diseñar el agitador depende de la sustancia del procedimiento de las condiciones físico-químicas y del entorno las cuales ya se conocen. El contenedor no es un sistema cerrado que genere presión, por lo anterior la presión que se tiene en cuenta es 0,723684 atm presión atmosférica del municipio de Paipa.

Geometría. “Como punto de partida en el diseño de un agitador se pueden utilizar las semejanzas geométricas estandarizadas que relacionan las medidas generales del estanque con el tipo de impulsor.” (Castillo Uribe, 2013).

Tabla 9

Características impulsor de pala tipo paleta o rejilla

Descripción	Conforma una estructura de malla
Campo de flujo	Tangencial
Régimen alcanzado	Laminar
Velocidad tangencial	2- 5m/s
Viscosidad del medio	Hasta 10 Pa*s

Nota: Especificaciones técnicas de la rejilla utilizada en la máquina. Fuente: adaptado de Castillo Uribe, V. (2013). *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos.* (Seminario de titulación). Universidad del Bío Bío. Chile. Recuperado de

http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/412?mode=full&submit_simple=Mostrar+el+registro+Dublin+Core+completo+de+el+%C3%ADtem+

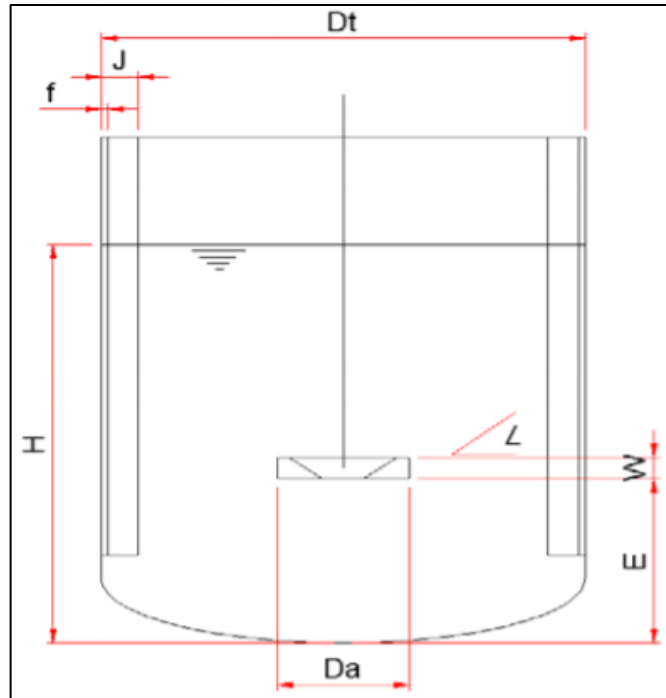


Figura 14. Semejanzas geométricas impulsor, Fuente Castillo Uribe, V. (2013). *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos*. (Seminario de titulación). Universidad del Bío Bío. Chile. Recuperado de http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/412?mode=full&submit_simple=Mostrar+el+registro+Dublin+Core+completo+del+%C3%ADtem+

Tabla 10

Semejanzas geométricas impulsor

$H/Dt=1$	$Da/Dt=0,337$	$E/Dt=0.15/0.34$
$W/f =0.1777$	$L \leq 45^\circ$	$J/Dt=0.1$
$H/Dt=1$	$f/J= 0.02$	$W/Da=0.2$

Nota: con esta tabla, se puede determinar los datos que hacen falta reemplazando con los valores en ella mostrada. Fuente: Castillo Uribe, V. (2013). *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos*. (Seminario de titulación). Universidad del Bío Bío. Chile. Recuperado de http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/412?mode=full&submit_simple=Mostrar+el+registro+Dublin+Core+completo+del+%C3%ADtem+

Tabla 11

Datos de entrada para el diseño de un agitador de fluidos

Fluido a agitar	Leche
Densidad del fluido	$1032 \text{ M}/\text{m}^3$
Presión de operación	0.723684 atm
Temperatura de trabajo	15°C-33°C
Diámetro del estanque	0,5 m
Altura del estanque	0,57 m
Tapa del estanque	Curva
Fondo	Plano
Altura de relleno	-
Volumen de llenado	$0,08\text{m}^3$

Nota: datos de entrada de diseño del agitador para el prototipo. Fuente: Castillo Uribe, V. (2013). *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos*. (Seminario de titulación). Universidad del Bío Bío. Chile. Recuperado de http://repositorio.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/412?mode=full&submit_simple=Mostrar+el+registro+Dublin+Core+completo+del+%C3%ADtem+

Consideraciones para el cálculo de datos faltantes:

D_t es el diámetro total del contenedor

$$D_t = 0,5m$$

Cálculo de H

$$H = 1 * D_t \quad (11)$$

$$H = 0,5m$$

Cálculo del diámetro del impulsor D_a .

$$D_a = 0,337 * D_t \quad (12)$$

$$D_a = 0,1685 m$$

Cálculo desde el fondo a la base del impulsor E .

$$E = \frac{0,15}{0,34} * D_t \quad (13)$$

$$E = 0,22 m$$

Cálculo de ancho de placa J .

$$J = 0,1 * D_t \quad (14)$$

$$J = 0,05 m$$

Cálculo de ángulo de inclinación L ; se selecciona a gusto del diseñador siempre y cuando no exceda los 45° .

$$L = 45^\circ$$

Cálculo del ancho de la paleta W .

$$W = 0,2 * D_a \quad (15)$$

$$W = 0,034 \text{ m}$$

Cálculo entre placa y contenedor f .

$$f = 0,02 * D_t \quad (16)$$

$$f = 0,01 \text{ m}$$

Cálculo de longitud del impulsor L_E .

$$L_E = 0,625 * D_t \quad (17)$$

$$L_E = 0,31 \text{ m}$$

Cálculo del dimensionamiento entre las rejillas X_p para 4 paletas.

$$X_p = \frac{L_E}{4} \quad (18)$$

$$X_p = 0,062 \text{ m}$$

Se diseñó en software SolidWorks la paleta de mezcla (Figura 15).

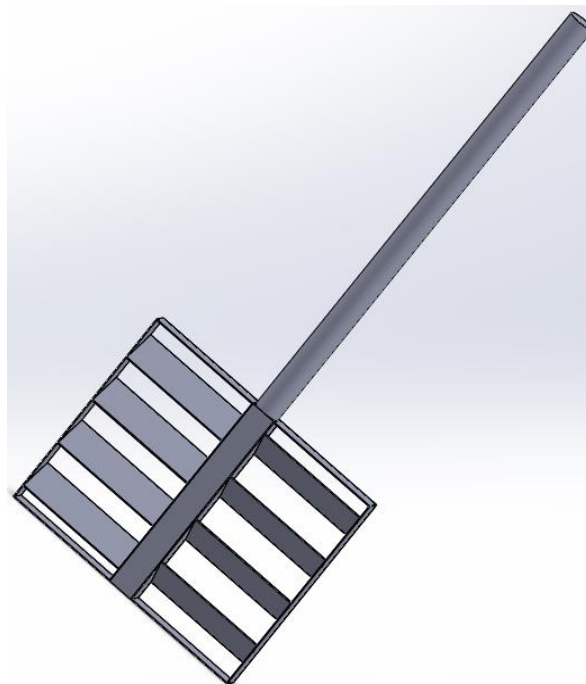


Figura 15. Diseño en SolidWorks de agitador-mezclador. Fuente: elaborado por Autores, 2021.

Eje agitador.

Velocidad eje de agitador. Para hallar la velocidad del eje agitador se toman las ecuaciones de conceptos aplicados de agitación.

$$v_m = \frac{Q_p}{\frac{\pi}{4}D_t^2} \quad (19)$$

$$v_f = \frac{Q_p}{\frac{\pi}{4}D_a^2} \quad (20)$$

v_m = Velocidad media del fluido.

D_t = Diámetro del tanque mezclador.

Q_p = Caudal propio del fluido.

D_a = Diámetro del agitador.

v_f = Velocidad del flujo.

“La velocidad media se produce en la esquina inferior de las palas de agitación.” (Jaramillo-Diaz & Cardenas-Bañol, 2013) La velocidad media está establecida en forma genérica en 1 m/s y se multiplica por un factor que lo proporciona la gráfica mostrada en la Figura 16.

Teniendo en cuenta lo mencionado en el párrafo anterior, el factor es de 0,7 lo que da como resultado para la velocidad media del fluido de $0,7 \text{ m/s}$. Para hallar el caudal propio del fluido Q_p se despeja de la ecuación 19 con un valor de D_t de 0,5 m que es el diámetro del contenedor.

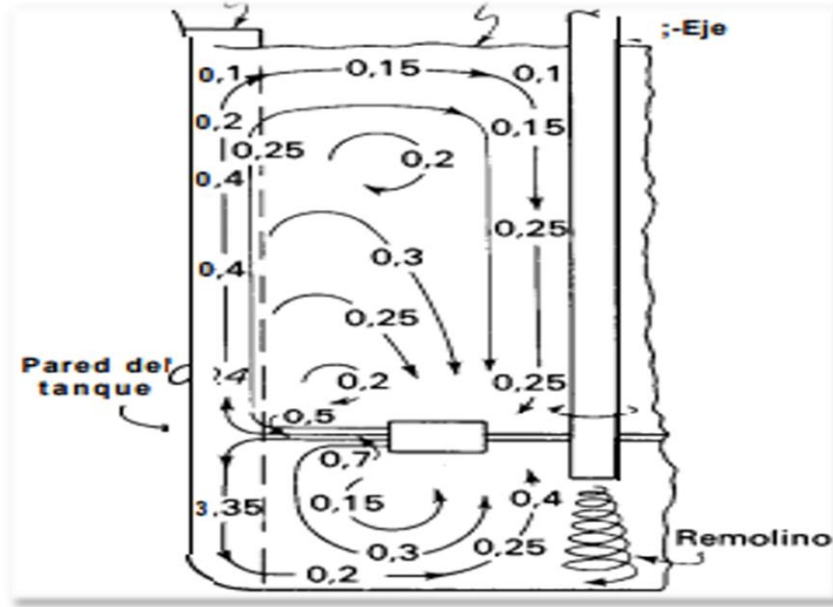


Figura 16. Diagrama de velocidades en un agitador, imagen mejorada de operaciones unitarias en ingeniería química, por McCabe, W. Smith, J. Harriott, P. (2007). *Diagrama de velocidades en un agitador*. (7ª ed.). The McGraw-Hill Companies.

$$Q_p = v_m * \frac{\pi}{4} * D_t^2 \quad (21)$$

∴

$$Q_p = 0,137 m^3/s$$

De la segunda ecuación de agitación se calcula Velocidad del flujo v_f con un valor de D_a de 0,1685 m (calculado de la ecuación 12), teniendo en cuenta que se formará una paleta con dos agitadores, para tener un proceso de mezcla más robusto.

$$v_f = \frac{Q_p}{\frac{\pi}{4} D_a^2} \quad (22)$$

∴

$$v_f = 1,035 m/s$$

Mediante la ecuación de velocidad se despeja y calcula la velocidad angular w .

$$v_f = \frac{D_{ae}}{2} * w \quad (23)$$

Siendo;

v_f = velocidad del flujo.

w = velocidad angular.

