



**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA  
LLENADORA PARA FLUIDOS VISCOSOS**

**Autor:**  
Brijaldo, Eliana

Urb. Yuma II, calle n° 3. Municipio San Diego  
Teléfono (0241) 8714240 (master)-Fax: (0241) 8712394



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA  
PARA FLUIDOS VISCOSOS**

**Proyecto del Trabajo de Grado presentado como requisito para optar el título de  
INGENIERO MECÁNICO**

**Autores:** Brijaldo G. Eliana Y.

CI: 20.268.986

**Tutor Académico:** Gruber Caraballo

CI: 12.014.108

San Diego, marzo de 2020



FI-N -001-2019-6CE (TG)

Valencia, 31 de enero de 2020

Ciudadana:  
Brijaldo G. Eliana Y.  
20.268.986  
Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 01-2020 de fecha 14-01-2020 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **DISEÑO DE UNA MÁQUINA LLENADORA PARA FLUIDOS VISCOSOS** presentado por usted (es) como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Se ratifica la designación del Ing. Gruber Caraballo C.I: 12.014.108 como Tutor Académico que la asesorara en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

**Prof. Luis Lira**  
**Decano de la Facultad de Ingeniería**



c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

L/a.a.



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE MECÁNICA

### ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ing Gruber A. Caraballo V., portador(a) de la cédula de identidad N° V-12.014.408, hace constar que he leído el Proyecto del Trabajo de Grado, presentado por el ciudadano(a) ELIANA YOLIMAR, BRIJALDO GUILLERMO portador(a) de la cédula de identidad N° V-20.268.986, titulado **“DISEÑO DE UNA MAQUINA LLENADORA PARA FLUIDOS VISCOSOS”** presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero MECÁNICO, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 25 días del mes de febrero del año dos mil veinte.

---

Prof. Ing. Gruber Caraballo.

Tutor Académico

## AGRADECIMIENTOS

Cumplir esta meta ha sido unos de los objetivos que más anhelaba en mi vida. El aprendizaje y el desarrollo mental, y profesional me ha llevado a ver las cosas de otra manera, más objetiva, consiente, y sobre todo de forma responsable. Muchas personas jugaron un papel importante en mi vida, personas que me mantuvieron motivadas cuando creí que no podía más, como también personas que dudaban de mis destrezas y cualidades. Por eso agradezco primeramente a Dios, que desde pequeña le he servido en mente y espíritu, a mi padre, que sin él no hubiese conocido esta carrera tan extraordinaria.

Mi madre que siempre me ha apoyado en todos los aspectos de mi vida, dándome cariño, y sobre todo amor; a mis hermanas ayudándome en todo lo que podían. Muchas anécdotas tengo en la universidad, compañeros que siempre estuvimos ayudándonos mutuamente, entre risas, nervios y demás. Agradecida con mi tutor Gruber Caraballo, por ser ese guía para realizar este proyecto, a Leonardo González, gran amigo, compañero, siempre conté contigo para todo, Adriana Moscoso, esa amiga que hizo que mis inicios fuesen menos complicados, nos reíamos por todo, José Ledezma y Roberto Rojas gracias por ser buenos amigos y compañeros.

Estas últimas líneas se lo dedico a mi familia, mi esposo Efraín Mejía y mi hijo Elí David Mejía; ese niño que hizo que yo fuera mejor persona, y llegar a aspirar cosas que antes ni pensaba que se podía pensar. Esposo mío, gracias por ser mi tutor, profesor, animador, por cuidarme y estar siempre a mi lado, ayudándome a mejorar y a obtener este logro, que a veces lo anhelabas más tu que yo. Te amo.

*“No se puede enseñar nada a un hombre, sólo se le puede ayudar a descubrirse a sí mismo”*

**Galileo Galilei**

# ÍNDICE GENERAL

## CONTENIDO

	pp.
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>RESUMEN INFORMATIVO.....</b>	<b>xiii</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULOS</b>	
<b>I EL PROBLEMA</b>	
1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.2 Formulación del problema.....	4
1.3 Objetivo de la investigación .....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos .....	4
1.4 Justificación de la investigación.....	4
1.5 Alcance.....	5
1.6 Limitaciones .....	5
<b>II MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Antecedentes .....	6
2.2 Bases teóricas .....	7
2.2.1 Proceso de elaboración de mermelada.....	7
2.2.2 Reología.....	9
2.2.2.1 Parámetros reológicos .....	9
2.2.2.2 Modelos reológicos .....	12
2.2.3 Tipos de Fluidos.....	13
2.2.3.1 Fluidos newtonianos.....	14
2.2.3.2 Fluidos no newtonianos.....	15
2.2.3.3 Fluidos independientes del tiempo de aplicación.....	15
2.2.3.4 Fluidos dependientes del tiempo de aplicación.....	17

2.2.3.5	Medición de la viscosidad.....	18
2.2.4	Impulsión del fluido.....	20
2.2.4.1	Equipos para la impulsión de fluidos.....	20
2.2.4.2	Bombas dinámicas .....	21
2.2.4.3	Bombas de desplazamiento positivo .....	21
2.2.5	Transporte de fluidos en tuberías.....	27
2.2.5.1	Conservación de la energía, ecuación de Bernoulli .....	28
2.2.5.2	Flujo de Poiseuille, fluido ley de potencia .....	31
2.2.5.3	Criterio para flujo laminar.....	34
2.2.5.4	Pérdidas por fricción en tuberías y accesorios .....	36
2.2.6	Sistema de convección natural.....	38
2.2.6.1	Relaciones empíricas para convección natural.....	39
2.2.6.2	Convección natural de planos y cilindros verticales .....	40
2.2.6.3	Convección natural en espacios cerrados.....	41
2.2.6.4	Ley de enfriamiento de Newton.....	43
2.2.7	Clasificación de los aceros.....	44
2.2.7.1	Características y aplicaciones más comunes.....	47
2.2.8	Automatización Industrial.....	50
2.2.8.1	Estructura de un sistema automatizado .....	51
2.2.8.2	PLC .....	53
2.3	Definición de términos básicos .....	55

### **III MARCO METODOLÓGICO**

3.1	Tipo de investigación. ....	57
3.2	Diseño de investigación.....	57
3.3	Nivel de investigación .....	58
3.4	Población y muestra .....	58
3.4.1	Población .....	58
3.4.2	Muestra .....	59
3.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	59

3.5.1. Técnicas de Recolección de Datos.....	59
3.5.2 Instrumentos de Recolección de Datos.....	60
3.5.3 Técnicas de análisis de datos .....	61
3.6 Fases de la investigación .....	61
<b>IV RESULTADOS</b>	
4.1 Investigación sobre las propiedades físicas y reológicas del fluido viscoso a transportar. ....	64
4.2 Elaborar propuestas para el manejo del fluido viscoso a través de redes de flujo.....	66
4.2.1 Restricciones .....	68
4.2.2 Criterios .....	68
4.3 Selección de la propuesta adecuada para satisfacer los requerimientos de llenado .....	69
4.4 Diseño de los elementos de máquinas constitutivos de la máquina. ....	69
4.4.1 Análisis de los volúmenes de la producción actuales .....	69
4.4.2 Aumento de la producción.....	73
4.4.2.1 Caudal teórico del sistema .....	74
4.4.3 Diseño del sistema .....	76
4.4.3.1 Diámetro de la tubería.....	76
4.4.3.2 Diseño de la red succión y descarga .....	77
4.4.3.3 Pérdidas por transferencia de calor por enfriamiento .....	82
4.4.3.4 Sistema diseñado.....	86
4.4.3.5 Circuito PLC de funcionamiento .....	89
4.5 Análisis de costo relacionado al diseño de la máquina llenadora. ....	91
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>96</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>99</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>100</b>
<b>APÉNDICES</b>	
Apéndice A .....	102

Apéndice B.....	105
Apéndice C.....	107
Apéndice D .....	112
<b>ANEXOS</b>	
Anexo A .....	114
Anexo B .....	123

**ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS**  
**CONTENIDO**

**GRÁFICO**

<b>FIGURA</b>	<b>Pp.</b>
<b>1</b> Perfil de velocidad entre placas paralelas.....	10
<b>2</b> Tipos viscosidad.....	11
<b>3</b> Tipos de fluidos.....	13
<b>4</b> Representación de un fluido newtoniano.	15
<b>5</b> Esfuerzo frente a velocidad de cizalladura para diversos tipos de fluidos no newtonianos independientes del tiempo.....	15
<b>6</b> Fluidos newtonianos y no newtonianos.....	16
<b>7</b> Equipos para medir viscosidad.....	20
<b>8</b> Bombas oscilantes de émbolo y de membrana (derecha). La membrana puede ser anular (en la figura) o de disco, y las válvulas pueden ser de lengüeta (en especial, para bajas presiones) o de vástago.....	23
<b>9</b> Bomba de engranajes externos de perfil envolvente. A la derecha, la imagen de perfil, donde se observan las placas laterales (en gris) y la ubicación de las juntas estáticas (en negro).....	24
<b>10</b> Bomba de lóbulos.....	25
<b>11</b> Corte transversal de una bomba geromotor.....	26
<b>12</b> Bomba de paletas deslizantes simple (izquierda) y de doble aspiración (derecha). En estas últimas, las dos cámaras de bombeo están separadas 180°, lo cual anula los esfuerzos que, de otro modo, se transmitirían lateralmente al eje y a los cojinetes de la bomba.....	27
<b>13</b> Bomba de tornillo helicoidal excéntrica.....	28
<b>14</b> Bombas peristálticas de uno y dos rodillos.....	28
<b>15</b> Balance de fuerzas de la tubería.....	30

<b>16</b>	Energía del flujo.....	31
<b>17</b>	Elementos del fluido utilizados en la ecuación de Bernoulli.....	31
<b>18</b>	Balance de fuerzas de la tubería.....	32
<b>19</b>	Constantes para usar con la ecuación 34 para superficies isothermas.....	43
<b>20</b>	Nomenclatura para convección natural en recintos verticales.....	43
<b>21</b>	Diagrama esquemático y regímenes de flujo de la capa de convección vertical.....	43
<b>22</b>	Controlador en configuración lazo abierto.....	53
<b>23</b>	Controlador en configuración lazo cerrado.	53
<b>24</b>	Modelos de de bombas de tornillo de la empresa Shanghai Zhuheng...	76
<b>25</b>	Diseño de la red y succión de descarga.....	79
<b>26</b>	Vista isométrica del diseño de la llenadora.....	88
<b>27</b>	Vista isométrica del diseño de la llenadora.....	89
<b>28</b>	Vista isométrica del diseño de la llenadora.....	89
<b>29</b>	Circuito PLC simple.....	90
<b>30</b>	Circuito PLC con configuración en cascada.....	91

## ÍNDICE DE TABLAS

### CONTENIDO

#### CUADRO

TABLA	Pp.
1 Índice de comportamiento de flujo.....	12
2 Velocidades recomendadas para fluido no newtoniano en tuberías.....	37
3 a)Valores de los parámetros de la ecuación $\tau = k\gamma^n$ (izquierda) y b)valores de los parámetros de la ecuación ( $\tau = \tau_c + k\gamma^n$ ) (derecha).	67
4 Tabla de resultados de las propiedades reológicas de mermelada a 65°C.....	67
5 Propuestas para impulsión de fluidos.....	69
6 Cantidad de la tanda de producción.....	72
7 Tiempo total de la producción actual de mermelada.....	72
8 Tiempo del proceso de dosificación actual de mermelada.....	73
9 Resumen de la productividad.....	73
10 Comparación de velocidades para diferentes diámetros de tuberías....	78
11 Comparación de velocidades para diferentes diámetros de tuberías....	92
12 Costos de la producción actual de la empresa.....	92
13 Producción de propuesta reflejada en dólares.....	92
14 Análisis de costo de la materia prima.....	93
15 Análisis de costo del material eléctrico.....	93
16 Análisis de costo de la fabricación.....	94
17 Costo final de la máquina.....	94



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE ING. MECÁNICA  
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA

## **DISEÑO DE UNA LLENADORA PARA FLUIDOS VISCOSOS**

**Autores:** Brijaldo Eliana

**Tutor:** Ing. Gruber Caraballo.

**Fecha:** Diciembre, 2019

### **RESUMEN INFORMATIVO**

El trabajo de grado presentado a continuación, el cual fue denominado **“Diseño de una llenadora para fluidos viscosos”**. Tiene como objetivo mejorar el proceso de llenado para lograr aumentar el nivel de producción en una empresa de producción de mermeladas “empresa Alimentos Bonanza Comercial C.A.” Esta empresa se dedica al procesamiento de frutas para distintos productos, entre ellos la mermelada de frutas, cuyo proceso de llenado se lleva a cabo de manera artesanal. El proyecto se orientó al diseño de una máquina llenadora para fluidos viscosos que permita a la empresa optimizar los tiempos de producción y mantener estándares de calidad. La metodología a la cual responde este texto, es la de una investigación aplicada con modalidad de proyecto factible a nivel descriptivo, en este orden de ideas, la investigación se basa en describir la situación y las variables que afectan o las que deben estudiarse en la empresa y como la propuesta de diseño influirá en la misma. Por lo anterior, se tiene la necesidad de optimizar esta fase del proceso con el fin de lograr un estándar de su producto y aumentar el nivel de producción.

**Descriptor:** Dosificadora, llenadora, fluidos viscosos, diseño.

## INTRODUCCIÓN

En la industria se tiene la necesidad de masificar un producto, invirtiendo menos tiempo en su elaboración y buscando construir un estándar de calidad y características específicas. Se opta por mejorar los procesos productivos a través de los conocimientos proporcionados por las nuevas formas de pensamientos ingenieril dadas por los diferentes cambios en el avance de la tecnología.

En la actualidad en la industria venezolana están surgiendo una gran cantidad de pequeñas empresas, las cuales ofrecen al país productos de excelente calidad, sin embargo, es común observar en estas empresas la ausencia de equipos automatizados, reduciendo así su gran potencial.

Se investigó las propiedades del producto y las opciones que brinda la ingeniería actualmente para mejorar el proceso.

El objetivo principal de este proyecto es el diseño de una máquina llenadora para fluidos viscosos para Alimentos Bonanzas Comercial C.A. con el propósito que dicha empresa mejore sus niveles de producción y calidad en sus productos.

Este proyecto de investigación, en su primera fase, estará estructurado en cuatro capítulos, a saber:

- Capítulo I: Se expone el problema del método actual, justificación del problema, alcance y las limitaciones del proyecto.
- Capítulo II: Se expondrán los antecedentes que resulten de provecho en la presente investigación, seguidamente se da a conocer el marco teórico con sus respectivos términos con respecto o todo lo referente al diseño del proyecto, sus componentes y las definiciones del funcionamiento.
- Capítulo III: En este capítulo se expondrán las fases metodológicas, que dará a conocer los procedimientos a seguir para el cumplimiento de los objetivos trazados en el trabajo de grado.

- Capítulo IV: Por último, en este capítulo se expondrán los resultados obtenidos para cada una de las fases planteadas y así cumplir con los objetivos expresados en el capítulo 1.

El trabajo aquí presentado, está estructurado de tal manera que el lector pueda ir adquiriendo los conocimientos básicos que le permitirán entender a cabalidad la tecnología referida y las herramientas a usar. Sin embargo, cabe destacar que, si el lector es lo suficientemente conocedor del tema, perfectamente puede obviar los capítulos que contengan información que considere ya conocida, y continuar con los aspectos que crea interesantes sin que se pierda la linealidad o coherencia de la información que se desea mostrar.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1 Planteamiento del problema**

El constante crecimiento de las industrias artesanales venezolanas en el área de alimentos, obliga a dichas industrias a modernizar sus líneas de producción para que de esta manera satisfaga la creciente demanda del producto. El proceso manual de llenado de los envases implica mayor tiempo para cubrir un embarque de producto además de una escasa seguridad, debido a que estos fluidos mayormente se manejan a temperaturas elevadas entre 105°C y 80°C para mantener su proceso de pasteurización de manera correcta.

Así también la constante manipulación del personal con los elementos como son los envases, tapas y válvulas de dosificación comprometen seriamente la asepsia del producto, pudiendo generar una merma en las normas de calidad de la empresa. El proceso de llenado, especialmente en plantas pequeñas tiende a ser el proceso que presenta la mayor cantidad de complicaciones; específicamente cuando se trata de fluidos viscosos debido a la difícil manejabilidad que estos presentan.

La empresa Alimentos Bonanza Comercial, C.A. es una empresa ubicada en Cagua, estado Aragua, que ha emprendido en el área de alimentos, sus productos varían entre mermeladas de frutas, bocadillos y pulpas de frutas. Por ser una empresa en desarrollo no cuentan con un sistema de llenado eficiente, todo es realizado de manera manual, y sus niveles de producción se ven afectados debido a este proceso precario.

Su proceso actual es el llenado manual por medio de cucharas estando el envase previamente esterilizado, este fluido viscoso debe mantenerse en un rango de temperatura elevada para aportar al proceso de pasteurizado y esterilización, además la dificultad de la manipulación por las altas temperaturas, el personal se ve seriamente comprometido a posibles quemaduras, luego de esto es sellado y puesto en ollas de

vapor para su esterilización al vacío. El tiempo promedio de este proceso de envasado artesanal toma aproximadamente dos horas y un total de cuatro operadores para las tareas de llenado, limpieza de los frascos (debido a los derrames) y roscado de las tapas, afectando gravemente las propiedades del batch producido ya que este debe mantenerse por encima de los 80°C durante el tiempo total de llenado.

Por ello se quiere modernizar el proceso, llevarlo a un nivel tecnológico automatizado, donde el llenado sea a través de dosificadores controlados por un operador.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cómo se puede mejorar el proceso de llenado para lograr aumentar el nivel de producción en una empresa de elaboración de mermeladas?

## **1.3 Objetivo de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar una máquina llenadora para fluidos viscosos.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Investigar sobre las propiedades físicas y reológicas del fluido viscoso a transportar.
- Elaborar propuestas para el manejo del fluido viscoso a través de redes de flujo.
- Seleccionar la propuesta adecuada para satisfacer los requerimientos de llenado.
- Diseñar los elementos de máquinas constitutivos de la máquina.
- Realizar un análisis de costo relacionado al diseño de la máquina llenadora.

## **1.4 Justificación de la investigación**

En el proceso de producción de mermeladas en la empresa Alimentos Bonanza Comercial C.A. se desea cumplir con los estándares que el mercado y las normas exigen, por esta razón se buscan alternativas de optimización y con ello disminuir el costo de producción, aumentar la eficiencia y alcanzar un estándar del producto.

En el proceso de llenado de la mermelada, la empresa desea optimizar el proceso de producción, ya que este al ser manual y muy lento compromete la seguridad de los trabajadores y el producto tiende a tener distintas consistencias, esto se debe a que el

producto debe mantenerse en temperaturas altas y el proceso de llenado no tiene la velocidad requerida. Lo que produce una cocción constante que hace variar las propiedades del producto.

