

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA EL PENSADO Y TRANSPORTE DE
QUESO CUAJADA EN LA EMPRESA MUNDO LÁCTEO.**



Harold David Ortega Solarte

Director: M.Sc. Martin Alonso Muñoz Medina
Codirector: Ph.D. Mariela Muñoz Añasco
Asesor de la empresa: Julián Muñoz

**Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, febrero de 2023**

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	1
2. CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO Y PROCESO	2
2.1 Descripción del producto	2
2.2 Descripción del proceso de fabricación del queso	4
3. NECESIDADES Y ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO.....	9
3.1 Metodología para recolección de la información	9
3.2 Identificación de las necesidades.....	10
3.3 Especificaciones del producto.....	11
3.4 Especificaciones de calidad	11
3.4.1 Resolución 2674 de 2013	11
3.4.2 Resolución 4142 de 2012	12
4. DISEÑO A NIVEL DE SISTEMA.....	13
4.1 Funciones.....	13
4.2 Diseño del prototipo a nivel del sistema	13
4.3 Boceto del prototipo	16
5. DISEÑO DE DETALLES	17
5.1 Diseño CAD	19
5.2 Tanque de operación	20
5.3 Estructura de soporte de los cilindros neumáticos	21
5.4 Pared móvil	22
5.5 Soporte de la pared móvil	23
5.6 Placas de presión No. 1	24
5.7 Placas de presión No. 2	25
5.8 Tapa móvil.....	26
5.9 Soportes del tanque de operación (estructura del protocolo).....	27
5.10 Pared lateral perforada	29
5.11 Compuerta en acrílico.....	30
5.12 Componentes para el movimiento del soporte de los cilindros	31
5.13 Componentes para el movimiento de la pared móvil	32

5.14	Cilindros neumáticos.....	32
5.15	Materiales	33
5.16	Ensamble de componentes.....	33
5.1	Esquema de operación:	35
5.2	Diagrama de tuberías e instrumentación.....	36
5.2.1	Costos	38
6.	PRUEBAS DE PROTOTIPO	39
6.1	Análisis estático de compresión axial del queso	39
6.2	Cálculo de la fuerza por aplicar con los cilindros	42
6.3	Selección del cilindro.....	43
7.	RESULTADOS DE LA SOCIALIZACIÓN.....	44
7.1	Análisis de la rentabilidad de la inversión.....	45
8.	CONCLUSIONES	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la empresa Mundo Lácteo.	2
Figura 2: Instalaciones y equipos para la producción de queso.	3
Figura 3: Presentaciones del queso fabricado por Mundo Lácteo.	4
Figura 4: Pala cóncava para prensado del queso.	5
Figura 5: Malla de filtración del suero.	6
Figura 6: Canastas para la recolección de queso y transporte a la hiladora.	6
Figura 7: Diagrama de flujo de la fabricación del queso doble crema.	8
Figura 8: Diagrama físico-funcional del prototipo.	14
Figura 9: Diseño en el nivel de sistema.	15
Figura 10: Boceto del prototipo para prensado y transporte a hiladora de queso cuajada.	16
Figura 11: Dibujos de ingeniería de detalles, corte transversal y longitudinal del tanque de operación.	17
Figura 12: Dibujos de ingeniería de detalles, sección transversal y vista lateral del prototipo completo.	18
Figura 13: Dibujo de detalle de tanque de operación.	20
Figura 14: Diseño CAD de tanque de operación.	21
Figura 15: Planos del soporte de los cilindros neumáticos.	21
Figura 16: Diseño CAD del soporte de los cilindros neumáticos.	22
Figura 17: Planos de la tapa móvil.	22
Figura 18: Diseño CAD de la tapa móvil.	23
Figura 19: Plano del soporte de la tapa móvil.	23
Figura 20: Diseño CAD del soporte de la tapa móvil.	24
Figura 21: Planos de la placa de presión No.1.	24
Figura 22: Diseño CAD de la placa de presión No.1.	25
Figura 23: Planos de la placa de presión No.2.	25
Figura 24: Diseño CAD de la placa de presión No.2.	26
Figura 25: Planos de la tapa móvil.	26
Figura 26: Diseño CAD de la tapa móvil.	27
Figura 27: Soporte del soporte de tanque de operación.	28
Figura 28: Diseño CAD del soporte de tanque de operación.	29
Figura 29: Planos de pared lateral perforada.	29
Figura 30: Diseño CAD pared lateral perforada.	30
Figura 31: Planos de compuerta en acrílico.	30
Figura 32: Diseño CAD de compuerta en acrílico.	31
Figura 33: Componentes del mecanismo de desplazamiento del soporte de los cilindros.	31
Figura 34: Componentes del mecanismo de transporte de pared móvil.	32
Figura 35: Cilindro neumático de doble efecto.	32
Figura 36: Ensamble final.	34
Figura 37: Ensamble con compuertas en acrílico en reposo.	34
Figura 38: Ensamble con compuertas en acrílico elevadas.	35

Figura 39: Esquema de operación de los cilindros.....	36
Figura 40: Diagrama de tuberías e instrumentación.....	37
Figura 41: Mallado del queso cuajada.....	40
Figura 42:Modelo del queso: desplazamiento, vista isométrica (a), vista lateral (b) y (c).	41
Figura 43:Tensión de Von Mises en el queso.	42

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Necesidades y especificaciones del producto.	11
Tabla 2: Presupuesto para la fabricación del prototipo.	38
Tabla 3: Sujeciones del queso cuajada.....	40
Tabla 4: Presión aplicada al queso cuajada.....	40
Tabla 5: Costos de prensado y transporte manual con 5 operarios (escenario 1) 46	
Tabla 6: Costos de prensado mecánico con 2 operarios (escenario 2).....	47
Tabla 7: Flujo de caja financiero.....	47

1. INTRODUCCION

En un mundo que se mueve a un ritmo cada vez más acelerado, es crucial que las fábricas se adapten y mejoren continuamente para mantenerse competitivas. Las mejoras en tecnología y eficiencia son esenciales para lograr una producción más rápida y efectiva, lo que se traduce en una mayor satisfacción del usuario y una mayor rentabilidad para la empresa. Esto es especialmente cierto en el sector de la fabricación de productos lácteos, en el que se requiere una producción de alta calidad y en grandes volúmenes para satisfacer la demanda del mercado. Uno de los procesos que requiere mayor atención en la producción de lácteos es la fabricación de queso [1].

Dentro del proceso de producción de queso, la actividad del prensado es esencial, debido a que influye directamente en la textura y calidad del producto final [2]. Actualmente, aún existen fábricas en Colombia en las que este proceso se continúa realizando de manera manual [3]. La ejecución de esta tarea en grandes volúmenes y sin la ayuda de herramientas mecánicas, es desafiante, y requiere de una cantidad considerable de fuerza física, lo que puede resultar en lesiones o fatiga en los trabajadores. También, puede causar una disminución de la calidad del producto, debido a la imprecisión y la variabilidad en la aplicación de la fuerza. Esto se puede traducir en una producción ineficiente.

En el mercado, hay diversos tipos de herramientas para prensar queso, como las neumáticas, hidráulicas, mecánicas y manuales. Estos dispositivos han ido mejorando con el tiempo para satisfacer las demandas de la industria. Las prensas manuales son comúnmente usadas para producciones a pequeña escala, mientras que las semiautomáticas, impulsadas por actuadores neumáticos o eléctricos, son más eficientes, y pueden manejar mayores volúmenes de producción.

En Mundo Lácteo, empresa sobre la cual se desarrolla este trabajo, la actividad de prensado del queso se realiza de forma manual. Este procedimiento no favorece el rendimiento de la producción, es inseguro, y puede afectar las propiedades finales del producto. Por lo tanto, se requiere de una alternativa económica que solucione estos inconvenientes, reduzca el esfuerzo físico y garantice un proceso más eficiente y controlado. Según lo anterior, con este trabajo se pretende diseñar un prototipo mecánico para mejorar el proceso de prensado de Mundo Lácteo y facilitar el transporte del queso hacia la siguiente etapa de su fabricación, correspondiente al hilado.

2. CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO Y PROCESO

La empresa Mundo Lácteo es una fábrica de productos lácteos ubicada en el kilómetro 3 de la vía que de Popayán conduce hacia Totoró, en el departamento del Cauca, como se muestra en la Figura 1. Esta empresa se dedica a la producción de queso doble crema. El producto terminado se transporta a la sede principal de la empresa en Popayán, en donde es comercializado. Mundo Lácteo también distribuye, bajo pedido, el queso a diferentes lugares del departamento, y comercializa otros productos como insumos para comidas rápidas, pan, empanadas precocidas, jamones, aderezos, leche, yogurt, condimentos y aceites. En la Figura 2 se muestran algunas de sus instalaciones y equipos.



Figura 1. Localización de la empresa Mundo Lácteo.

Fuente: Google Maps.

2.1 Descripción del producto

El queso doble crema es una clase de queso fresco elaborado con leche cruda que se somete a un proceso de cuajado con el uso de cultivos lácticos o coagulantes. El cuajado produce una masa sólida que se comprime para retirar el exceso de líquido y obtener la cuajada [3], la cual es la base para producir el queso doble crema. Este queso tiene un color blanco crema, casi amarillo, es brillante a la vista, y no está cubierto por ningún tipo de corteza. Su consistencia es blanda y cremosa.



Figura 2: Instalaciones y equipos para la producción de queso.

Fuente: Propia.

Mundo Lácteo produce diariamente queso doble crema (entero y tajado) de forma semi artesanal, además de queso campesino y de tipo cuajada. Estos productos se comercializan en las siguientes presentaciones, como se muestra en la Figura 3.

- Media libra (250 gr)
- Libra (480 gr)
- Bloque (2500 gr)



Figura 3: Presentaciones del queso fabricado por Mundo Lácteo.

Fuente: Mundo Lácteo.

2.2 Descripción del proceso de fabricación del queso

En esta sección se describe el proceso de fabricación del queso doble crema. Este procedimiento fue observado y consultado con el personal de la empresa durante las visitas técnicas que se realizaron en las instalaciones de la planta de fabricación. Las etapas del proceso son:

1. **Recepción de la materia prima:** La leche se recibe de camiones que la transportan en tinas de 40 litros de capacidad, desde el sitio de origen hasta las instalaciones de la fábrica.
2. **Pruebas de calidad:** La leche se somete a un proceso de filtración de impurezas, para eliminar micropartículas que puedan afectar sus características. Posteriormente, se realiza un ensayo para verificar su acidez.
3. **Pasteurización:** La leche se almacena en tanques herméticos y se somete a temperatura constante (60°C y 70°C), durante 20 minutos, para la destrucción de microorganismos patógenos.
4. **Cuajado:** Se adiciona la sustancia para cuajar el queso. Esta permite la transformación de la leche a una composición sólida. Una vez se agrega el cuajo, se mezcla de forma manual para obtener una masa homogénea.

5. **Prensado:** La masa se prensa para drenar el suero y conformar el queso cuajada. Los operarios encargados de cumplir con esta labor, lo hacen manualmente, a diario, mediante una pala cóncava (Figura 4) que recoge el cuajo y lo va empujando hacia la pared superior del tanque. A medida que se comprime la masa se va expulsando el suero sobrante. Posteriormente, el suero pasa por una malla de filtración (Figura 5) que permite retener pequeños trozos de cuajo, los cuáles se recuperan manualmente y reintegran al producto.

Cinco operarios son los encargados de prensar (en el tanque de compresión) y transportar (a la siguiente etapa) la cuajada. Esta etapa se realiza en 35 minutos aproximadamente. En la Figura 6 se muestran las canastas empleadas para la recolección y transporte del queso cuajada hacia la etapa de hilado.



Figura 4: Pala cóncava para prensado del queso.

Fuente: Propia.

6. **Hilado:** El queso cuajada, producto del prensado, se funde y estira en repetidas ocasiones para formar una pasta elástica, firme y de aspecto brillante. También, se le añaden algunos ingredientes como la sal.



Figura 5: Malla de filtración del suero.

Fuente: Propia.



Figura 6: Canastas para la recolección de queso y transporte a la hiladora.

Fuente: Propia.

7. **Moldeo:** El queso se deposita en moldes rectangulares para lograr la forma definitiva.

8. **Maduración:** El producto se somete a reposo durante un periodo de entre 14 a 16 horas, en un cuarto frío a una temperatura de 15°C. Este proceso permite lograr la consistencia de un queso semiblando
9. **Embalaje:** El queso (producto terminado) se envuelve en papel plástico y etiqueta según la presentación (libra, media libra o bloque).

En la Figura 7 se muestra el diagrama de flujo de producción. La mayor parte del proceso de fabricación se desarrolla de forma manual.

El personal de producción cuenta con todos los protocolos de protección de bioseguridad (guantes, tapabocas, gorros y delantal) debido a su constante contacto con los productos, y para evitar alteraciones de sus propiedades como el sabor, olor, textura, madurez y frescura.

Respecto de la actividad de prensado, que es el tema principal que se desea abordar en este trabajo, se confirmó que el proceso demanda gran esfuerzo físico, lo que puede ocasionar fatiga en los trabajadores después de varias horas de trabajo. También se observó que durante la actividad de filtración pueden ocurrir desperdicios significativos del producto.

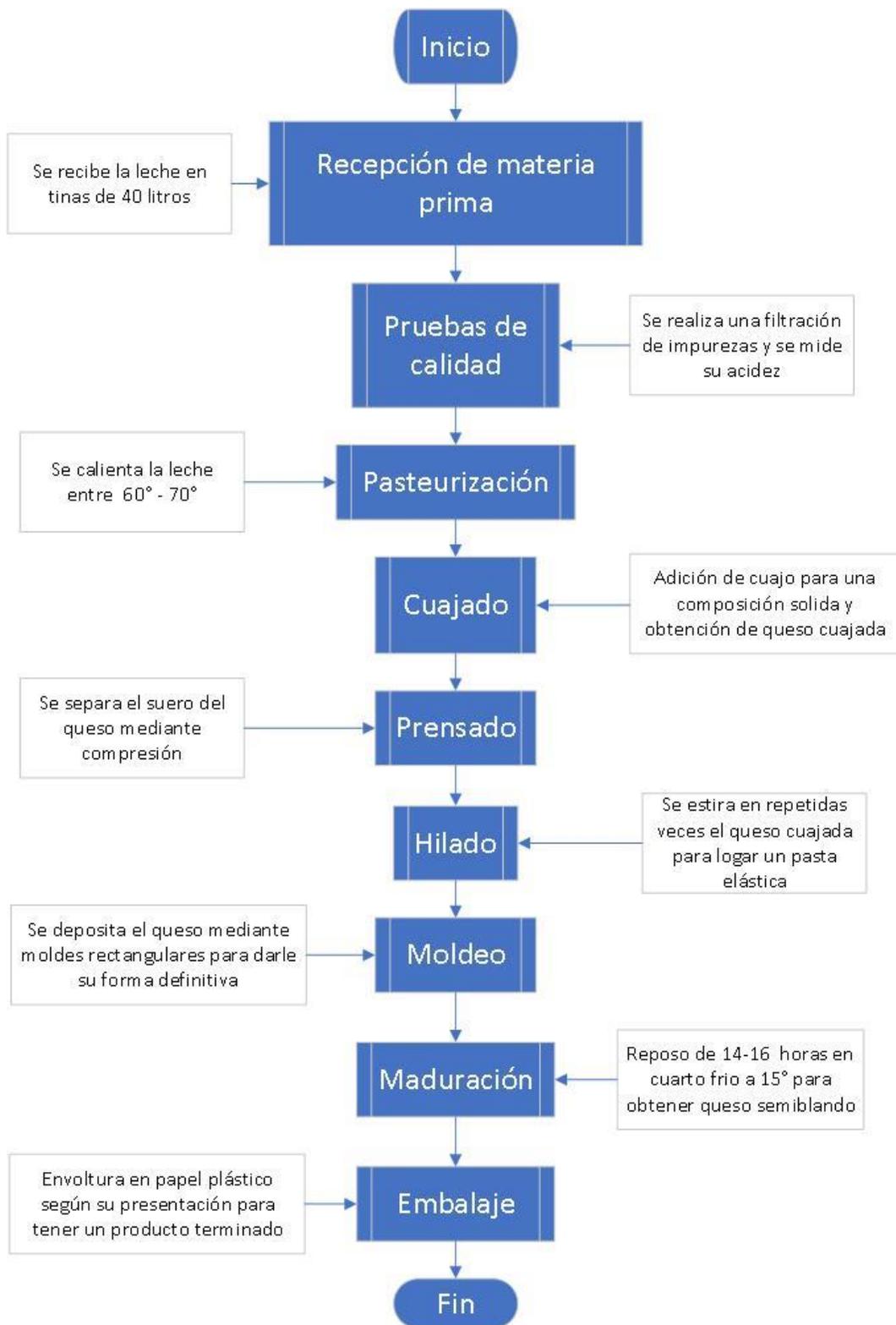


Figura 7: Diagrama de flujo de la fabricación del queso doble crema.