D_{ae} =diámetro del eje agitador.

El D_{ae} partido en dos viene siendo el radio de D_a ; de esa ecuación se despeja w .

$$w = \frac{1,035 \text{ m/s}}{0,1685 \text{ m}} * \frac{60}{2\pi}$$

∴

$$w = 58,65 \text{ rpm}$$

$$w = 0,9775 \text{ rps}$$

Numero de Reynolds. “Es un numero adimensional utilizado en la mecánica de fluidos y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido” (Jaramillo-Diaz et al., 2013) el número de Reynolds Relaciona según Castillo-Uribe (2013) “densidad, viscosidad, velocidad y la dimensión típica de un flujo. La presencia o ausencia de turbulencia en un fluido que se agita se puede relacionar con un número de Reynolds.” Su ecuación es:

$$NR_e = \frac{n * D_a^2 * \rho}{\mu} \quad (24)$$

n = velocidad del agitador (rps).

D_a = Diámetro del agitador.

μ = viscosidad dinámica de la leche.

ρ = densidad del fluido leche.

Por propiedades físico- químicas de la leche sabemos que la densidad ρ es de 1032 kg/m^3 y la viscosidad dinámica μ a 15°C es $0,03549 \text{ kg/m} * \text{s}$.

$$NR_e = \frac{0,9775 \text{ rps} * (0,337 \text{ m})^2 * 1032 \text{ kg/m}^3}{0,03549 \text{ kg/m} * \text{s}}$$

∴

$$NR_e = 3.891,23$$

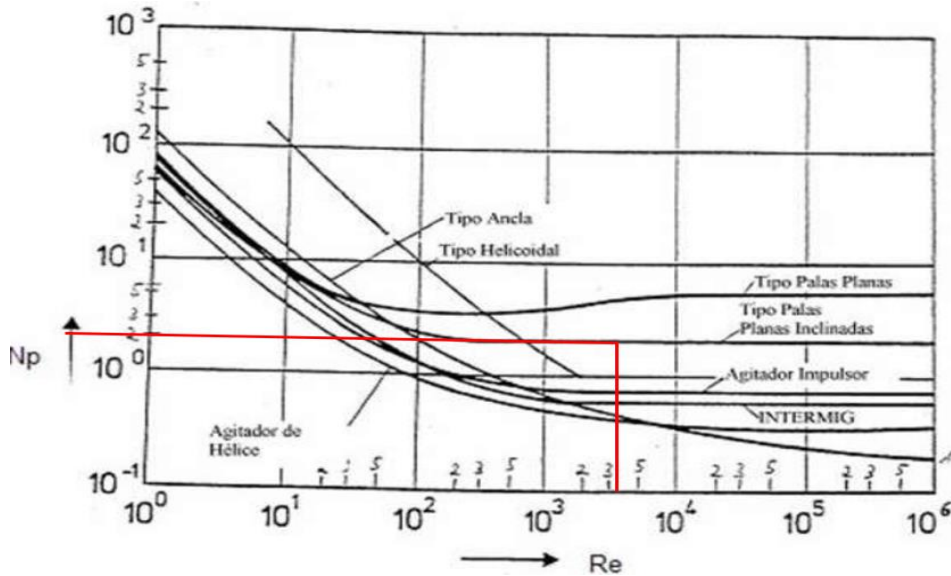


Figura 17. Numero de potencia vs NRe, adaptado de fenómenos agitación (fotografía) por Collahuazo, M., & Maldonado, N. (22 de septiembre de 2012). *Fenómenos de transporte: aplicaciones de agitadores y ecuaciones a utilizar*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/MaryCollahuazo/fenomenos-agitacion>

Numero de potencia. Relaciona las propiedades físicas del fluido, la velocidad de rotación, el diámetro del agitador, además la potencia obtenida en función del número de Reynolds. El número de potencia N_p es análogo a un factor de fricción o a un coeficiente de rozamiento que es proporcional a la relación entre la fuerza de rozamiento que “actúa sobre una unidad de área del agitador y la fuerza inercial, la fuerza inercial a su vez está relacionada con el flujo de cantidad de movimiento correspondiente al movimiento global del fluido.” (López, 2016)

Con ayuda de la gráfica (Figura 17) se hace cruzar el número de Reynolds (3.891,23) con el tipo de paleta seleccionada (tipo palas planas inclinadas) y con ello se haya el número de potencia.

$$N_p = 20$$

$$P = \frac{N_p}{g_o} * (n^3 * D_a^5 * \rho) \quad (25)$$

Siendo;

N_p = Número de potencia.

g_o = Factor gravitacional de conservación, valor estándar.

n = Velocidad del agitador (rps).

D_a = diámetro del agitador.

ρ = Densidad de la leche.

∴

$$P = \frac{20}{9,8066 \frac{Kgm * m}{Kgf * s^2}} * [0,9775 \text{ rps} * (0,337 \text{ m})^5 * 1032 \frac{kg}{m^3}]$$

∴

$$P = 179,28 \frac{kgm}{s}$$

Torque del eje agitador. Se determina tomando la potencia y la velocidad angular por medio de la ecuación.

$$P = T * w \quad (26)$$

Despejando;

$$T = \frac{P}{w}$$

Donde;

T = Torque del eje de agitador.

P = Potencia del eje agitador.

w = velocidad angular en rad/s .

$$T = \frac{179,28 \frac{kgm}{s}}{6,141 \text{ rad/s}} * 9,81 \frac{N}{Kg}$$

∴

$$T = 29.19 \text{ N} * m$$

Diámetro eje del agitador. Al igual que los materiales que interactúan directamente con la leche el eje de los agitadores también interactuará con la leche, por consiguiente, el material de fabricación será acero inoxidable AISI304 y el factor de seguridad será el mismo que se ha manejado a lo largo del proyecto $N=2$.

Un factor de seguridad $N=2$ se establece para un valor que confía en los datos de diseño sujeto a cargas dinámicas, teniendo esto claro se procede a calcular el esfuerzo admisible por torsión dado por la ecuación:

$$\tau_{flu} = 0,57 * \sigma_{perm} \quad (27)$$

$$\tau_{per} = \frac{\tau_{flu}}{f.S} \quad (28)$$

Donde;

τ_{flu} = esfuerzo fluencia a torsión.

σ_{perm} = esfuerzo permisible (170Mpa dados por fabricante).

$f.S$ = factor de seguridad.

τ_{per} = esfuerzo permisible a torsión.

$$\tau_{per} = \frac{0,57 * 170Mpa}{2}$$

∴

$$\tau_{per} = 48,45 MPa$$

Para calcular el diámetro del eje mezclador; la ecuación 29 de esfuerzo permisible de torsión se despeja dicha variable;

$$\tau_{per} = \frac{T*R}{j} \quad (29)$$

Siendo;

τ_{per} = esfuerzo permisible a torsión.

T = Torque del eje de agitador.

R = Radio del mezclador.

j = momento polar de inercia.

∴

$$\tau_{per} = \frac{T*R}{\frac{\pi}{4}*R^4} \quad (30)$$

Se factoriza y se despeja R.

$$R = \sqrt[3]{\frac{T}{\frac{\pi}{4} * \tau_{per}}}$$

∴

$$R = \sqrt[3]{\frac{36.78 N * m}{\frac{\pi}{4} * 48,45 MPa}}$$

∴

$$R = 0,00989m \sim 0,01m$$

Pasando de radio a diámetro;

$$d = 2 * R \quad (31)$$

∴

$$d = 0,02 m \cong \frac{7}{8} in$$

Es importante aclarar que un diámetro de 2,225 cm no está estandarizado, lo cual puede ser aproximado a 2,5 cm de ser necesario.

Motorreductor – acople.

Es necesario tener en cuenta la velocidad angular en rpm potencia en kW y el torque 29.19 N * m.

$$P = 179,28 \frac{kgm}{s} * \frac{0,00981KW}{1 \frac{Kgm}{s}}$$

∴

$$P = 1,76 kW$$

Acople motorreductor-eje. Se utilizará un acoplamiento rígido de platillo con dimensiones normalizadas, teniendo el valor del eje que se aproximará a 2,5 cm se realiza el procedimiento para dimensionar el acople. La Figura 21 muestra valores para dimensionar el acople según el diámetro del eje.