Por estas razones la empresa ve la necesidad de implementar tecnología para optimizar esta etapa del proceso de producción. Esto representa para la compañía alcanzar los objetivos propuestos: aumento de la eficiencia y del nivel de producción y mantener un estándar en sus productos.

### **1.5 Alcance**

La finalidad de este proyecto es obtener como resultado un diseño de una máquina llenadora para fluidos viscosos que sea fácilmente operable y de fácil mantenimiento, el diseño para la empresa Alimentos Bonanza Comercial C.A. será un sistema para el llenado de mermeladas o fluidos de comportamiento similar a la mermelada, dicho diseño se hará según las propiedades de este producto y utilizando el programa AUTODESK inventor para el modelado 3D de la máquina.

### **1.6 Limitaciones**

Este proyecto está dirigido específicamente para el área de alimentos, por lo que la selección de materiales y otros elementos queda reducida únicamente a aquellos que puedan ser utilizados para esta industria.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

Mediante la revisión documental sobre el tema de máquinas llenadoras y proyectos similares al presente, se han obtenido diferentes fuentes de información relevante, éstos representan una contribución importante a considerar para la ejecución del presente trabajo.

López, N (2013) en la Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia, realizó su proyecto de grado titulado "**Diseño de máquina llenadora para fluidos viscosos**" donde se desarrolló un sistema neumático automatizado a través de actuadores que dosifican por medio de boquillas aceite para motores. El propósito fue mejorar la eficiencia de producción, la precisión de la mezcla y la facilidad de operación de la misma, como también reducir el esfuerzo y los errores humanos, aumentando la eficiencia y precisión en la composición de la mezcla.

Sani Centeno (2015), quién realizó un proyecto especial titulado "**Diseño, construcción e implementación de una máquina envasadora y dosificadora de refrescos para la industria de lácteos santillán "prasol"**" realizado en la escuela superior politécnica de Chimboraz en Ecuador. La cual tuvo como meta diseñar una máquina envasadora y dosificadora de refrescos realizando el envasado de refrescos en las presentaciones de 250 ml y 500 ml, incrementando el volumen de producción de la empresa. La máquina fue diseñada de acuerdo al tipo y tamaño de los envases que posee la empresa además del tipo de fluido con el cuál va a trabajar. En la construcción se utilizó diversos materiales como el Acero Inoxidable AISI 304, Acero AISI 1020 y Acero A36.

Alvarado, S y Medoza, A (2015) quién realizó un proyecto especial titulado **"Diseño de dosificadora industrial de mezcla para la empresa Glady's Delicatesses C.A., Planta San Diego"** realizado en la Universidad José Antonio Páez, Venezuela. La cual tuvo como finalidad de innovar y automatizar parte de la cadena productiva, por medio de una máquina dosificadora; en el que un pistón neumático presiona un émbolo de la dosificadora. El sistema neumático está diseñado para que los finales de carrera estén configurados de tal manera que la cinta transportadora avance a medida que se dosifica.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Proceso de elaboración de mermelada**

Se define a la mermelada de frutas como un producto de consistencia pastosa o gelatinosa, obtenida por cocción y concentración de frutas sanas, adecuadamente preparadas, con adición de edulcorantes, con o sin adición de agua. La fruta puede ir entera, en trozos, tiras o partículas finas y deben estar dispersas uniformemente en todo el producto.

Una vez definido los ingredientes, conservantes e insumos, se procede al proceso; este proceso consta de diferentes fases industriales para llegar hasta el producto final. Los equipos para llevar a cabo este proceso es el siguiente: marmita con agitador y chaqueta para inyección de vapor, tanque de agitación, llenadoras o dosificadoras y etiquetadoras. Para la elaboración se tendrá como primera fase la selección, pesado y lavado. Seguidamente dependiendo de la fruta, se le quitará la concha o semillas en su interior, en la mayoría de los casos la máquina despulpadora procesa las frutas de manera completa, separando la pulpa de las conchas y semillas.

La fruta se cuece suavemente hasta antes de añadir el azúcar. Este proceso de cocción es importante para romper las membranas celulares de la fruta y extraer toda la pectina. Si fuera necesario se añade agua para evitar que se quemé el producto. La cantidad de agua a añadir dependerá de lo jugosa que sea la fruta, de la cantidad de fruta colocada en la olla y de la fuente de calor.

La cocción de la mezcla es la operación que tiene mayor importancia sobre la calidad de la mermelada; por lo tanto, requiere de mucha destreza y práctica de parte del operador. El tiempo de cocción depende de la variedad y textura de la materia prima. Al respecto un tiempo de cocción corto es de gran importancia para conservar el color y sabor natural de la fruta y una excesiva cocción produce un oscurecimiento de la mermelada debido a la caramelización de los azúcares.

La cocción puede ser realizada a presión atmosférica en pailas abiertas o al vacío en pailas cerradas. En el proceso de cocción al vacío se emplean pailas herméticamente cerradas que trabajan a presiones de vacío entre 700 a 740 mm Hg., el producto se concentra a temperaturas entre 60 – 70°C, conservándose mejor las características organolépticas de la fruta.

Una vez que el producto está en proceso de cocción y el volumen se haya reducido en un tercio, se procede a añadir el ácido cítrico y la mitad del azúcar en forma directa. La cantidad total de azúcar a añadir en la formulación se calcula teniendo en cuenta la cantidad de pulpa obtenida. Se recomienda que por cada kg de pulpa de fruta se le agregue entre 800 a 1000 gr. de azúcar. La mermelada debe removerse hasta que se haya disuelto todo el azúcar. Una vez disuelta, la mezcla será removida lo menos posible y después será llevada hasta el punto de ebullición rápidamente.

La regla de oro para la elaboración de mermeladas consiste en una cocción lenta antes de añadir el azúcar y muy rápida y corta posteriormente.

Una vez llegado al punto final de cocción se retira la mermelada de la fuente de calor, y se introduce una espumadera para eliminar la espuma formada en la superficie de la mermelada. Inmediatamente después, la mermelada debe ser trasvasada a otro recipiente con la finalidad de evitar la sobrecocción, que puede originar oscurecimiento y cristalización de la mermelada.

El trasvase permitirá enfriar ligeramente la mermelada (hasta una temperatura no menor a los 85°C), la cual favorecerá la etapa siguiente que es el envasado. La mermelada de fresas o cualquiera otra mermelada que se prepare con fruta entera se dejara reposar en el recipiente hasta que comience a formarse una fina película sobre la

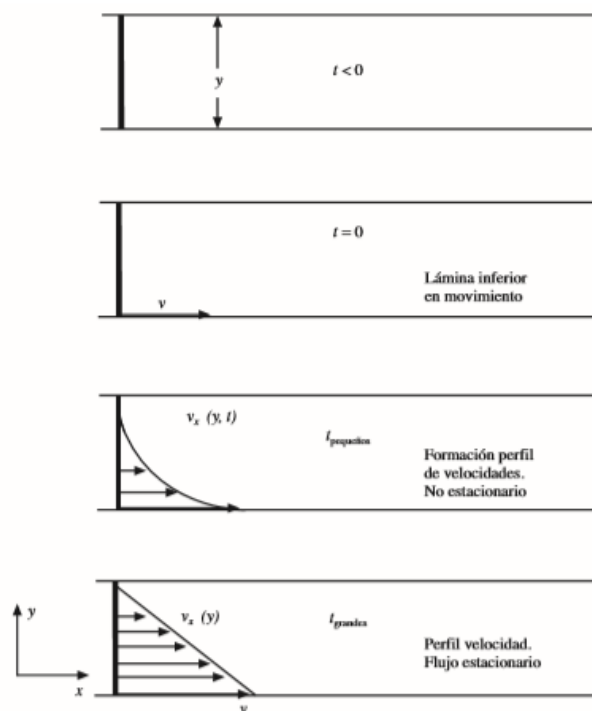
superficie. La mermelada será removida ligeramente para distribuir uniformemente los trozos de fruta. El corto periodo de reposo permite que la mermelada vaya tomando consistencia e impide que los frutos enteros suban hasta la superficie de la mermelada cuando se distribuyen en tarros. Este periodo de reposo resulta asimismo esencial cuando se prepara mermelada de frutas cítricas ya que en caso contrario todos los fragmentos de fruta tenderán a flotar en la superficie de la conserva.

El llenado se realiza en caliente a una temperatura no menor a los 85°C. Esta temperatura mejora la fluidez del producto durante el llenado y a la vez permite la formación de un vacío adecuado dentro del envase por efecto de la contracción de la mermelada una vez que ha enfriado.

### **2.2.2 Reología**

Un concepto formal del termino reología (

- **Esfuerzo de Corte ( $\tau$ ):** Resistencia del fluido al movimiento deslizante de sus capas cuando se aplica una fuerza en forma tangencial a su superficie laminar. Tiene unidades de fuerza sobre área.
- **Gradiente de velocidad de Corte ( $\gamma$ ):** Diferencia entre las velocidades de dos capas dividida entre la distancia que las separa. Tiene unidades de velocidad sobre longitud.
- **Viscosidad ( $\mu$ ):** La Ley de Newton de la viscosidad se considera un fluido en reposo que se encuentra entre dos láminas paralelas, de área A, que están separadas por una distancia  $y$ . Si en un instante determinado ( $t = 0$ ) la placa inferior se pone en movimiento a una velocidad  $v$ , llega un momento en que el perfil de velocidades se estabiliza, tal como se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Perfil de velocidad entre placas paralelas.

**Fuente:** Ibarz, A. “Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos” (p. 135).

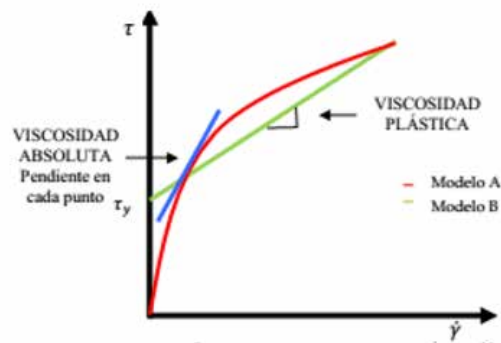
Una vez alcanzado este régimen estacionario, debe seguir aplicándose una fuerza  $F$  para mantener el movimiento de la placa inferior. Suponiendo que el régimen de

circulación es laminar, la fuerza por unidad de área que debe aplicarse es proporcional a la razón velocidad/distancia, según la ecuación:

$$\frac{F}{A} = \eta \frac{v}{y} \quad (1)$$

términos matemáticos es la relación de proporcionalidad entre el esfuerzo de corte y la tasa de corte. La viscosidad se puede calcular como:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2)$$



**Figura 2.** Tipos viscosidad.

**Fuente:** Chuquilin C.. “Método para determinar el diámetro óptimo de un sistema de transporte de fluidos no newtonianos”. Universidad Nacional (p. 3)

Cuando un fluido es no newtoniano y no lineal presenta una viscosidad diferente para cada tasa de corte, esta es llamada viscosidad absoluta (figura 2). La viscosidad plástica es generalmente explicada como la parte de la resistencia al flujo causada por fricción mecánica y es afectada por la concentración de sólidos, el tamaño y la forma de las partículas sólidas y la viscosidad de la fase fluida.

- **Punto de Cedencia ( $\tau_y$ ):** Esfuerzo cortante mínimo requerido para que se dé la deformación del fluido. Representa el valor del esfuerzo de corte para una velocidad de deformación igual a cero.

- **Índice de Comportamiento (n):** Indica la desviación del comportamiento reológico del fluido con respecto a los fluidos newtonianos. Según el valor de n los fluidos se pueden clasificar como pseudoplásticos o dilatantes.

**Tabla 01.** Índice de comportamiento de flujo

Pseudoplásticos	Newtoniano	Dilatante
n < 1	n = 1	n > 1

Fuente: Brijaldo, Eliana. (2020).

- **Índice de Consistencia (k):** Caracterización numérica de la consistencia del fluido, es decir, es una medida indirecta de la viscosidad, pero sus unidades dependen de n.

#### 2.2.2.2 Modelos reológicos

Los modelos reológicos son una relación matemática que permite caracterizar la naturaleza reológica de un fluido, estableciendo la relación entre la deformación dada a una tasa de corte específica.

Entre los modelos reológicos de fluidos no newtoniano pueden citarse:

- **Modelo Plástico de Bingham:** Es un modelo de dos parámetros muy usado en la industria, su expresión es:

$$\tau = \tau_y + \mu_p \dot{\gamma} \quad (3)$$

Un fluido Plástico de Bingham no comienza a fluir hasta que el esfuerzo de corte aplicado exceda el valor mínimo  $\tau_y$ . A partir de este punto el cambio en el esfuerzo de corte es proporcional a la tasa de corte y la constante de proporcionalidad es la viscosidad plástica ( $\mu_p$ ).

- **Ley de Potencia:** Es un modelo de dos parámetros, según el cual la viscosidad absoluta disminuye a medida que la tasa de corte aumenta. La relación entre la tasa de corte y el esfuerzo de corte es:

$$\tau = k \dot{\gamma}^n \quad (4)$$

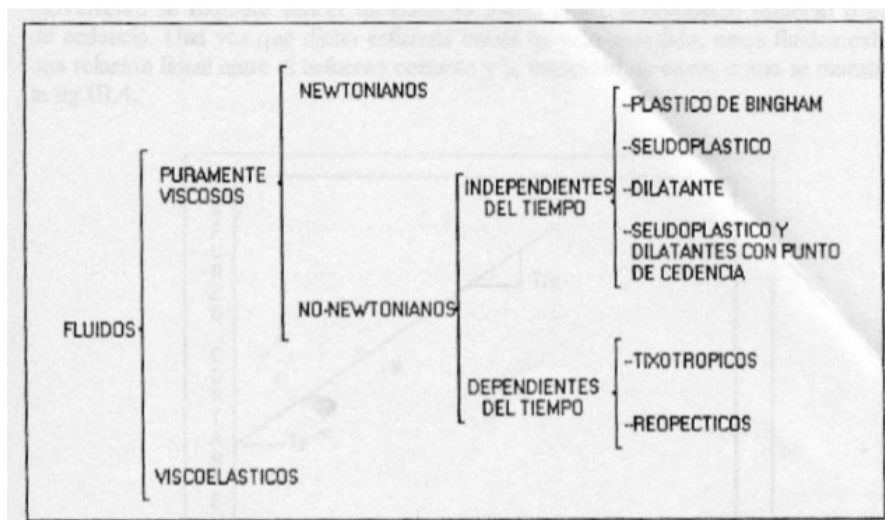
No existe un término para el punto de cedencia, es decir los fluidos cuyo comportamiento es acorde con este modelo comienzan a fluir a una tasa de corte cero.

- **Modelo de Herschel–Bulkley:** Es el resultado de la combinación de aspectos teóricos y prácticos de los modelos Plástico de Bingham y Ley de Potencia. La siguiente ecuación describe el comportamiento de un fluido regido por este modelo:

$$\tau = \tau_y + k\dot{\gamma}^n \quad (5)$$

En este modelo los parámetros “ $n$ ” y “ $k$ ” se definen igual que en Ley de Potencia. Como casos especiales se tienen que el modelo se convierte en Plástico de Bingham cuando  $n = 1$  y en Ley de Potencia cuando  $\tau_y = 0$ .

### 2.2.3 Tipos de Fluidos



**Figura 3.** Tipos de fluidos.

**Fuente:** Ramírez J. “Introducción a la reología de los alimentos”. Universidad del Valle de Colombia (2006) (p. 30)

Existen 3 tipos de fluidos: Newtonianos (proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación); No Newtonianos (no hay proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación); y Viscoelásticos (se comportan como líquidos y sólidos, presentando propiedades de ambos) (ver figura 3). Según Newton la tensión de cizalla o esfuerzo cortante es proporcional al gradiente de

velocidad ( $dv/dy$ ), o también denominado como  $\gamma$ . Si se duplica la fuerza, se duplica el gradiente de velocidad.

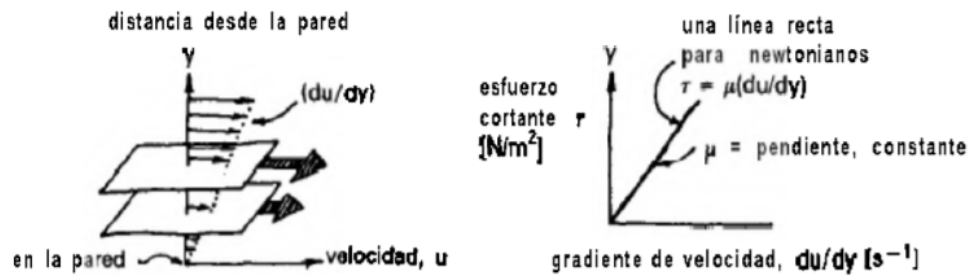
$$\tau_{xy} = \mu \frac{du}{dt} = \mu \gamma \quad (6)$$

Siendo  $\tau_{xy}$  el esfuerzo cortante (mPa),  $\mu$  la viscosidad dinámica del fluido (mPa S),  $\frac{du}{dt}$  la velocidad de deformación del fluido ( $s^{-1}$ ) =  $\gamma$ . (Estas unidades son las más utilizadas en reología).

### 2.2.3.1 Fluidos newtonianos

Los fluidos que obedecen la ley de viscosidad de Newton se llaman fluidos newtonianos. En los fluidos newtonianos existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante  $\tau_{yz}$  y el gradiente de velocidad  $dv_z/dy$  (velocidad cortante). Esto significa que la viscosidad  $\mu$  es constante e independiente de la velocidad cortante.

Los newtonianos son fluidos en los que el deslizamiento relativo de los elementos del fluido al circular uno sobre otro es proporcional al esfuerzo cortante sobre el fluido, (figura 4). Todos los gases, agua líquida y líquidos de moléculas sencillas (amoníaco, alcohol, benceno, petróleo, cloroformo, butano, etc.) son newtonianos. Las pastas, emulsiones, fluidos biológicos, polímeros, suspensiones de sólidos y otras mezclas son probablemente no newtonianos.

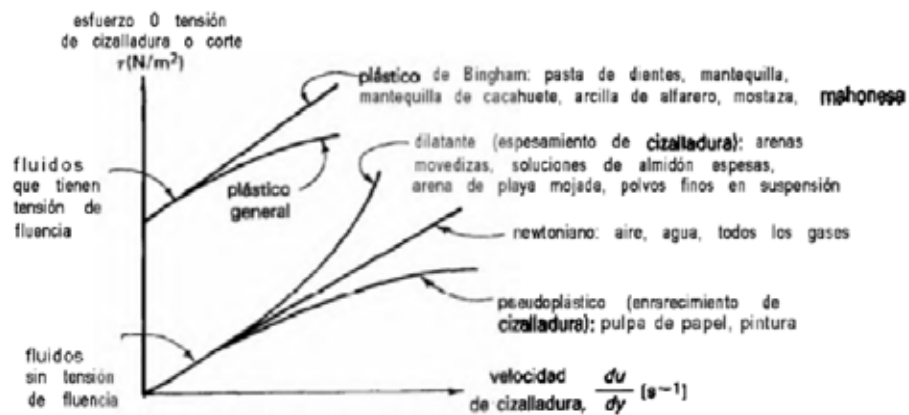


**Figura 4.** Representación de un fluido newtoniano.  
**Fuente:** Levenspiel, O. “*flujo de fluidos e intercambio de calor*” (2004).