Fuente: Propia.

3. NECESIDADES Y ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO.

3.1 Metodología para recolección de la información

A continuación, se describe el procedimiento empleado para recopilar la información que permitió establecer las necesidades y especificaciones del producto por diseñar, en este caso un prototipo para prensado de queso:

1. Visita técnica a la planta de fabricación

Se realizó una visita inicial para conocer las instalaciones de la planta, los productos fabricados, y el proceso de producción del queso. En esta, el Gerente de la empresa, el señor Julián Muñoz, informó de la necesidad principal de Mundo Lácteo, respecto de la fabricación del queso cuajada, y se observaron en detalle las dificultades o aspectos por mejorar.

2. Visita para recolección de información y toma de medidas

Se realizó una segunda visita a la planta. Durante las visitas se registró, mediante video, el proceso de fabricación del queso cuajada. Se tomaron fotografías de las instalaciones y de los equipos de producción. También se tomaron medidas con cinta métrica de las dimensiones de los tanques y de las zonas en donde se ejecuta el proceso. Esto se realizó para determinar el espacio disponible para la solución que se requería implementar. Finalmente, se tomaron notas sobre el estado y características de los equipos, y del procedimiento en general.

3. Entrevistas a los operarios y gerente de la empresa

Se realizaron entrevistas cortas a algunos de los operarios de la planta y al señor gerente, que en ciertas ocasiones se encarga del proceso de prensado del queso. Se grabó un audio de algunas de las conversaciones sostenidas. Las preguntas se hicieron con el propósito de entender las diferentes etapas e identificar las necesidades de la planta. Algunas de las preguntas realizadas fueron:

- ¿Cuál es el procedimiento general para la fabricación del queso?
- ¿Cuál es la principal necesidad que identifican en esta planta?
- ¿Cuáles son las actividades específicas del proceso de producción del queso cuajada?
- ¿Cuáles son los principales inconvenientes en la producción del queso cuajada?
- ¿Se tienen dificultades para la operación de algunos de los equipos?, ¿cuáles?
- ¿Cuánto tiempo toma el proceso de prensado e hilado del queso?

- ¿Cómo es la jornada laboral y desempeño de los operarios que se encargan del proceso prensado, respecto de los otros trabajadores encargados de otras actividades?
- ¿Qué le gusta del producto?
- ¿Qué mejoras le haría a este producto?

4. Verificación del proceso de producción del queso cuajada

Se verificó presencialmente, durante una jornada, el desarrollo del proceso de prensado inicialmente observado y descrito por los operarios. Se tomó registro de los principales aspectos, como los tiempos de ejecución, detalles de interés, y observaciones sobre las dificultades físicas para la ejecución de esta actividad.

5. Visitas a la sede principal de la empresa

Se realizaron diversas visitas a la sede de comercialización, ubicada en la ciudad de Popayán. Durante estas visitas se discutió con el gerente, sr. Julián Muñoz, algunas inquietudes sobre el proceso de fabricación, y de las necesidades del producto. También, se discutió la viabilidad de los conceptos preliminares del prototipo por diseñar.

6. Revisión de casos similares

Se consultó información sobre casos de procesos de fabricación y productos similares, así como de las posibles soluciones para los requerimientos del usuario.

Cabe aclarar, que para el registro de la información en video y en audio se contó con la autorización del gerente de la empresa.

3.2 Identificación de las necesidades

Los pasos por seguir para el desarrollo de un prototipo son principalmente determinar las necesidades y especificaciones del usuario, para plantear los requisitos finales del diseño.

A partir de la información recopilada sobre el proceso de producción se identificaron las principales necesidades para el diseño del prototipo:

1. Facilitar la operación de prensado del queso cuajada mediante una herramienta mecánica
2. Disminuir la mano de obra involucrada en el proceso de prensado.
3. Lograr una producción más limpia.

4. Mejorar la recolección y el transporte del queso cuajada hacia la hiladora.

3.3 Especificaciones del producto

En la Tabla 1 se condensan las necesidades identificadas, y las especificaciones y requisitos asociados a estas. También se incluye la importancia de la especificación con una calificación de 1 a 5, donde 1 es lo más importante.

Tabla 1: Necesidades y especificaciones del producto.

No.	Necesidades	Especificación	Valor	Importancia
1	Facilitar la operación de prensado	Emplear presión neumática	Presión máxima de 10 bares	1
2	Disminuir la mano de obra	Reducción de tareas/operario	2 a 3 operarios	1
3	Lograr una producción más limpia.	Reducción de nivel de suciedad/pureza	Contacto directo nulo	1
4	Mejorar la recolección y transporte del queso cuajada hacia la hiladora.	Transporte de mayor masa de queso cuajada	Capacidad máx. 250 kg.	1

Fuente: Propia.

3.4 Especificaciones de calidad

A continuación, se describen los requisitos sanitarios que deben cumplir los operarios que se dedican a la manipulación de alimentos, específicamente en el caso de la producción de queso. También se mencionará el tipo de material y equipamiento metálico adecuado para entrar en contacto con este producto.

3.4.1 Resolución 2674 de 2013

La resolución 2674 de 2013 referente al artículo 1, establece los requisitos sanitarios que deben cumplir las personas naturales y/o jurídicas que ejercen actividades de fabricación, procesamiento, preparación, envase, almacenamiento, transporte, distribución y comercialización de alimentos y materias primas de alimentos y los requisitos para la notificación, permiso o riesgo sanitario, de los alimentos, según el riesgo en salud pública, con el fin de proteger la vida y la salud de las personas [4].

Según lo anterior, en la producción de queso de la Empresa Mundo Lácteo, el personal ejecuta todos los protocolos de bioseguridad y usa los elementos de protección (guantes, tapabocas, gorros y delantal) en cada una de las etapas de fabricación, desde que se recibe la materia prima hasta que se envasa el producto para su distribución y comercialización. De esta forma, se evita alterar sus propiedades como el sabor, olor, textura, madurez y frescura.

3.4.2 Resolución 4142 de 2012

La resolución 4142 de 2012 establece en los artículos 3 y 5, el reglamento técnico con el cual se señalan los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales y equipamientos metálicos destinados a entrar en contacto con alimentos para consumo humano; los compuestos exclusivamente de materiales metálicos ferrosos entre los que se encuentra el acero inoxidable, en aleación con otros elementos, como el cromo (Cr) y níquel (Ni), los cuales ayudan a protegerlo de la corrosión [5].

En relación con los equipamientos metálicos se debe cumplir con:

1. No ocasionar modificaciones de la composición de los alimentos y bebidas o de los caracteres sensoriales.
2. No ceder a los alimentos y bebidas, sustancias o contaminantes en cantidades tales que generen riesgos no aceptables para la salud humana [5].

Respecto del tipo de material, el acero inoxidable 304 es el acero austenítico más común. Su contenido en níquel oscila entre el 8 y el 10,5% de su peso y su contenido en cromo se sitúa entre el 18 y 20% de su peso. Se trata de proporciones elevadas que dan al acero inoxidable 304 una gran resistencia a la corrosión [6].

Para el diseño del prototipo de prensado y transporte de queso cuajada se planteó que su material de fabricación será en acero inoxidable 304 puesto que presenta las siguientes características:

1. Se destaca por sus propiedades sobresalientes de conformación y soldadura. Estas cualidades posibilitan la obtención de superficies de trabajo lisas, lo cual resulta altamente favorable, ya que evita cualquier alteración en la composición de los alimentos y en sus atributos sensoriales.
2. Se distingue por su alto contenido en cromo, lo cual le confiere una notable resistencia a la corrosión y oxidación. Esta propiedad es de vital importancia al garantizar que no se transfieran sustancias que puedan representar riesgos inaceptables para la salud humana.

4. DISEÑO A NIVEL DE SISTEMA

4.1 Funciones

De acuerdo con la operación que va a realizar el prototipo y a la interacción que el operario va a tener con este, se establecieron las siguientes funciones:

1. Depositar leche
2. Almacenar suero
3. Almacenar queso cuajada
4. Posicionar tanque de operación
5. Posicionar soporte de cilindros
6. Posicionar soporte de pared móvil
7. Controlar cilindros
8. Filtrado y desagüe del suero
9. Transporte a hiladoras

En la Figura 8 se presenta un diagrama físico funcional sobre el esquema del prototipo [7], en el que se incluyen elementos funcionales, (p.ej., controlar cilindros), y elementos físicos (p.ej., cilindros neumáticos). Para no dificultar la interpretación del esquema se muestran únicamente las interacciones entre los elementos más importantes.

La Figura 8, refleja la mejor idea del estado del producto, pero no contiene la totalidad de las funciones, como por ejemplo “posicionar tanque de operación” o “depósito de la leche”.

4.2 Diseño del prototipo a nivel del sistema

En la Figura 9 todos los elementos físicos y funcionales se agrupan en subsistemas para determinar las interacciones entre cada uno de ellos. A continuación, se identifican las características de los subsistemas que conforman el prototipo:

- **Tanque de operación:** va a proveer un soporte estructural móvil, que permite almacenar el producto, filtrarlo y transportarlo.

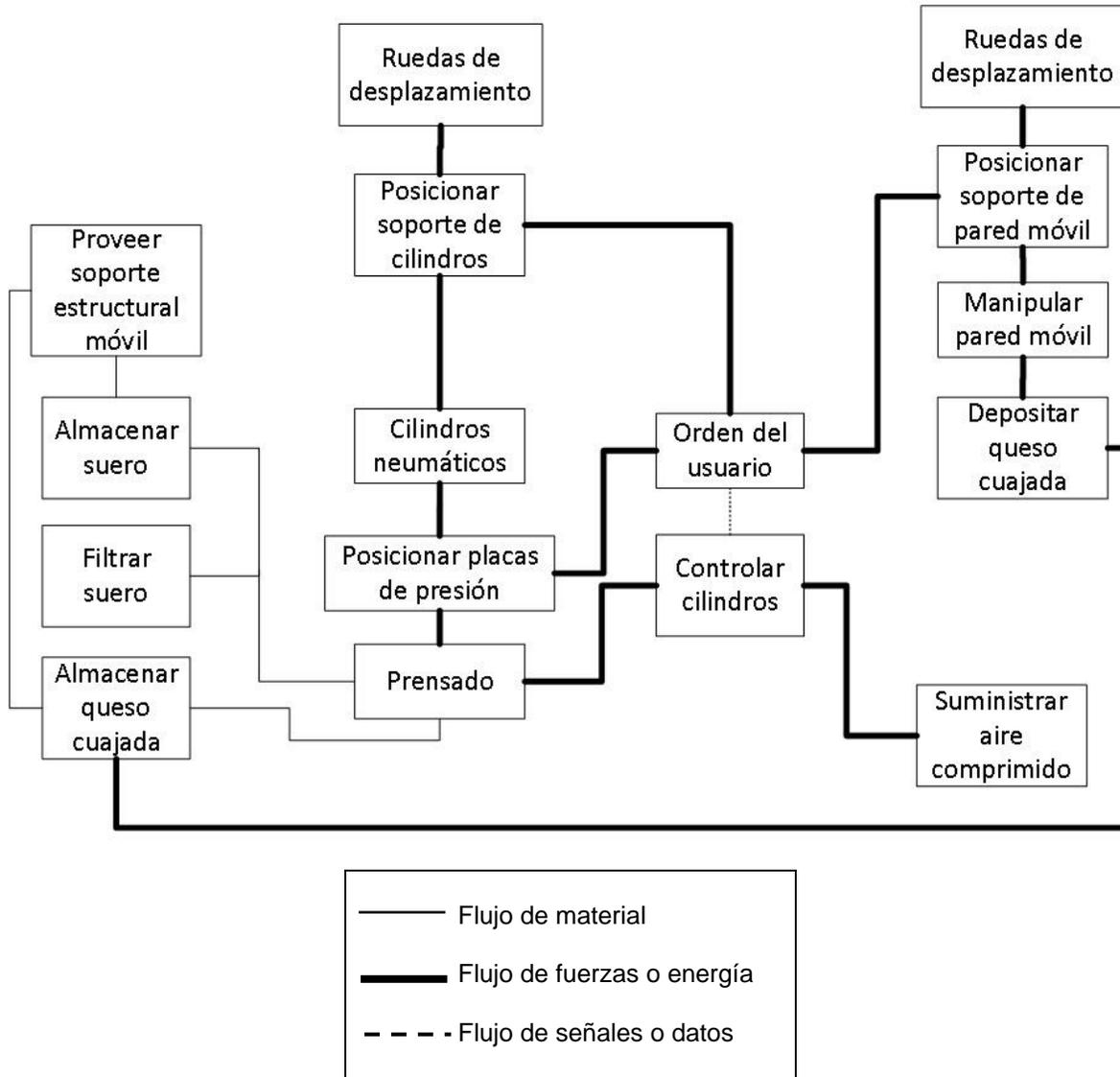


Figura 8: Diagrama físico-funcional del prototipo.

Fuente: Propia.

Mecanismo de desplazamiento: va a proveer un mecanismo con ruedas y una estructura de soporte que permite posicionar el grupo de cilindros neumáticos.

Mecanismo de compresión: luego de que el mecanismo de desplazamiento se ajusta manualmente, los cilindros ejercen la fuerza de compresión a través de placas colocadas sobre el producto.

Unidad de control: Permite controlar el accionar de las válvulas de control de los cilindros neumáticos.

Mecanismo de transporte: Permite desplazar o transportar de manera manual y mediante la pared móvil el queso hacia la hiladora.

Suministrar aire comprimido: una fuente de aire suministra aire comprimido mediante la orden del usuario para activar los cilindros.