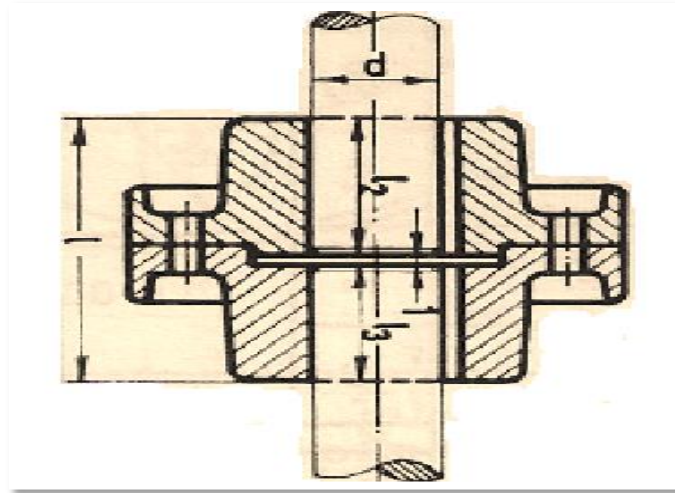


Figura 18. Dimensiones largo de eje superior e inferior del acople, Castillo Uribe, V. (2013). *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos*. (Seminario de titulación). Universidad del Bío Bío. Chile. Recuperado de http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/412?mode=full&submit_simple=Mostrar+el+registro+Dublin+Core+completo+del+%C3%ADtem+

Tabla 12

Especificaciones del motorreductor

Especificación	Valor
Salida	2,2 kW
Número de polos	2
Frecuencia	50 Hz
Velocidad nominal	2840 rpm
Tensión nominal	115/200 V
Corriente nominal	15.9 / 9.16 A
Corriente sin carga	7.66 / 4.40 A
Par nominal	0.755 kgfm
Momento de inercia (J)	0.0022 kgm ²
Factor de servicio	1.00
Aumento de la temperatura	80 K
Grado de protección	IP55
Nivel de ruido	62,0 dB (A)
Aprox. Peso	18,7 kg

Fuente: Adaptado de Weg.Net. (s.f.). *Motorreductores de dos polos*. Recuperado de https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Reductores/Motorreductores/GD/GD/p/MKT_WMO_BR_TEXT_IMA_GE_WCES_GEARMOTORS_GD

Tabla 13

Dimensiones largo de eje superior e inferior

Diámetro mm	Longitud máxima del cubo				
	D	L	I1	I2	I3
25		130	150	70	59
30		130	150	70	59
35		150	170	80	69
40		150	170	80	69
45		170	190	90	79
50		170	190	90	79
60		190	210	100	89
70		210	230	110	99
80		230	250	120	109
90		260	280	135	124

Fuente: Adaptado de Castillo Uribe, V. (2013). *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos*. (Seminario de titulación). Universidad del Bío Bío. Chile. Recuperado de http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/412?mode=full&submit_simple=Mostrar+el+registro+Dublin+Core+completo+del+%C3%ADtem+

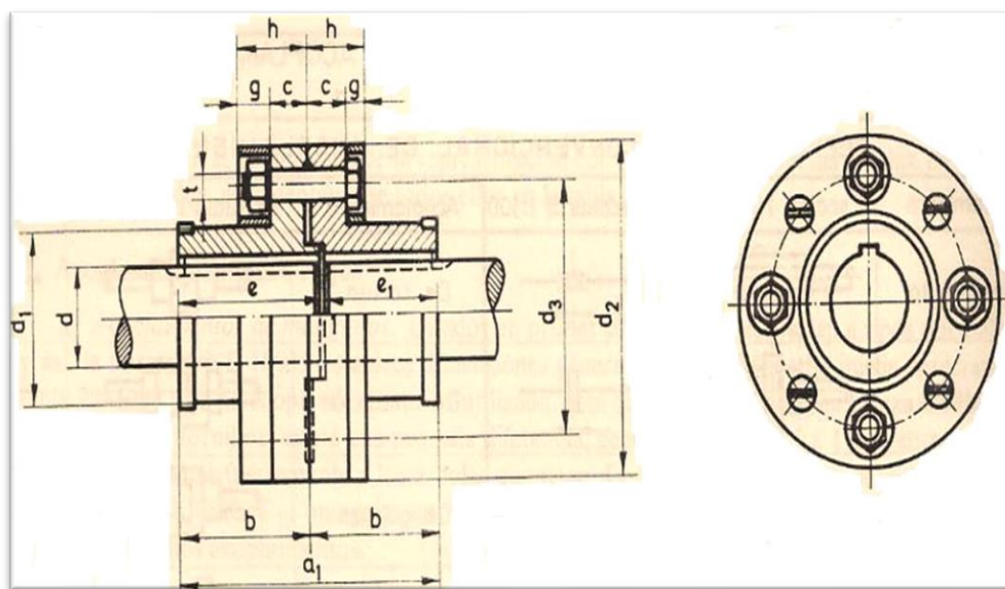


Figura 19. Dimensiones machón acoplamiento superior, Castillo Uribe, V. (2013). *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos*. (Seminario de titulación). Universidad del Bío Bío. Chile. Recuperado de http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/412?mode=full&submit_simple=Mostrar+el+registro+Dublin+Core+completo+del+%C3%ADtem+

El acople va contar de 3 piezas: dos acopladores (uno para el motorreductor y otro para el eje de mezcla) estos acopladores se unen por medio de un tornillo M-12 que se diseñó a partir de la información obtenida de la Figura 19.

Perno de unión eje-agitador. Como es de esperar su material de fabricación debe ser en acero inoxidable; la idea de realizar una maquina fácil de desmontar lleva a realizar un perno con el fin de montar y desmontar los dos tipos de agitadores, además de agregar versatilidad a la máquina reduciendo el gasto de realizar otro eje para agitador y se procede a realizar el cálculo matemático de la ecuación para hallar fuerza:

$$F = \frac{T}{r} \quad (32)$$

Donde;

F = Fuerza aplicada sobre el eje.

T = Torque del eje de agitador $36.78 \text{ N} * \text{m}$.

r = radio eje agitador (0,14 m).

$$F = \frac{29.19 \text{ N} * \text{m}}{0,1685 \text{ m}}$$

∴

$$F = 173,23 \text{ N}$$

Es necesario analizar el esfuerzo cortante con respecto al esfuerzo base del eje partiendo de la ecuación 33. El esfuerzo de falla por ruptura σ_{falla} es tomada de Figura 20 cargas de prueba menores a 225 MPa.

$$\sigma_{per} = \frac{\sigma_{falla}}{f.S} \quad (33)$$

σ_{per} = esfuerzo permisible.

σ_{falla} = esfuerzo de falla (resistencia a la fluencia).

$f.S$ = factor de seguridad.

$$\sigma_{perm} = \frac{400 \text{ MPa}}{2}$$

∴

$$\sigma_{perm} = 200 \text{ MPa}$$

Con este dato se procede a calcula el esfuerzo cortante permisible:

$$\tau_{perm} = 0,57 * \sigma_{perm}$$

∴

$$\tau_{perm} = 0,57 * 200MPa$$

$$\tau_{perm} = 114 MPa$$




Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, Inclusive	Resistencia de prueba mínima,† MPa	Resistencia mínima a la tensión,† MPa	Resistencia mínima a la fluencia,† MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	

Figura 20. Resistencia del perno. Fuente: Rodríguez Prieto. J. (2014) *Diseño Mecánico (Tornillos)*. Recuperado de

https://juanrodriguezprieto.files.wordpress.com/2014/08/prese_6.pdf

Con estos valores se puede calcular el valor del diámetro del tornillo el cual debe estar en los valores de la clase 4.6 mostrados en la Figura 21, de lo contrario es necesario realizar nuevamente las operaciones;

$$\tau_{perm} = \frac{F}{2 * A} \tag{34}$$

Siendo;

A= área del tornillo.

F= Fuerza aplicada sobre el eje.

τ_{perm} =esfuerzo cortante permisible.

$$\tau_{perm} = \frac{F}{2 * \pi * r^2} \tag{35}$$

Despejando r

$$r = \sqrt{\frac{F}{2 * \pi * \tau_{perm}}}$$

Remplazando;

$$r = \sqrt{\frac{173,23 N}{2 * \pi * 114 MPa}}$$

∴

$$r = 0,0004 m$$

Pasándolo a diámetro;

$$d = 0,008 m$$

Estructura.

Diseño de estructura tipo podio la cual soportará el tanque de coagulación (mezcla de cuajada).

Análisis matemático. El contenedor tiene una capacidad de 100 litros de leche conociendo la densidad y el volumen, procedemos hallar la masa del contenedor con la ecuación de densidad:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (36)$$

Despejando ecuación 36;

$$m = \rho * v$$

Resolviendo;

$$m = 1032 \text{ Kg}/\text{m}^3 * 0,10 \text{ m}^3$$

∴

$$m = 103,2 \text{ Kg}$$

El contenedor de doble fondo fue pesado en báscula digital después de haber concluido su construcción tiene una masa de 23,6Kg. Sumando las dos masas:

$$m_{total} = 144,68 \text{ Kg}$$

Con la masa se procede a calcular la fuerza que ejerce el contenedor sobre la estructura:

$$F = \frac{m}{g} \quad (37)$$

Resolviendo;

$$F = 14,8 N$$

Material. Se procedió a buscar un material que pueda soportar el tanque y dé estética economía y facilidad de adquisición al proyecto. Después de hacer diferentes simulaciones en software SolidWorks aplicando una fuerza sobre la estructura de prueba de 10000N con diferentes metales, los resultados dieron que en manera general todos los materiales de la gama de los metales pueden soportar este peso el cual está sobredimensionado el peso original del contenedor.

El perfil de análisis es circular hueco al igual que en los materiales tanto el perfil cuadrado hueco, circular macizo, cuadrado hueco, hierro angular son aptos para soportar la estructura. Por lo anterior se eligió tubería de aluminio hueco de las siguientes especificaciones:

Tabla 14

Especificaciones del material utilizado en la estructura

Parámetro	Resultado
Material	Aluminio
Forma	Circular hueca
Norma estandarizada	ISO
Espesor	2,3 mm
Diámetro	21,3 mm
Referencia	1066-hiz
Peso	Liviano
Adquisición	Fácil

Nota: al ser un material que no está en contacto con la leche, no es necesario su fabricación en acero inoxidable, siendo el único requisito, que soporte la carga. Fuente: Autores, 2021.

Simulación. Simulado en software SolidWorks con los parámetros de material y de construcción mencionados en la Tabla 14, se divide el perfil resaltado como perfil de prueba. En el diseño ese perfil no existe y es tomado como el peor de los escenarios posibles para

realizar la simulación. Se divide este perfil con el perfil del centro a una medida igual al diámetro de la cantina y los perfiles de los extremos x-distantes a los bordes Figura 22 se ejemplifica.

Los círculos morados son los nodos de unión de la estructura, es importante tenerlos en el análisis como se mencionó arriba, el perfil del medio se le aplica un peso simulando el mismo de la cantina. Los círculos verdes son restricciones fijas y la flecha roja indica cómo afecta la gravedad a toda la estructura.

Se quiere analizar si el desplazamiento ejercido por la carga puede ser considerable para romper la estructura véase Figura 23. La simulación pudo evidenciar que con esta carga sobredimensionada para el proyecto la separación en el eje Y (que es donde ocurre el mayor peso) es capaz de soportar el peso, sufriendo un desplazamiento mínimo de 1,492 mm que viene a ser un pandeo despreciable. Con esto se garantiza que la estructura en tubo de aluminio hueco soporta el proyecto sin ningún problema.