### 2.2.3.2 Fluidos no newtonianos

Para la mayoría de los productos agrícolas, lo que incluye productos alimenticios como crema, azúcar, jarabe, miel y aderezo para ensalada, el cociente entre esfuerzo cortante y velocidad de corte no es lineal y estos fluidos se conocen como no newtonianos, como se muestra en la figura 5.

La relación entre esfuerzo cortante y la velocidad de deformación para fluidos no newtonianos no es lineal. Estos fluidos a su vez se diferencian en dependientes e independientes del tiempo.

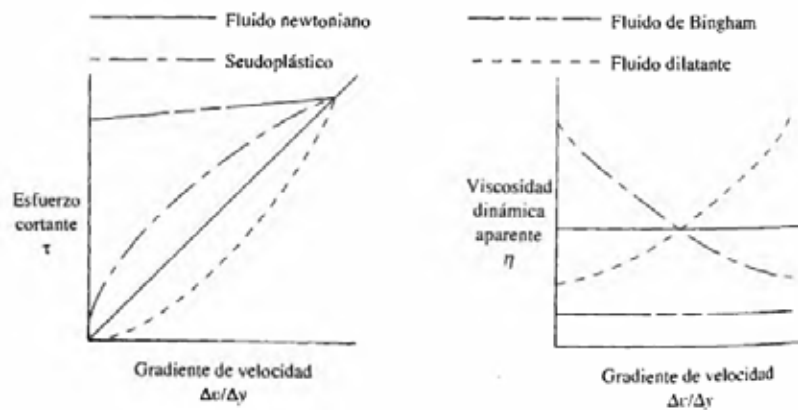


**Figura 5.** Esfuerzo frente a velocidad de cizalladura para diversos tipos de fluidos no newtonianos independientes del tiempo.

Fuente: Levenspiel, O. "flujo de fluidos e intercambio de calor" (2004).

### 2.2.3.3 Fluidos independientes del tiempo de aplicación

Es importante clasificar los fluidos no newtonianos en independientes del tiempo o dependientes del tiempo. Como su nombre lo dice, los fluidos independientes tienen una viscosidad que no varía con el tiempo, a cualquier esfuerzo cortante dado. Sin embargo, la viscosidad de los fluidos dependientes del tiempo cambia si varía éste. En la figura 4 podemos observar la diferencia de manera gráfica entre un fluido newtoniano y no newtoniano.



**Figura 6.** Fluidos newtonianos y no newtonianos.

**Fuente:** Mott R. "Mecánica de fluidos". (2006) (p. 30).

Definición de tres tipos de fluidos independientes del tiempo:

- **Seudoplásticos:** La gráfica del esfuerzo cortante versus el gradiente de velocidad queda por arriba de la línea recta (de pendiente constante) de los fluidos newtonianos (figura 6). La curva comienza con mucha pendiente, lo cual indica una viscosidad aparente elevada. Después, la pendiente disminuye con el incremento del gradiente de velocidad. Ejemplos de estos fluidos son el plasma sanguíneo, polietileno fundido, látex, almíbares, adhesivos, melazas y tintas.
- **Fluidos dilatantes:** La gráfica del esfuerzo cortante versus el gradiente de velocidad queda por debajo de la línea recta para fluidos newtonianos. La curva comienza con poca pendiente, lo que indica viscosidad aparente baja. Después, la pendiente se incrementa conforme crece el gradiente de velocidad. Algunos ejemplos de fluidos dilatantes son los compuestos acuosos con concentraciones altas de sólidos: el almidón de maíz en etilenglicol, almidón en agua y el dióxido de titanio, un ingrediente de las pinturas.
- **Fluidos de Bingham:** En ocasiones reciben el nombre de fluidos de inserción, y requieren la aplicación de un nivel significativo de esfuerzo cortante antes de que comience el flujo (figura 6). Una vez que el flujo se inicia, la pendiente de la curva es lineal, en esencia, lo que indica una viscosidad aparente constante. Algunos ejemplos de fluidos de Bingham son el chocolate, salsa cátsup, mostaza,

mayonesa, pasta de dientes, pintura, asfalto, ciertas grasas y suspensiones de agua y ceniza o fango del drenaje

#### 2.2.3.4 Fluidos dependientes del tiempo de aplicación

Los fluidos que dependen del tiempo son muy difíciles de analizar porque la viscosidad aparente varía con el tiempo, así como con el gradiente de velocidad y la temperatura. Se los clasifica en dos grupos principales:

Fluidos tixotrópicos

Fluidos reopécticos.

En los tixotrópicos la tensión tangencial disminuye con el tiempo, mientras que en los reopécticos se incrementa. Un ejemplo común de fluido tixotrópico lo constituye la tinta de impresión que generalmente se la trabaja en rollos antes de aplicarla a una placa.

- **Fluidos tixotrópicos:** La viscosidad aparente de los fluidos tixotrópicos es una función tanto de la tensión tangencial como de la velocidad de deformación, como se observa en la siguiente ecuación (8):

$$\mu_a = f(\tau, \dot{\gamma}) \quad (7)$$

Al actuar una tensión tangencial a este fluido desde el estado de reposo, sufre un proceso, de fraccionamiento a escala molecular seguido de una reconstitución estructural a medida que transcurre el tiempo.

- **Fluidos reopécticos:** Los fluidos reopécticos, en cambio, se caracterizan por tener un comportamiento contrario a los tixotrópicos, es decir, que su viscosidad aumenta con el tiempo y con la velocidad de deformación aplicada y presentan una histéresis inversa a estos últimos. Esto es debido a que si se aplica una fuerza se produce una formación de enlaces intermoleculares conllevando un aumento de la viscosidad, mientras que si cesa ésta se produce una destrucción de los enlaces, dando lugar a una disminución de la viscosidad.

### 2.2.3.5 Medición de la viscosidad

El viscosímetro es el aparato destinado a medir la viscosidad. Su funcionamiento está basado en alguno de los fenómenos relacionados con la viscosidad:

**Viscosímetro Engler:** consta de un recipiente, donde se coloca el líquido cuya viscosidad se mide, y un baño calefactor exterior de agua o aceite. (figura 7a).

La práctica se efectúa determinando con un cronómetro el tiempo que tardan en verterse 200 cm<sup>3</sup> de agua destilada y el empleado para igual cantidad de líquido problema, a una misma temperatura. La viscosidad se calcula por el cociente:

$$\text{Engler} = \frac{\text{Tiempo en verter 200 cm}^3 \text{ de líquido a T } ^\circ\text{C}}{\text{Tiempo en verter 200 cm}^3 \text{ de agua a 20}^\circ\text{C}}$$

**Viscosímetro de Ostwald:** Consiste en un tubo de vidrio de forma irregular, una de cuyas ramas posee un estrechamiento capilar con dos ensanchamientos en los extremos. Primero se calibra con agua destilada, midiendo el tiempo de descenso entre las dos marcas señaladas en el tubo y, luego, se ensaya con el líquido problema a distintas temperaturas en baños calefactores, (figura 7b).

$$\eta_r = \frac{\text{Tiempo líquido a T } ^\circ\text{C}}{\text{Tiempo del agua a 20}^\circ\text{C}}$$

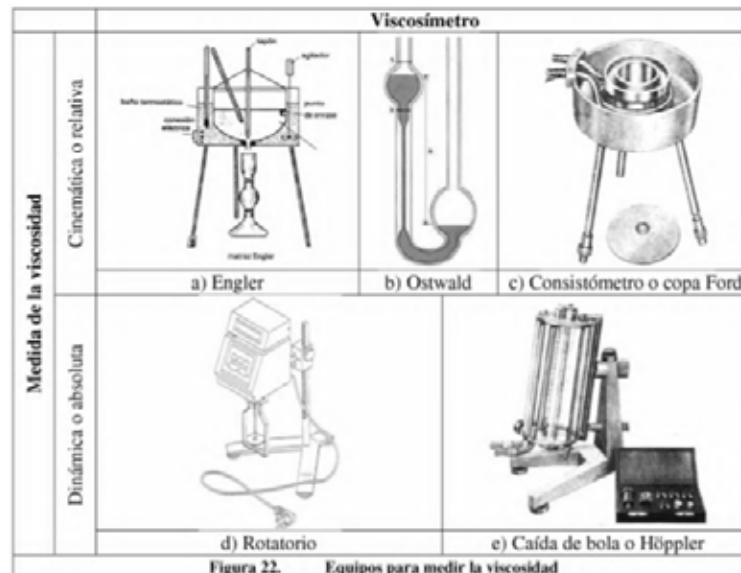
**Consistómetro o viscosímetro copa Ford:** Permite determinar con rapidez y fácilmente la viscosidad de barnices, pinturas y otros productos similares (figura 7c). El aparato consiste en una copa de medidas determinadas apoyada sobre un trípode. Antes de efectuar el ensayo es conveniente que la copa y el recipiente que contiene el producto a ensayar estén a 20 0C. La medida de la viscosidad se lleva a cabo llenando la copa hasta el rebosadero y dejando caer el fluido a un recipiente situado debajo de la copa y cronometrando el tiempo de caída hasta que se produce por primera vez la ruptura del hilo líquido.

El tiempo en segundos indica la viscosidad DIN, que puede convertirse a otros sistemas:

$$10\text{DIN} = 0,1^\circ\text{Engler}$$

**Viscosímetro rotatorio:** Es un instrumento de inmersión que mide la viscosidad dinámica en baños abiertos bajo la presión atmosférica (figura 7d). Funciona por el principio de rotación de un cilindro o un disco (husillo) sumergido en el material que debe ser probado, midiendo la fuerza de torsión necesaria para superar la resistencia viscosa de la rotación. El cilindro o disco giratorio, está acoplado con un muelle al árbol motor que gira a una velocidad determinada. El ángulo de desviación del eje se mide electrónicamente dando la medida de la fuerza de torsión.

**Viscosímetro de caída de bola:** Un método que puede emplearse para la caracterización, y que es particularmente útil para velocidades vahas de cizallamiento, es el viscosímetro de caída de bola. (figura 7e) Se determina la velocidad límite de una partícula esférica y la viscosidad eficaz del fluido se calcula aplicando la ley de Stokes. (Coulson, Richardson, 2004)



**Figura 7.** Equipos para medir viscosidad.

**Fuente:** Ramírez, J. “Introducción a la reología de los alimentos” Universidad del Valle, Colombia. (2006) (p. 42).

## **2.2.4 Impulsión del fluido**

El desplazamiento de fluidos, líquidos o gases (en ocasiones incluso con sólidos en suspensión) se desarrolla normalmente en sistemas de flujo, más o menos largos y complejos que implican conducciones rectas, generalmente cilíndricas de diámetros variados, enlazadas por uniones convenientes, curvaturas, codos, válvulas, etc. A través de estos sistemas el fluido sólo fluye espontáneamente si su energía total disminuye en la dirección del flujo. De no ser así, habrá que comunicarle energía desde el exterior mediante dispositivos tales como bombas, en el caso de líquidos, o compresores, soplantes o ventiladores, en el caso de gases. Tal aporte de energía puede invertirse en aumentar la velocidad, la altura o la presión del fluido.

### **2.2.4.1 Equipos para la impulsión de fluidos**

Las formas de impulsar un fluido, líquido o gas, a través de una conducción son muy variadas, aunque básicamente se pueden reducir a una de las siguientes:

Por desplazamiento volumétrico del fluido, bien sea mecánicamente o con la ayuda de otro fluido (bombas de desplazamiento positivo, etc.)

Por impulsión mecánica, mediante la acción de la fuerza centrífuga (turbobombas, ventiladores y turbocompresores), conocidas como bombas dinámicas.

Por transporte de cantidad de movimiento mediante un segundo fluido (eyectores, etc.)

Por la acción de un campo magnético (bombas magnéticas).

Según el fluido que se va a impulsar sea un líquido o un gas, las máquinas utilizadas reciben distinto nombre. En lo sucesivo, se considerará la siguiente clasificación:

Como se acaba de indicar, los equipos destinados a la impulsión de líquidos se denominan bombas. La forma en que dicha impulsión se produce puede ser variada, aunque suele ser de dos tipos principales correspondiéndose con los tipos:

Bombas de desplazamiento positivo o volumétricas

Bombas dinámicas.

#### **2.2.4.2 Bombas dinámicas**

En este tipo de bombas se aumenta la energía cinética del líquido mediante un rodete giratorio, que todavía en el interior de la bomba se transforma en energía de presión. En ellas el líquido sí puede circular libremente a su través, pues recibe la energía por acción de giro que le comunica un disco giratorio a gran velocidad, sin necesidad de ser confinado en espacios interiores. Las turbobombas se clasifican en bombas centrífugas, helicentrífugas y axiales en función de la trayectoria que siga el fluido a lo largo del rodete giratorio.

#### **2.2.4.3 Bombas de desplazamiento positivo**

En este tipo de máquinas el líquido es introducido y confinado en un cierto espacio de la bomba, donde se le comunica la energía, siendo desplazado a continuación hasta la zona de expulsión. Este tipo de bombas proporciona una cantidad constante de líquido en cada embolada o revolución de la parte móvil, sin que el líquido pueda circular libremente a través del cuerpo de la bomba. Ésta, lógicamente, no puede funcionar con la salida cerrada y si se quiere disminuir o suprimir el caudal sin parar la bomba, es necesario recircular parte o todo el líquido bombeado, respectivamente.

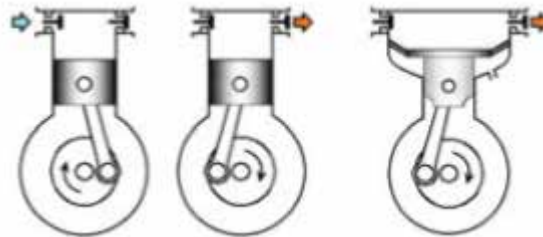
Este tipo de bombas, el caudal de salida dependerá solamente del tamaño de la bomba, su diseño, y será independiente de las características del sistema en que se encuentre, ya que el caudal de líquido en cada embolada es constante al trabajar el motor a velocidad constante. Según sea el mecanismo de impulsión del líquido, se dividen en: reciprocantes y rotatorias.

- **Bombas oscilantes**

Las bombas de desplazamiento positivo pueden ser, según su principio de funcionamiento, oscilantes y rotativas. Las bombas de tipología oscilante están formadas por uno o varios pistones en movimiento alternativo y diversas válvulas de aspiración e impulsión, mientras que las rotativas contienen un mecanismo en rotación encargado de transportar el fluido de la aspiración a la impulsión.

Las bombas oscilantes pueden ser bombas de émbolo o de membrana (figura 8). En las primeras, un émbolo atrae fluido hacia un receptáculo en la carrera de aspiración y lo expulsa en la de impulsión. El movimiento alternativo del émbolo se consigue mediante un mecanismo en biela-manivela (motor o manual). En las segundas, la membrana elástica puede ser solidaria de un émbolo o desplazarse por la acción de la presión hidráulica de un fluido auxiliar. Ambas tipologías de bombas oscilantes necesitan sendas válvulas de aspiración e impulsión que aislen la cámara del pistón del sistema de aspiración o del de impulsión. Estas válvulas se abren o se cierran alternativamente por acción de la presión interna en la cámara, y suelen incorporar un pequeño muelle que asegure su posición de reposo.

Una forma de aumentar el volumen impulsado por revolución en esta clase de bombas consiste en doblar el número de cámaras y válvulas para obtener dos carreras útiles en cada revolución. En estas bombas, denominadas de doble efecto, el émbolo se desplaza por el interior de una camisa cilíndrica empujado por un vástago articulado al elemento motor (la presencia del vástago disminuye el volumen bombeado en uno de los sentidos). También es posible montar en serie varias etapas para conseguir más presión.



**Figura 8.** Bombas oscilantes de émbolo y de membrana (derecha). La membrana puede ser anular (en la figura) o de disco, y las válvulas pueden ser de lengüeta (en especial, para bajas presiones) o de vástago.

**Fuente:** De las Heras, S. “Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas” Universitat politècnica de Catalunya. (2011) (p. 169)

#### · **Bombas Rotatorias**

Las bombas rotativas más comunes son las de engranajes, las de paletas, las de pistones y las peristálticas. Las bombas de engranajes pueden ser, a su vez, de bombas

de ruedas dentadas, de lóbulos, gerotor y helicoidales; las de paletas pueden ser de paletas deslizantes o flexibles (y otras) y estar equilibradas o no, y las de pistones pueden tener los pistones dispuestos de forma axial o radial. De todas estas bombas, las de paletas y las de pistones pueden ser de capacidad volumétrica variable, lo que les permite desalojar un caudal variable a revoluciones constantes y aumentar así el intervalo de caudales posibles (disminuyendo, sobre todo, el caudal mínimo disponible).

En ellas el desplazamiento del líquido se produce por rotación de una o más piezas móviles en el interior de una carcasa, determinando unas cavidades en las que se aloja el líquido que se desplaza desde la entrada de la bomba hasta la zona de descarga. La velocidad de giro es del orden de las 500 r.p.m., proporcionando al líquido presiones medias; hasta de 100 bar. Pueden bombear líquidos que no contengan sólidos abrasivos, aunque están especialmente indicadas para manejar líquidos algo viscosos, con propiedades lubricantes (aceites ligeros, etc.).

Al contrario que las bombas reciprocantes, las rotatorias no necesitan válvulas de retención. Cuanto mejor sea el ajuste entre las partes fijas y móviles, menores fugas de líquido existirán y, por tanto, mayor será el rendimiento.

- **Las bombas de ruedas dentadas**

Son las bombas rotativas de desplazamiento positivo más utilizadas. Constan de dos ruedas dentadas de igual diámetro que se engranan alojadas en una carcasa, (figura 9). Impulsan al líquido confinándolo entre los dientes de las ruedas y las paredes de la carcasa. Los engranajes pueden ser helicoidales o rectos, y solo uno de ellos ejerce el desplazamiento, mientras que el otro engranaje gira sincrónico con él. Pueden conseguir presiones de hasta 350 bar.

Entre sus características principales, destacan las siguientes:

Son sólo de desplazamiento fijo.

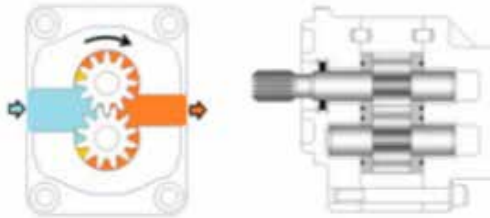
Presentan un buen margen de velocidades.

Permiten el montaje múltiple de varias bombas en un mismo eje.

Son poco sensibles a la contaminación, pero, en cambio, son bastante ruidosas.

Su coste de mantenimiento es bajo y normalmente supone el cambio de la bomba por otra.

Son compactas, ligeras y de bajo coste.