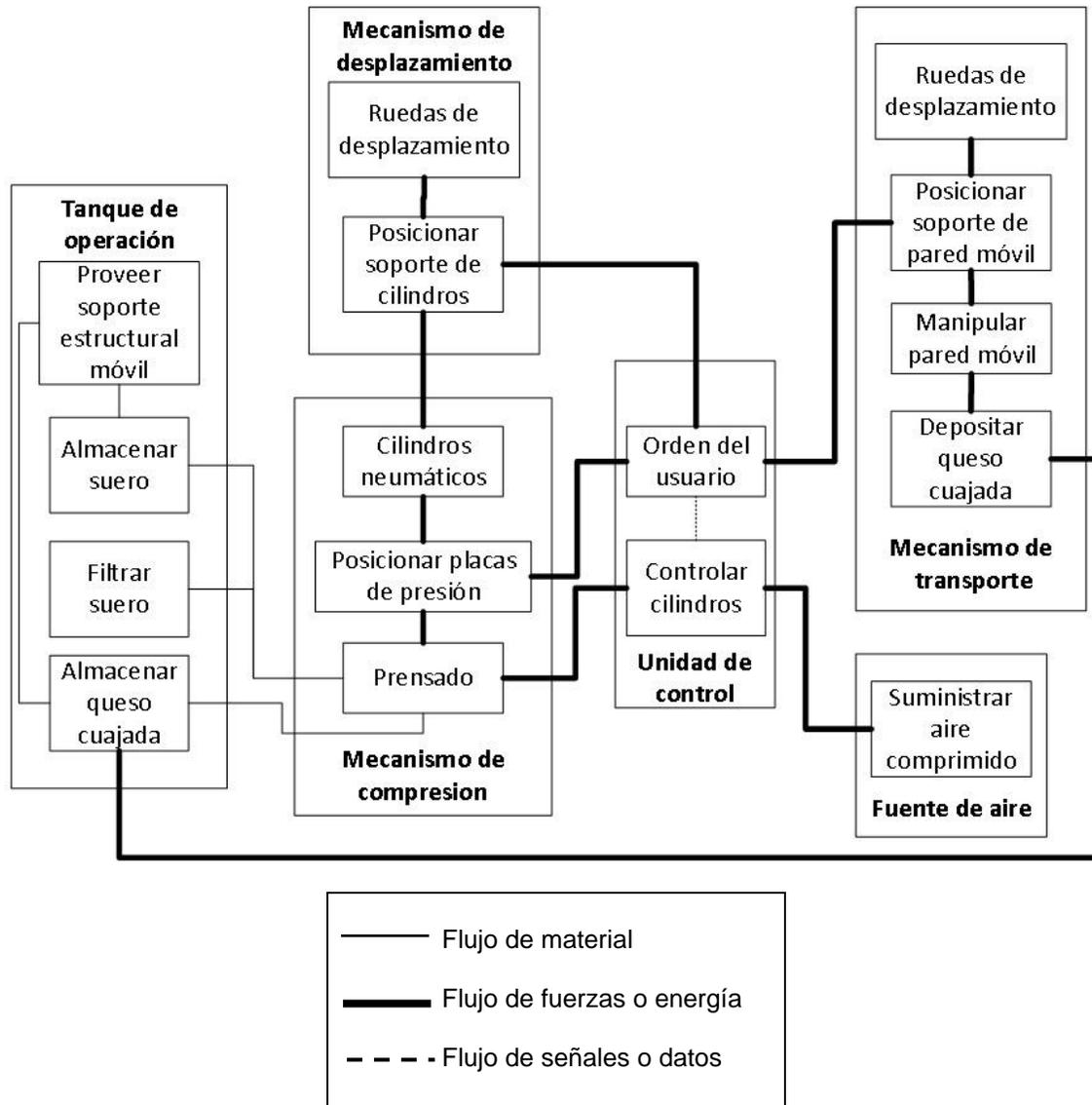
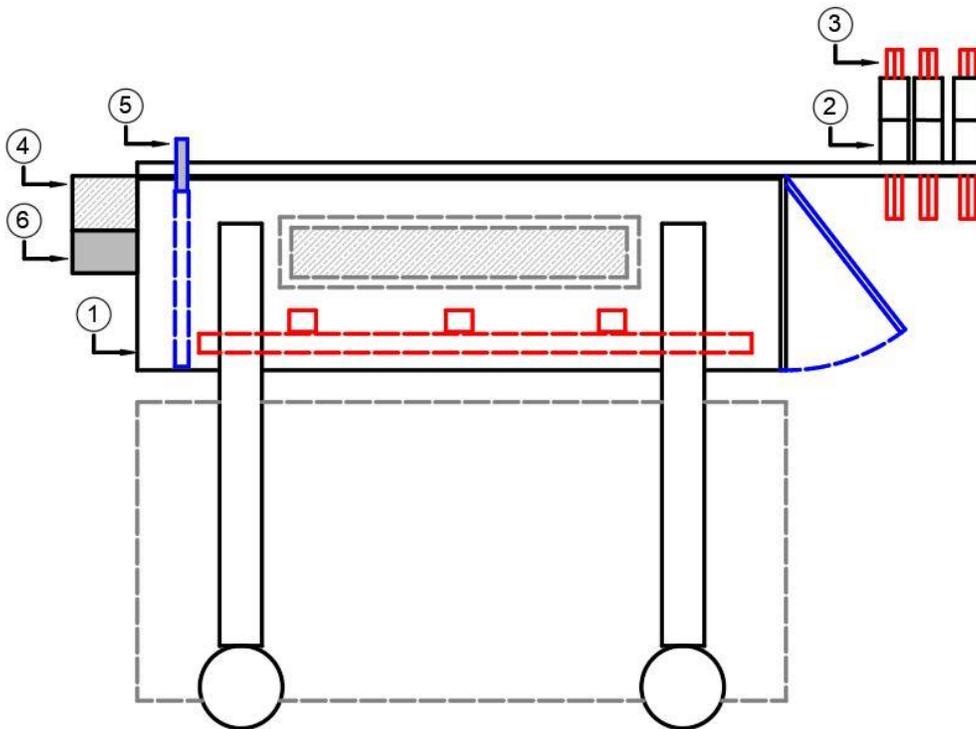


Figura 9: Diseño en el nivel de sistema.

Fuente: Propia.

4.3 Boceto del prototipo

A partir del diseño a nivel de sistema se creó una disposición geométrica del prototipo de prensado, que se muestra en la Figura 10. En esta figura se demuestra la interacción de los seis subsistemas definidos. El boceto presentado es el resultado preliminar que se abordará en la siguiente sección de ingeniería de detalle.



1. Tanque de operación, 2. Mecanismo de desplazamiento, 3. Mecanismo de compresión, 4. Unidad de control, 5 Mecanismo de transporte, 6 Suministro de aire comprimido.

Figura 10: Boceto del prototipo para prensado y transporte a hiladora de queso cuajada.

Fuente Propia.

Con los requerimientos del prototipo establecidos y con la concepción del diseño se cumple con el primer paso del proceso de diseño industrial propuesto. En la siguiente sección se presenta la elaboración detallada de los planos de los componentes del sistema.

5. DISEÑO DE DETALLES

Las decisiones preliminares de arquitectura, los subsistemas definidos y el boceto, contribuyen a definir los detalles de arquitectura. Esta perspectiva se denomina ingeniería de detalles que se muestra en la Figura 11.

El diseño propuesto consiste en la construcción de un tanque de operación soportado sobre una estructura de acero inoxidable móvil. Este tanque, que es la estructura principal del prototipo, puede ser desplazado con relativa facilidad, y contiene integrado el mecanismo de compresión para el prensado de la cuajada, el mecanismo de desplazamiento para el ajuste de los soportes de los cilindros, y el mecanismo de transporte del queso cuajada hacia las hiladoras.

El tanque de operación cuenta con tres compartimientos, uno central para recibir la leche y dos tanques laterales pequeños para zonas de filtrado. La capacidad de este tanque es de aproximadamente 2000 litros. El prototipo (tanque y su estructura móvil) se ubicará encima de los tanques que existen actualmente en la empresa y sobre estos se depositaría el material sobrante o suero que resulta del proceso.

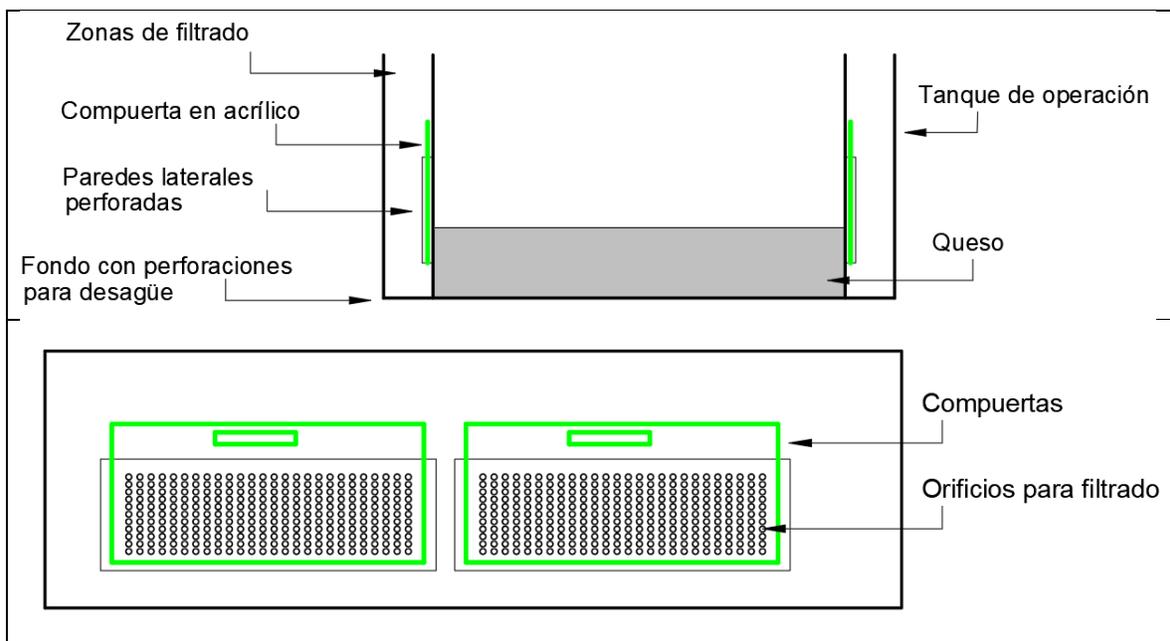


Figura 11: Dibujos de ingeniería de detalles, corte transversal y longitudinal del tanque de operación.

Fuente: Propia.

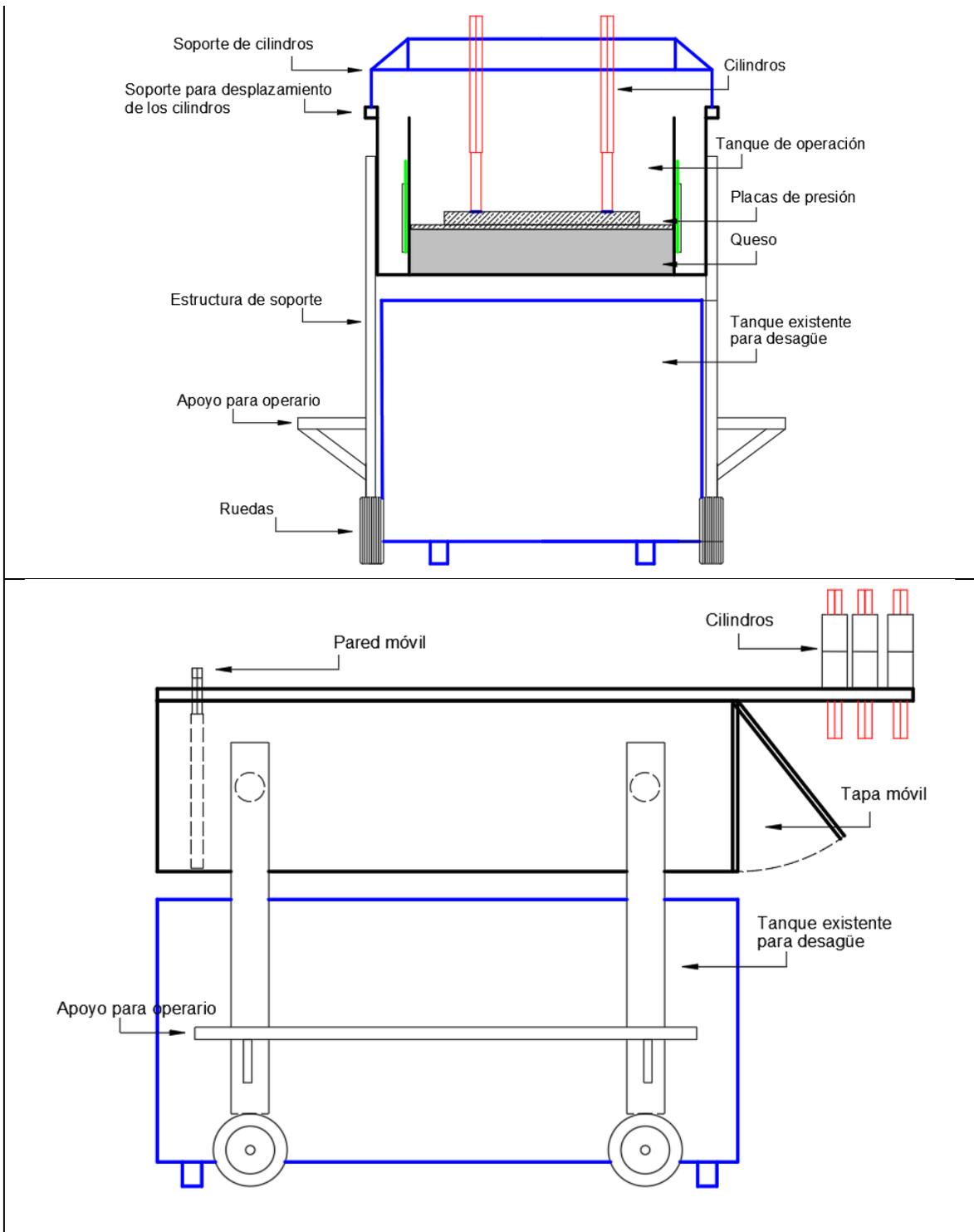


Figura 12: Dibujos de ingeniería de detalles, sección transversal y vista lateral del prototipo completo.

Fuente: Propia.

Los compartimientos laterales del tanque cuentan con unos orificios laterales que permiten el filtrado del suero. Este se realiza a través de una especie de compuertas

laterales de acrílico que mantienen sellado el tanque. Una vez el nivel de suero haya alcanzado una altura en la cual pueda ser filtrado, las compuertas se retiran manualmente. El suero fluye hacia los lados para ser desaguado por unas tuberías dispuestas en la zona inferior de estos subtanques. El suero, como ya se mencionó se depositará directamente en los tanques existentes para posteriormente ser desechado.

Sobre el tanque principal se diseñó el sistema de prensado, conformado por una estructura que sostiene los cilindros que ejercerán la compresión de la cuajada. La estructura de estos cilindros permite no solo soportar el peso de los actuadores y la reacción que se ejerce al realizar el prensado, sino que también se desplaza hacia un extremo del tanque para permitir que los cilindros se puedan retirar del área de trabajo, cuando se ejecutan las otras actividades, previas y posteriores al prensado.

En el tanque también se incluyeron dos elementos móviles. Una pared móvil, que se desplazará mediante el mecanismo con ruedas. Esta pared puede ser operada manualmente por un operador y permite “empujar” o desplazar el producto ya consolidado y filtrado hacia el tanque de la siguiente etapa o hiladora. Para permitir esto, el otro elemento móvil o compuerta, que es la tapa del extremo del tanque, se puede abrir (mediante un mecanismo de tornillos de unión y una placa de unión). Esto permite la expulsión del material una vez es arrastrado o desplazado por la pared móvil. Esta actividad cumple con el objetivo de transportar el producto a la hiladora.

De acuerdo con las dimensiones del tanque, y la presión de trabajo se calculará en la etapa definitiva del diseño, el número, sección transversal o diámetro, recorrido y capacidad de trabajo de los actuadores o cilindros.

5.1 Diseño CAD

Los dibujos de detalle son planos o esquemas que determinan la disposición o el funcionamiento de los distintos componentes que conforman un sistema, proporcionando datos que posibilitan su diseño, fabricación y ensamble. Es por esto por lo que el diseño CAD se define como el uso de las computadoras para ayudar a optimizar los diseños a lo largo del proceso de ingeniería. En ese orden de ideas para el prototipo de prensado se tiene una concepción inicial de sus componentes principales, los cuales requieren de piezas adicionales para su correcto funcionamiento. Todas las piezas se diseñaron usando el programa SolidWorks [8] como software CAD.