Acoplamiento cantina-estructura. Terminado el proceso la cuajada se vierte sobre una superficie y se comienza a realizar el proceso de moldeamiento. Para facilitar este paso la cantina se va a soportar sobre este acoplamiento que garantiza libertad de movimiento en X (véase Figura 23)

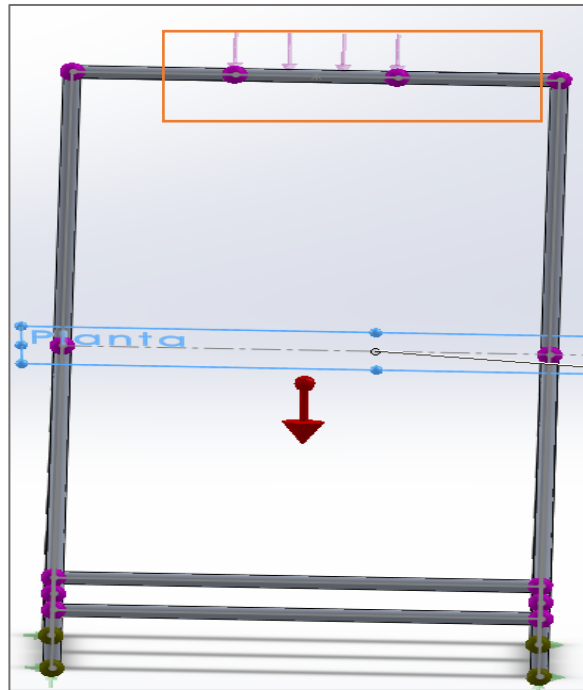


Figura 21. Esquema análisis de carga en la estructura por medio de SolidWorks. Fuente: elaborado por Autores, 2021.

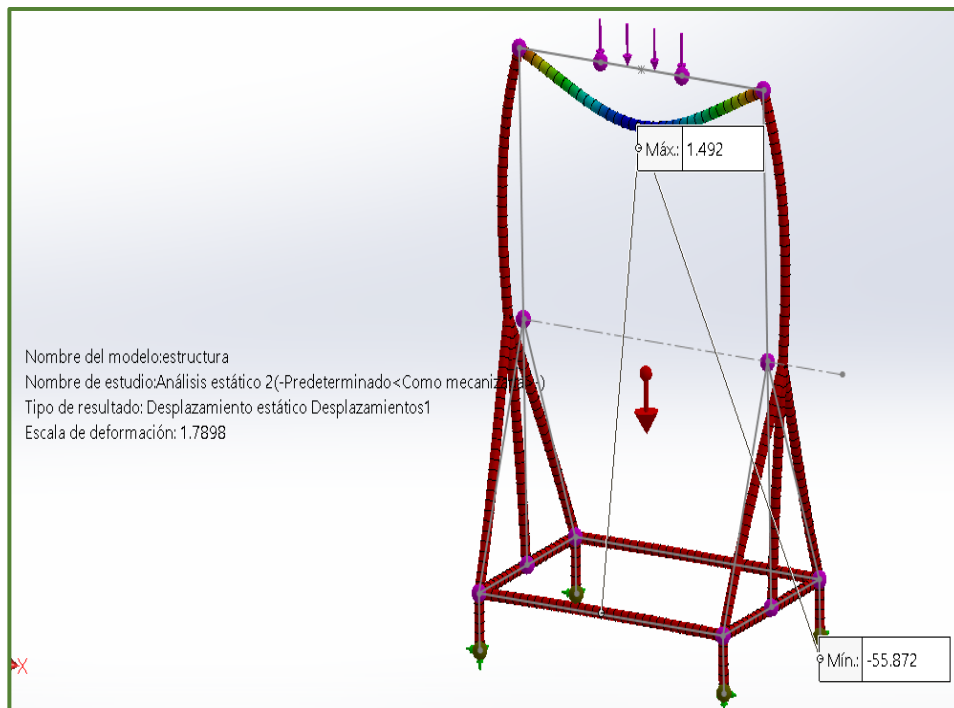


Figura 22. Simulación - análisis estructural. Fuente: elaborado por Autores, 2021.

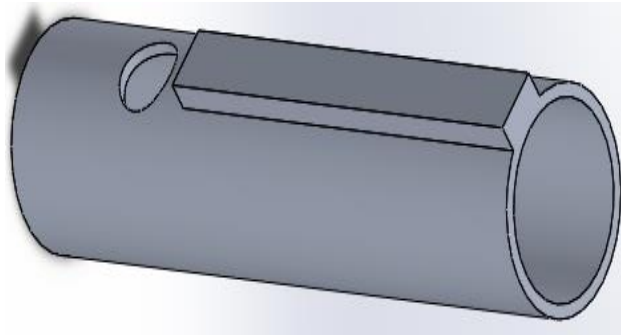


Figura 23. Acoplamiento cantina – estructura. Fuente: elaborado por Autores, 2021. *El acoplamiento es una pieza aparte de la estructura, y se une a ella por medio de un tornillo.

Tabla 15

Especificaciones acoplamiento cantina - estructura

Restricción	Por perno sobre la estructura
Tipo de acoplamiento	Ajustable, des ajustable
Grados de libertad	1
Grados de libertad que le permite a la cantina	1
Eje X	Rotacional de 360°
Eje Y	Restringido
Eje Z	Restringido
Material	Aluminio
Tipo	Tubo hueco
Diámetro	25 mm
Espesor	1,5 mm
Diámetro comercial	Tubo de aluminio de 1” hueco
Largo	100 mm
Pestaña de agarre	3,6 mm
Largo pestaña de agarre	70 mm

Nota: El material del acoplamiento cantina-soporte puede variar según conveniencia de los productores, entre un polímero u otro tipo de metal, su función es unir, sobre él no recae ninguna carga. Fuente: Autores, 2021.

Tapa- soporte motorreductor.

Se diseñó una tapa la cual brindará los siguientes beneficios:

- Soporte para el motorreductor (peso de 189,14 N).
- Soporte para electroválvula con depósito de suero (98 N aproximadamente) y en caso tal que la comunidad quiera acceder a ella.
- Tapar el contenedor en el proceso de homogenización.
- Soporta el peso del acoplador de eje agitador y rejillas de mezcla (117,6 N aproximadamente).

Se pusieron a prueba 4 casos para determinar cuál era el más indicado manteniendo las especificaciones dadas se procedió a probar 4 diseños de tapa, en ellos se analiza la tensión que pueda causar rupturas o pandeos en el diseño aplicando una carga de 1000 N que es un 59,5 % más de la carga aproximada real; con este sobredimensionamiento se busca garantizar que no haya puntos críticos de ruptura y deformaciones en el diseño por incidencia de la tapa.

Tabla 16

Especificaciones tapa-soporte

Material	Acero inoxidable AISI304
Espesor	1 mm
Grados de libertad	2
Movimiento en X	Restringido
Movimiento en Y	Lineal, desde el borde de la cantina hasta una altura en la posición positiva del plano Y de 40 cm
Movimiento en Z	Giro de 360 °
Carga	405 N aproximadamente
Accesorios	Conexión a electroválvula
Diseño	Pieza soldada
Radio	25 cm

Nota: Los datos que se presentan son sobredimensionados para reducir la incertidumbre de pandeo en la lámina.

Fuente: Autores, 2021.

Caso I. Lamina plana de 1mm con soporte de 3 mm al eje muestra que soporta la carga que es ejercida sobre él sin que haya rupturas o puntos críticos; pero muestra un pandeo considerable en el extremo de la lámina.

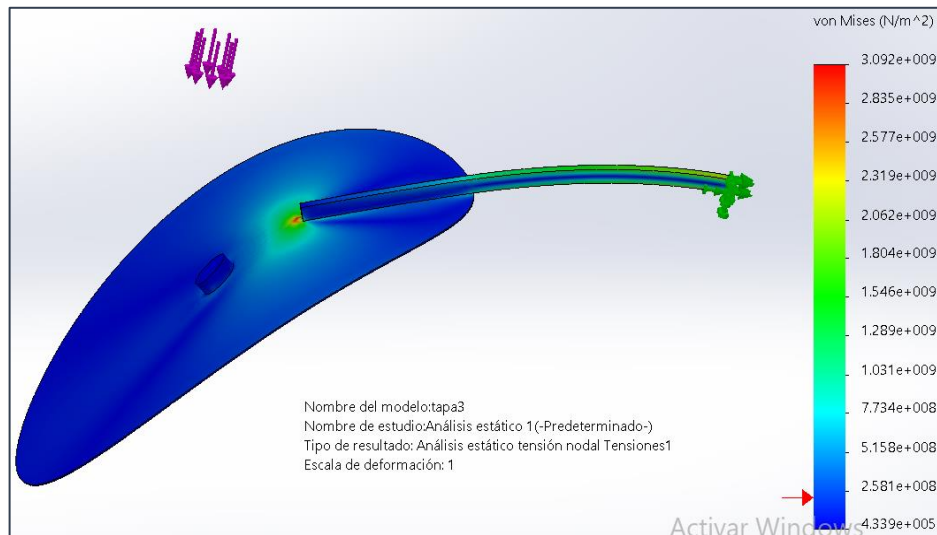


Figura 24. Tapa caso I. Fuente: elaborado por Autores, 2021. *Muestra una deformación producto de la carga que soporta considerable producto del peso de los componentes que debe soportar.

Caso II. Lamina plana de 1mm y soporte de 3 mm al eje con extracción alrededor de la tapa de 3 cm y espesor de 1 mm; muestra que soporta la carga que es ejercida sobre él sin que haya rupturas o puntos críticos, pero muestra un pandeo en el extremo de la lámina no igual de considerable que el caso I.

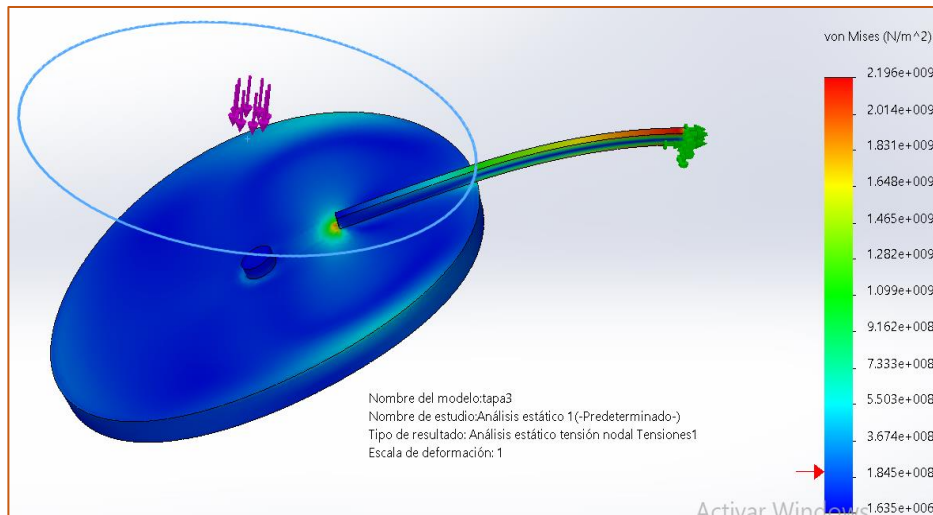


Figura 25. Tapa caso II. Fuente: elaborado por Autores, 2021. *La carga que experimenta la tapa deforma de su base provocando una posición inclinada, no existe fractura del material, es reforzado en su base con otra lamina de acero inoxidable.