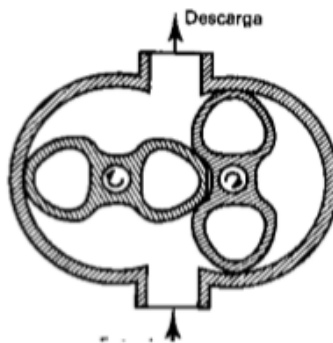


**Figura 9.** Bomba de engranajes externos de perfil envolvente. A la derecha, la imagen de perfil, donde se observan las placas laterales (en gris) y la ubicación de las juntas estáticas (en negro).

**Fuente:** De las Heras, S. “Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas” Universitat politècnica de Catalunya. (2011) (p. 170)

#### · **Bombas de lóbulos**

Son similares a las anteriores, pero las ruedas en vez de ser dentadas disponen de dos lóbulos que cumplen la misma misión (Figura 10).



**Figura 10.** Bomba de lóbulos.

**Fuente:** Martin, R. Salcedo R. “Mecánica de los fluidos. Impulsión de fluidos” Universidad de Alicante. (2011) (p. 13)

#### · **Las bombas gerotor**

Son bombas de engranajes internos con dos ruedas de perfil trocoidal que no necesitan de la pieza en semiluna. Ambos rotores generan, al girar, un volumen que se desplaza y fuerza el aceite a pasar de la lumbrera de entrada a la de salida a través de la

placa de lumbreras. En estas bombas, el rotor interno es el motriz y tiene un diente menos que el externo. La bomba gerotor presenta las siguientes ventajas:

Sólo necesita un eje para funcionar, y no dos como las de engranajes externos.

Es de tamaño reducido y bastante silenciosa.

Permite el montaje múltiple de varias bombas en un mismo eje.

Entre sus desventajas, cabe señalar que sigue siendo de desplazamiento fijo, como el resto de las bombas de engranajes, pero además es bastante sensible a la contaminación del fluido, por lo que suele presentar problemas de estanqueidad por desgaste.



**Figura 11.** Corte transversal de una bomba geromotor.

**Fuente:** De las Heras, S. “Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas” Universitat politécnica de Catalunya. (2011) (p. 170)

#### · **Las bombas de paletas**

El rotor gira de forma excéntrica en un estátor circular o elíptico. En el rotor de la bomba de paletas deslizantes (figura 12), se han mecanizado unas ranuras por las que se mueven de forma radial las paletas para formar, con la pared interna del estátor y las laterales, la cámara de bombeo. Las paletas se mantienen en contacto con el estátor mediante el efecto de la propia fuerza centrífuga, pero en algunos modelos se utilizan muelles para ayudar a mantener el contacto de las paletas a bajas revoluciones, o bien aceite a presión proveniente de la impulsión mediante una línea de pilotaje. Esta última opción ejerce una presión de contacto proporcional a la presión de trabajo, efecto que compensa sus variaciones y constituye una buena alternativa si se busca un buen

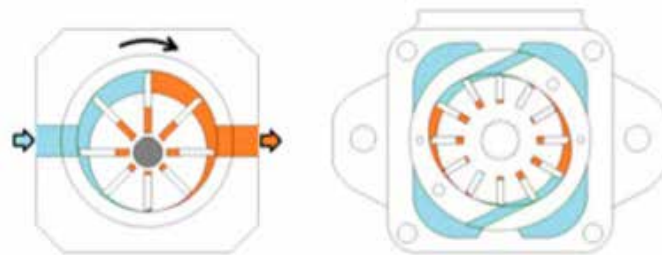
compromiso entre estanqueidad y rendimiento mecánico. Entre las características de este tipo de bomba, destacan las siguientes:

Proporcionan un arranque suave.

Permiten montajes de más de una bomba en un mismo eje.

Son silenciosas y de bajo coste.

Su mantenimiento es sencillo y suele consistir en la sustitución del bloque de paletas.



**Figura 12.** Bomba de paletas deslizantes simple (izquierda) y de doble aspiración (derecha). En estas últimas, las dos cámaras de bombeo están separadas  $180^\circ$ , lo cual anula los esfuerzos que, de otro modo, se transmitirían lateralmente al eje y a los cojinetes de la bomba.

**Fuente:** De las Heras, S. “Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas” Universitat politècnica de Catalunya. (2011) (p. 171)

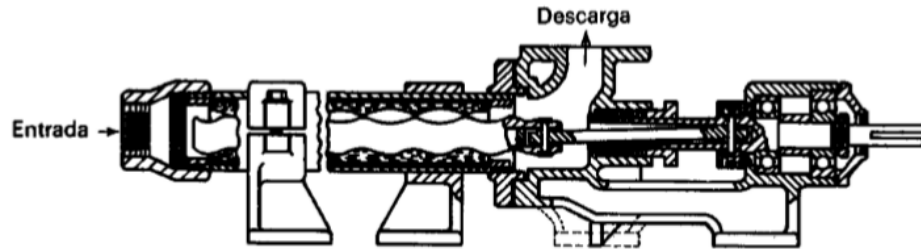
#### · Las bombas de tornillo

Parecidas a las de ruedas dentadas, constan de uno o más rotores cilíndricos en forma de tornillo que encierran al líquido entre sus estrías y las paredes de la cavidad donde se alojan, obligándolo a circular en dirección axial desde un extremo del tornillo al otro. En las versiones de tres rotores, el central es el que arrastra a los otros dos. Se utilizan principalmente para impulsar líquidos viscosos.

#### · Las bombas de tornillo helicoidal excéntrico

son una modificación de las anteriores, pues en lugar de un rotor cilíndrico roscado están dotadas de un rotor helicoidal metálico cuyo eje describe, además del giro, una trayectoria circular dentro de una cavidad fija de forma similar. En el movimiento del rotor, los huecos que quedan entre el rotor y las paredes fijas (de un material plástico) avanzan de un extremo a otro de forma análoga a la de la bomba de tornillo (Figura 13).

Igual que estas, las bombas de hélice salomónica se utilizan preferentemente para impulsar líquidos de elevada viscosidad, como aceites pesados, grasas, pinturas, etc. Con ellas se obtienen presiones elevadas, tanto mayores cuanto más largo es el tornillo o la hélice salomónica y mayor es la velocidad de giro.



**Figura 13.** Bomba de tornillo helicoidal excéntrica.

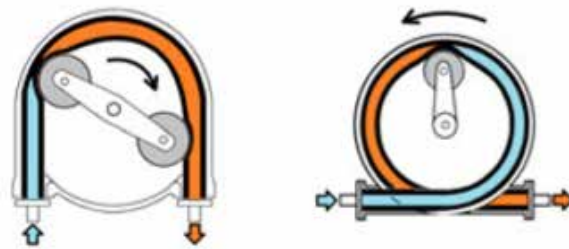
**Fuente:** Martin, R. Salcedo R. "MECÁNICA DE LOS FLUIDOS. Impulsión de fluidos" Universidad de Alicante. (2011) (p. 14)

- **Las bombas peristálticas**

Constan de una tubería flexible, entre 3 y 25 mm de diámetro, que al ser comprimida sucesivamente por unas ruedas que giran continuamente, obligan a circular al líquido en la dirección del giro. El efecto resultante es similar al del movimiento peristáltico del aparato digestivo animal, del cual recibe su nombre. Tienen la ventaja, como las bombas de diafragma, de no ofrecer posibilidades de fugas, al no existir partes rígidas fijas y móviles en contacto, aunque presentan el mismo problema de la vida limitada del material elástico de la conducción. Suelen suministrar caudales reducidos, por lo que se emplean frecuentemente a escala de laboratorio.

### **2.2.5 Transporte de fluidos en tuberías**

El transporte de fluidos por conducciones es de gran importancia en muchos procesos industriales, considerándose como una operación unitaria dentro de la Ingeniería. En el estudio del transporte de fluidos debe conocerse inicialmente de qué tipo de fluido se trata, para lo cual debe realizarse una clasificación de ellos:



**Figura 14.** Bombas peristálticas de uno y dos rodillos.

**Fuente:** De las Heras, S. “Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas” Universitat politécnica de Catalunya. (2011) (p. 174)

A) Según el comportamiento que presentan bajo la acción de presiones externas, los fluidos pueden ser: compresibles e incompresibles. Cuando el volumen del fluido es independiente de su presión y temperatura se trata de un fluido incompresible; por el contrario, si su volumen varía, el fluido es compresible. En la realidad ningún fluido es incompresible, aunque los líquidos pueden considerarse como tales. Por contra, en los gases se presenta una gran variación de la compresibilidad con la presión y temperatura.

B) Según los efectos que producen los esfuerzos cortantes sobre un fluido, éstos se pueden clasificar en newtonianos y no newtonianos, según sigan o no la ley de Newton de la viscosidad, lo que determinará el tipo de perfil de velocidades del fluido en el interior de las conducciones.

### 2.2.5.1 Conservación de la energía, ecuación de Bernoulli

Hay tres formas de energía que se toman siempre en consideración cuando se analiza un problema de flujo en tuberías. Considere un elemento de fluido como el que se ilustra en la figura 15, dentro de una tubería en un sistema de flujo. Se localiza a cierta elevación  $z$ , tiene velocidad  $v$  y presión  $p$ . El elemento de fluido posee las formas de energía siguientes:

1. Energía potencial. Debido a su elevación, la energía potencial del elemento en relación con algún nivel de referencia es:

$$EP = wz$$

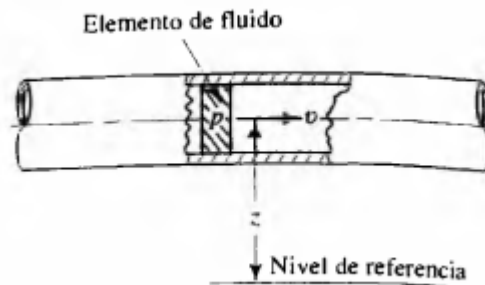
Donde  $w$  es el peso del elemento.

2. Energía cinética. Debido a su velocidad, la energía cinética del elemento es:

$$EC = wv^2/2g$$

3. Energía de flujo. A veces llamada energía de presión o trabajo de flujo, y representa la cantidad de trabajo necesario para mover el elemento del fluido a través de cierta sección contra la presión  $p$ . La energía se abrevia EF y se calcula por medio de:

$$EF = wp/\gamma \quad (8)$$



**Figura 15.** Balance de fuerzas de la tubería.  
**Fuente:** Mott, R. "Mecánica de los fluidos". (2006) (p. 166)

La ecuación 9 se obtiene como sigue. La figura 16 muestra al elemento de fluido en la tubería mientras se mueve a través de una sección. La fuerza sobre el elemento es  $pA$ , donde  $p$  es la presión en la sección y  $A$  es el área de esta. Al mover el elemento a través de la sección, la fuerza recorre una distancia  $L$  igual a la longitud del elemento. Por tanto, el trabajo que se realiza es:

$$\text{Trabajo} = pAL = pV$$

Donde  $V$  es el volumen del elemento. El peso del elemento  $w$  es:

$$w = \gamma V$$

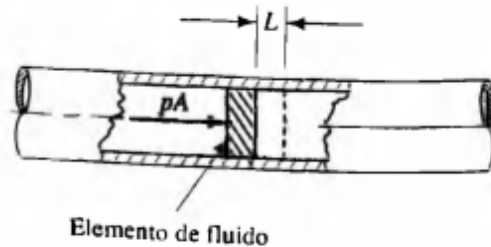
Donde  $\gamma$  es el peso específico del fluido. Entonces, el volumen del elemento es

$$V = w/\gamma$$

Y obtenemos

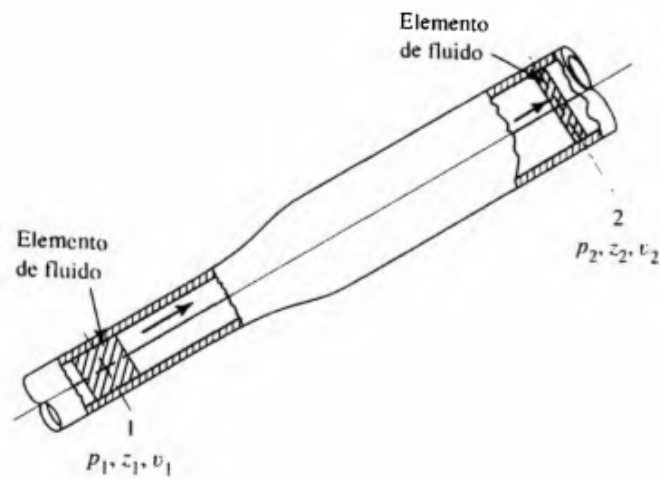
$$\text{Trabajo} = pV = pw/\gamma$$

Denominada energía de flujo, y se representa con la ecuación 8.



**Figura 16.** Energía del flujo.

**Fuente:** Mott, R. "Mecánica de los fluidos". (2006) (p. 166)



**Figura 17.** Elementos del fluido utilizados en la ecuación de Bernoulli.

**Fuente:** Mott, R. "Mecánica de los fluidos". (2006) (p. 166)

Entonces, la cantidad total de energía de estas tres formas que posee el elemento de fluido es la suma E.

$$E = EF + EP + EC$$

$$E = \frac{wp}{\gamma} + wz + \frac{wv^2}{2g}$$

Cada uno de estos terminos se expresa es unidades de energía como el Newtonmetro (N.m) en el SI, y el pie-libra (pie-lb) en el sistema tradicional de Estados Unidos.

Ahora, se considera el elemento del fluido en la figura xx, que se mueve de la seccion 1 a la 2. Los valores de p,z y v son diferentes en las dos secciones. En la seccion 1, la energia total es

$$E_1 = \frac{wp_1}{\gamma} + wz_1 + \frac{Wv_1^2}{2g}$$

En la seccion 2, la energia total es

$$E_2 = \frac{wp_2}{\gamma} + wz_2 + \frac{Wv_2^2}{2g}$$

Si no hay energia que se agregue o pierda en el fluido entre las secciones 1 y 2, entonces el principio de conservacion de la energia requiere que

$$\frac{wp_1}{\gamma} + wz_1 + \frac{Wv_1^2}{2g} = \frac{wp_2}{\gamma} + wz_2 + \frac{Wv_2^2}{2g}$$

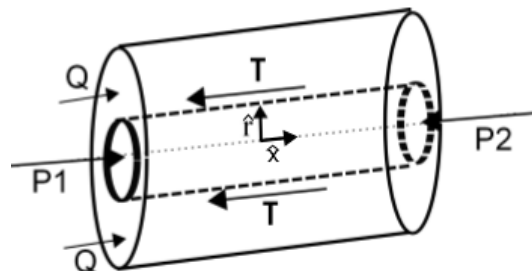
El peso del elemento q es comun a todos los terminos y se elimina al dividir entre él. Asi, la ecuacion se convierte es

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (9)$$

Conocida como ecuacion de Bernoulli.

### 2.2.5.2 Flujo de Poiseuille, fluido ley de potencia

Consideremos un tramo de tubería de radio R, por el cual escurre un fluido incompresible no newtoniano de ley de potencia en régimen de flujo laminar uniforme.



**Figura 18.** Balance de fuerzas de la tubería.

**Fuente:** Monserrat, G. "Estudio experimental de las pérdidas de carga en tuberías con flujos de mezclas sólidos líquido no-newtoniano en régimen laminar". Universidad de Chile. (2015) (p. 5)

Considerando flujo uniforme y realizando un balance de fuerzas aplicado en la tubería de la figura 15, se puede demostrar que:

$$\tau = \frac{r P}{2 x} \quad (10)$$

Entonces,

$$\tau_{\omega} = \frac{R P}{2 x} \quad (11)$$

$$\frac{\tau}{r} = \frac{\tau_{\omega}}{R} \quad (12)$$

R.

Además, el caudal que escurre en la tubería queda definido en coordenadas cilíndricas como,

$$Q = \int_0^{2\pi} \int_0^R u(r) r d\theta dr \quad (13)$$

integrando por partes se tiene,

$$Q = 2\pi \left( \frac{ur^2}{2} \Big|_0^R - \int_{u(0)}^{u(R)} \frac{r^2}{2} du \right) = \pi \int_{u(0)}^{u(R)} r^2 du \quad (14)$$

Si se considera que la velocidad se relaciona con la reología a través del esfuerzo de corte aplicado y de la tasa de deformación angular, se puede expresar, independientemente de la reología del fluido, que para un flujo de Poiseuille,

$$f(\tau) = \frac{du}{dr} \quad (15)$$

A partir de la ecuación 11 y de la ecuación 15 se tiene:

$$dr = \frac{2}{P} x d\tau; \tau_\omega = \frac{r}{2} \frac{P}{x} \quad (16)$$

$$du = f(\tau) \frac{R}{\tau_\omega} d\tau \quad (17)$$

Reemplazando las ecuaciones 12 y 17 en la ecuación 14 se tiene,

$$\frac{Q}{\pi R^3} = \frac{1}{\tau_\omega^3} \int_0^{\tau_\omega} \tau^2 f(\tau) d\tau \quad (18)$$

Es importante notar, que la ecuación anterior es válida para cualquier tipo de fluido, pues, la reología de éste está asociado a una función genérica que denominamos

ley de potencia, por lo tanto,

$$f(\tau) = K\tau^n \quad (19)$$

Reemplazando la ecuación 19 en la ecuación 18 se obtiene,

$$\frac{Q}{\pi R^3} = \frac{1}{\tau_\omega^3} \int_0^{\tau_\omega} \tau^2 \left(\frac{\tau}{K}\right)^{1/n} d\tau \quad (20)$$

Integrando en función del esfuerzo de corte entre 0 y el esfuerzo de corte en la pared,

$$\frac{Q}{\pi R^3} = \tau_\omega^{1/n} \frac{1}{K^{1/n}} \left(\frac{n}{3n+1}\right) \quad (21)$$

finalmente,

$$Q = \pi \left( \frac{P}{2Kx} \right)^{1/n} \left( \frac{n}{3n+1} \right) R^{\frac{3n+1}{n}} \quad (22)$$

Además, a partir de la ecuación 21 y considerando que  $f(\tau) = K\gamma^n$ , se obtiene una expresión para la tasa de deformación angular en la pared de la tubería de un fluido de ley de potencia.

$$\gamma_w = \frac{8V}{D} \left( \frac{3n+1}{4n} \right) \quad (23)$$

Donde  $\bar{U}$  y D corresponden a la velocidad media del flujo y diámetro de la tubería respectivamente.

### 2.2.5.3 Criterio para flujo laminar

En la circulación de fluidos incompresibles por conducciones debe tenerse presente el tipo de flujo. Bajo esta consideración, los fluidos pueden circular en régimen laminar o turbulento, dependiendo del valor del número o módulo de Reynolds (Re) (Coulson y Richardson, 1989; McCabe et al., 1985), el cual es adimensional y se define como:

$$Re = \frac{vd\rho}{\eta} \quad (24)$$

donde:

v es la velocidad media que lleva el fluido en la tubería.

d es el diámetro interno de la tubería.

Este módulo es una medida de la razón entre las fuerzas de inercia y las viscosas o de rozamiento en cada punto de un fluido en movimiento. A continuación, se dan los tipos de régimen de circulación según el valor del número de Reynolds:

$Re < 2.100$  Régimen laminar.