El prototipo debe diseñarse de tal forma que su estructura sea robusta, y resistente a sustancias como la leche, por tal razón, toda su estructura será en acero inoxidable [9]. También, se requiere que el tamaño del tanque de operación sea el adecuado para operar con determinada cantidad de leche, y que los cilindros

neumáticos (que ejercerán la función de prensado) tengan la capacidad suficiente para prensar el queso cuajado, y que a su vez sea posible filtrar el suero para vaciarlo en el tanque de depósito. A continuación, se describen en detalle los elementos componentes del prototipo.

5.2 Tanque de operación

En este tanque se ejecutarán las tareas de compresión y recolección. Este se dividirá en tres secciones. Dos laterales, con paredes perforadas para la filtración del suero, y la central, de mayor volumen, para la operación del producto principal. Las dimensiones exteriores del tanque son: 230 cm de longitud, 145 cm de ancho y 70 cm, de altura, con un volumen total de 2335 litros y de 1800 litros de volumen interno aproximadamente. En las Figuras 12 y 13 se muestran las dimensiones y sus partes.

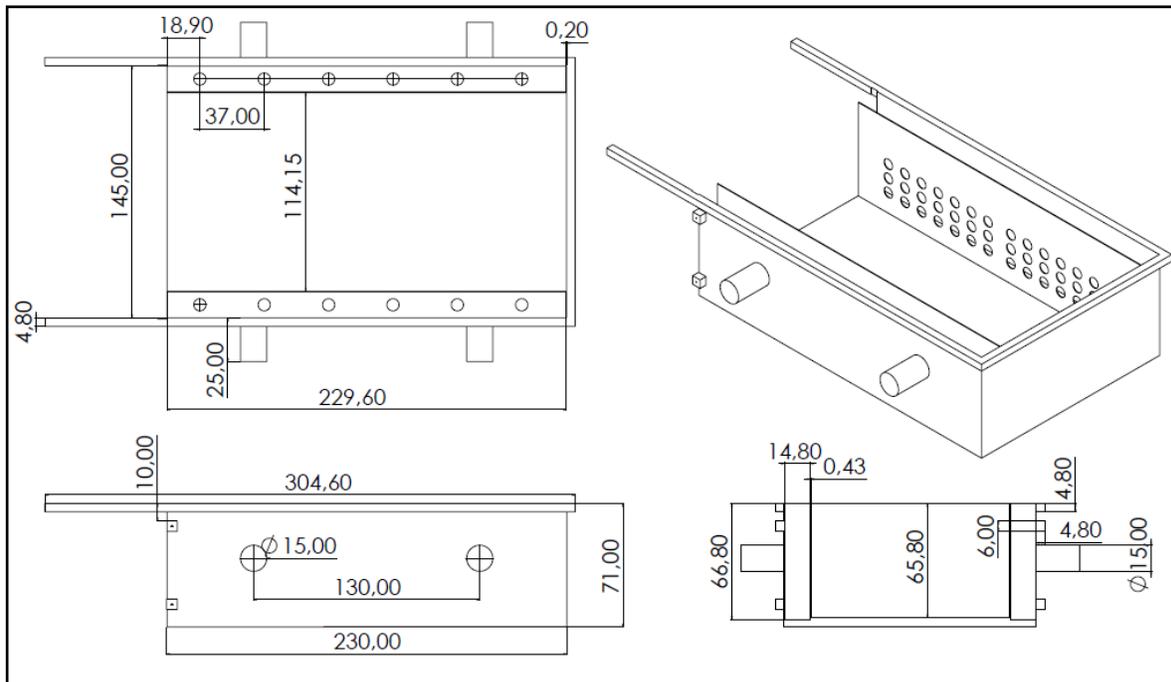


Figura 13: Dibujo de detalle de tanque de operación.

Fuente: Propia

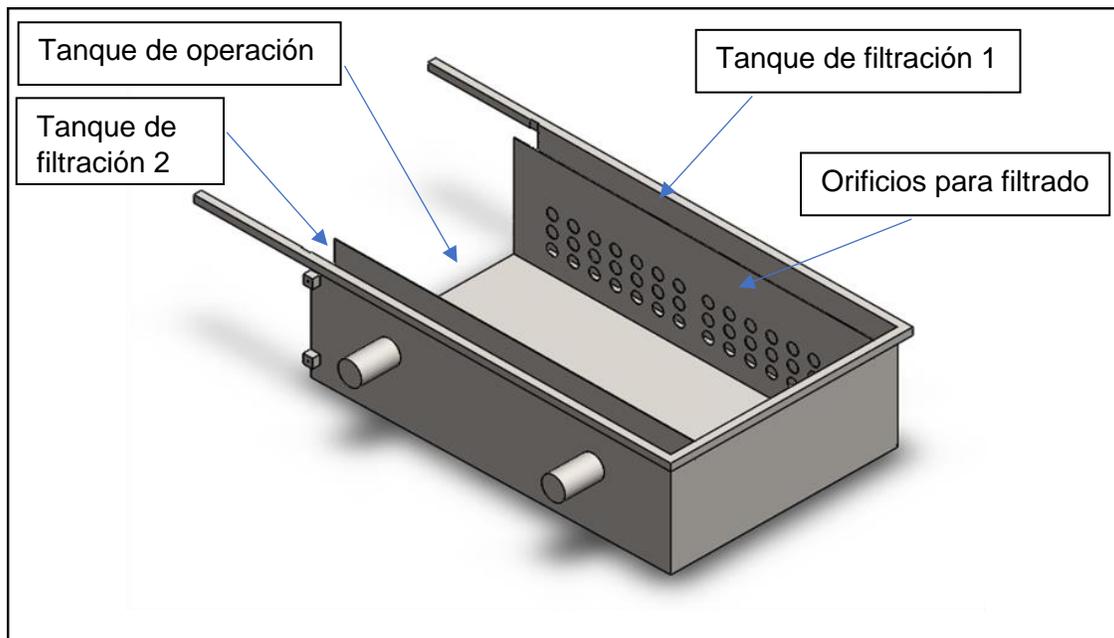


Figura 14: Diseño CAD de tanque de operación.

Fuente: Propia

5.3 Estructura de soporte de los cilindros neumáticos

La estructura de soporte de los cilindros neumáticos se encarga de sujetar cada par de cilindros. En las Figuras 14 y 15 se detalla esta estructura.

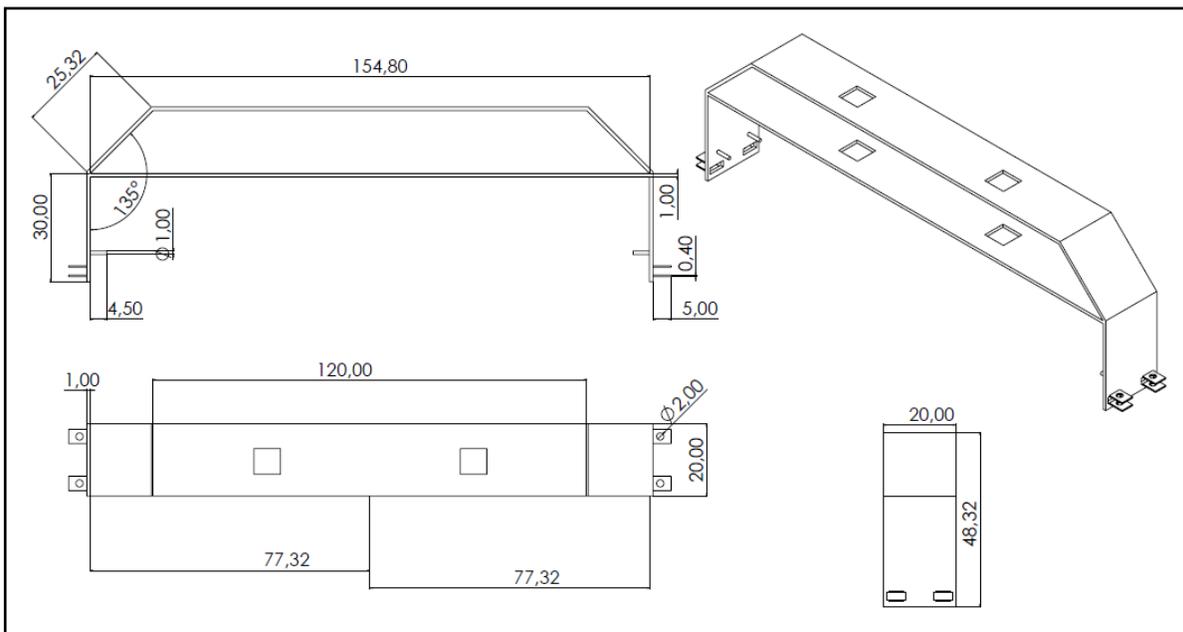


Figura 15: Planos del soporte de los cilindros neumáticos.

Fuente: Propia.

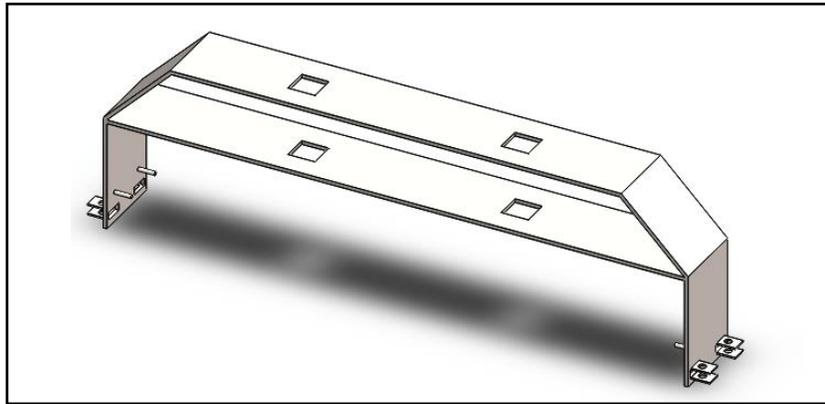


Figura 16: Diseño CAD del soporte de los cilindros neumáticos.

Fuente: Propia.

5.4 Pared móvil

Esta pared y su soporte permitirán realizar un barrido del queso cuajada a lo largo del tanque de operación. Se desplazará el queso y se vaciará en la hiladora para la etapa siguiente de la producción. Un operario podrá moverla de forma manual y con facilidad de desplazamiento debido al mecanismo de movimiento. En las Figuras 16 y 17 se detalla la tapa móvil.

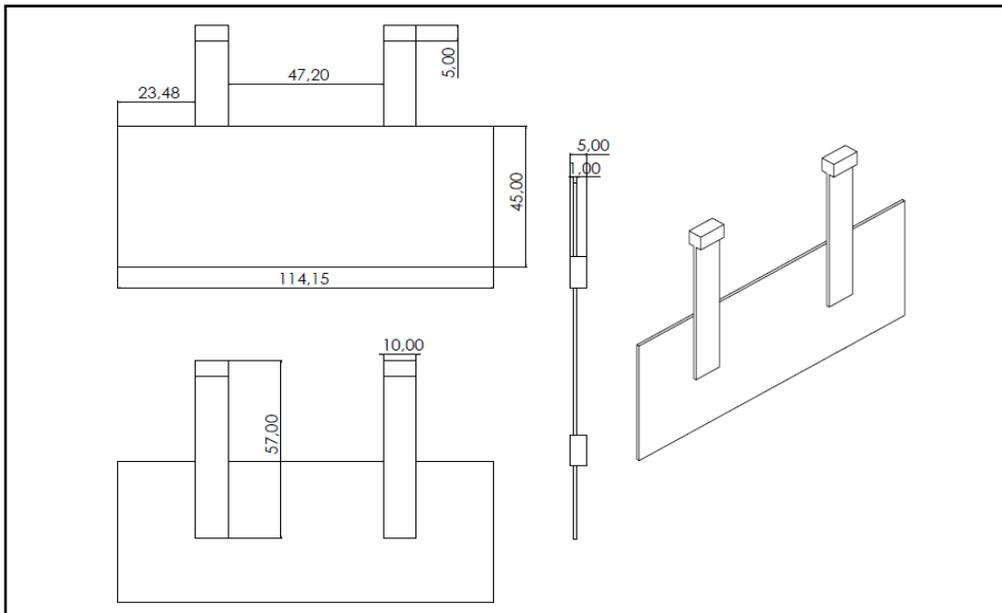


Figura 17: Planos de la tapa móvil.

Fuente: Propia.

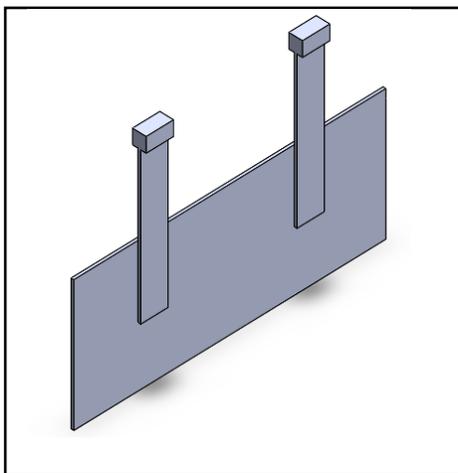


Figura 18: Diseño CAD de la tapa móvil.

Fuente: Propia.

5.5 Soporte de la pared móvil

Este soporte presentado en las Figuras 18 y 19 es el elemento que facilitará el movimiento de la pared móvil, elemento que se trasladará a lo largo del tanque de operación para poder realizar un barrido del queso cuajado una vez este haya sido prensado. De esta forma, el producto podrá ser vaciado o transportado directamente a la hiladora para continuar con el proceso.

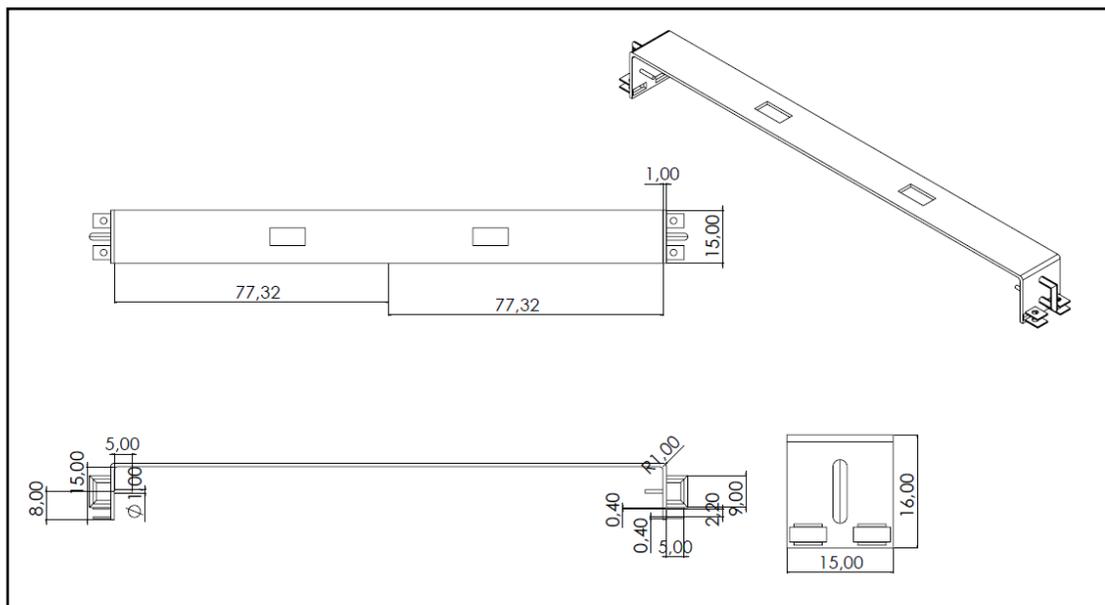


Figura 19: Plano del soporte de la tapa móvil.

Fuente: Propia.