Caso III. Necesita modificar puntos de apoyo del motorreductor cambiando de posición horizontal a vertical. Lamina plana de 1mm, soporte de 3 mm al eje con extracción alrededor de la tapa de 3 cm y espesor de 1 mm además con soporte para ajustarlo. Muestra que soporta la carga que es ejercida sobre él sin que haya rupturas o puntos críticos; pero muestra un pandeo en el extremo de la lámina no igual de considerable que el caso I y caso II.

Al mover el centro de masa del motorreductor se desliza la presión ejercida sobre el nervio del soporte Figura 26.

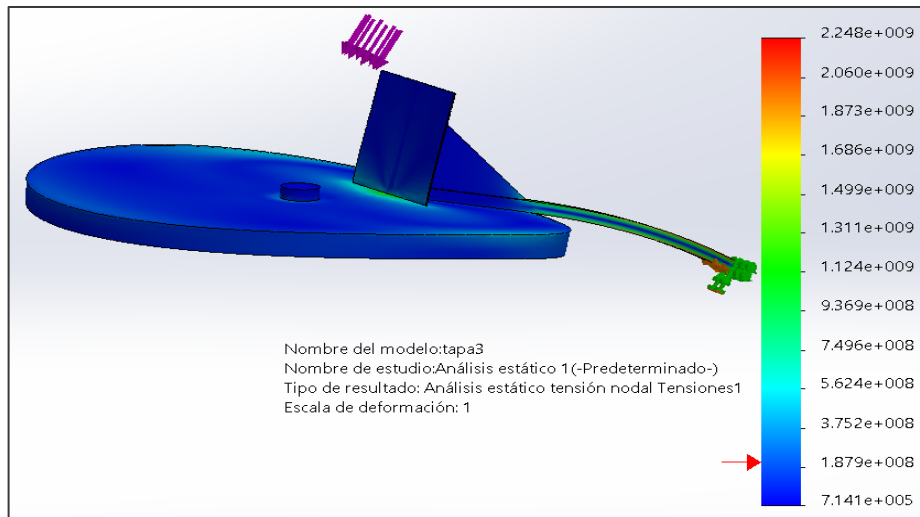


Figura 26. Tapa caso III. Fuente: elaborado por Autores, 2021. *Reforzada la base de la tapa, se elimina la inclinación producto de la carga, pero genera un pandeo en el centro de la tapa, se hacen experimentos modificando el centro de masa de la carga.

Caso IV. Necesita modificar puntos de apoyo de los elementos más pesados que soporta la tapa cambiando de posición. Lámina plana de 1mm, soporte de 3x3 mm al eje con extracción alrededor de la tapa de 3 cm y espesor de 3 mm, además con soporte para ajustar motorreductor muestra que soporta la carga que es ejercida sobre él sin que haya rupturas o puntos críticos; muestra un pandeo poco considerable en el extremo de la lámina. Al mover el centro de masa de este elemento se desplaza la presión ejercida sobre el nervio del soporte véase Figura 27.

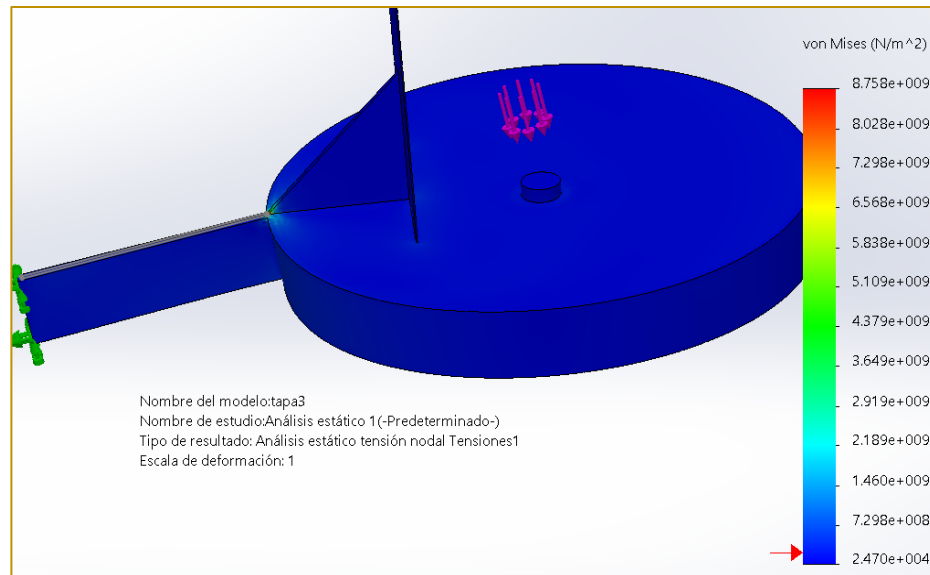


Figura 27. Tapa caso IV. Fuente: elaborado por Autores, 2021 *El motorreductor es el componente de más peso, se diseña un soporte con una pestaña anclada a la base con el fin de modificar su centro de masa, el mayor peso este elemento recae sobre la base de la tapa.

Elección de diseño de tapa. Al analizar los diferentes diseños se puede evidenciar que los 4 casos soportan sin ningún problema la carga ejercida sobre él sin que tenga rupturas o puntos críticos, pero unos muestran más pandeo que otros que estéticamente no hacen ver agradable al proyecto. Por lo anterior se eligió el caso IV para ser implementado.

Se ve en la imagen un perfil en donde la base sujeta al eje Y, y la base de la tapa están diseñadas en una sola pieza; este tipo de diseño garantiza eliminar el pandeo experimentado en el extremo de la tapa, en la base hay una separación entre láminas de 3mm.

Deformaciones Unitarias. En este ítem se analiza en las partes de soldadura que puntos se ven afectados como lo evidencia la Figura 29, los puntos de partes de soldadura no se ven afectados por la carga.

Deformaciones por Eje. El eje que experimenta la carga es el eje Y del plano cartesiano Como se evidencia en la Figura 31, la base presenta deformación en todos los puntos del diseño. Aunque aparece en rojo no es una deformación considerable, solo que el software necesita de una escala de medición tomando los puntos de rojos como los más altos y azules como mínimos.

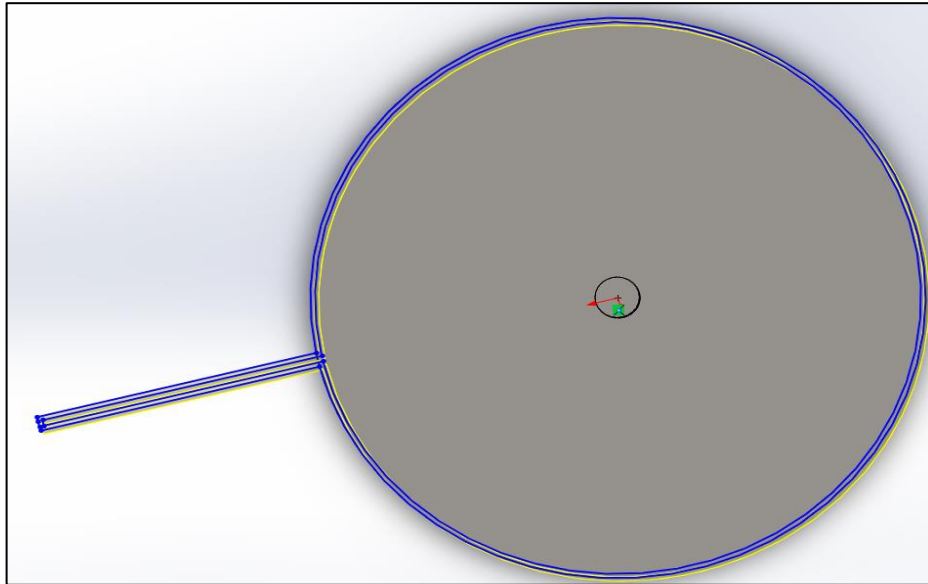


Figura 28. Croquis Tapa Caso IV. Fuente: elaborado por Autores, 2021. *Las líneas azules muestran la lámina de acero inoxidable 304 de doble refuerzo, dando mayor estabilidad a la tapa respecto a los otros 3 casos estudiados.

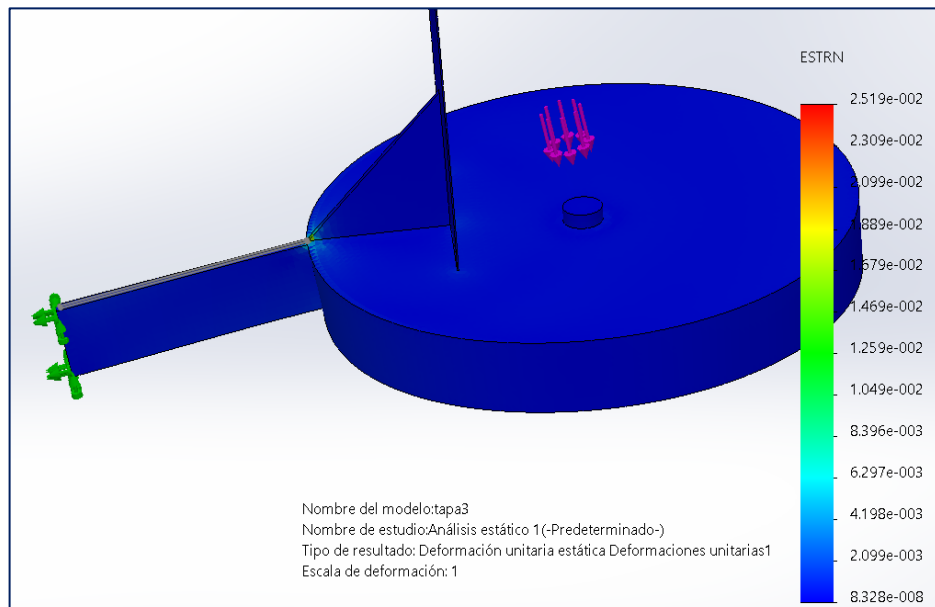


Figura 29. Deformaciones Unitarias de la Tapa Caso IV. Fuente: elaborado por Autores, 2021.