$2.100 < Re < 4.000$  Régimen de transición.

$4.000 < Re < 10.000$  Régimen prácticamente turbulento.

10.000 < Re Régimen turbulento

En la ecuación 24 se ha definido el módulo de Reynolds para fluidos newtonianos; sin embargo, si el fluido es no newtoniano, este módulo se define de manera diferente (Charm, 1981; Rao, 1992; Levenspiel, 1993; Singh y Heldman, 1993). Así, para plásticos de Bingham y ley de la potencia o fluidos del tipo Herschel-Bulkley se tienen las siguientes ecuaciones:

Plásticos de Bingham:

$$Re_B = \frac{vd\rho}{\eta} \quad (25)$$

Ley de la Potencia y fluidos Herschel-Bulkley: para estos fluidos se define un número de Reynolds generalizado ReG:

$$Re_G = \frac{D^n \times V^{2-n} \times \rho}{K \times 8^{n-1} \left(\frac{3 \times n - 1}{4 \times n}\right)^n} \quad (26)$$

Para fluidos newtonianos se considera que un fluido circula en régimen laminar si el valor del número de Reynolds es inferior a 2.100. Sin embargo, si los fluidos son no newtonianos el criterio a seguir es distinto. Se define el valor crítico del número o módulo de Reynolds como el valor del mismo a partir del cual el fluido deja de circular en régimen laminar.

Para fluidos de la ley de potencia el valor crítico del número de Reynolds (Steffe y Morgan, 1986) está dado por:

$$Re_C = \frac{6464 \times n}{(1 + 3 \times n)^2 \left(\frac{1}{2 + n}\right)^{\frac{2+n}{1+n}}} \quad (27)$$

Hay flujo laminar cuando Reynolds crítico debe ser mayor que el número de Reynolds generalizado ( $Re_C > Re_G$ ).

- **Velocidades recomendadas:**

Aunque los trabajos realizados en esta temática no son tan abundantes como su importancia lo requiere, existen algunos trabajos que permiten realizar cálculos de selección de tuberías para fluidos viscosos con aceptable efectividad. En la tabla 02 se aprecian velocidades recomendadas para este tipo de fluidos.

**Tabla 2.** Velocidades recomendadas para fluido no newtoniano en tuberías

Diámetro nominal (in)	Velocidades razonables (m/s)		
	$\mu=50$ cps	$\mu=100$ cps	$\mu=1\ 000$ cps
	1	0,46 – 0,9	0,30 – 0,60
2	0,76 – 1,07	0,46 – 0,76	0,15 – 0,24
4	1,03 – 1,52	0,76 – 1,06	0,24 – 0,36
8	2,00 – 2,30	1,22 – 1,52	0,40 – 0,55

**Fuente:** Armando, Diaz. “Selección del diámetro óptimo para tuberías” (1998).

Estos valores tratados mediante técnicas de regresión lineal se ajustan a la siguiente ecuación empírica:

$$V_{Re} = 0,133 \times \frac{D^{0,6}}{\mu^{0,5}} \quad (28)$$

Donde:

D: diámetro nominal, in;

$\mu$  : viscosidad, Pa·s;

$V_{Re}$ : velocidad recomendada, m/s.

#### 2.2.5.4 Pérdidas por fricción en tuberías y accesorios

Es posible caracterizar un flujo por medio del cálculo de una cantidad adimensional, el número de Reynolds, que relaciona las variables importantes para el flujo, velocidad, tamaño de la trayectoria de flujo, densidad y viscosidad del fluido.

Conforme el fluido fluye a lo largo de un tramo de tubería, manguera o tubo, su presión disminuye debido a la pérdida de energía, por la fricción que se crea en la interacción del fluido con la pared estacionaria y la turbulencia interna.

En la ecuación general de la energía

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - f = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (29)$$

Al término  $f$  se le definió como la pérdida de energía en el sistema. Una componente de la pérdida de energía es la fricción en el fluido que circula. Para el caso del flujo en tuberías y tubos, la fricción es proporcional a la carga de velocidad del flujo y a la relación de la longitud al diámetro de la corriente. Esto se expresa en forma matemática como la ecuación de Darcy:

$$f = f_F \frac{L \times V^2}{D \times 2 \times g} \quad (30)$$

Donde:

$f_F$  : es el factor de fricción

L: es la longitud de tubería (m)

V: es la velocidad del flujo (m/s)

D: es el diámetro interno de la tubería (m)

g: es la aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

La ecuación de Darcy se utiliza para calcular la pérdida de energía debido a la fricción en secciones rectilíneas y largas de tubos redondos, tanto para flujo laminar como turbulento. La diferencia entre los dos flujos está en la evaluación del factor de fricción adimensional  $f$ , como se explica en las dos secciones siguientes.

Cuando existe flujo laminar el fluido parece moverse como si fueran varias capas, una sobre la otra. Debido a la viscosidad del fluido, se crea un esfuerzo cortante entre sus capas. Se pierde energía del fluido por la acción de las fuerzas de fricción que hay que vencer, y que son producidas por el esfuerzo cortante. Debido a que el flujo laminar es tan regular y ordenado, es posible obtener una relación entre la pérdida de energía y

los parámetros mensurables del sistema de flujo. Dicha relación se conoce como ecuación de Hagen-Poiseuille:

$$f = \frac{32\eta Lv}{\gamma D^2} \quad (31)$$

Los parámetros que involucra son las propiedades del fluido en cuanto a viscosidad y peso específico, las características geométricas de longitud y diámetro de la tubería, y la dinámica del flujo caracterizada por la velocidad promedio. La ecuación de Hagen- Poiseuille ha sido verificada muchas veces en forma experimental. A partir de la ecuación (31) usted debe observar que la pérdida de energía en el flujo laminar es independiente de las condiciones de la superficie de la tubería. Son las pérdidas por fricción viscosa en el interior del fluido las que gobiernan la magnitud de la pérdida de energía.

La ecuación de Hagen-Poiseuille es válida sólo para el flujo laminar ( $NR < 2000$ ). Sin embargo, se dijo con anterioridad que también podía usarse la ecuación de Darcy (ecuación 30) para calcular la pérdida por fricción para el flujo laminar. Si igualamos las dos relaciones para  $f$ , podemos despejar el factor de fricción:

$$f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} = \frac{32\eta Lv}{\gamma D^2}$$

$$f = \frac{32\eta Lv}{\gamma D^2} \times \frac{D2g}{Lv^2} = \frac{64\eta g}{vD\gamma}$$

Como  $\rho = \gamma/g$ , obtenemos

$$f = \frac{64\eta}{vD\rho}$$

Al numero de Reynolds se le define como  $Re = \frac{vD\rho}{\eta}$ , por tanto tenemos:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (32)$$

### 2.2.6 Sistema de convección natural

El movimiento del fluido en la convección natural, ya sea un gas o un líquido, resulta de las fuerzas de flotabilidad impuestas sobre el fluido cuando su densidad en la

proximidad de la superficie de transferencia de calor disminuye como consecuencia del proceso de calentamiento. Las fuerzas de flotabilidad no estarían presentes si sobre el fluido no actuase un campo de fuerzas exterior como la gravedad, aunque la gravedad no es el único tipo de campo de fuerzas que puede producir las corrientes de convección natural; sobre un fluido encerrado en una máquina rotatoria actúa el campo de fuerzas centrífugas y, por tanto, podría tener corrientes de convección natural si se calentasen una o más de las superficies en contacto con el fluido. Las fuerzas de flotabilidad que originan las corrientes de convección natural son fuerzas de volumen.

### 2.2.6.1 Relaciones empíricas para convección natural

A través de los años se ha encontrado que los coeficientes medios de transferencia de calor por convección natural pueden representarse, para diversas situaciones, en la forma funcional siguiente:

$$Nu_f = C (Gr_f Pr_f)^m \quad (33)$$

Donde el subíndice f indica que las propiedades en los grupos adimensionales se evalúan a la temperatura de película

$$T_f = \frac{T_\infty + T_p}{2} \quad (34)$$

El producto del número de Grashof por el número de Prandtl se denomina número de Rayleigh:

$$Ra = Gr Pr \quad (35)$$

El coeficiente de dilatación volumétrica  $\beta$  puede determinarse de las tablas de propiedades del fluido concreto. Para gases ideales se puede calcular a partir de

$$\beta = \frac{1}{T} \quad (36)$$

donde T es la temperatura absoluta del gas.

- Dimensiones características

La dimensión característica que se utiliza en los números de Nusselt y Grashof depende de la geometría del problema. Para una placa vertical es la altura de la placa L; para un cilindro horizontal es el diámetro d, etc. En numerosas referencias aparecen

datos experimentales para problemas de convección natural con algunos resultados contradictorios. El fin de los apartados que siguen es proporcionar estos resultados de forma resumida para que puedan ser fácilmente utilizados en los cálculos. Para muchas de esas representaciones se utiliza la forma funcional de la Ec. 33, con los valores de las constantes C y m especificadas para cada caso. La figura 19 proporciona un resumen de los valores de estas constantes de la correlación para diferentes geometrías, y en las secciones que vienen a continuación, se discuten las correlaciones con más detalle.

### 2.2.6.2 Convección natural de planos y cilindros verticales

· Superficies isotermas:

Los números de Nusselt y Grashof en paredes verticales, se forman con la altura de la superficie L como longitud característica. La transferencia de calor en cilindros verticales puede calcularse con las mismas relaciones de las placas verticales si el espesor de la capa límite no es grande comparado con el diámetro del cilindro. El criterio general es que un cilindro vertical puede tratarse como una placa plana vertical cuando

$$\frac{D}{L} > \frac{35}{Gr_L^{1/4}} \quad (37)$$

Donde D es el diámetro del cilindro. Los valores de las constantes para superficies isotermas, con las referencias apropiadas para una consulta más amplia, se dan en la figura 19.

Churchill y Chu han dado relaciones más complicadas, que son aplicables en un intervalo más amplio del número de Rayleigh:

$$Nu = 0,68 + \frac{0,670 Ra^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{4/9}} \quad \text{Para } Ra, < 10^{12} \quad (38)$$

$$Nu^{1/2} = 0,825 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \quad \text{Para } 10^1 < 10^{12} \quad (39)$$

**TABLA 7.1**  
Constantes para utilizarlas con la Ec. (7.25) para superficies isotermas.

Geometría	$Gr, Pr_f$	C	m	Ref(s)
Planos y cilindros verticales	$10^{-1}-10^6$	Usar Fig. 7.7	Usar Fig. 7.7	4
	$10^6-10^9$	0,59	$\frac{1}{4}$	4
	$10^6-10^{13}$	0,021	$\frac{1}{4}$	30
	$10^6-10^{13}$	0,10	$\frac{1}{4}$	22, 16†
Cilindros horizontales	$0-10^{-3}$	0,4	0	4
	$10^{-3}-10^4$	Usar Fig. 7.8	Usar Fig. 7.8	4
	$10^4-10^9$	0,53	$\frac{1}{4}$	4
	$10^4-10^{12}$	0,13	$\frac{1}{4}$	4
	$10^{-10}-10^{-2}$	0,675	0,058	76†
	$10^{-2}-10^2$	1,02	0,148	76†
	$10^2-10^4$	0,850	0,188	76
	$10^4-10^7$	0,480	$\frac{1}{4}$	76
$10^7-10^{12}$	0,125	$\frac{1}{4}$	76	
Superficie superior de placas calientes o superficie inferior de placas frías	$2 \times 10^4-8 \times 10^6$	0,54	$\frac{1}{4}$	44, 52
Superficie superior de placas calientes o superficie inferior de placas frías	$8 \times 10^6-10^{11}$	0,15	$\frac{1}{4}$	44, 52
Superficie inferior de placas calientes o superficie superior de placas frías	$10^6-10^{11}$	0,27	$\frac{1}{4}$	44, 37, 75
Cilindro vertical, altura = diámetro. Longitud característica = diámetro	$10^4-10^6$	0,775	0,21	77
Sólidos irregulares, longitud característica = distancia que una partícula fluida recorre en la capa límite	$10^4-10^9$	0,52	$\frac{1}{4}$	78

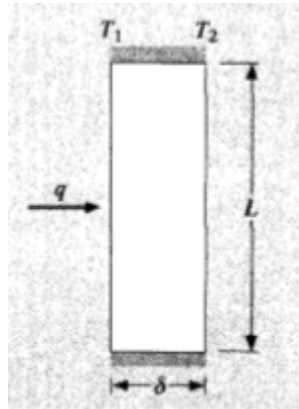
**Figura 19.** Constantes para usarlas con la ecuación 34 para superficies isotermas.  
Fuente: Holmas, J. "Transferencia de calor". (8va edición) (p. 236)

La Ec. (38) es también, una representación satisfactoria para flujo de calor constante. Las propiedades para estas ecuaciones se evalúan a la temperatura de película.

### 2.2.6.3 Convección natural en espacios cerrados

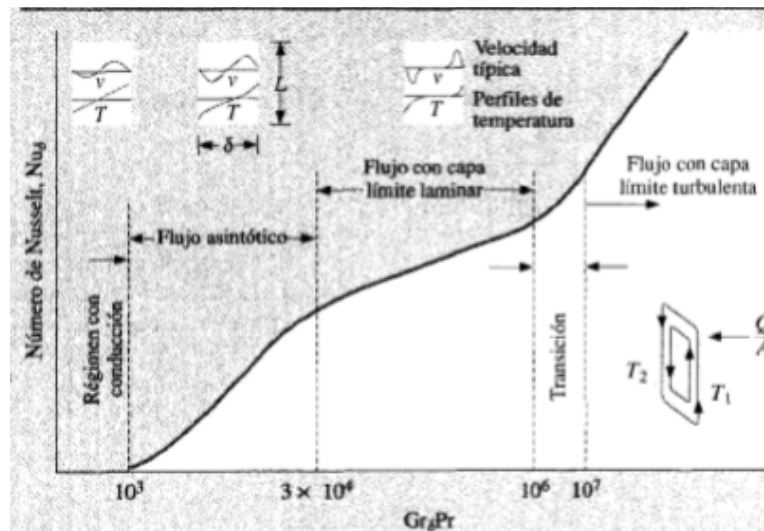
Los fenómenos de corrientes de convección natural en el interior de un espacio cerrado son ejemplos interesantes de sistemas fluidos muy complejos que pueden dar lugar a soluciones analíticas, empíricas y numéricas. Considérese el sistema mostrado en la Figura 20, donde un fluido está encerrado entre dos placas verticales separadas una distancia  $\delta$ . Según MacGregor y Emery, al imponer en el fluido una diferencia de temperatura  $T_p = T_1 - T_2$ , se originará una transferencia de calor con las corrientes, mostradas de forma aproximada en la Figura 21. En esa figura, el número de Grashof se ha calculado según

$$Gr_{\delta} = \frac{g\beta(T_1 - T_2)\delta^3}{\nu^2} \quad (40)$$



**Figura 20.** Nomenclatura para convección natural en recintos verticales.

**Fuente:** Holmas, J. "Transferencia de calor". (8va edición) (p. 246)



**Figura 21.** Diagrama esquemático y regímenes de flujo de la capa de convección vertical.

**Fuente:** Holmas, J. "Transferencia de calor". (8va edición) (p. 246)

Para números de Grashof muy bajos, existen pequeñas corrientes de convección natural y la transferencia de calor tiene lugar principalmente por conducción a través de la capa límite. Según crece el número de Grashof, se van encontrando diferentes regímenes de flujo, como se indica, con un incremento progresivo de la transferencia de calor, como se expresa por medio del número de Nusselt.

$$Nu_{\delta} = \frac{\delta}{k} \quad (41)$$

Siendo h el coeficiente de transferencia de calor, k

La convección natural en recintos inclinados ha sido analizada por Dropkin y Somerscales, Evans y Stefany han mostrado que el calentamiento o enfriamiento por convección natural en régimen transitorio en recintos cilíndricos cerrados, verticales u horizontales, puede calcularse con

$$Nu_f = 0,55(Gr_f Pr_f)^{1/4}$$

para el intervalo  $0,75 < L/d < 2$ . El número de Grashof se forma con la longitud del cilindro L.

#### 2.2.6.4 Ley de enfriamiento de Newton

La ley del enfriamiento de Newton o enfriamiento newtoniano establece que la tasa de pérdida de calor de un cuerpo es proporcional a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y sus alrededores. Fue determinado experimentalmente por Isaac Newton analizando el proceso de enfriamiento y para él la velocidad de enfriamiento de un cuerpo cálido en un ambiente más frío  $T_{\infty}$ , cuya temperatura es T, es proporcional a la diferencia entre la temperatura instantánea del cuerpo y la del ambiente. Cuando la diferencia de temperaturas entre un cuerpo y su medio ambiente no es demasiado grande, el calor transferido en la unidad de tiempo hacia el cuerpo o desde el cuerpo por conducción, convección y radiación es aproximadamente proporcional a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y el medio externo.

Entonces se tiene que:

$$\frac{dQ}{dt} = A(T - T_{\infty}) \quad (42)$$

Utilizando el método de separación de variables y si la temperatura del cuerpo es mayor que la ambiental, entonces deberá experimentar una pérdida de calor, la cual será proporcional a la diferencia de temperaturas, podemos expresar esto en forma diferencial como:

$$dQ = mc_e dt \quad (43)$$

Donde m es la masa del cuerpo y  $C_e$  su calor específico, el signo menos indica una pérdida calorífica. Podemos combinar las ecuaciones 41 y 42 en una forma simplificada:

$$\frac{mc_e dT}{dt} = -A(T - T_\infty)$$

$$\text{sea } k = \frac{A}{mc_e} \quad (44)$$

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_\infty)$$

Donde k es una constante de proporcionalidad conocida como parámetro de enfriamiento y  $T_\infty$  es la temperatura ambiente, que se supone siempre constante. Resolviendo esta ecuación diferencial para un cuerpo que se enfría desde una temperatura  $T_0$  hasta una temperatura T, obtenemos la temperatura del cuerpo en función del tiempo:

$$\int_{T_0}^T \frac{dT}{(T - T_\infty)} = -k \int_0^t dt$$

$$\ln(T - T_\infty) = -kt + \ln(T_0 - T_\infty)$$

$$T = T_\infty + (T_0 - T_\infty)e^{-kt} \quad (45)$$

### 2.2.7 Clasificación de los aceros

A principios del siglo XX algunos metalurgistas descubrieron que adicionando poco más de 10% de cromo al acero, éste no presentaba herrumbre bajo condiciones normales; la razón de ello es que el cromo suele unirse primeramente con el oxígeno del aire para formar una delgada película transparente de óxido de cromo sobre la superficie del acero y excluye la oxidación adicional del acero inoxidable. Esta película se llama capa pasiva. En el caso de que ocurra daño mecánico o químico, esta película es auto-reparable en presencia de oxígeno.

El acero inoxidable es esencialmente un acero de bajo carbono, el cual contiene como mínimo un aproximado 10.5% de cromo en peso, lo que le hace un material resistente a la corrosión.