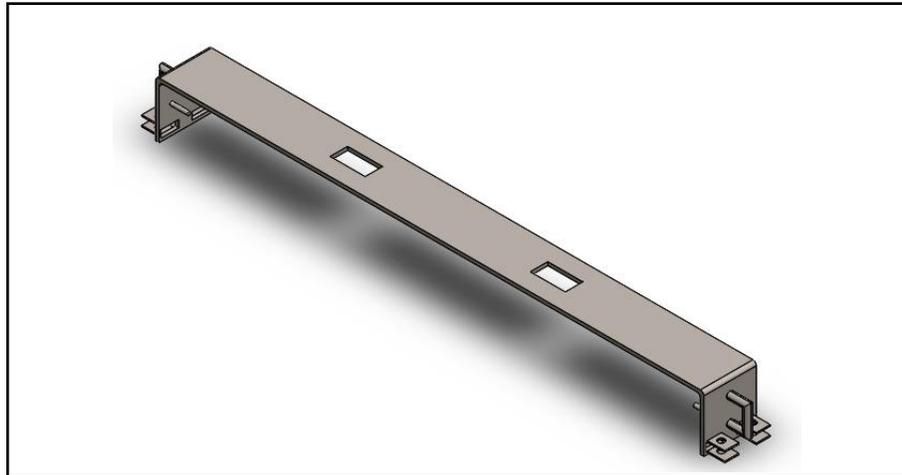


Figura 20: Diseño CAD del soporte de la tapa móvil.

Fuente: Propia.

5.6 Placas de presión No. 1

La función de las placas perforadas presentadas en las Figuras 20 y 21 es la de transmitir la presión generada por los cilindros de manera uniforme sobre la superficie del queso. Se diseñaron tres tapas, que abarcan la superficie del tanque, para facilitar su manipulación.

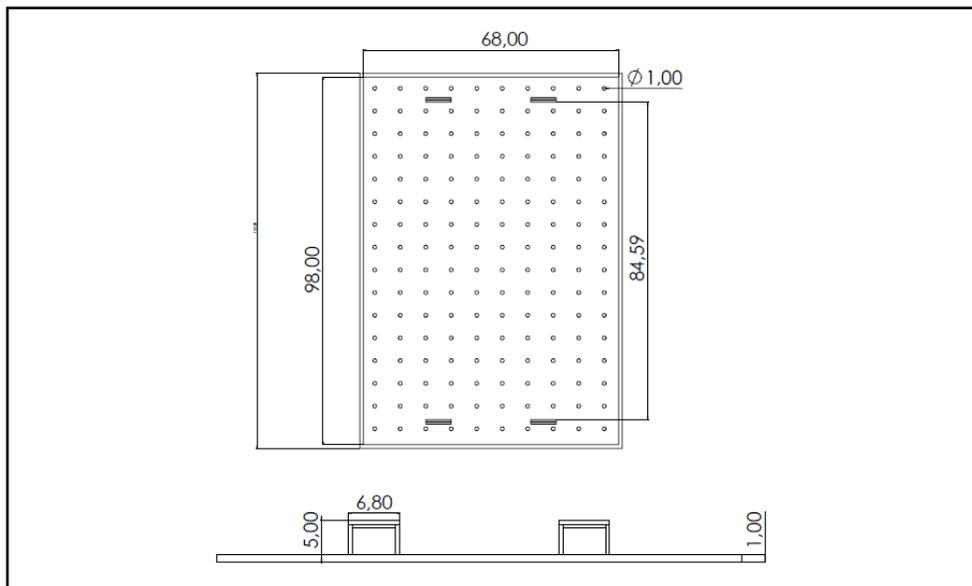


Figura 21: Planos de la placa de presión No.1.

Fuente: Propia

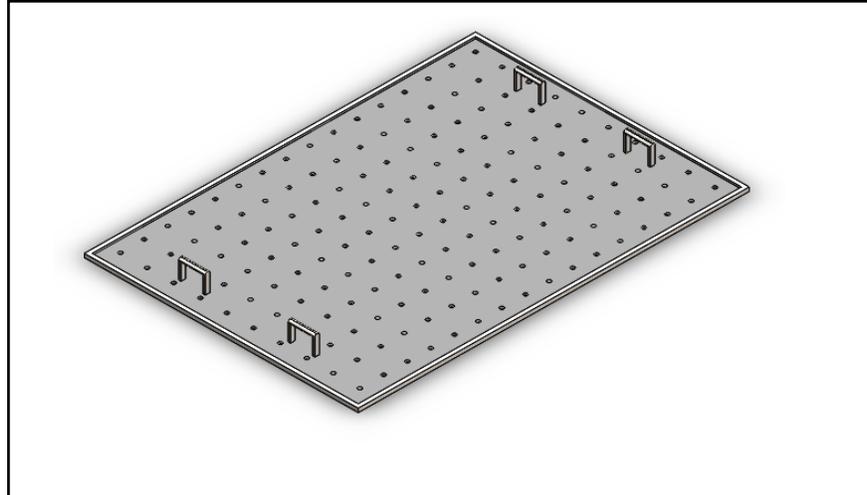


Figura 22: Diseño CAD de la placa de presión No.1.

Fuente: Propia.

5.7 Placas de presión No. 2

Estas placas de presión trabajan en conjunto con las placas No. 1, y su objetivo es distribuir la presión directamente de los cilindros a estas últimas. Su diseño corresponde a que se requiere de un elemento con mayor rigidez que reciba y soporte la carga transmitida por los cilindros, como se muestra en las Figuras 22 y 23.

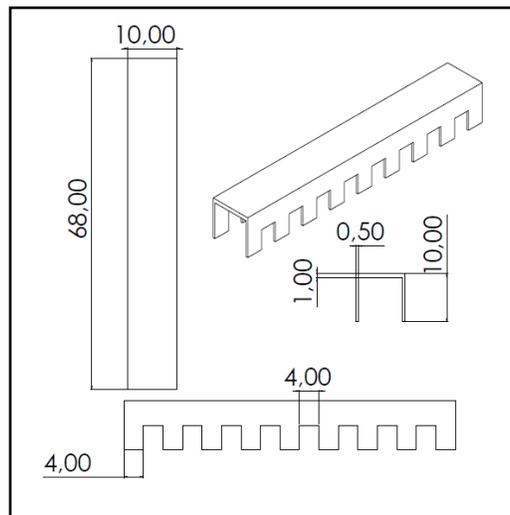


Figura 23: Planos de la placa de presión No.2.

Fuente: Propia.

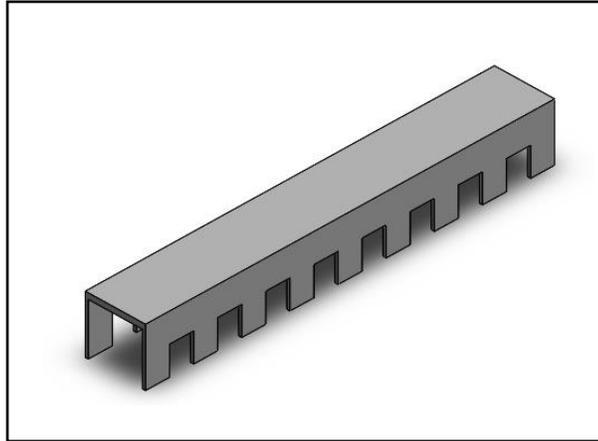


Figura 24: Diseño CAD de la placa de presión No.2.

Fuente: Propia.

5.8 Tapa móvil

La tapa móvil presentada en las Figuras 24 y 25 será la pared del extremo del tanque de operación. Luego de que el queso cuajada se haya prensado y filtrado se retirará esta tapa para poder depositar el producto a las hiladoras.

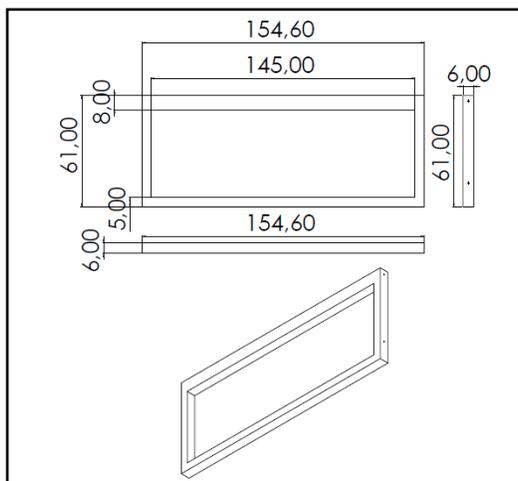


Figura 25: Planos de la tapa móvil.

Fuente: Propia.

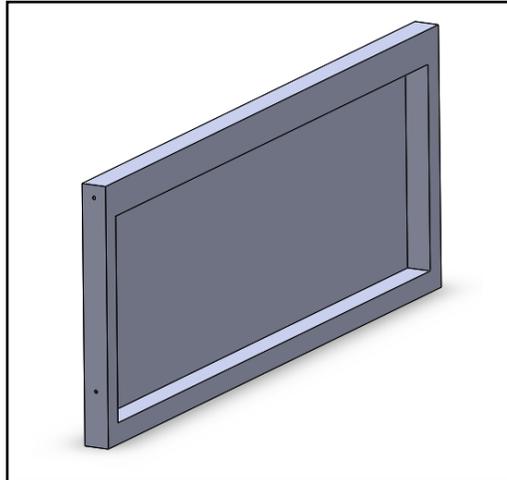


Figura 26: Diseño CAD de la tapa móvil.

Fuente: Propia.

5.9 Soportes del tanque de operación (estructura del protocolo)

Este sistema será la estructura sobre la cual estará soportada el tanque de operación. Las dimensiones y espesor de los elementos se definieron de acuerdo con el efecto del peso del tanque y la manipulación del tanque de operación.

Se realizó un cálculo de la sección necesaria para soportar las cargas esperadas en el rango elástico del material.

- Peso estimado de la estructura = 800 kg
- Peso estimado del queso = 2000 kg
- Peso del operario = 80 kg
- Peso adicional por otros componentes = 20 kg
- Factor de impacto (FI) = 25%
- Factor de seguridad (FS) = 1.5

Se calcula el esfuerzo (f) sobre la sección crítica de los soportes [10], que es un área transversal de 2 cm x 1.0 cm, en los agujeros para la conexión con el tanque. Las paredes (no macizas) de cada soporte son de 2 cm de espesor. Estas paredes están conformadas por dos platinas de 0.5 cm de espesor atiesadas internamente, cada 50 cm, para garantizar que la sección no sufra pandeo por compresión.

El esfuerzo sobre la sección crítica de cada soporte será:

$$f = \frac{\text{Peso total} * FI * FS}{\# \text{ de soportes} * \text{sección transversal}} \quad (1)$$

$$f = \frac{2900 * 1.25 * 1.5}{4 * (4 * 1 * 0.5)} = 680 \text{ kg /cm}^2$$

El esfuerzo actuante a compresión es mucho menor que el límite elástico del acero empleado para la estructura (tipo AISI 304), que cuenta con una resistencia a la tracción y compresión de 5200 kg/cm², lo que garantiza el trabajo en el campo elástico. En las Figuras 26 y 27 se detallan los soportes del prototipo.

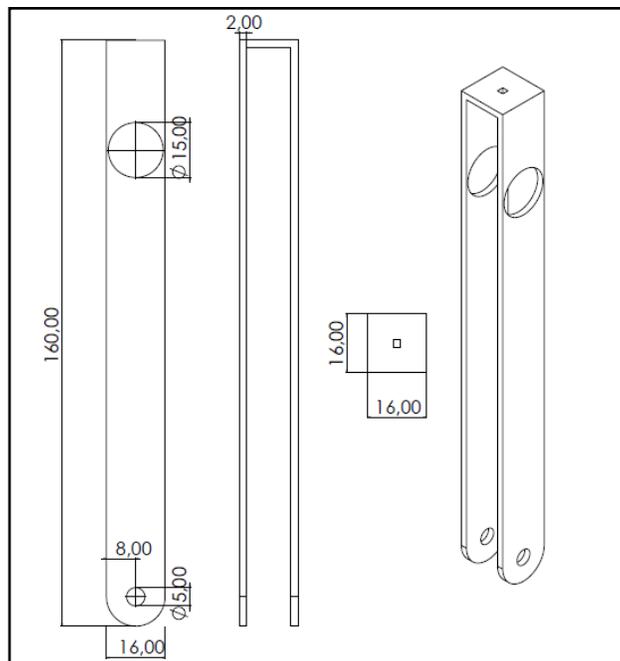


Figura 27: Soporte del soporte de tanque de operación.

Fuente: Propia.

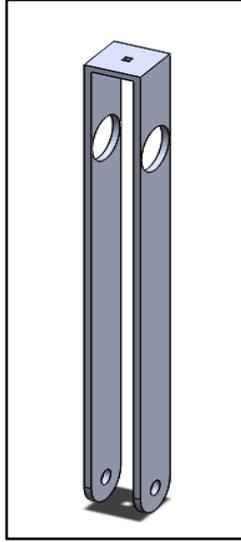


Figura 28: Diseño CAD del soporte de tanque de operación.

Fuente: Propia.

5.10 Pared lateral perforada

En las Figuras 28 y 29, se muestra el detalle de la pared lateral perforada del tanque de operación. Esta pared es doble para sostener la compuerta lateral en acrílico.

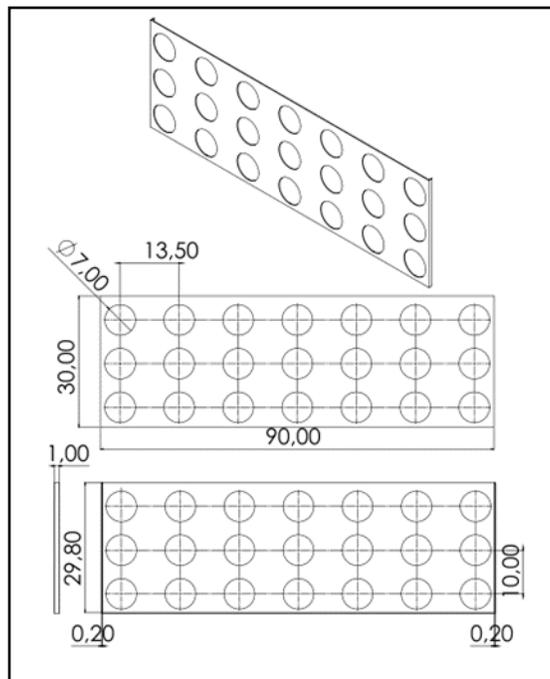


Figura 29: Planos de pared lateral perforada.

Fuente: Propia.

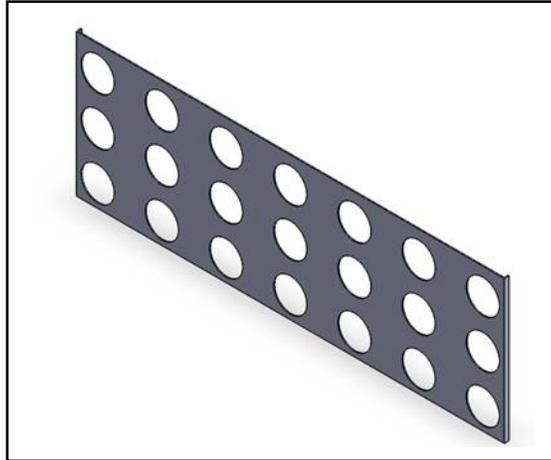


Figura 30: Diseño CAD pared lateral perforada.

Fuente: Propia.

5.11 Compuerta en acrílico

En las Figuras 30 y 31, se muestran las compuertas laterales, que se elaborarán en acrílico, y que estarán soportadas dentro de las paredes laterales perforadas del tanque de operación, presentado en las Figuras 28 y 29. Estas compuertas se elevan manualmente para permitir el paso del suero por los orificios de filtrado.