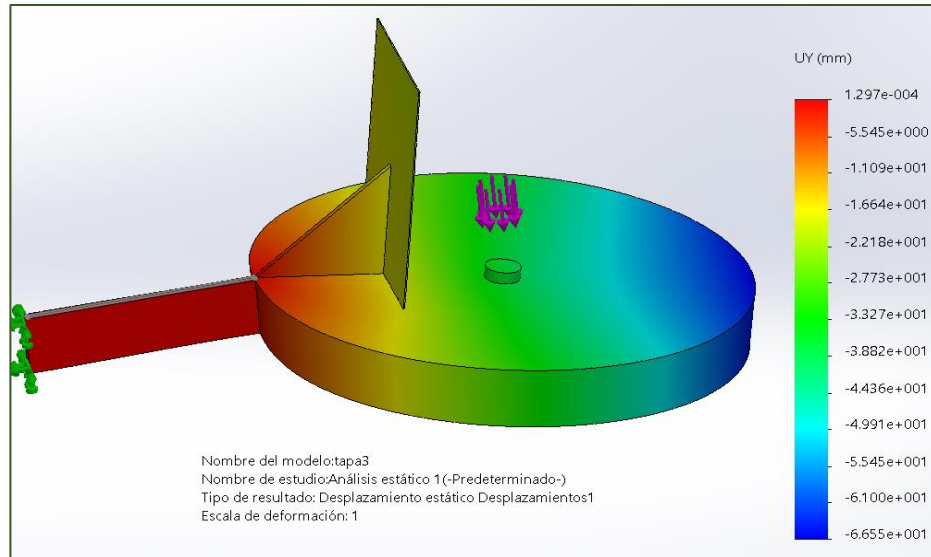


Figura 30. Deformaciones para Eje y Tapa Caso IV. Fuente: elaborado por Autores, 2021.

Efecto del Sistema de Control Térmico en el Prototipo en el Proceso de Coagulación en la Producción de Queso Campesino Artesanal

A continuación, se presenta la construcción del prototipo con sus respectivas pruebas en las cuales se analizó, comparó tiempos y cantidades de quesos producidos con el prototipo respecto a la producción artesanal.

En el apartado se encuentran consideraciones a tener en cuenta en la elección del material, en el capítulo II se presentaron las especificaciones mínimas que el material debía cumplir para ser utilizado en la manipulación de alimentos:

- Resistente a la corrosión.
- Superficies compactas y poco rugosas para impedir el crecimiento de bacterias u otros tipos de microorganismos.
- Resistencia a las variaciones térmicas.
- Fácil de realizar higiene.

Las anteriores consideraciones se tuvieron en cuenta para la elección del material llegando a la conclusión que la mejor opción era el uso de Acero inoxidable 304L, se construyeron los contenedores de doble fondo acorde al estudio realizado, sin embargo, no se puede implementar el prototipo a ello, la razón la soldadura no es la adecuada en la Figura 31 se muestra la construcción mecánica del prototipo.

Por otra parte, el prototipo es funcional en su gran mayoría, los elementos electrónicos y otros componentes pueden ser usados en un contenedor que sí cumpla con las especificaciones de soldadura necesaria para la manipulación de alimentos y poder implementar el prototipo en la producción de queso campesino fresco.

En las condiciones actuales, es posible realizar pruebas de funcionamiento del prototipo y verificar la eficiencia y eficacia del sistema de control térmico diseñado para el sistema de coagulación.



Figura 31. Construcción mecánica contenedor doble fondo. Fuente: Autores, 2021. *Al contenedor se le impidió pasar por el proceso de pulir, por lo cual se puede apreciar los cordones de soldadura, esto con el fin de mostrar visualmente las razones por las cuales no fue incorporado en la producción.

Entre el contenedor externo y el contenedor interno existe una separación de 2 cm es un espacio que se llena con agua para poder calentar la leche por baño maría. En el centro se dispuso una salida con un tubo en acero inoxidable 304 de 3 pulgadas para facilitar la extracción de la cuajada después del proceso de mezclado,

Aunque el proyecto se enfoca en determinar la eficiencia y eficacia de control de temperatura sobre el proceso de coagulación de la leche, los procesos que se soportan en el apartado proceso de homogenización capítulo 2 son importantes para optimizar al máximo el proceso de coagulación.

Como se analizó en el capítulo 1 diagnóstico de la comunidad Quebrada Honda y su forma de producción de queso, dentro de las recomendaciones dadas y lo visto en las instalaciones se tuvo en cuenta lo siguiente:

- La vereda Quebrada Honda no cuenta con gas natural y la mayoría de los casos se cocina en fogón de leña.
- El sitio en donde realizan la producción de queso campesino cuenta con instalación eléctrica monofásica a 120 V.

Esos datos fueron claves para elegir la forma de calentar el contenedor de doble fondo y en la elección del tipo de resistencia a utilizar para realizar dicho proceso. Para ello se diseñaron Niquelinas (resistencias de diseño) Figura 32 con las especificaciones expuestas en la Tabla 17.

En el apartado transferencia de calor se explica el valor de calculado para la velocidad de transferencia de calor mínima $q_{aprovechado}$ necesaria para calentar la leche a 33°C. El cálculo matemático da un valor de 984 W, para ello se implementan tres niquelinas que sumando el valor de su potencia proporcionan al contendor 1950W.

Tabla 17

Especificaciones resistencia de diseño (niquelinas).

Especificaciones de las niquelinas	
Material	Acero inoxidable
Potencia	650 W
Voltaje	120 V
Dimensiones	Largo 17 cm x 3 cm
Rosca	1"

Nota: La potencia de 650 W es la potencia máxima que el fabricante pudo garantizar con las especificaciones de dimensiones que se le proporcionaron (fueron realizadas a partir de las dimensiones de los contenedores). Fuente: Autores, 2021.

La conexión del circuito de niquelinas es en paralelo ya que este sistema permite mantener el voltaje (120 V) en el circuito constantemente en todos sus nodos y mallas, pero el valor de corriente si varia por medio de la ley de Ohm, se procedió a calcular el valor de corriente que necesita cada niquelina y la corriente total que se requiere de la instalación eléctrica.



Figura 32. Resistencias implementadas en el prototipo. Fuente: Autores, 2021. *Se ubicaron cada 120° una de otra en la base cilíndrica del contenedor.

Conociendo el valor de la potencia y del voltaje despejamos la intensidad para cada nodo del circuito de la ecuación de potencia:

$$P = V * i \quad 38)$$

Despejando;

$$i = \frac{P}{V}$$

El valor de intensidad para cada uno de los nodos es $i_1, i_2, i_3 = 5,41 A$ pues las tres niquelinas tienen las mismas especificaciones de diseño y cada una experimenta un voltaje de 120 V alterno. La corriente total equivale a la suma de la corriente en cada nodo, para nuestro caso nuestro circuito consta de 3 nodos.

$$i_T = i_1 + i_2 + i_3 \quad 39)$$

Dando un valor de:

$$i_T = 16,25 A$$

Como se necesita extraer 16,25 A de la instalación eléctrica residencial es necesario instalar una nueva fase eléctrica en el sitio donde se realiza la producción. Las especificaciones de esa nueva fase sirven para soportar 16,25 A a 120V. Es necesario destinar una fase

independiente para el uso del prototipo con las especificaciones que debe tener una instalación que soporte 16,25 A.

Recepción y Visualización de Datos

Para la recepción de los datos ofrecidos por el sensor de temperatura se utilizó un microcontrolador PIC 18F4550, el cual permite un correcto flujo de datos para la aplicación actual y para una posterior optimización según sea el caso. El controlador en este caso PIC 18f4550 recibirá una señal de voltaje correspondiente a la variación de temperatura recibida por el sensor de temperatura estudiado y adquirido (Crocsee RTD PT 100), dado que este sensor varía el valor de su resistencia en función de la temperatura se alimenta a una fuente de 24 V y se acopla a un transmisor cuya respuesta es una corriente entre 4 mA - 20 mA. Su valor mínimo (4 mA) es suministrado cuando la temperatura es igual o aproximada a los 0 °C.

Dado que el PIC recibe señales análogas admisibles entre 0 V - 5 V se hace necesario adaptar una resistencia en serie con la salida negativa del transmisor. La caída de voltaje sobre la resistencia debe de tener un valor entre 0 V - 5 V como se puede ver en la Figura 33, el valor recibido por el controlador es enviado mediante comunicación serial a través de un módulo RS 232 hacia el computador el cual (Mediante LabVIEW) representó el valor (en bits) recibido por el PIC. Con los bits obtenidos a ciertas temperaturas se procedió a hallar la función correspondiente al comportamiento del sensor. Se acude a la ecuación de una pendiente lineal:

$$T_{(bits)} = m(bits) + b \quad 40)$$

Para poder despejar el valor de m y b y así obtener la ecuación se obtuvo los bits promedio a temperaturas definidas. Para ello se calentó un fluido hasta los 34°C y se sumergió el sensor en él, se tomó el número de bits obtenidos, el mismo proceso se hizo a 18°C. Ese número promedio será el que se trabaje en la ecuación. Se obtuvieron las siguientes ecuaciones:

$$18 = m * (233,5) + b \quad 41)$$

$$34 = m * (267) + b \quad 42)$$

Dado que las ecuaciones 41 y 42 cumplen con un sistema de ecuaciones 2x2, se procedió a despejar las variables m y b en donde se obtuvieron los siguientes valores:

$$m = \frac{32}{67}$$

$$b = \frac{-6268}{67}$$

Por lo tanto, la ecuación de temperatura para el sistema propuesto es:

$$T_{(bits)} = \frac{32 \cdot bits - 6268}{67} \quad 43)$$

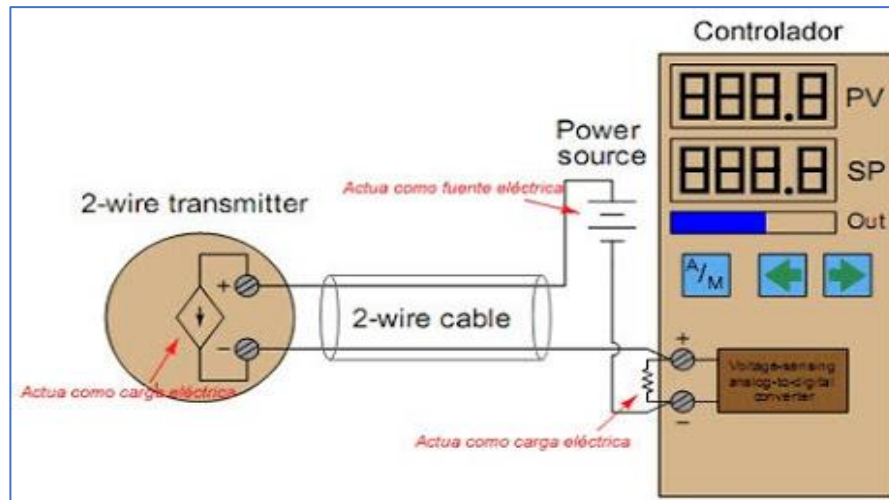


Figura 33. Circuito transmisor - resistencia – controlador. Fuente: adaptado de Ceiv. (s.f). Circuito para pt100 con trasmisor 4-20mA. Recuperado de <https://www.ceiv.com>