- **Proceso de fabricación:**

Inicia con la fusión de hierro, chatarra y ferro-aleaciones de acuerdo al grado de acero inoxidable a preparar; continúa con la refinación del acero para eliminar impurezas y reducir el contenido de carbono; posteriormente el acero líquido se cuela en continuo, se corta en planchones y se forman los rollos rolados en caliente. El proceso termina con el molino de laminación en frío, recocido y limpieza.

El acero inoxidable puede ser clasificado en cinco familias diferentes; cuatro de ellas corresponden a las particulares estructuras cristalinas formadas en la aleación: austenita, ferrita, martensita y dúplex (austenita mas ferrita); mientras que la quinta son las aleaciones endurecidas por precipitación, que están basadas más en el tipo de tratamiento térmico usado que en la estructura cristalina.

- **Aceros inoxidables martensíticos:**

Son la primera rama de los aceros inoxidables simplemente al cromo. Representan una porción de la serie 400, sus características son:

Moderada resistencia a la corrosión

Endurecibles por tratamiento térmico y por lo tanto se pueden desarrollar altos niveles de resistencia mecánica y dureza

Son magnéticos

Debido al alto contenido de carbono y a la naturaleza de su dureza, es de pobre soldabilidad

Los Martensíticos son esencialmente aleaciones de cromo y carbono. El contenido de cromo es generalmente de 10.5 a 18% y el de carbono es alto, alcanzando valores de hasta 1.2%.

- **Aceros inoxidables ferríticos:**

Estos aceros inoxidables de la serie 400 AISI (American Iron & Steel Institute) mantienen una estructura ferrítica estable desde la temperatura ambiente hasta el punto de fusión, sus características son:

Resistencia a la corrosión de moderada a buena, la cual se incrementa con el contenido de cromo y algunas aleaciones de molibdeno

Endurecidos moderadamente por trabajo en frío: no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico

Son magnéticos

Su soldabilidad es pobre por lo que generalmente se eliminan las uniones por soldadura a calibres delgados

Usualmente se les aplica un tratamiento de recocido con lo que obtienen mayor suavidad, ductilidad y resistencia a la corrosión

Debido a su pobre dureza, el uso se limita generalmente a procesos de formado en frío

Los Ferríticos son esencialmente aleaciones con cromo. El contenido de cromo es usualmente de 10.5 a 30%, pero contenidos limitados de carbono del orden de 0.08%. Algunos grados pueden contener molibdeno, silicio, aluminio, titanio y niobio que promueven diferentes características.

· **Aceros inoxidables austeníticos:**

Los aceros inoxidables austeníticos constituyen la familia con el mayor número de aleaciones disponibles, integra las series 200 y 300 AISI. Su popularidad se debe a su excelente formabilidad y superior resistencia a la corrosión. Sus características son las siguientes:

Excelente resistencia a la corrosión

Endurecidos por trabajo en frío y no por tratamiento térmico

Excelente soldabilidad

Excelente factor de higiene y limpieza

Formado sencillo y de fácil transformación

Tienen la habilidad de ser funcionales en temperaturas extremas

Son no magnéticos

Los Austeníticos se obtienen adicionando elementos formadores de austenita, tales como níquel, manganeso y nitrógeno. El contenido de cromo generalmente varía del 16 al 26% y su contenido de carbono es del rango de 0.03 al 0.08%.

El cromo proporciona una resistencia a la oxidación en temperaturas aproximadas de 650° C en una variedad de ambientes.

Esta familia se divide en dos categorías:

SERIE 300 AISI.- Aleaciones cromo-níquel

SERIE 200 AISI.- Aleaciones cromo-manganeso-nitrógeno

SERIE 300 AISI. Es la más extensa, mantiene alto contenido de níquel y hasta 2% de manganeso. También puede contener molibdeno, cobre, silicio, aluminio, titanio y niobio, elementos que son adicionados para conferir ciertas características. En ciertos tipos se usa azufre o selenio para mejorar su habilidad de ser maquinados.

SERIE 200 AISI. Contiene menor cantidad de níquel. El contenido de manganeso es de 5 a 20%. La adición de nitrógeno incrementa la resistencia mecánica.

### **2.2.7.1 Características y aplicaciones más comunes**

#### **Martensíticos**

**403.-** Es primariamente empleado en partes críticas de maquinaria sometida a altos - esfuerzos y donde se requiere, además buena resistencia al calor, corrosión, desgaste abrasivo o erosión.

**410.-** Es de propósito general y el tipo más usado de la familia martensítica debido a sus atractivas características y su bajo costo. Se emplea en tuercas, tornillos, cubiertos, herramientas de cocina, partes de horno a bajas temperaturas, equipo para refinación de petróleo, vajillas, partes para turbinas a gas o vapor, etc. Tiene un coeficiente de expansión poco menor que el del acero al carbono, mientras que la conductividad térmica es casi la mitad correspondiente al valor para el acero al carbono. Puede desarrollar una excelente combinación de resistencia mecánica y dureza mediante adecuado tratamiento térmico. En la condición de recocido, es dúctil y es una buena

opción para formado y otras operaciones de transformación donde el uso final está destinado a ambientes moderadamente corrosivos.

**416.-** Otra versión del tipo 410, donde el azufre o el selenio son adicionados para producir las mejores características de maquinabilidad de la clase martensítica, tiene menor desempeño en ductilidad y formabilidad que el 410. Se utiliza en conectores, cerraduras, cabezas de palos de golf, partes de bombas, flechas, partes para válvulas, etc.

**420.-** Es una modificación del 410, con alto contenido de carbono, que le permite alcanzar mayor dureza y mayor resistencia al desgaste, aunque menor resistencia a la corrosión. Se utiliza para instrumentos dentales y quirúrgicos, hojas de cuchillos, moldes, herramientas, etc.

**422.-** Diseñado para el servicio a temperaturas de hasta 650° C, combinando resistencia mecánica. Presenta maquinabilidad de mediana a baja.

**431.-** Diseñado para obtener altas propiedades mecánicas mediante tratamiento térmico junto con buena resistencia al impacto. Empleado para fabricar conectores, cerraduras, partes para transportadores, equipo marino, flechas de propelas, flechas de bombas, resoles, etc.

**440.-** Utilizados en donde se requiere una alta y extremada dureza, resistencia a la abrasión y buena resistencia a la corrosión. De baja maquinabilidad. Sus principales aplicaciones son: cuchillería, partes resistentes al secado, equipo quirúrgico, inyectores, etc.

### **Ferríticos**

**405.-** Conocido como un grado soldable del tipo 410 se utiliza en partes resistentes al calor, equipo para refinación de calor, racks para templado de acero. La información aquí plasmada se proporciona al destinatario con fines exclusivamente informativos, el presente documento no implicará responsabilidad u obligación alguna por parte del publicador

**409.-** Es un acero estructural de uso general, es utilizado en aplicaciones que no requieren alta calidad de apariencia. Se usa para fabricar silenciadores y convertidores

catalíticos para automóviles, cajas de trailer, tanques de fertilizantes, contenedores.

**430.-** Es el más popular de los aceros inoxidable simplemente al cromo. Es un acero de propósito general, es dúctil y tiene buenas características de formabilidad, tiene buena resistencia a la corrosión. Es ideal para muebles y decoración interior. Se utiliza para adornos y molduras automotrices, materiales de construcción, equipo químico de proceso, cremalleras, partes para quemadores, adornos interiores arquitectónicos y paneles, adornos y equipos de cocina, equipo para proceso de ácido nítrico, aparatos científicos, etc.

**434.-** Es una variación del tipo 430 que contiene molibdeno y niobio que incrementan la resistencia a la corrosión, es particularmente ventajosa para usos automotrices exteriores.

**446.-** Contiene el máximo contenido de cromo de toda la familia ferrítica, por lo que tiene la mayor resistencia a la corrosión de su clase, se recomienda para uso en atmósferas de comportamiento azufroso a altas temperaturas (1000° C). No debe ser utilizado en aplicaciones en donde se requiera alta resistencia mecánica. Se utiliza para la fabricación de bases para tubos de rayos X, partes de quemadores, tubos para pirómetros, válvulas y conectores, etc.

### **Austeníticos**

**301.-** Menor resistencia a la corrosión que otros aceros de la serie 300. Puede ser fácilmente formado y ofrece buenas propiedades de soldabilidad. Utilizado en partes de aviones, adornos arquitectónicos, cajas de ferrocarril y de trailer, cubiertas de rines, equipos para procesamiento de alimentos.

**303.-** Especial para propósitos de maquinado, buena resistencia a la oxidación en ambientes de hasta 900° C. Se emplea para cortes pesados. Se usa para la fabricación de partes para bombas, bushings, partes maquinadas y flechas.

**304.-** Todo propósito, tiene propiedades adecuadas para gran cantidad de aplicaciones. Se recomienda para construcciones ligeras soldadas que requieran buena resistencia a la corrosión. Tiene buen desempeño en temperaturas elevadas (800 a 900° C) y buenas propiedades mecánicas. Es recomendable cuando se requiera soldar altos espesores de

material. Algunas aplicaciones son equipo químico de proceso, accesorios para aviones, remaches, industria alimentaria, equipo para hospitales, etc.

**309.-** Poseen alta resistencia mecánica, tenacidad y excelente resistencia a la oxidación en temperaturas de hasta 1000° C. Calentadores de aire, equipo químico de proceso, partes de quemadores de turbinas de gas e intercambiadores de calor son algunas de las aplicaciones más comunes fabricadas con este tipo de acero. **310.-** Es frecuentemente usado en servicios de alta temperatura. Se utiliza para - fabricar calentadores de aire, equipo para tratamiento térmico de aceros, equipo químico de procesos, etc. La información aquí plasmada se proporciona al destinatario con fines exclusivamente informativos, el presente documento no implicará responsabilidad u obligación alguna por parte del publicador

**316.-** Resistente a la corrosión frente a diversos químicos agresivos, ácidos y atmósfera salina. Se utiliza para adornos arquitectónicos, equipo para el procesamiento de alimentos, farmacéutico, fotográfico, textil, etc.

**321.-** Es similar al 304, pero contiene una adición de titanio equivalente a cinco veces el contenido de carbono. Las principales aplicaciones de este acero son recipientes a presión y almacenamiento, partes de motores de jet, equipo químico de proceso, etc.

### **2.2.8 Automatización Industrial**

La automatización industrial (automatización: del griego antiguo auto, ‘guiado por uno mismo’) es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para fines industriales. Como una disciplina de la ingeniería más amplia que un sistema de control, abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores, los transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales.

Existe un concepto fundamental y muy actual en torno a la automatización industrial y es el de DCS (sistemas de control distribuido). Un sistema de control distribuido está formado por varios niveles de automatización que van desde un mínimo de 3 hasta 5. Los mismos se denominan: nivel de campo (donde se encuentran los sensores y

actuadores), nivel de control (donde se encuentran los PLCs o las Estaciones de Automatización), nivel de supervisión (donde se encuentran las Estaciones de Operación y los Servidores de Proceso), nivel MES (donde se encuentran PCs con softwares especializados para la distribución de toda la información de planta así como la generación de reportes) y el nivel ERP (donde se encuentran igualmente PCs con softwares especializados para la planificación y administración de la producción de toda la industria o empresa).

Se utilizan computadoras especializadas y tarjetas de entradas y salidas tanto analógicas como digitales para leer entradas de campo a través de sensores y para generar, a través de su programa, salidas hacia el campo a través de actuadores. Esto conduce para controlar acciones precisas que permitan un control estrecho de cualquier proceso industrial. (Se temía que estos dispositivos fueran vulnerables al error del año 2000, con consecuencias catastróficas, ya que son tan comunes dentro del mundo de la industria).

#### **2.2.8.1 Estructura de un sistema automatizado**

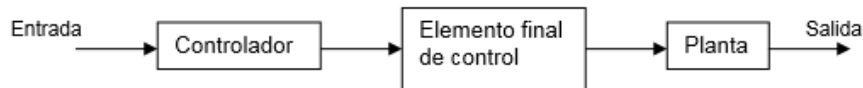
Se encuentra compuesto por diferentes elementos que interactúan de forma lógica, para cumplir con una función específica; estos son clasificados como: Planta, elemento primario de control, elemento final de control y controlador.

- **Planta:** Sistema físico (mecánico, eléctrico, neumático, etc) al cual se le controlan, una o más variables pertenecientes a un proceso.
- **Elemento primario de control:** Capta el valor de la variable de salida proveniente de la planta y la convierte en otra variable manejable generalmente electrónica; físicamente a este dispositivo se le conoce como sensor.
- **Elemento final de control:** Es un dispositivo de potencia, que suministra la entrada a la planta en relación con la señal de control proporcionada por el controlador, actúa directamente sobre la variable a controlar dentro de un proceso. Físicamente se encuentra como un motor, válvula neumática, cilindro neumático, entre otros.

- **Controlador:** Es el encargado de enviar diferentes instrucciones de forma de señal electrónica, neumática, hidráulica, al elemento final de control, dependiendo del tipo de entrada que se le suministre, para que ejecute una acción correctiva o acción secuencial.

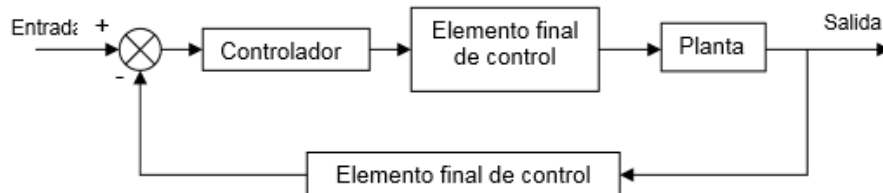
Físicamente se implementa a través de un computador, PLC, microcontrolador o cualquier dispositivo que tenga la capacidad de manipular una variable para mantenerla en un valor deseado, respecto a la entrada dada por un usuario, suministrando una señal al elemento final de control.

Las diferentes configuraciones en las que se pueden encontrar, dependen del tipo de relación existente entre la entrada y salida de un sistema. Cuando la salida no se compara con la entrada, la configuración es de lazo abierto (figura 22); por otro lado, si se compara la salida con la entrada la configuración es de lazo cerrado (figura 23).



**Figura 22.** Controlador en configuración lazo abierto.

**Fuente:** Tapias, J. “Diseño y simulación de una máquina llenadora formadora de quesadillas” Universidad San Buenaventura, Colombia. (2005) (p. 60)



**Figura 23.** Controlador en configuración lazo cerrado.

**Fuente:** Tapias, J. “Diseño y simulación de una máquina llenadora formadora de quesadillas” Universidad San Buenaventura, Colombia. ( 2005) (p. 61)

Las configuraciones con lazo cerrado, permiten controlar el sistema con la comparación de la señal de entrada con la señal de salida, esto con el fin de mantener la salida lo más próxima a un valor deseado de la entrada.

### 2.2.8.2 PLC

Un controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller), se trata de una computadora, utilizada en la ingeniería automática o automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos, tales como el control de la maquinaria de la fábrica en líneas de montaje o atracciones mecánicas. Sin embargo, la definición más precisa de estos dispositivos es la dada por la NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) que dice que un PLC es:

“Instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos”.

#### · **Elementos principales para programar un PLC:**

Las entradas y las salidas pueden ser tanto analógicos como digitales. Los elementos importantes en un programa PLC (en este utilizaremos como base el siemens) al igual que un alambrado lógico con elementos eléctricos como relevadores son:

1. Contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados.
  2. Bobinas.
  3. Temporizadores (Timers).
  4. Contadores.
- Contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados: Cuando el contacto es normalmente abierto significa que en estado de reposo ese contacto se encuentra abierto, lo que significa que entre los dos puntos del contacto no hay continuidad.
  - Bobinas: Las bobinas no son más que un arrollamiento de alambres los cuales al aplicarles un voltaje estas crearán un fuerte campo magnético. Por lo tanto, las bobinas que actúan en los programas de PLC representan los electroimanes de los

relevadores eléctricos. Las bobinas se consideran como elementos internos del PLC pero estas también representan salidas.

- Temporizadores: El temporizador es un elemento que permite hacer activaciones retardadas o con duración preestablecida, con un control preciso del tiempo de activación. El esquema básico de un temporizador varía de un autómatas a otro, pero podemos encontrar una serie de señales fundamentales, aunque, eso sí, con nomenclaturas distintas. Podemos observar, en la figura de la derecha, el esquema de un temporizador, Tii, con dos entradas (E y C a la izquierda) y dos salidas (D y R a la derecha) con las siguientes características:

Entrada Enable (E): Es la que activa el proceso de conteo de tiempo. Responde tanto a flanco como a nivel lógico (sólo se mantiene contando mientras E es un "1" lógico, y al detectar flanco de bajada resetea el contador).

Entrada Count (C): Indica el valor de temporización Tiene que estar activa (a 1 lógico) en todo momento durante el intervalo de tiempo, ya que si se desactiva (puesta a cero lógico) se interrumpe el conteo (puesta a cero temporal).

Salida Delayed/TON (D): Salida a "0" por defecto. Se pone a uno cuando el contador lleva activado (enabled) un valor de tiempo equivalente al valor de temporización o retardo (C), y se mantiene encendido mientras la entrada E esté a "1".

Salida TOFF (R): Salida a "0" por defecto. Se pone a "1" cuando se detecta un flanco de bajada en la entrada Enable, y se mantiene a "1" durante el tiempo especificado por C.

En la mayor parte de implementaciones de Lenguaje Ladder, los contadores On-delay y Off-delay son entidades independientes, por lo que se tendría sólo una salida TON o una TOF, según el caso. El valor de conteo suele especificarse por

programa (valor preset) y no por entradas, por lo que el temporizador es finalmente un elemento con una única entrada (Enable) y una única salida (TON/TOF)

- **Contadores:** El contador es un elemento capaz de llevar el cómputo de las activaciones de sus entradas, por lo que resulta adecuado para memorizar sucesos que no tengan que ver con el tiempo pero que se necesiten realizar un determinado número de veces.