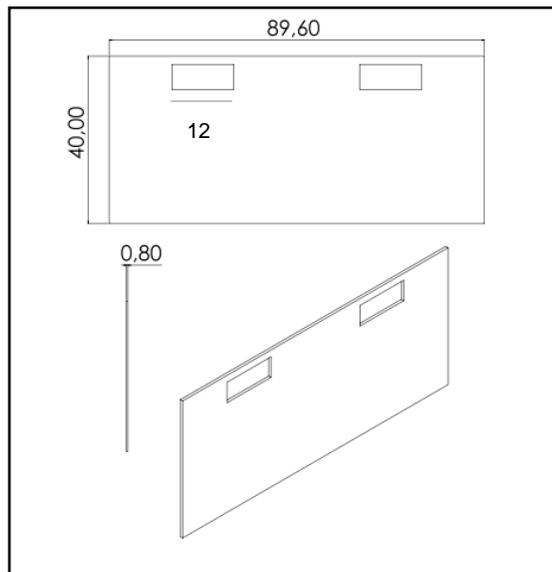


Figura 31: Planos de compuerta en acrílico.

Fuente: Propia.

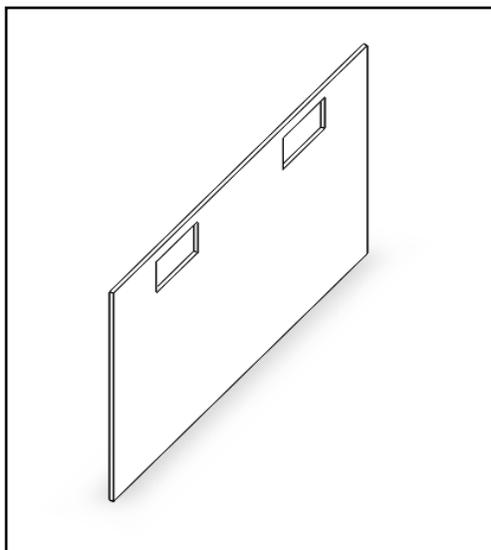


Figura 32: Diseño CAD de compuerta en acrílico.

Fuente: Propia.

5.12 Componentes para el movimiento del soporte de los cilindros

En la Figura 32 se muestra el mecanismo de desplazamiento del soporte de los cilindros. Este se conforma por las ruedas delanteras y traseras (A, B), soporte de los cilindros (C), y la estructura (D) por la cual se deslizará el soporte.

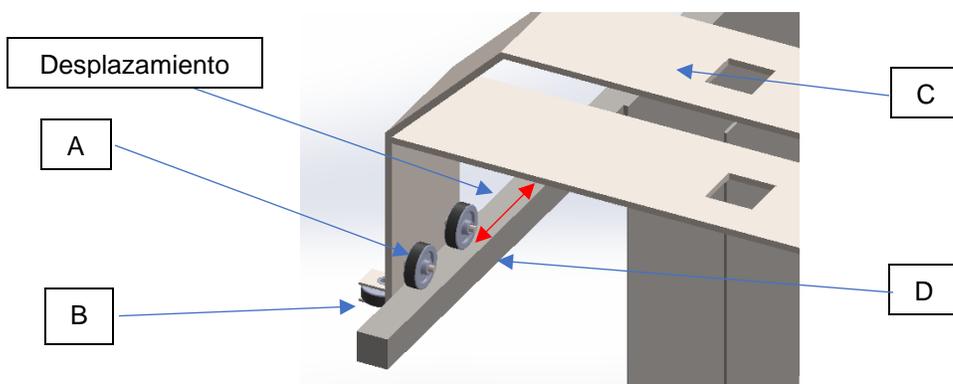


Figura 33: Componentes del mecanismo de desplazamiento del soporte de los cilindros.

Fuente: Propia.

5.13 Componentes para el movimiento de la pared móvil

En la Figura 33 se muestran los elementos que componen el movimiento del soporte de la pared móvil: ruedas delanteras y traseras (A, B), soporte de la pared móvil (C), y (D) que será la estructura por la que se deslizará el soporte.

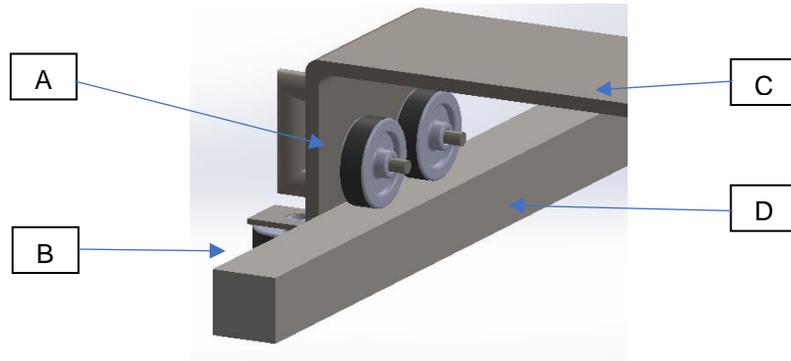


Figura 34: Componentes del mecanismo de transporte de pared móvil.

Fuente: Propia.

5.14 Cilindros neumáticos

En la Figura 35 se muestra un esquema de los cilindros neumáticos que ejercerán la función de compresión. Estos elementos serán de doble efecto, es decir, podrán producir movimiento en ambos sentidos, avance y retroceso, a diferencia de lo que ocurre con los de simple efecto [11].

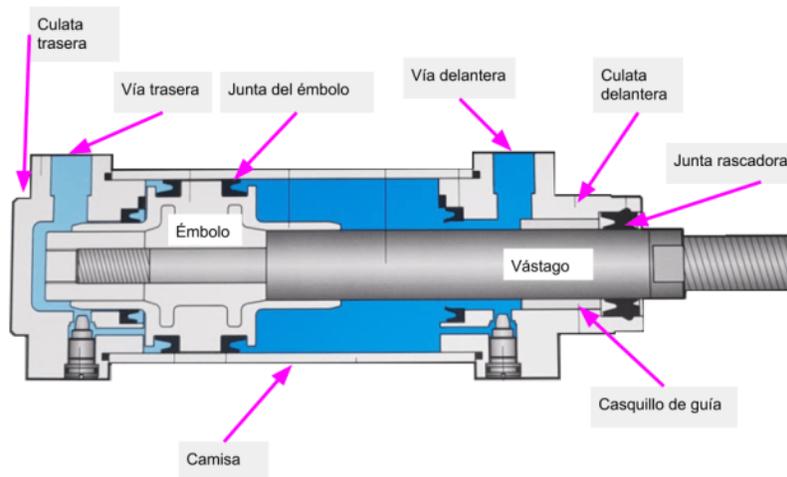


Figura 35: Cilindro neumático de doble efecto.

Fuente: Formación para la industria.

5.15 Materiales

Los materiales básicos con los cuáles se fabricarán los componentes del prototipo son:

1. Acero inoxidable tipo AISI 304 [6], para el tanque de operación, cilindros, y mecanismos de desplazamiento. Bajo la norma que el Ministerio de Salud y Protección Social mediante **Resolución 683 de 2012**, expidió el Reglamento Técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano. Del Título 1, capítulo 1, mediante su artículo 5° en el que se autoriza los materiales compuestos exclusivamente de metálicos ferrosos como el acero [12].
2. Acrílico de 8 mm de espesor para las compuertas laterales de filtrado.
3. Nylon para las llantas de la estructura de soporte

5.16 Ensamble de componentes

El prototipo se diseñó de tal forma que su estructura pueda trasladarse de un lugar a otro junto con los cilindros ubicados en la parte superior del tanque. Una vez se finalizó con la elaboración detallada de las piezas en el software de diseño se procedió con el ensamble de todo el prototipo. En las Figuras 35 a 37 se muestra el ensamble de los componentes.

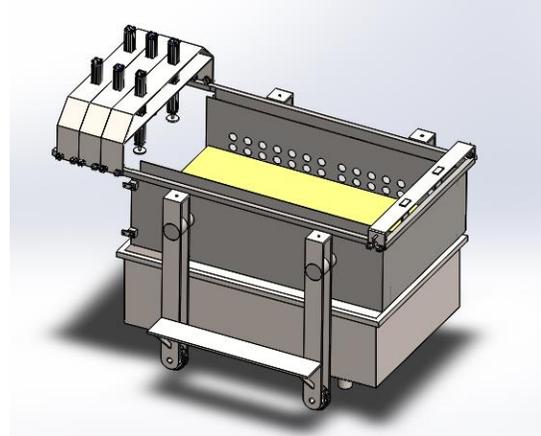
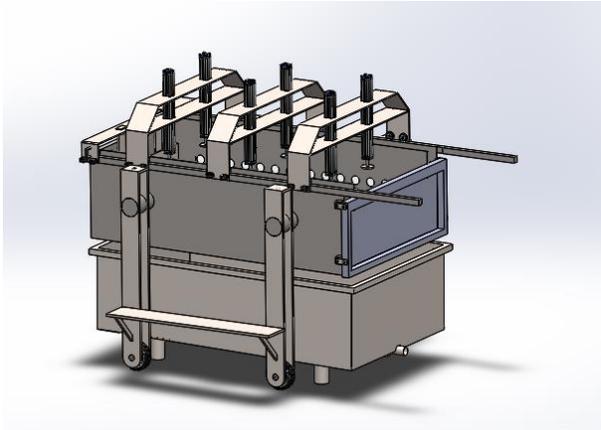
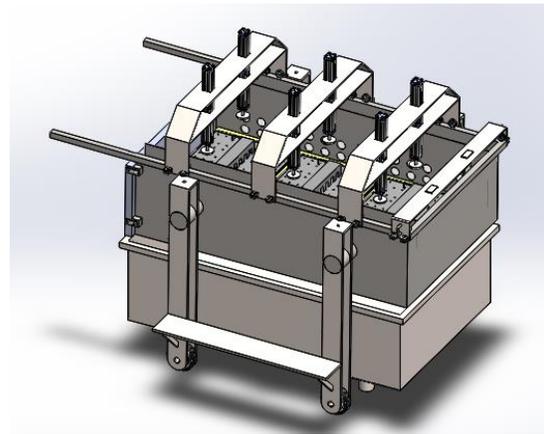
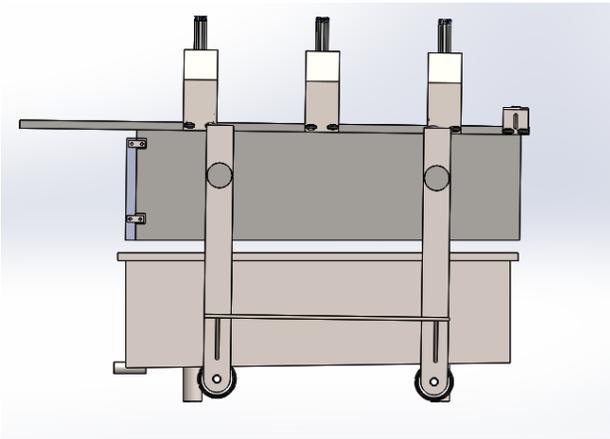


Figura 36: Ensamble final.

Fuente: Propia.

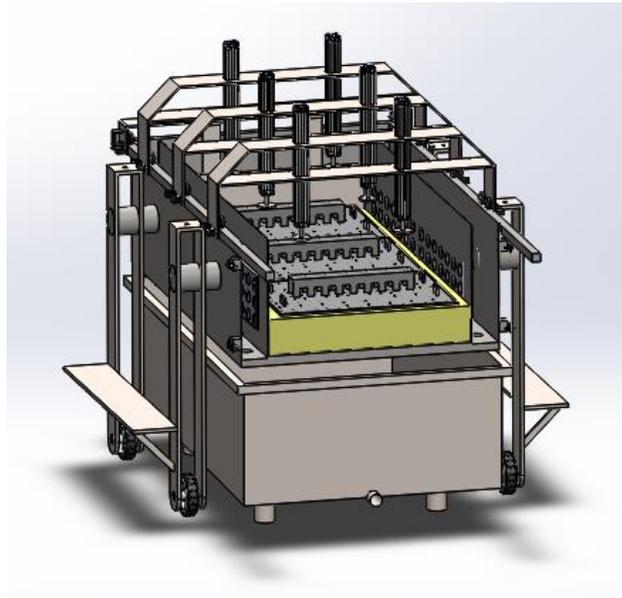


Figura 37: Ensamble con compuertas en acrílico en reposo.

Fuente: Propia.

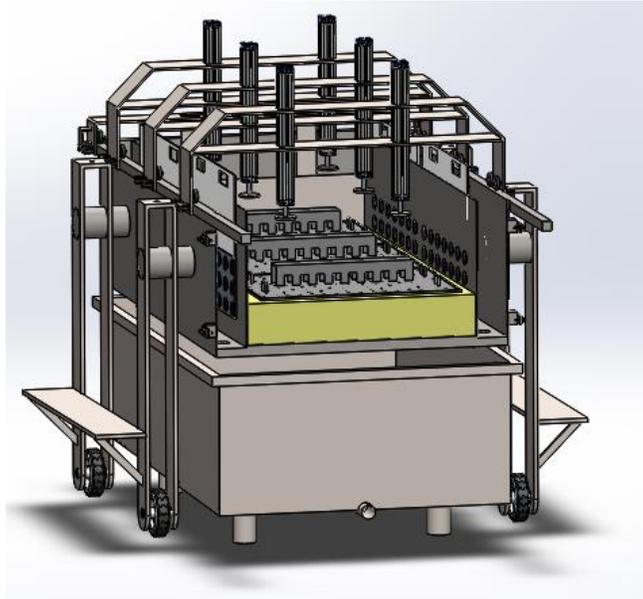


Figura 38: Ensemble con compuertas en acrílico elevadas.

Fuente: Propia.

5.1 Esquema de operación:

Como se muestra en la Figura 38, se diseñó un esquema de operación para los cilindros el cual cuenta con un dispositivo de almacenamiento de aire a altas presiones, cuya función será suministrar aire a todo el circuito, este dispositivo se representa por la letra c. Posteriormente se requerirá una unidad de mantenimiento (UM) compuesta por un filtro de aire, una válvula reguladora de presión y un lubricador, estos elementos serán encargados de tratar el aire comprimido para minimizar los daños que este pueda causar al resto del circuito. Luego se cuenta con una válvula distribuidora la que se encargará de entregar aire a los cilindros. Finalmente, están las válvulas de 3 vías y 2 posiciones que permiten manipular cada pareja de cilindros

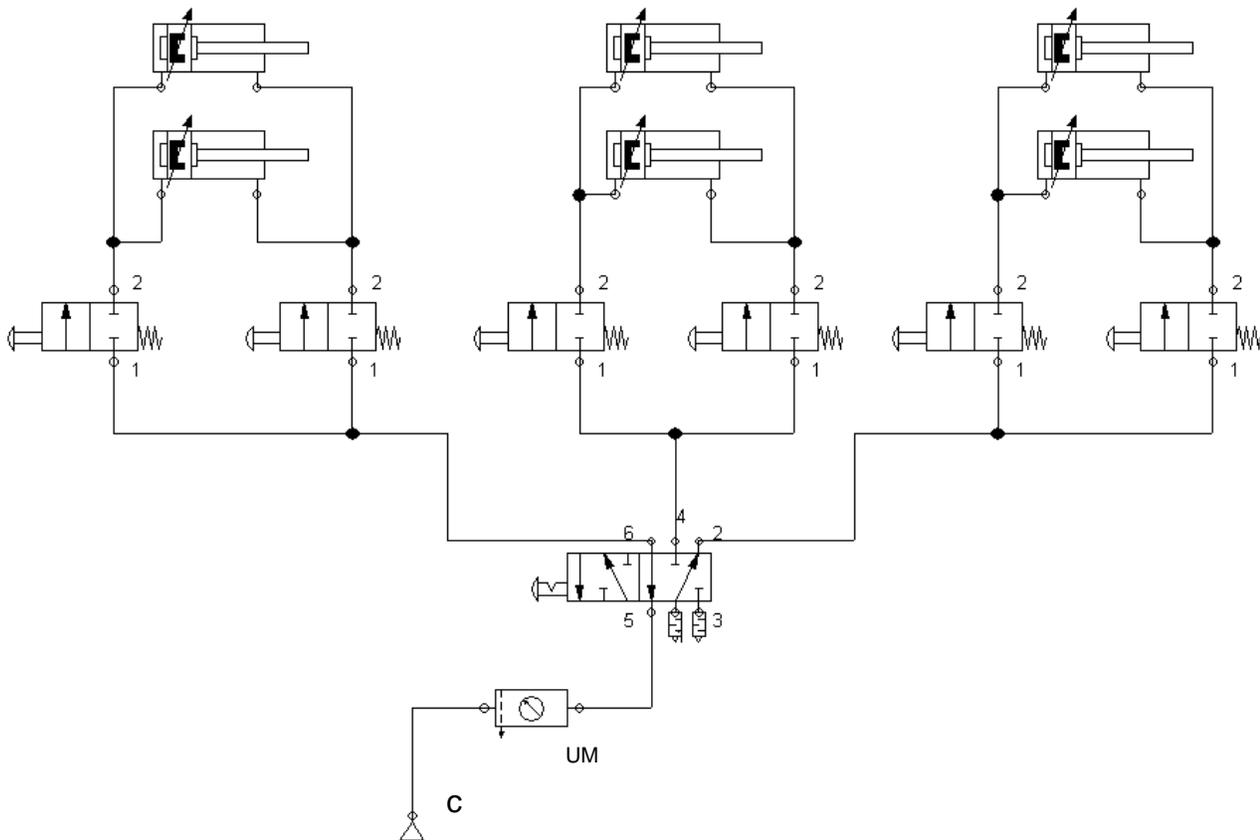


Figura 39: Esquema de operación de los cilindros.