Este procedimiento se realizó con la ayuda de un multímetro y una termocupla los cuales indicaban la temperatura que se encontraba el fluido mientras el sensor mostraba los bits. La ecuación 43 se incorpora en la programación y ese es el dato de temperatura que se muestra en la interfaz gráfica. Para entender mejor como se relaciona la temperatura con el valor de voltaje la Tabla 18 muestra algunas equivalencias y los datos que intervienen.

Tabla 18

Equivalencias

Temperatura (°C)	Valor de resistencia (Ω) proporcionados por sensor RTD PT100	Valor de corriente (i) proporcionados por transmisor para RTD PT100	Voltaje que ingresa al microcontrolador PIC10F4550
0 °C	100 Ω	4mA	0,4V
10 °C	108Ω	7,2mA	0,8V
20 °C	117Ω	10,4mA	1,23V
30°C	125Ω	15,8mA	2V
40°C	132Ω	20mA	2,7V

Nota: Por medio de la ley de Ohm, se calcula el valor del voltaje, los valores son ingresados a la programación del PIC en donde se operan para poder realizar el control, el PIC por su naturaleza de construcción solo puede comparar y operar con datos de voltaje. Fuente: Autores, 2021.

Adición de Leche

Este proceso se realiza de la misma manera como lo realiza la comunidad filtrando la leche y agregándola a un contenedor.

Adición de Cuajo

Para hacer las pruebas con el prototipo se usa pastilla de cuajo de la misma marca que la comunidad utiliza para realizar su proceso artesanal, para la cantidad de leche propuesta para las pruebas se utilizó ¼ de pastilla.

Calentar la Leche

Este apartado se hace una comparación entre la producción con el prototipo y la producción artesanal del queso.

Diferencial de Temperatura Baño María vs Leche Fresca

El principio de funcionamiento para calentar la leche es por baño maría, las niquelinas calientan el agua por transferencia de calor mediante convección. La convección “es el proceso de transferencia de calor que interviene cuando entran en contacto un fluido y un sólido” (Kahan, 2002). Para la primera etapa de transferencia de calor se relacionan las resistencias eléctricas con el agua contenida en el contenedor más grande.

La segunda etapa de transferencia de calor, el flujo de calor se dirige del baño maría al contenedor donde se encuentra la leche, para este caso la transferencia de calor es por convección y por último el flujo de calor se dirige del contenedor que soporta la leche y a la leche fresca, la transferencia de calor también es por convección.

El primer análisis que se realiza es el tiempo que el prototipo se demora en llevar la leche a su temperatura deseada. Para esta primera fase experimental el prototipo fue llenado con 80 litros de agua la idea es conocer el tiempo que le toma calentar el agua entre un rango de 28°C a 33°C. La comunidad le toma aproximadamente de 15 a 20 minutos realizar este proceso pues como se explicó en procesos productivos en la fabricación del queso campesino del capítulo I lo realizan de manera poco eficiente.

Tabla 19

Diferencial de temperatura a la ideal para la coagulación del queso con el prototipo

Temperatura (°C)	Prototipo (minutos)
12	00:00
15	01:20
18	03:01
21	04:46
23	05:38
26	06:49
29	08:23
32	10:37
35	12:02

Fuente: Autores, 2021.

Durante la visita no fue posible determinar a qué temperatura se encontraba la leche mientras los productores realizaban el proceso de fabricación, la razón, ellos querían mantener

sus protocolos de higiene en la producción, por lo cual no fue posible obtener su permiso. Si se pudo cronometrar el tiempo que tardaron en calentar la leche a la temperatura que ellos consideraron indicada. La Tabla 19 muestra el tiempo que el prototipo le toma calentar la leche (para el caso de la prueba agua).

Al prototipo le toma aproximadamente 9 minutos llevar a la temperatura ideal para la coagulación del queso campesino mejorando el tiempo que a los productores le toma realizar la misma labor en 6 a 11 minutos, de igual modo se elimina la forma tediosa en cómo lo estaban realizando.

En el segundo análisis la diferencia de temperatura entre el baño maría y la leche, para realizar las mediciones se utiliza tres elementos de medición: termocupla, sensor PT100 en acero inoxidable y un termistor obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 20.

Tabla 20

Diferencial de temperatura leche fresca - baño maría

Tiempo horas/ minutos/segundos	Temperatura ambiente Tunja(°C)	Temperatur a del agua (°C)	Temperatura de la leche (°C)	Diferencia de temperatura (°C)
10:30:05 Am	17°C	17°C	17°C	0°C
10:33:54 Am	17°C	25°C	23°C	2°C
10:36:12 Am	17,3°C	32°C	28°C	4°C
10:39:29 Am	17,7°C	39°C	34°C	5°C
10:40:56 Am	17,8°C	43°C	39°C	4°C

Nota: Al ser un sistema abierto, la pérdida de calor entre los contenedores aumenta a medida que la temperatura se eleva en el contenedor del baño maría siendo más relevante después de los 43°C. Fuente: Autores, 2021.

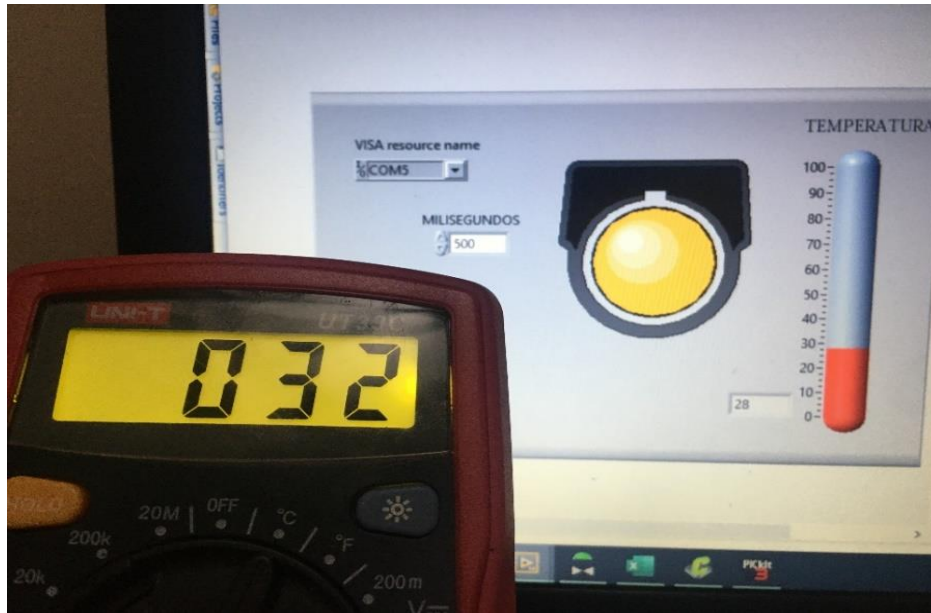


Figura 34. Diferencial de temperatura leche fresca - baño maría. Fuente: Autores, 2021. *La imagen muestra el valor de la temperatura del agua en el multímetro y el valor de la temperatura de la leche en el sistema SCADA.

Se pudo observar durante las pruebas que la temperatura tiene un comportamiento casi lineal entre la temperatura del contenedor exterior y el contenedor interior, en ambos existe una diferencia de $\pm 3^{\circ}\text{C}$. El espacio entre el contenedor exterior e interior es de 2 cm (espacio que se llena de agua para el baño maría) al ser tan reducido el espacio se obtiene una rápida transferencia de calor entre un contenedor y otro.

Es importante mencionar que, el proyecto no busca tecnificar todo el proceso ni quitarle el carácter artesanal a la producción de queso campesino, por lo tanto, para las pruebas fue necesario acudir a las enseñanzas de la comunidad y realizar todos los pasos para la fabricación de queso según lo mencionado por ellos.

Después de que el baño maría supera los 40°C el diferencial de temperatura se comienza a ampliar, la razón es porque el recipiente que contiene la leche se encuentra expuesto a temperatura ambiente, el calor recibido por el contenedor es liberado al ambiente y comienza a haber pérdidas de calor. Para fines de la producción del queso artesanal y prueba del prototipo lo que suceda sobre los 36°C se puede considerar despreciable, al mismo tiempo muestra que el calor puede ser mejor aprovechado si se forma un sistema cerrado en el contenedor permitiendo que el prototipo alcance la temperatura deseada en un menor tiempo. En el capítulo

2 apartado proceso de homogenización se deja el diseño de la tapa del prototipo, en caso que la comunidad quiera implementarla.

Pruebas Prototipo

Se hicieron 3 pruebas con 20 litros de leche cada una, aunque las dimensiones del contenedor son de 100 litros la producción del producto no sería óptima para el consumo de animales y humanos (como se justifica al comienzo de este capítulo) por lo tanto debe ser desechada. Se realizó el proceso de mezclado con el fin de determinar el porcentaje en gramos de cuajada que se obtiene en la producción artesanal y la incursión del prototipo; el proceso de mezclado de cuajada se realizó según lo enseñado por la comunidad, pero el diseño de las piezas de mezclado y corte más las especificaciones del motorreductor a utilizar para este prototipo se soporta en el capítulo 2 apartado proceso de homogenización.