### 2.3 Definición de términos básicos

- **Cristalización:** La cristalización es un proceso químico por el cual, a partir de un gas, un líquido o una disolución, los iones, átomos o moléculas establecen enlaces hasta formar una red cristalina, la unidad básica de un cristal.
- **Convección:** La convección es una de las tres formas de transferencia de calor (conducción, convección y radiación) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. La convección se produce únicamente por medio de materiales, la evaporación del agua o fluidos. La convección en sí es el transporte de calor por medio del movimiento del fluido.
- **Dosificadora:** Aparato o mecanismo que sirve para suministrar cantidades determinadas de un producto o sustancia.
- **Émbolo:** Pieza móvil que se encuentra dentro del cuerpo de una bomba y que al moverse alternativamente cambia la presión de un fluido, generalmente con el objetivo de desplazarlo.
- **Esfuerzo cortante:** El esfuerzo cortante, de corte, de cizalla o de cortadura es el esfuerzo interno o resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico como por ejemplo una viga o un pilar. Se designa variadamente como T, V o Q.
- **Incompresible:** Que no puede ser comprimido.
- **Isotérmico:** Que conserva temperatura constante

- **Marmita:** Una marmita es un recipiente de la familia de las ollas que dispone de una tapa para aprovechar el vapor, y una o dos asas. Cuenta con una chaqueta interior para que se origine la transferencia de calor.
- **Pectina:** Sustancia neutra que se encuentra en muchos tejidos vegetales y que se emplea en alimentación para dar consistencia a la mermelada y a la gelatina.
- **Presión:** Fuerza que ejerce un gas, un líquido o un sólido sobre una superficie.
- **Válvulas:** Dispositivo mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos
- **Velocidad de deformación:** La velocidad de deformación es una magnitud que mide el cambio de deformación respecto al tiempo. Para problemas uniaxiales es simplemente la derivada temporal de la deformación longitudinal, mientras que para problemas o situaciones tridimensionales se representa por un tensor de segundo rango.
- **Viscosidad:** La viscosidad se manifiesta en líquidos y gases en movimiento. Se ha definido la viscosidad como la relación existente entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad. Esta viscosidad recibe el nombre de viscosidad absoluta o

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

En esta sección del Proyecto de Grado se describen los métodos, técnicas y procedimientos que se utilizarán para alcanzar el objetivo general que se planteó al inicio de la investigación, el cual es, diseñar una máquina llenadora para fluidos viscosos, y que a través de esto se pretende enmarcar la modalidad de investigación que rige las acciones para obtener los resultados de acuerdo a los objetivos planteados. Cabe citar a Sabino (2002), quien señala que el marco metodológico:

Según Balestrini, M. (2002), “el marco metodológico define el diseño de la investigación, establece la población y muestra bajo estudio, determina métodos y técnicas de recolección de datos y establece los pasos para el desarrollo de la investigación” (p. 5).

#### **3.1 Tipo de investigación.**

Este proyecto se desarrollará como un proyecto factible, dado que es un modelo viable para solventar problemas y requerimientos de la empresa Alimentos Bonanza Comercial C.A., de allí, que la delimitación del planteamiento final sea única y exclusivamente dirigida al llenado de productos viscosos. “Se trata de una propuesta de acción para resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha propuesta se acompañe de una investigación, que demuestre su factibilidad o posibilidad de realización” (Arias, 2016, p134).

Esta investigación plantea la problemática de un sistema que resulta deficiente e inconveniente que puede llegar a tener un camino mejorable, transformado mediante un cierto diseño tecnológico de operación sencilla

#### **3.2 Diseño de investigación.**

Según Arias, F. (2006), define el diseño de la investigación como “la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado.” (p.26), lo que da fundamento al objetivo de la investigación.

En concordancia con los objetivos propuestos, los datos necesarios para esta evaluación, serán recolectados de forma directa en base a las impresiones de los directivos y fundadores de la empresa, por lo que enmarca un diseño de campo.

El diseño de campo, para Arias F., (2006) este consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad en que ocurren los hechos (datos primarios). Claro está, en una investigación de campo también se emplean datos secundarios, sobre todo los provenientes de fuentes bibliográficas, a partir de los cuales se elabora el marco teórico.

Según el Manual de trabajos de grado, de especialización, maestría y tesis doctorales de la UPEL (2006), la investigación documental es:

el estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente, en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos. La originalidad del estudio se refleja en el enfoque, criterios, conceptualizaciones, reflexiones, conclusiones, recomendaciones y, en general, en el pensamiento del autor. (p.6)

Este proyecto está comprendido como una investigación de campo y documental, porque los datos se recogerán en el sitio donde ocurre la problemática en estudio y a su vez se ejecuta un proceso riguroso y sistemático de recolección, tratamiento y análisis de datos obtenidos de fuentes documentales de diferentes autores.

### **3.3 Nivel de investigación**

El nivel de investigación se refiere a la profundidad con la que se aborda el estudio, el cual se clasifica como descriptiva; según Sierra (2004), la investigación descriptiva es: “la base o punto inicial del proceso investigativo que está dirigido a la improvisación de acuerdo al caso”.

### **3.4 Población y muestra**

#### **3.4.1 Población**

Según Arias (2016):

“La población o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los

cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos de estudios”. (p.81)

Tomando en cuenta lo antes mencionado se logra puntualizar que son elementos seleccionados con características comunes para lograr llevar a cabo la investigación que en este caso es la empresa **ALIMENTOS BONANZA COMERCIAL C.A.**

### **3.4.2 Muestra**

“La muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” (Arias, 2016, p.83)

Tomando esto como referencia tenemos que la muestra coincide con la población.

## **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **3.5.1. Técnicas de Recolección de Datos**

Las técnicas de recolección de datos proporcionan al investigador la información necesaria, oportuna y verdadera sobre el problema planteado. A través de la recolección, no sólo se observa la realidad, sino que se fijan los lineamientos con los cuales se puede dar soluciones a los objetivos de la investigación.

En consideración a este punto, Arias (2006), plantea que “Las técnicas de recolección de datos son las distintas formas de obtener información.”, (p.53). Las técnicas de recolección de datos que se utilizarán en la presente investigación serán la observación directa, la revisión documental y entrevista no estructurada:

- **Observación directa.**

Según Tamayo y Tamayo, M. (2004), la observación directa puede describirse como “Aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación” (p.18). Esta técnica es muy útil para el investigador ya que, con ella, identifica y analiza la ejecución de un proceso en específico, permite establecer que se está haciendo, como se está ejecutando, quien lo realiza, en qué momento y cuánto tiempo se toma, donde se hace y porque se realiza.

La observación tiende a obtener mayor sentido al nivel técnico del procesamiento de datos, donde las tareas se cuantifican y describen más fácilmente. Los requisitos que

se deben cumplir al realizar la observación son los siguientes:

Tener propósitos claros y bien definidos.

Preciar el tiempo necesario de la observación.

Controlar los resultados sistemáticamente o por escrito.

En la presente investigación, se aplicará para describir cada uno de los elementos que integran la muestra bajo estudio. Se observará cada elemento en acción, para con ello obtener la información necesaria que requerida para el diseño.

- **Revisión documental**

Es una técnica de observación complementaria, que se utiliza en caso de que exista algún registro de acciones, programas y data histórica. La revisión documental permite hacerse una idea del desarrollo y las características de los procesos y también de disponer de información que confirme o haga dudar de lo que el grupo entrevistado ha mencionado.

Para Hurtado, J (2006), “Es una técnica en la cual se recurre a información escrita, ya sea bajo la toma de datos que pueden haber sido producto de mediciones hechas por otros o como texto que en sí mismo constituyen los eventos de estudio” (p.53). En esta investigación se aplicará la técnica de revisión documental, consultando textos asociados a los sistemas de información digital en forma de presentaciones y manuales; y de forma física mediante la clasificación de documentos involucrados con los elementos bajo estudio.

- **Entrevista no estructurada**

Para Sabino (2006), “Es más flexible y abierta. El investigador sobre la base del problema, los objetivos y las variables, elabora las preguntas antes de realizar la entrevista”. En este proyecto se utilizará esta técnica al personal familiarizado con el proceso actual de la empresa, facilitando la recolección de datos para la investigación.

### **3.5.2 Instrumentos de Recolección de Datos.**

En cuanto a los instrumentos, Arias (2006), establece que los instrumentos de recolección de datos pueden definirse como “cualquier recurso, dispositivo o formato

(en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”. (p.68). Los instrumentos de recolección de datos que se emplearán en esta investigación son los siguientes:

- **Ficha de Observación**

Para la observación directa, se hará uso de la ficha como material de recolección de datos para la observación, dado que es un instrumento de la investigación de campo. Este instrumento se utilizará para conocer y documentar los elementos bajo estudio y para registrar, mediante un orden cronológico, práctico y concreto; datos importantes que deberán ser analizados y verificados para el logro del objetivo propuesto.

- **Ficha bibliográfica**

Se utilizará para registrar las características técnicas y operativas de las máquinas bajo estudio, basados en los manuales técnicos de las mismas, así como las características físico químicas del fluido utilizado en la investigación.

### **3.5.3 Técnicas de análisis de datos**

Para el análisis de los datos obtenidos, se realizará utilizando técnicas de aproximación numérica, a fin de establecer condiciones que permitan obtener resultados precisos y aproximados a los obtenidos experimentalmente.

## **3.6 Fases de la investigación**

Según Sabino, C. (2002), “toda labor de investigación requiere una metodología para desarrollarla, de manera tal que se pueda apreciar todas y cada una de los elementos que componen la acción investigativa” (p.56) El presente trabajo de investigación las fases metodológicas se desarrollan de la siguiente manera:

### **Fase I: Investigación sobre las propiedades físicas y reológicas del fluido viscoso a transportar.**

En la primera fase se pretende recopilar toda la información necesaria a través de técnicas e instrumentos de recolección de datos mencionados anteriormente, es fundamental en este punto realizar un estudio de las características de los fluidos, antes, durante y después de su trayecto en las redes de flujo de llenado.

En este punto, como ya se mencionó anteriormente, será necesaria la aplicación de las siguientes técnicas de recolección de datos:

- Revisión documental.
- Observación directa

**Fase II: Elaboración de propuestas para el manejo del fluido viscoso a través de redes de flujo.**

De acuerdo a los estudios del producto, su comportamiento en el proceso de llenado, y según las cualidades de cada equipo de impulsión de fluido, se harán las propuestas y análisis necesarios para obtener los posibles sistemas a aplicar en el equipo.

**Fase III: Selección de la propuesta adecuada para satisfacer los requerimientos de llenado.**

Con las posibles soluciones obtenidas para la impulsión del fluido viscoso, se establecen las restricciones o requerimientos de acuerdo a la exigencia que se tiene para esta máquina llenadora, y se selecciona la propuesta que cumple estas condiciones de la manera más factible y eficiente posible.

**Fase IV: Diseño de los elementos de máquinas constitutivos de la máquina.**

A partir del sistema de impulsión seleccionado se determina el resto de los componentes de la máquina que trabajará en conjunto para hacer el llenado del producto. Para ello se requiere análisis en: materiales a utilizar teniendo en cuenta que es una industria alimentaria, transferencia de calor del producto, y la automatización de la misma, hasta obtener un equipo funcional y novedoso, generando las especificaciones de diseño, con el uso de herramientas como software para el diseño mecánico (AutoCAD, Inventor, Solidworks, entre otros) obteniendo un modelo digital.

**Fase V: Análisis de costo relacionado al diseño de la máquina llenadora.**

Es de relevante importancia para todo proyecto de ingeniería realizar un estudio de la factibilidad económica, por lo que la 5ta fase se efectuará un análisis de la inversión para evidenciar los beneficios de la implementación del diseño mediante el cálculo a

nivel productivo, en esta fase se quiere demostrar a la empresa en términos financieros la rentabilidad económica de la propuesta.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

En este capítulo se presenta el resultado de cada una de las fases metodológicas a fin de cumplir con los objetivos planteados, el cuál es diseñar una máquina llenadora para fluidos viscosos, para así satisfacer los requerimientos de la empresa Alimentos Bonanza.

#### **4.1 Investigación sobre las propiedades físicas y reológicas del fluido viscoso a transportar.**

Las propiedades físicas y reológicas de la mermelada se obtuvieron de manera experimental, datos suministrados por la empresa y por documentos externos.

La empresa maneja un batch de producción de 60 kg de producto terminado, el cual es envasado en frascos de 200ml; cada envase contiene 235g de mermelada, con estos datos obtenemos la densidad:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

$\rho$ : densidad (  $g \text{ cm}^3$  )

m: masa (g)

v: volumen ( $cm^3$ )

$$\rho = \frac{235g}{200cm^3} = 1,175 g \text{ cm}^3$$

En los documentos recibido por parte de la empresa no se consiguieron datos concretos relacionado a la viscosidad o a los índices reológicos, por lo que estos datos fueron obtenidos de fuentes externas, ya que no se contaba con laboratorios y equipos para llevar a cabo estos estudios por cuenta propia.

El siguiente estudio se llevó a cabo en el Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Farmacia. Universidad del País Vasco, Spain, titulado como “comportamiento reológico de mermeladas de albaricoque (*Prunus armeniaca*), arándano (*Vaccinium myrtillus*) y escaramujo (*Rosa canina*)” por los autores M. C. Villarán, E. Cepeda1, F.J. Llorens y A. Ibarz, se podrá ver el ensayo completo en el Apéndice C.

A partir del ajuste de los resultados a los modelos de la potencia y de Herschel-Bulkley (Tablas 3.a y 3.b) se puede apreciar que el parámetro  $\tau_c$  del modelo Herschel-Bulkley, y con ello la plasticidad, disminuye al aumentar la temperatura. Esto es debido a que al aumentar la temperatura se produce un debilitamiento de la red tridimensional constituida por las pectinas. El índice de consistencia decrece en las tres mermeladas a

son los requeridos para el diseño de la máquina llenadora (Tabla 3.a). Esto indica que al aumentar la temperatura la pseudoplasticidad de las muestras disminuye. No obstante, a temperaturas altas, debido al debilitamiento de la estructura formada por las pectinas, este efecto de la temperatura sobre los índices citados es menor, de forma que, a 65°C, las tres mermeladas presentan valores de n bastante similares.

**Tabla 3.** a)Valores de los parámetros de la ecuación  $\tau = k\gamma^n$  (izquierda) y b)valores de los parámetros de la ecuación  $(\tau = \tau_c + k\gamma^n)$  (derecha)

Mermelada	T (°C)	k (Pa . s <sup>n</sup> )	n	r <sup>2</sup>	Mermelada	T (°C)	$\tau_c$ (Pa)	k (Pa . s <sup>n</sup> )	n	r <sup>2</sup>
Albaricoque	5	31,30	0,33	0,986	Albaricoque	5	58,50	3,10	0,68	0,959
	15	11,40	0,41	0,992		15	18,20	2,99	0,62	0,960
	25	6,90	0,48	0,995		25	12,30	2,06	0,67	0,975
	35	3,12	0,54	0,996		35	5,22	1,79	0,64	0,980
	45	2,21	0,58	0,993		45	3,12	1,29	0,66	0,976
	55	1,20	0,62	0,996		55	2,77	0,80	0,69	0,988
Arándano	65	0,65	0,65	0,985	65	1,63	0,32	0,76	0,990	
	5	14,7	0,39	0,990	Arándano	5	15,60	1,03	0,87	0,986
	15	13,0	0,43	0,950		15	15,75	1,00	0,75	0,928
	25	5,96	0,46	0,991		25	15,90	0,97	0,64	0,973
	45	1,10	0,57	0,985		45	1,83	0,62	0,66	0,984
	55	0,89	0,58	0,976		55	0,0	0,89	0,58	0,976
65	0,76	0,62	0,961	65		0,19	0,73	0,58	0,961	
Escaramujo	15	98,5	0,36	0,945	Escaramujo	15	122,0	203,0	0,60	0,742
	25	61,8	0,37	0,980		25	136,0	6,29	0,72	0,925
	35	18,4	0,55	0,988		35	41,10	5,38	0,70	0,957
	45	9,06	0,59	0,994		45	20,90	3,42	0,75	0,963
	55	5,76	0,60	0,997		55	14,80	1,93	0,77	0,965
	65	2,72	0,69	0,998		65	7,33	1,22	0,82	0,970

**Fuente:** M. C. Villarán, E. Cepeda1, F.J. Llorens y A. Ibarz. (2018).

Con estos resultados podemos ver que los valores de  $n < 1$ , esto indica según la tabla 1 que este fluido entra en la calificación de los fluidos no newtonianos independiente del tiempo, como un pseudoplastico, agregando que “k” (índice de consistencia), disminuye cuando la temperatura aumenta, los valores del esfuerzo cortante de equilibrio y esfuerzo cortante inicial disminuyen con la temperatura al producirse un debilitamiento de la red tridimensional constituida por las pectinas, siendo este efecto mayor cuanto más elevado es el contenido en sólidos insolubles en alcohol de la mermelada.

**Tabla 4.** Tabla de resultados de las propiedades reológicas de mermelada a 65°C.

Datos	Resultados
Fluido	Mermelada
PH	3.3
°BRIX	60°
Densidad ( $g/cm^3$ )	1,175
K ( $Pa \cdot s^n$ )	0,73
n	0,58
$r^2$	0,998

Fuente: Brijaldo, Eliana. (2020).

#### 4.2 Elaborar propuestas para el manejo del fluido viscoso a través de redes de flujo.

Se puede concluir según se describe en el capítulo II, que para la selección de una bomba debemos conocer las propiedades y comportamiento del fluido a transportar, para este caso se identificó en la fase 1, que el fluido tiene una viscosidad que puede variar entre media y alta dependiendo de la temperatura y tiene un índice de comportamiento menor a 1, lo que indica que su naturaleza es un fluido no newtoniano de tipo pseudoplástico.


En ese mismo capítulo se abordó la descripción y funcionamiento de los distintos equipos utilizados para la impulsión de fluidos, y se pudo concluir que su selección no sólo depende de los distintos comportamientos de compresibilidad del fluido, sino también por las grandes diferencias de densidad y viscosidad que hacen que las



respectivas máquinas impulsoras tengan características distintas. Las bombas de desplazamiento positivo son las que se acoplan a esta condición, porque el caudal de salida dependerá solamente del tamaño de la bomba, y será independiente de las características del sistema en que se encuentre, ya que el caudal de líquido en cada embolada es constante al trabajar el motor a velocidad constante.

Tomando en cuenta estas premisas se presentaron 3 posibles soluciones (PS) al bombeo del fluido, cualquiera de estas es apta para la impulsión de la mermelada, sin embargo, según criterios y restricciones establecidos por la empresa y por el proyecto se seleccionará la solución que mejor se adapte para este caso. En la tabla 5 se presentan los métodos de impulsión propuestos junto con sus principales características.

Los sistemas de impulsión seleccionados como posibles soluciones fueron la bomba de desplazamiento positivo de tornillo excéntrico, que se diferencia de las habituales, más conocidas como bombas centrífugas. Esta bomba utiliza un tornillo helicoidal excéntrico que se mueve dentro de una camisa y hace fluir el líquido entre el tornillo y la camisa, funciona con electricidad; bomba de pistón neumático la cual consiste en un pistón hidráulico para impulsar la mermelada que es accionado por un actuador neumático de doble efecto, y la última propuesta es similar a la propuesta anterior con la diferencia de que ésta es accionada mediante un actuador hidráulico.