Fuente: Propia.

5.2 Diagrama de tuberías e instrumentación

La Figura 39 presenta el Diagrama de Tuberías e instrumentación (P&ID), el cual inicia con una figura de forma triangular que indica la fuente que suministrará una señal eléctrica representada por una línea discontinua que viajará para alimentar al compresor representado por c. Este compresor tendrá una unidad de mantenimiento que adecuará la presión neumática a lo largo del todo el circuito, este instrumento recibirá la señal eléctrica y se enviará una señal neumática representada por dos líneas sobre una línea continua a lo largo de todo el circuito. La válvula de seguridad SV se encargará de permitir el paso a cada lazo o pareja de cilindros. Luego la válvula designada como PP 101 será la encargada de accionar los cilindros PC 101 y PC201, y la válvula PP 201 se encargará de que estos cilindros tengan su respectivo retroceso, las válvulas posteriores tendrán asignada la misma tarea de manipular a cada pareja de cilindros siguientes.

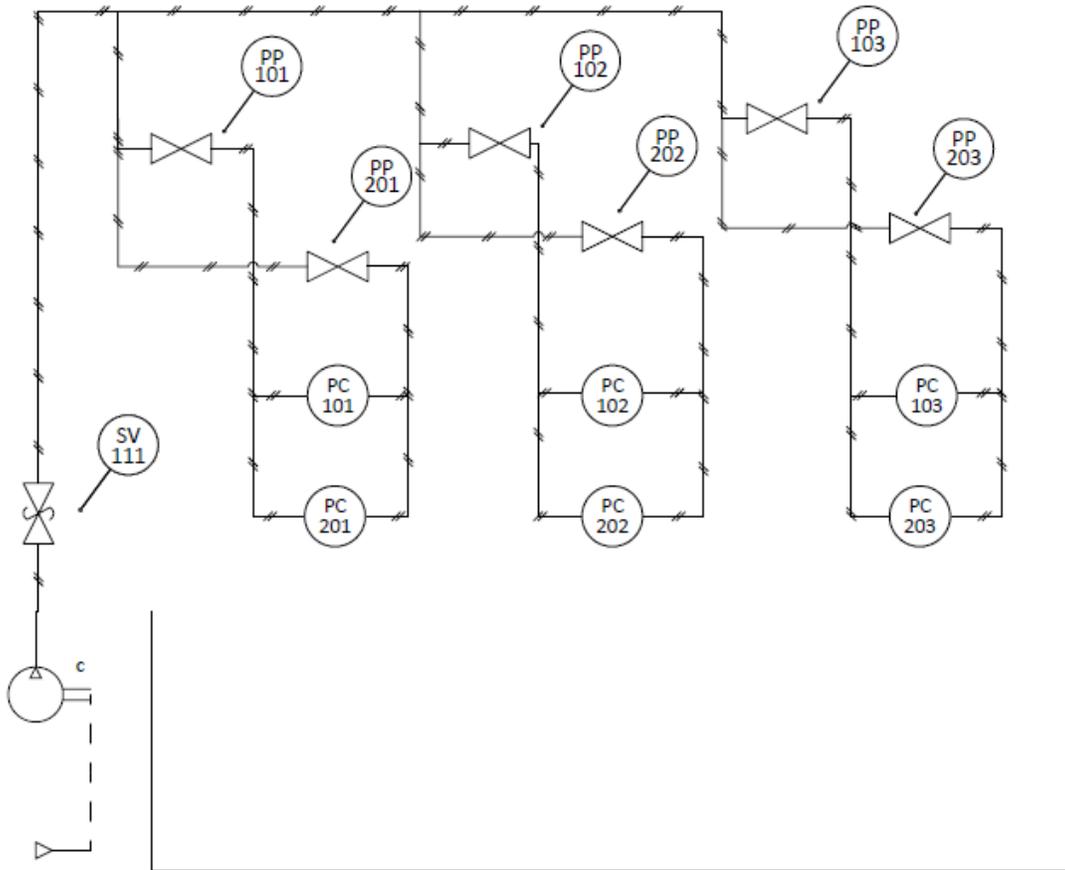


Figura 40: Diagrama de tuberías e instrumentación.

Fuente: Propia.

5.2.1 Costos

En la tabla 2 se presentan los costos estimados asociados a la fabricación del prototipo de prensado y transporte de queso cuajada.

Tabla 2: Presupuesto para la fabricación del prototipo.

#	Componente	Cantidad	Valor unitario	Valor Total
1	Tanque de operación (incluye compuertas)	1	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000
2	Soporte tanque operación	4	\$ 1.087.500	\$ 4.350.000
3	Soporte de los cilindros	3	\$ 725.000	\$ 2.175.000
4	Soporte de la tapa móvil	1	\$ 725.000	\$ 725.000
5	Pared móvil	1	\$ 725.000	\$ 725.000
6	Tapa móvil	1	\$ 1.087.500	\$ 1.087.500
7	Bandeja para soporte del operario	2	\$ 797.500	\$ 1.595.000
8	Placas de presión 1	3	\$ 1.015.000	\$ 3.045.000
9	Placas de presión 2	3	\$ 725.000	\$ 2.175.000
10	Cilindro neumático doble efecto	6	\$ 725.000	\$ 4.350.000
11	Pulsador de activación de los cilindros	3	\$ 145.000	\$ 435.000
12	Pulsador de retorno de los cilindros	3	\$ 145.000	\$ 435.000
13	Válvula distribuidora	1	\$ 319.000	\$ 319.000
14	Compresor de aire	1	\$ 1.015.000	\$ 1.015.000
15	Llanta soporte cilindros	24	\$ 65.250	\$ 1.566.000
16	Llanta soporte pared móvil	8	\$ 65.250	\$ 522.000
17	Llanta soporte de tanque	4	\$ 174.000	\$ 696.000
18	Tornillería (Global)	1	\$ 145.000	\$ 145.000
			Valor total	\$ 40.360.500

Fuente: Propia.

El valor estimado para la construcción del prototipo es de Cuarenta millones trescientos sesenta mil quinientos pesos M/C. (\$ 40.360.500).

6. PRUEBAS DE PROTOTIPO

En esta sección se describen los resultados de simulación de una prueba del prototipo para evaluar su correcto funcionamiento. Para este análisis se usó el software CAE Solidworks Simulation [8].

6.1 Análisis estático de compresión axial del queso

El análisis estático corresponde a la interacción del queso con el sistema de prensado, es decir, se buscaba evaluar el efecto del prensado. El objetivo del análisis fue determinar la presión necesaria para lograr una compresión axial del queso de aproximadamente el 10% de la altura, sin ocasionar deformaciones excesivas sobre el bloque de queso.

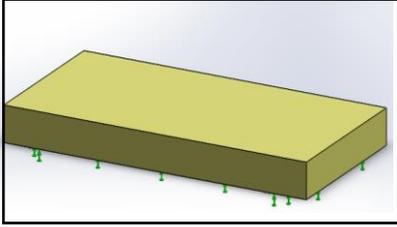
Para elaborar el modelo del queso fue necesario establecer unas propiedades mecánicas similares a las del producto fabricado por la empresa Mundo Lácteo. Los valores seleccionados para el análisis fueron tomados de un estudio sobre las propiedades mecánicas y viscoelásticas del queso fresco [13]:

- Modulo elástico: 5.2 KPa
- Coeficiente de Poisson: 0.35
- Modulo Cortante: 2.0 KPa
- Densidad de Masa: 1020 kg/m³
- Límite de tensión elástico: 3.1 KPa

Para el análisis se definió una altura del bloque de queso de 20 cm, y se realizaron varias pruebas hasta obtener finalmente la presión adecuada para lograr una compresión o acortamiento del bloque de 2 cm. Finalmente, se encontró que, para las propiedades estimadas para el queso cuajada, la presión por aplicar fue de 1.8 KPa.

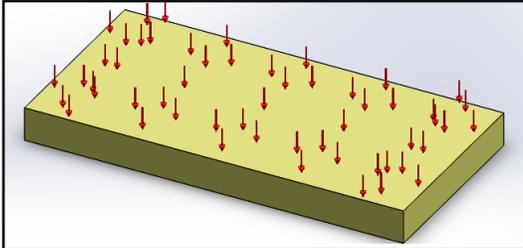
En las Tablas 3 y 4 se muestran las condiciones establecidas para el modelo.

Tabla 3: Sujeciones del queso cuajada

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 1 cara Tipo: Geometría fija

Fuente: Propia.

Tabla 4: Presión aplicada al queso cuajada.

Nombre de carga	Imagen de presión	Detalles de carga
Presión-1		Entidades: 1 cara Tipo: aplicar Valor: 0.0018MPa

Fuente: Propia.

Con las sujeciones y las cargas definidas se procede a crear el mallado del modelo. Este proceso permite discretizar el bloque de queso para realizar un análisis más confiable. Se probaron varias opciones de malla, hasta establecer una adecuada para el análisis. En la Figura 40 se muestra el mallado del modelo.

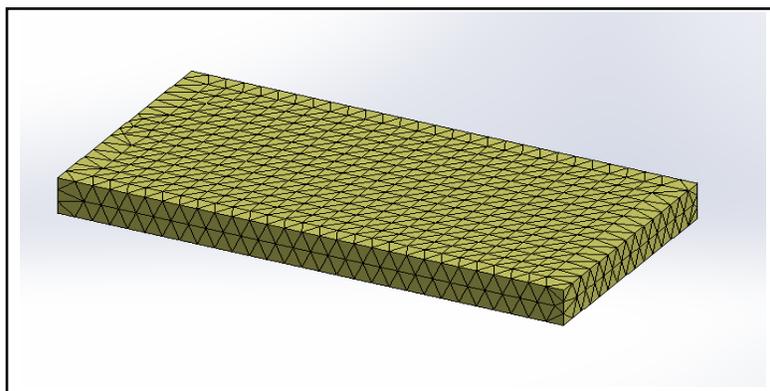
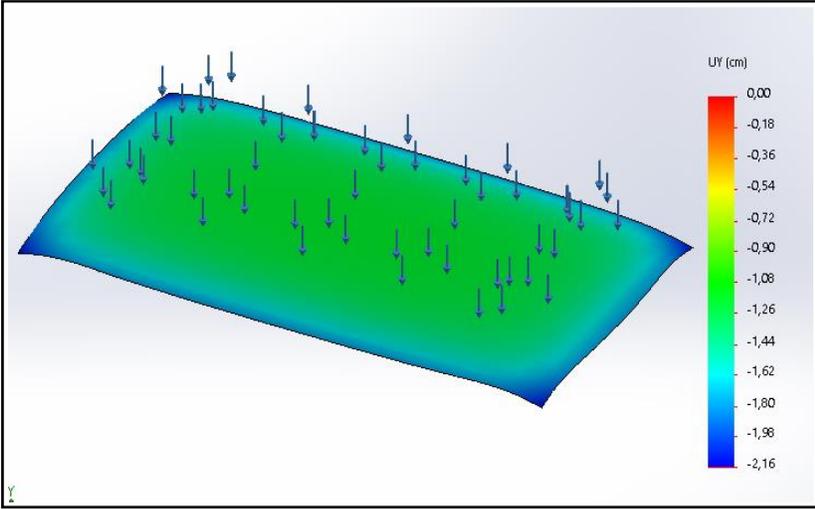


Figura 41: Mallado del queso cuajada.

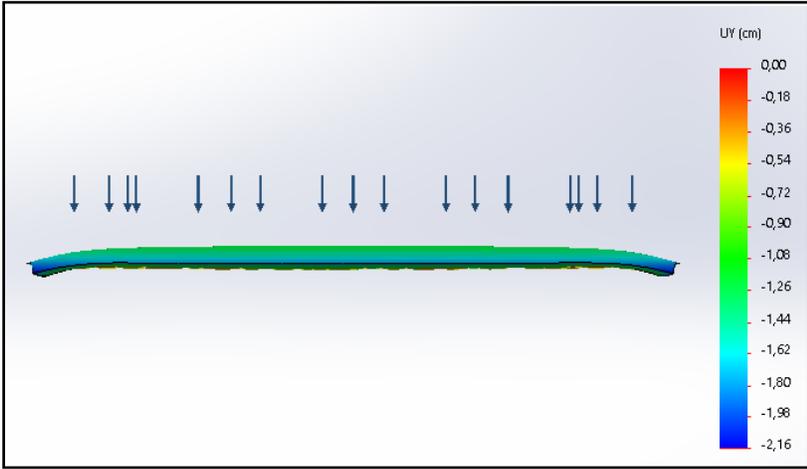
Fuente: Propia.

Al ejecutar el análisis estático de la pieza sometida a compresión uniaxial se obtienen los siguientes resultados (Figuras 41):

(a)



(b)



(c)

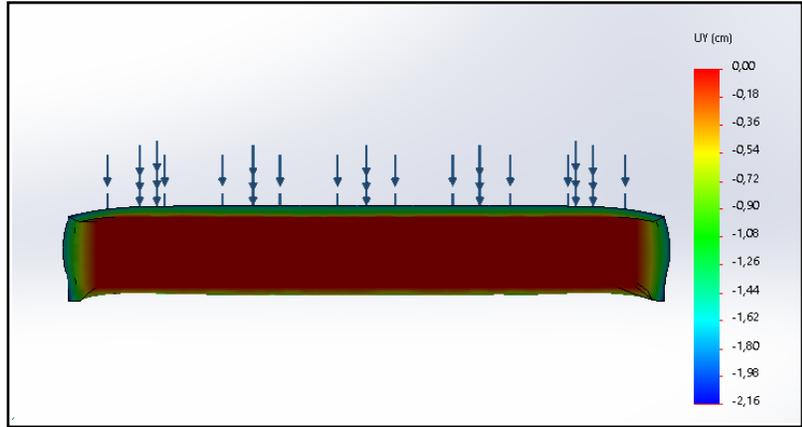


Figura 42: Modelo del queso: desplazamiento, vista isométrica (a), vista lateral (b) y (c).

Fuente: Propia.

De acuerdo con la Figura 41, cuando el modelo del queso es sometido a la compresión en la dirección Y, se obtuvo un desplazamiento máximo de -2.17 cm, esto es aproximadamente el 10% de la altura del modelo. En la Figura 42 se muestra que la máxima presión es equivalente a 3.3 KPa, valor muy cercano al límite “elástico” definido para el queso de 3.1 KPa, lo que indica que, para esta condición de carga, que puede ser conservadora, el efecto del prensado no deformaría excesivamente el bloque de queso, afectando la consistencia esperada. Este criterio se basó en una similitud con el criterio de Von Mises para materiales de mayor capacidad de deformación.