La Tabla 21, muestra el resultado de 3 pruebas realizadas al prototipo, siendo la prueba número dos en donde se obtuvo los resultados más relevantes, en ella se maneja un control de temperatura de $\pm 33^{\circ}\text{C}$ y se aumenta el batido y homogenización de la mezcla cuajo-leche por 10 minutos más, esto indica que, para mejorar los resultados en el proceso de coagulación, no solo es necesario mantener un control de temperatura, sino aumentar el tiempo de homogenización de la mezcla, respecto al tiempo original dado por la comunidad que era de 20 minutos.

Tabla 21

Eficiencia del prototipo

Prueba Nro.	Cantidad de leche (L)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Tiempo de mezcla (min)	Porcentaje de cuaja obtenida (g)
1	20 L	33 $^{\circ}\text{C}$	20 min.	2270 g
2	20 L	33 $^{\circ}\text{C}$	30 min.	3040 g
3	20 L	17 $^{\circ}\text{C}$	20 min	1728 g

Nota: Se realiza 3 pruebas diferentes, la tercera se asemeja a la producción artesanal, las otras dos se les aplica el control térmico y se analiza con diferentes tiempos de homogenización de la mezcla. Fuente: autores, 2021.

Para determinar cuánto puede mejorar en cantidad de producción el prototipo se aplican dos reglas de tres, teniendo en cuenta para la primera que la comunidad produce 14 quesos de 500g con 80 litros de leche y la segunda el prototipo con una muestra de 20 litros de leche se tuvo una producción de 3.040 gramos que viene siendo aproximadamente 6 quesos de 500g, Los resultados se documentan en la Tabla 22.

Lo que busca comparar la Tabla 22 es la cantidad de cuajada producida de forma artesanal y la producida aplicando el prototipo de control térmico utilizando las cantidades de leche para ambos casos. El primero utilizando su carácter artesanal y con la cantidad de leche que la comunidad puede adquirir (80 litros), comparar cuanta cuajada se obtiene si la comunidad utilizara 20 litros y la segunda comparación si al prototipo se le agregan 80 litros de leche cuanta cuajada puede obtener.

Tabla 22

Comparación entre la cantidad de cuajada obtenida de forma artesanal vs prototipo

	80 litros	20 litros
Producción Artesanal	7.000g	1.750g
Producción prototipo	12.160g	3.040 g

Nota: Las pruebas con el prototipo se realizaron con 20 litros de leche, el dato de 12.160 g de cuajada es un dato estimado matemáticamente basado en los resultados obtenidos con 20 litros. Fuente: Autores, 2021.



Figura 35. Peso en báscula digital cuajada obtenida con el prototipo. Fuente Autores, 2021.

Se puede concluir que el prototipo mejora en un 71,4% la producción de queso campesino traducido en unidades, el prototipo puede producir 24 quesos de 500g con la misma cantidad de leche que la población produce 14 quesos mejorando la producción en 10 quesos. Por otra parte, es importante aclarar que el prototipo cumple con la función por el cual fue diseñado (mejorar la producción de queso por medio de un sistema térmico que controle la temperatura de la leche durante el proceso de coagulación) pero ya es competencia de la comunidad evaluar temas como la calidad de la cuajada obtenida.

Recomendaciones

El consumo de corriente eléctrica del prototipo supera los 10A, por ende, es necesario modificar las instalaciones eléctricas en donde se realiza la fabricación del queso campesino fresco, en donde se coloque una fase monofásica independiente a 120V con un taco de protección de 20 A y se deje como circuito exclusivo para el prototipo.

Recordar las buenas prácticas para la manipulación de circuitos eléctricos como tener las manos secas en el momento de realizar la conexión.

Se recomienda la incursión de los elementos descritos en proceso de homogenización capítulo II, con el fin de optimizar al máximo el proceso de coagulación del queso campesino fresco.

Es importante que el operario pueda visualizar el valor de temperatura al cual se encuentra la leche y adicionar el cuajo justo cuando se encuentre dentro del rango ideal 28°C - 32°C.

Según las pruebas realizadas, se obtiene un aumento de la cantidad de cuajada realizando el proceso de homogenización 10 minutos más que el tiempo que destina la comunidad para realizar el mismo proceso, por lo anterior se le recomienda a la comunidad aumentar el tiempo de homogenización en el proceso de coagulación del queso en 10 minutos respecto al tiempo que ellos utilizan actualmente.

Conclusiones

Con el diagnóstico y pruebas realizadas con el prototipo se logró determinar los parámetros que inciden en el proceso para la elaboración de queso campesino: tiempo de coagulación de 30 minutos a 40 minutos y temperatura de la leche 35°.

El prototipo está construido en acero inoxidable 304 apto para procesar alimentos, pero no cumple con la soldadura adecuada (MIG por arco y gas argón) necesaria para cumplir con la normativa vigente en el procesamiento de alimentos, esto impide ser implementado en el proceso desarrollado por la comunidad. Aun así, el prototipo es apto para realizar pruebas y los resultados sirven de base para evaluar el desempeño del mismo dentro del proceso de elaboración del queso.

Durante el desarrollo de las pruebas se utilizaron 20 litros de leche, equivalente al 25% de la cantidad de leche utilizada por los productores, se hace con el fin de evitar desperdicios pues como se ha mencionado, la producción no es apta para el consumo. Los resultados obtenidos con este lote de leche fue un incremento del 57,6% de cuajada respecto a la producción artesanal y reducción del tiempo del proceso de coagulación en un 55,6%.

Para la construcción del control térmico se midió la temperatura que se transmite del contenedor más grande (baño maría) al contenedor de la leche, se pudo evidenciar un comportamiento lineal en el incremento de la temperatura de ambos contenedores, estos datos fueron útiles para estimar la apertura o cierre del flujo eléctrico a las resistencias térmicas (Niquelinas) y mantener el rango de temperatura entre los 28°C a 32°C, este rango garantiza el aumento de la producción y disminuye el tiempo de fabricación del queso.

El prototipo no reemplaza el trabajo de la comunidad, su objetivo es brindar apoyo en procesos complejos como el de coagulación, en donde, la forma artesanal deja pérdidas de materia prima por mal manejo de la temperatura durante la adición del cuajo, además de demandar más tiempo durante la agitación y homogenización del cuajo con la leche. Con las herramientas disponibles en la investigación, no fue posible estimar con exactitud cuanta leche se pierde como consecuencia de la ausencia del control de temperatura, matemáticamente acudiendo y comparando la segunda y tercera prueba realizadas se estima que utilizando una muestra de 25L sin control térmico se pierde aproximadamente 5,2% de la materia prima utilizada.

Referencias

- Anónimo, (2012). *Resistencia de materiales*. Universidad de las Américas, capítulo 3. Recuperado de <http://resistenciadelosmaterialeseip445.blogspot.com>
- Castillo Uribe, V. (2013). *Diseño y cálculo de un agitador de fluidos*. (Seminario de titulación). Universidad del Bío Bío. Chile. Recuperado de http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/412?mode=full&submit_simple=Mostrar+el+registro+Dublin+Core+completo+del+%C3%ADtem+d
- Ceiv. (s.f.). *Circuito para pt100 con transmisor 4-20mA*. Recuperado de <https://www.ceiv.com>
- Cía. General de Aceros (2020). *AISI 304* (características técnicas de producto). Recuperado de <https://www.cga.com.co/producto/aisi-304/>
- Collahuazo, M., y Maldonado, N. (22 de septiembre de 2012). *Fenómenos de transporte: aplicaciones de agitadores y ecuaciones a utilizar*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/MaryCollahuazo/fenomenos-agitacion>
- Estrucplan. (2012). *Especificaciones para el diseño y fabricación de recipientes a presión*. Recuperado de [https:// estrucplan.com.ar/especificaciones-para-el-diseno-y-fabricacion-de-recipientes-a-presion/](https://estrucplan.com.ar/especificaciones-para-el-diseno-y-fabricacion-de-recipientes-a-presion/)
- García-Cortés, D., & Jáuregui-Haza, U. (2006). Hidrodinámica en tanques agitados con turbinas de disco con paletas planas. *Revista Facultad de Ingeniería*, 38, 97–113. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/430/43003809.pdf>
- GncCaldereria. (2016). *Tipo de soldadura para acero inoxidable*. Recuperado de <http://www.gnccaldereria.es/que-tipo-de-soldadura-se-utiliza-para-acero-inoxidable/>
- Hernandez, E. (2014). Hidrodinámica. México: Universidad Autónoma del Estado Hidalgo
- Jaramillo-Diaz, J. D., & Cardenas-Bañol, H. A. (2013). Número de Reynolds. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Kahan, S. (2002). Módulo: Transferencia de Calor. 1–19. Recuperado de <https://www.fing.edu.uy/~skahan/tranferenciacalor.pdf>
- Laufgang, S. G. (7 de julio de 2003). Aceros inoxidables. Termo Soldex S.A. Recuperado de http://materias.fi.uba.ar/6713/ACEROS_INOXIDABLES.pdf
- León de, E. (2021). *Esfuerzo y Deformación Simple*. Recuperado de

- <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-autonoma-de-nuevo-leon/dinamica/tarea-1-esfuerzo-y-deformacion-simple/12382423>
- López, J. A. (2016). *Diseño e implementación de un sistema automático para el proceso de coagulación de leche y corte de cuajada para la industria artesanal*. (Trabajo de grado). Ibarra, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5517>
- Lozano-Magariño, U. (noviembre de 2012). *Presión de diseño*. En Conferencia sobre ingeniería de procesos. Mexico: Universidad Veracruzana.
- McCabe, Warren. Smith, Julián. Harriott, Peter. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. (7ª ed.). The McGraw-Hill Companies
- Pradas Baena, I., & Moreno Rojas, J. M. (2016). *En Aplicación de Altas Presiones Hidrostáticas en la Industria Alimentaria*. Andalucía: Junta de Andalucía.
- Rodríguez Prieto, J. (2014) *Diseño Mecánico (Tornillos)*. Recuperado de https://juanrodriguezprieto.files.wordpress.com/2014/08/prese_6.pdf
- Ramírez, C. A. (1942). El Cuajo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 5(18), 406–414.
- Weg.Net. (s.f.). *Motorreductores de dos polos*. Recuperado de https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Reductores/Motorreductores/GD/GD/p/MKT_WMO_BR_TEXT_IMAGE_WCES_GEARMOTORS_GD