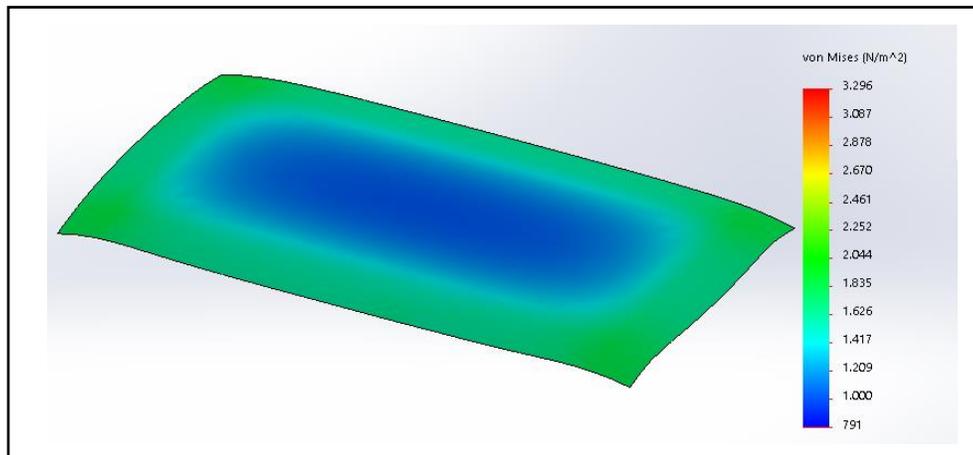


Figura 43: Tensión de Von Mises en el queso.

Fuente: Propia.

6.2 Cálculo de la fuerza por aplicar con los cilindros

De acuerdo con el análisis estático, la presión necesaria para lograr una reducción del 10% de altura del queso sin deteriorar su consistencia 1.8 KPa.

Para calcular la fuerza en cada cilindro se tiene que:

- Las placas de presión 1 pesan 28 kg, son 3 para un total de 84 kg
- Las placas de presión 2 pesan 18 kg, son 3 para un total de 54 kg
- La fuerza total que ejerce el peso de las placas es 138 kg

Se requiere calcular el área sobre la cual se aplicará la compresión:

- Largo del tanque = 2.2 m
- Ancho del tanque = 1.14 m
- Área = $L \cdot A = 2.508 \text{ m}^2$

Despejando la fuerza total necesaria para lograr la presión máxima de trabajo:

- $F \text{ total} = \text{Área} \cdot \text{presión}$

- $F_{\text{total}} = (2.508 \cdot 1000^2) \cdot 0.0018 = 460 \text{ kg-f}$

Despejando la fuerza en los cilindros:

- $F_{\text{cilindros}} = F_{\text{total}} - \text{Peso de las placas}$
- $F_{\text{cilindros}} = 460 - 138 = 322 \text{ kg}$
- $F_{\text{por cilindros}} = 322/6 = 53 \text{ kg} \approx 50 \text{ kg-f}$

Por lo tanto, la fuerza estimada de aplicación por cada cilindro fue de 50 kg. Se seleccionaron seis cilindros porque se requiere distribuir la carga en un mayor número de puntos, es decir, de manera más uniforme.

6.3 Selección del cilindro

Para definir el tamaño del cilindro y conociendo que la fuerza por aplicar en cada uno de estos es de aproximadamente 50 kg-f, se definió una presión de trabajo de 100 PSI o 0.68948 MPa, según esto:

$$A = \frac{F}{P} \quad (2)$$

Para una fuerza de 50 kg-f (490.33 N), el área tiene un valor de:

$$A = \frac{490.33 \text{ N}}{0.68948 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

Se encuentra que el área de operación del cilindro equivale a:

$$A = 1422 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto, el diámetro del émbolo será;

$$D^2 = \frac{4A}{\pi} \quad (3)$$

$$D^2 = \frac{4(1422 \text{ mm}^2)}{\pi}$$

$$D = 42.56 \text{ mm}$$

Entonces se definió un cilindro de doble efecto, con una presión de trabajo de 100 PSI, y un embolo de 43 mm de diámetro.

7. RESULTADOS DE LA SOCIALIZACIÓN

El diseño del prototipo fue socializado con el gerente de la Empresa, Julián Muñoz, mediante una reunión en la que se expuso el concepto del prototipo, sus funciones, componentes, interacción entre los mecanismos, materiales y el costo estimado de fabricación.

En la presentación de la propuesta se mostraron las figuras de las diferentes piezas del prototipo y la simulación del funcionamiento de la estructura (mecanismos de desplazamiento, de prensado y transporte del queso).

Las recomendaciones que surgieron de la socialización de la propuesta fueron:

1. Cambiar el sistema de orificios de desagüe del fondo de los dos tanques laterales por tramos de tubería. Esto para garantizar que el suero se deposite correctamente en el tanque ubicado debajo del tanque de operación.
2. Se debe garantizar que no existan filtraciones de leche o suero en ninguno de los componentes del prototipo.
3. Ajustar en el presupuesto el valor unitario de algunos de los componentes del prototipo, especialmente los fabricados con acero inoxidable.

Siguiendo las observaciones realizadas se ajustaron los planos de diseño y el presupuesto de fabricación.

Para este proceso de socialización también se realizó, un análisis de la rentabilidad de la implementación del prototipo de prensado y transporte en la Empresa Mundo Lácteo a través de un análisis de la Tasa interna de retorno (TIR), como se indica a continuación.

7.1 Análisis de la rentabilidad de la inversión

En este análisis se evalúa la rentabilidad de implementar el prototipo diseñado en la empresa Mundo Lácteo mediante el cálculo de la Tasa interna de retorno (TIR). Para esto, se evalúan los costos para dos escenarios, en un periodo de cinco años. El primero, corresponde a los costos del prensado y transporte hacia la hiladora como se realiza actualmente, es decir de forma manual; y el segundo, corresponde los costos del prensado y transporte al implementar el prototipo mecánico.

Del estado actual y tiempos de fabricación se conoce que la empresa emplea a 5 operarios para desarrollar las actividades de prensado y transporte. Para esta condición se calcularon los costos del primer escenario. Teniendo en cuenta que el valor del salario mínimo en Colombia, más el auxilio de transporte, prestaciones sociales (prima de servicios, cesantías, intereses sobre cesantías, vacaciones), seguridad social (caja de compensación, parafiscales, pensión, ARL), es de \$1'770.406,86, según el Ministerio del Trabajo [14], el costo por hora de la mano de obra de un trabajador en estas actividades es de \$9.220,8, para un total de 192 horas laboradas al mes. Ahora bien, para estimar el costo de la mano de obra de este escenario, es necesario determinar el tiempo que toma realizar las actividades de prensado y transporte a la hiladora. Para esto, se conoce que el prensado toma 120 minutos diarios aproximadamente, y se realiza con 3 operarios, y que el transporte toma 60 minutos con 2 operarios. Es decir, que ambas actividades tomarían 96 minutos (1.6 horas diarias) por operario, considerando los 5 trabajadores. Este valor se incrementó en un 10%, teniendo en cuenta un margen de retrasos e imprevistos, y así se obtuvo un valor de 1.76 horas de trabajo diarias entre prensado y transporte.

En la Tabla 5 se muestra el costo de la mano de obra para el caso de prensado y transporte manual en un año, para lo cual se tuvo en cuenta el costo de hora de mano de obra, por el número de horas requerido en ambas actividades y el número de operarios durante el tiempo trabajado en un año, esto es, seis días laborales por semana, y cuatro semanas por mes. De esta manera, el costo anual sería de \$23.369.370,55. Además, se incluyeron los costos de operación de estas actividades, correspondientes a elementos de trabajo como guantes de nitrilo y otros insumos. El análisis se proyectó a 5 años, y de acuerdo con esto, se prevé un aumento anual promedio del salario mínimo de 7.2% (lo que se ve reflejado en el costo de los cinco operarios por año). Esta proyección se obtuvo según el incremento anual del salario mínimo desde el año 2001 [15]. Para los costos de operación, se prevé que el incremento anual será del 4%. De esta forma se obtiene un costo total de \$23.729.370,55 para el primer año.

Tabla 5: Costos de prensado y transporte manual con 5 operarios (escenario 1)

AÑO	DESCRIPCIÓN	COSTO	COSTO ANUAL	COSTO ACUMULADO
0		\$ -	\$ -	\$ -
1	Costo de 5 operarios por año	\$ 23.369.370,55		
	Gastos de operación	\$ 360.000,00	\$ 23.729.370,55	\$ 23.729.370,55
2	Costo de 5 operarios por año	\$ 25.051.965,23		
	Gastos de operación	\$ 378.000,00	\$ 25.429.965,23	\$ 49.159.335,78
3	Costo de 5 operarios por año	\$ 26.855.706,73		
	Gastos de operación	\$ 396.900,00	\$ 27.252.606,73	\$ 76.411.942,51
4	Costo de 5 operarios por año	\$ 28.789.317,61		
	Gastos de operación	\$ 416.745,00	\$ 29.206.062,61	\$ 105.618.005,13
5	Costo de 5 operarios por año	\$ 30.862.148,48		
	Gastos de operación	\$ 437.582,25	\$ 31.299.730,73	\$ 136.917.735,86

Del análisis del escenario 2, que corresponde a la implementación del prototipo, se determinó que, al ejecutar el prensado y transporte con ayuda mecánica, se podría reducir el número de operarios involucrados a dos, por lo tanto, se reduciría el costo de la mano de obra de estas actividades. Según esto, se estimó que este valor podría reducirse a la mitad del costo de realizar las actividades de forma manual, es decir, \$11.684.685,28 para el primer año. Para este caso se tuvieron en cuenta otros gastos, como los de funcionamiento, operación y mantenimiento del prototipo (servicios, guantes, etc.), así como su depreciación. Estos costos se estimaron en \$14.699.105,28 para el primer año. En la Tabla 6 se muestran el costo de la inversión inicial o valor de fabricación del prototipo, y los costos anuales incluyendo su proyección a cinco años.

Tabla 6: Costos de prensado mecánico con 2 operarios (escenario 2)

AÑO	DESCRIPCIÓN	COSTO	COSTO ANUAL	COSTO ACUMULADO
0	Inversión inicial (Costo prototipo)	\$ 40.360.500,00	\$ 40.360.500,00	\$ 40.360.500,00
1	Costo de 2 operarios por año	\$ 11.684.685,28		
	Depreciación máquina por año	\$ 1.614.420,00		
	Gastos de funcionamiento y mantenimiento	\$ 1.400.000,00	\$ 14.699.105,28	\$ 55.059.605,28
2	Costo de 2 operarios por año	\$ 12.525.982,62		
	Depreciación máquina por año	\$ 1.549.843,20		
	Gastos de funcionamiento y mantenimiento	\$ 1.470.000,00	\$ 15.545.825,82	\$ 70.605.431,09
3	Costo de 2 operarios por año	\$ 13.427.853,36		
	Depreciación máquina por año	\$ 1.487.849,47		
	Gastos de funcionamiento y mantenimiento	\$ 1.543.500,00	\$ 16.459.202,84	\$ 87.064.633,93
4	Costo de 2 operarios por año	\$ 14.394.658,81		
	Depreciación máquina por año	\$ 1.428.335,49		
	Gastos de funcionamiento y mantenimiento	\$ 1.620.675,00	\$ 17.443.669,30	\$ 104.508.303,23
5	Costo de 2 operarios por año	\$ 15.431.074,24		
	Depreciación máquina por año	\$ 1.371.202,07		
	Gastos de funcionamiento y mantenimiento	\$ 1.701.708,75	\$ 18.503.985,06	\$ 123.012.288,29

En la Tabla 8 se muestra el flujo de caja financiero, correspondiente a la adquisición del prototipo mecánico. Los ingresos corresponden a la diferencia de los costos anuales en cada periodo (Tablas 6 y 7). A partir de este flujo de caja se calculó la TIR, que para el caso analizado dio un valor de 10.1% anual.

Tabla 7: Flujo de caja financiero

DESCRIPCIÓN	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos	0	9.030.265	9.884.139	10.793.404	11.762.393	12.795.746
Costos de Inversión	40.360.500	0	0	0	0	0
Flujo Neto de Caja	-40.360.500	9.030.265	9.884.139	10.793.404	11.762.393	12.795.746
Tasa interna de retorno TIR	10,10%					

Esto quiere decir que la inversión que se realizó durante 5 años rentó a lo largo de cada año un valor del 10.1%, debido al flujo positivo que se obtuvo en cada periodo. También se observa que la suma del valor actual de los costos se iguala con la suma del valor actual de los ingresos en el cuarto año, lo que indica la recuperación del capital inicial. Es decir, se espera que el proyecto genere un flujo de efectivo futuro que permita recuperar la inversión inicial y generar un rendimiento del 10,1% sobre el capital invertido. Estos resultados muestran que la implementación en el prototipo para prensado y transporte a la hiladora es viable financieramente.

8. CONCLUSIONES

La metodología planteada para el diseño de producto contribuyó a obtener un desarrollo del concepto mediante la identificación de necesidades y especificaciones para el prototipo. Esto permitió generar la arquitectura y descomposición del prototipo en subsistemas, lo que condujo al boceto preliminar. Finalmente se generaron dibujos de la geometría de cada una de las piezas para el ensamble final del dispositivo de prensado.

El prototipo propuesto disminuye significativamente la interacción máquina-operario. Se disminuye el esfuerzo que requiere realizar uno o varios trabajadores para el desarrollo de las actividades de prensado y desplazamiento hacia la hiladora del queso cuajada. Esto evita la posibilidad de lesiones o accidentes. También, se aumenta el rendimiento de la producción, se tiene control sobre el nivel de presión de prensado, y es posible disminuir los desperdicios.

El diseño propuesto permite una producción más limpia, puesto que los operarios no tendrían un contacto directo con el queso durante las etapas de prensado y filtrado.

Con la implementación del prototipo es posible reducir el número de operarios involucrados en las actividades de prensado y recolección, puesto que estas se simplifican considerablemente al mecanizar el proceso. Adicionalmente, el análisis de costos indica que la inversión es viable financieramente, puesto que se obtendría una rentabilidad favorable para la empresa.

REFERENCIAS

- [1] A. Eck, El queso, Barcelona: Ediciones Omega, 1990.
- [2] U. n. d. c. y. J. d. a. d. cartagena, Manual de elaboración de queso campesino y prensado, Bogotá, 1998.
- [3] R. G. M. E. Eder Solano, Modelo de equipo de prensado tipo palanca, para mejorar la producción de queso en la provincia de ocaña., Cúcuta: Revista Colombiana de Tecnologías de avanzada, 2016.
- [4] M. D. S. y. P. Social, Resolución 2674 de 2013, 2013.
- [5] M. D. S. y. P. Social, Resolución 4142 de 2012, 2012.
- [6] F. Planes, «Inox 304 vs Inox 306: Las diferencias entre los dos tipos de acero,» 2023.
- [7] S. D. E. Karl T. Ulrich, Diseño de desarrollo de productos, Pensilvania: Mc Graw Hill, 2013.
- [8] S. G. González, El gran libro de Solidworks Simulation, Ciudad de México: Alfaomega, 2016.
- [9] Ferrocortes, Ficha técnica del acero inoxidable AISI 304, Bogotá.
- [10] Federación de enseñanza, Temas para la educación, Andalucía, 2011.
- [11] A. R. Manuel Escalera, Actuadores Neumáticos.
- [12] Ministerio de Salud y Protección Social, Resolución 683 de 2012, 2012.
- [13] A. B. C. M. Roger de Hombre, Propiedades mecánicas y viscoelásticas de queso fresco elaborado con leche de búfala y vaca, 2017.
- [14] M. d. Trabajo, «Cotización a la seguridad social,» 2023.
- [15] Portafolio3, «Cómo ha sido la evolución del incremento del mínimo en 22 años,» 2023.