**Tabla 5.** Propuestas para impulsión de fluidos

<b>Tipo de bomba:</b>	<b>Característica</b>
<p data-bbox="311 1486 701 1554"><b>Bomba helicoidal excéntrico PROPUESTA 1</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="792 1486 1372 1522">- Mantiene un caudal constante en el tiempo</li> <li data-bbox="792 1522 1372 1558">- Amplio rango de capacidad de dosificación</li> <li data-bbox="792 1558 1372 1627">- Mínimo requerimiento de equipos adicionales para su funcionamiento.</li> <li data-bbox="792 1627 1372 1696">- Control de caudal a través de accesorios adicionales.</li> </ul>

<p><b>Bomba de pistón neumática PROPUESTA 2</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta precisión en el control de volumen a dosificar.</li> <li>- Fácil control de la velocidad del llenado.</li> <li>- Rango de volumen limitado por el tamaño del cilindro émbolo.</li> <li>- Usa aire para transmitir la energía requerida para mover el pistón.</li> </ul>
<p><b>Bomba hidráulica PROPUESTA 3</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta precisión en el control de volumen a dosificar.</li> <li>- Adecuada regulación de fuerza y velocidad.</li> <li>- Rango de volumen limitado por el tamaño del cilindro émbolo.</li> <li>- Usa aceite hidráulico para transmitir la energía requerida para mover el pistón.</li> </ul>

Fuente: Brijaldo, Eliana. (2020).

#### 4.2.1 Restricciones

- R1: Dosificar al menos 235g de mermelada por cada envase de 200ml.
- R2: Tiempo de llenado no mayor a 2,5s.
- R3: Adecuado para la manipulación de alimentos.
- R4: Capacidad de llenado ampliamente variable.
- R5: Requiera de un operador para la máquina. El cual se encargará de la puesta a punto, funcionamiento y la limpieza.
- R6: Tiempo de limpieza luego del uso no mayor de 1,5 horas.
- R7: Capaz de impulsar fluidos viscosos.

#### 4.2.2 Criterios

- C1: Menor inversión inicial dependiendo de la disposición financiera de la empresa.
- C2: Mayor facilidad de limpieza.
- C3: Menor costo de mantenimiento.
- C4: Principio de mantenimiento más sencillo.
- C5: Menor cantidad de componentes.

- C6: Mayor facilidad de operación.
- C7: Mayor seguridad de operación.

### **4.3 Selección de la propuesta adecuada para satisfacer los requerimientos de llenado**

Para seleccionar la mejor propuesta, se comparó cada posible solución con la lista de restricciones, la solución que no cumplió con al menos una de las restricciones fue descartada. En el anexo B se encuentra la tabla donde se hizo esta comparación, resultando descartada la propuesta 3, ya que no cumple con la restricción R3.

Utilizando la técnica de ponderación de criterio, se desarrolló una jerarquización para cada criterio, comparando unos con otros para determinar el impacto de cada criterio en la selección de la propuesta. Se compararon las dos soluciones que superaron la primera evaluación con cada criterio, en el anexo B se encuentra los resultados de esta ponderación en donde la propuesta seleccionada fue, PS1 (bomba de tornillo excéntrico).

### **4.4 Diseño de los elementos de máquinas constitutivos de la máquina.**

#### **4.4.1 Análisis de los volúmenes de la producción actuales**

El proceso de elaboración de la mermelada, se menciona en el marco teórico; sin embargo, se recolectó información sobre el proceso productivo para comprender y considerar los factores de diseño.

Para la recolección de datos, se realizó entrevistas al personal de la empresa y observación directa durante la jornada de trabajo, pudiendo obtener información sobre tiempo y manipulación de la producción.

El diseño de la llenadora tiene como objetivo mejorar el proceso de llenado y aumentar los niveles de producción. Para ello se planteó duplicar la producción actual de la empresa, en dos batch de 60kg; además de lograr un manejo adecuado de la mermelada, evitar accidentes laborales, aumentar los niveles de producción y mantener la asepsia del producto.

Una jornada laboral se comprende por 8 horas de trabajo, los primeros y últimos 30min de esta jornada está dedicada a la limpieza y acondicionamiento del lugar,

seguidamente se lleva a cabo la selección, pesado, lavado, y cortado en trozos de la fruta; se realiza una pre cocción con el objeto de ablandar la fruta para facilitar el pulpeado y licuado, luego se refina la mezcla para obtener una mermelada más homogénea y así dar lugar a la fase de cocción; esta fase comprende una de las etapas más importante de la elaboración de la mermelada, se debe tener un control estricto de las propiedades químicas a diluir y mantener una temperatura adecuada para alcanzar los grados °Brix necesarios para la gelificación correcta de ésta.

La temperatura final de cocción es de aproximadamente 105°C, una vez llegada a esa temperatura, se detiene para evitar la sobre cocción para ello se hace un trasvase de la mezcla, es aquí donde empieza la fase de envasado. Esta fase, se realiza de manera artesanal usando como instrumentos cucharones para dosificar, se cuenta con dos operadores para hacer este proceso, una vez llenos los envases pasa inmediatamente a roscado y sellado al vacío por medio de ollas con agua caliente por aproximadamente 10 min. Cabe mencionar que los envases deben ser esterilizados por 10 min aproximadamente en agua en temperaturas de ebullición. El proceso de llenado debe manejarse a temperaturas comprendidas entre 105° a 85°, ya que por debajo de esa temperatura empieza a actuar la gelificación del producto.

Otra razón por la que debe ser a ese rango de temperatura es porque ayuda a mantener su fase de pasteurización, dándole al producto una mejor calidad y sanitización, además por su alta temperatura produce un efecto de vacío al envase evitando su oxidación y contaminación, haciendo la conserva segura y duradera.

Cuando la fase de llenado ha finalizado, este entra a un proceso de pasteurización por 10 min de cocción, una vez finalizado, se deja reposar y se etiquetan. Ya finalizado la manipulación del producto, se procede a guardar la tanda al área de almacenaje.

En las tablas 7 y 8 se encuentran resumidas los procesos de producción con su respectivo tiempo.

**Tabla 6.** Cantidad de la tanda de producción

<b>Batch actual</b>	<b>Cant</b>
<b>Producto terminado por batch</b>	60 kg

Fuente: Brijaldo, Eliana. (2020).

**Tabla 7.** Tiempo total de la producción actual de mermelada.

<b>Proceso actual de producción por tanda</b>	<b>Tiempo unitario</b>	<b>Tiempo total</b>
<b>Limpieza y acondicionamiento del área (entrada y salida)</b>	15 min	30min
<b>Preparación de los ingredientes de la tanda (pesado, pelado y cortado)</b>	15min	15min
<b>Lavado, esterilización de los envases y organizado</b>	18min	18min
<b>Pre cocción de la fruta</b>	10min	10min
<b>Despulpado de la fruta</b>	8min	8min
<b>Preparación y cocción de la fruta</b>	50min	50 min
<b>Transvase de la preparación</b>	2min	2min
<b>Tiempo de envasado con cucharones soperas por envase - 255 envases - 2 operadores</b>	20s	42,5min
<b>Tiempo en cambio de envase lleno a vacío -255 envases - 2 operadores</b>	2s	4.25min
<b>Limpiado del recipiente por derrame durante el envasado -255 envases - 1 operador para limpiado</b>	4s	17min
<b>Roscado -255 envases</b>	4s	17min
<b>Pasteurizado - Se divide el lote en 2.</b>	10min	20min
<b>Etiquetado y almacenamiento de los envases</b>	7s	29,75min

- 255 envases		
<b>Tiempo Total</b>		263,5min (4,39hrs)

Fuente: Brijaldo, Eliana. (2020).

**Tabla 8.** Tiempo del proceso de dosificación actual de mermelada

Proceso actual del proceso de llenado actual	Tiempo unitario	Tiempo total
Tiempo de envasado con cucharones soperas por envase - 255 envases - 2 operadores	20s	42,5min
Tiempo en cambio de envase lleno a vacío -255 envases	2s	4.25min
Limpiado del recipiente por derrame durante el envasado -255 envases - 1 operador para limpiado	4s	17min
<b>Tiempo total</b>		63,75min (1,06hrs)

Fuente: Brijaldo, Eliana. (2020).

**Tabla 9.** Resumen de la productividad

Resumen de la producción	
Peso total por batch	60kg
Tamaño de envases	235g
Tiempo por batch (incluye envasado)	263,5min (4,39hrs)
Tiempo de envasado	63,75min (1,06hrs)
Cantidad de batch por jornada laboral	1 batch

Fuente: Brijaldo, Eliana. (2020).

#### 4.4.2 Aumento de la producción

Se propuso duplicar la producción manteniendo los equipos que ya posee la empresa, es decir, la propuesta se adaptó a los equipos y a la operatividad con que ya se cuenta. En términos generales, solamente se hará un aumento de producción con la máquina llenadora sin modificar el proceso actual de elaboración de la mermelada. Es por ello que se requiere hacer dos tandas de 60kg cada una, pretendiendo mejorar el tiempo de envasado, aumentar las medidas de seguridad y mantener la asepsia del producto. Utilizando los datos de la tabla 6 se obtuvo el volumen a producir, con los datos recolectados en las tablas 8, 9 y 10 se calculó la distribución del tiempo para el aumento de producción por jornada laboral.

- $V = \frac{m}{\rho} = \frac{120.000g}{1,175g\text{ cm}^3} = 102.127,7\text{cm}^3 = 102,1L$
- Tiempo total de producción de 120kg:  $t_{TP120} = 263,5 \times 2 = 527\text{min}$
- Tiempo total de proceso de llenado:  $t_{TLL} = 63,75 \times 2 = 127,5\text{min}$
- Tiempo de producción sin llenado:  $t_{TPSLL} = t_{TP120} - t_{TLL} = 527 - 127,5 = 399,5\text{min}$

Considerando 8 horas laborales se tiene:

- Tiempo sobrante disponible:  $t_d = t_{laboral} - t_{TPSLL} = 480\text{min} - 399,5\text{min} = 80,5\text{min}$  (1,34 horas)
- Total de envases de 235 gr requeridos para 120kg:  $T_E = \frac{120000g}{235g} = 510\text{ envases}$

Para saber el tiempo requerido para llenar 1 solo envase, se plantea la siguiente ecuación:

$$T_{LL} = \frac{C_E}{C_{TE}} \times t_d = \frac{1}{510} \times 80,5\text{min} = 0,158\text{ min}(9,47\text{s}) \quad (\text{kk})$$

Siendo:

$T_{LL}$ : Tiempo de llenado

$C_E$ : Cantidad de envase

$C_{TE}$ : Cantidad total de envases

$t_d$ : Tiempo sobrante disponible

Para duplicar la producción, se debe llenar 510 envases de 235g en un total de 80,5 minutos (1,34 horas), tiempo que incluye los cambios de envase realizado por el operador.

#### 4.4.2.1 Caudal teórico del sistema

Uno de los requerimientos al momento de llenado, es evitar que se produzca turbulencia, por tal motivo es necesario que los envases de 200ml sean dosificado en un tiempo no menor de 2s. Con esta información recibida por la empresa, se obtuvo el caudal mínimo que se debe manejar en la fase de dosificación.

$$Q_{teórico} = \frac{V_{envase}}{t_{llenado}} = \frac{200cm^3}{2s} = 100 cm^3/s = 0,36 m^3/$$

Con este caudal mínimo requerido se seleccionó una bomba que cumple con las necesidades de llenado. Para ello se contactó a una empresa ubicada en china de nombre Shanghai Zhuheng Industrial Co. donde ofrecen una variedad de productos, entre ellos, bomba de tornillo de grado alimenticio en acero inoxidable.

En la figura 24 de los modelos de bombas de la empresa Shanghai Zhuheng Industrial Co. se seleccionó según el caudal teórico requerido el modelo G10-1 la cual puede manejar un caudal de hasta  $0,5 m^3/$  .

Modelo	Diámetro (mm)	Velocidad (r / min)	Flujo (m <sup>3</sup> / h)	Potencia (kw)
G10-1	20	1400	0.5 0.5	0,37
G15-1	25	960	1	0,55
G20-1	32	960	1,5	0,75
G25-1	32	960	2	1.1
G30-1	40	960	3	1,5
G35-1	50	960	5 5	2.2 2.2
G40-1	50	960	7 7	3
	50	720	5,5	2.2 2.2
G45-1	50	960	9 9	4.4
	50	720	7 7	3
G50-1	sesenta y cinco	960	13	5.5
	sesenta y cinco	720	10	4.4
G55-1	sesenta y cinco	960	18 años	7.5
	sesenta y cinco	720	13	5.5
G65-1	80	720	30	11
G86-1	100	720	60 60	15

**Figura 24:** Modelos de de bombas de tornillo de la empresa Shanghai Zhuheng.

**Fuente:** Shanghai Zhuheng Industrial Co.

Con este caudal de la bomba, que es mayor al caudal teórico necesario se consideró la posibilidad de llenar más de un envase en simultaneo para mejorar los tiempos de llenado, dividiendo el volumen total de los dos envases entre el caudal de la bomba y así conocer el tiempo que tardarían en llenarse, obteniendo los siguientes resultados:

$$V_{2E} = V_E \times 2$$

$$V_{2E} = 200 \text{ cm}^3 \times 2 = 400 \text{ cm}^3$$

$$t_{2E} = \frac{V_{2E}}{Q_B} = \frac{400 \text{ cm}^3}{0,5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} \times \frac{3600 \text{ s}}{1} = 2,88 \text{ s}$$

Donde:

$V_E$  : Volumen del envase

$V_{2E}$  : Volumen total de los dos envases

$Q_B$  : Caudal de la bomba

$t_{2E}$  : Tiempo de llenado para dos envases

Este resultado se utilizó para comparar los tiempos de llenado total con el caudal teórico utilizando una sola boquilla de llenado y el caudal de la bomba con dos boquillas de llenado.

Una boquilla:  $t_{Tt} = 255 \text{ dosificaciones} \times 2 \text{ s} = 510 \text{ s} = 8.5 \text{ min}$

Dos boquillas:  $t_{Tt} = 128 \text{ dosificaciones} \times 2.88 \text{ s} = 368.6 \text{ s} = 6.14 \text{ min}$

Donde:

$t_{Tt}$  : Tiempo total de llenado con el caudal teórico

$t_{Tt}$  : Tiempo total de llenado con el caudal de la bomba

El caudal del sistema es de  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  , suministrado por la bomba seleccionada, dosificando dos envases simultáneamente, llenando así los 255 envases en un tiempo total de 6.14min.

La producción actual maneja un flujo de llenado de 3 envases por minuto, produciendo 1 batch de 60kg por jornada laboral, con el sistema seleccionado se podrán llenar 20 envases por minuto realizando dos batch de 60kg cada uno por jornada laboral, resultando un aumento del flujo de llenado de 666%.

#### 4.4.3 Diseño del sistema

##### 4.4.3.1 Diámetro de la tubería

Para determinar el diámetro de la tubería se partió del caudal de la bomba seleccionada y de los diámetros comerciales de tuberías sanitarias en acero inoxidable, de esta manera se obtuvo la velocidad del fluido en dicha tubería; con estos datos de diámetro y velocidad se calculó el gradiente de velocidad en la tubería con la ecuación 23 y con este resultado se obtuvo la viscosidad del fluido, con la ecuación 4; de este modo con la ecuación 28 se cuantificó la velocidad recomendada para comparar los resultados. En el apéndice A se seleccionó la tubería sanitaria de acero inoxidable de 3/4" de diámetro, con un diámetro interno de 0,0165m, y se calculó la velocidad para ese diámetro.

$$A = \pi r^2 = \pi \times 0,0165^2 = 21,3825 \times 10^{-5} m^2$$

$$V = \frac{Q_B}{A} = \frac{0,5 \frac{m^3}{s}}{21,3825 \times 10^{-5} m^2} \times \frac{1}{3600 s} = 0,65 \frac{m}{s}$$

Calculando el gradiente de velocidad

$$\gamma_w = \frac{8V}{D} \left( \frac{3n+1}{4n} \right) \quad (23)$$

$$\gamma_w = \frac{8 \times 0,65}{0,0165} \left( \frac{3 \times 0,58 + 1}{4 \times 0,58} \right) = 371,94 s^{-1}$$

Con este gradiente se calculó la viscosidad aparente.

$$\mu_a = K \gamma^{n-1} \quad (2) \text{ en } (7)$$

$$\mu_a = K \gamma^{n-1} = 0,73 \times (371,94)^{0,58-1} = 0,0608 Pa \cdot s = 60,8 cPs$$

Por ultimo se calculó la velocidad recomendada según la viscosidad obtenida.

$$V_{Re} = 0,133 \times \frac{D^{0,6}}{\mu^{0,5}} = 0,133 \times \frac{0,65^{0,6}in}{0,0608^{0,5}Pa.s} = 0,42 \frac{m}{s}$$

Este procedimiento se repitió con las tuberías de 1" y de 1 ½" obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 10.** Comparación de velocidades para diferentes diámetros de tuberías.

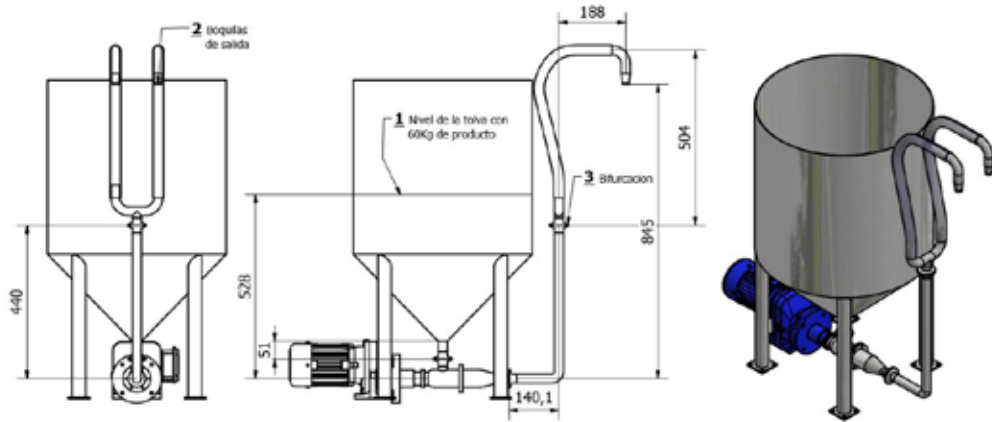
<b>Diámetro de tubería</b>	¾"	1"	1 ½"
<b>Velocidad del fluido con caudal 0,5 m3/h (m/s)</b>	0,65	0,337	0,14
<b>Velocidad recomendada (m/s)</b>	0,42	0,412	0,407

**Fuente:** Brijaldo, Eliana. (2020)

Observando la tabla 10 se concluyó que el diámetro más apropiado es el de 1", ya que con este diámetro la diferencia entre la velocidad y la velocidad recomendada es menor.

#### **4.4.3.2 Diseño de la red succión y descarga**

Con el caudal de la bomba y el diámetro de la tubería se procedió a diseñar el sistema para la dosificación de la mermelada, en la figura 25 se puede ver el sistema diseñado, el cual está formado por una tubería de succión donde la bomba recibe el fluido desde un tanque cilindro cónico y por una tubería de descarga en la cual el fluido es separado con dos mangueras flexibles en paralelo que llevan el fluido hasta las boquillas donde será dosificado en los envases.



**Figura 25.** Diseño de la red y succión de descarga.

**Autor:** Brijaldo, Eliana (2020).

La selección de los materiales se hizo en base los requerimientos de la industria alimenticia, utilizando tubería sanitaria de 1” en acero inoxidable 304 con uniones de ferrul y abrazaderas en los tramos de succión y descarga, para el tramo de dosificación hacia las boquillas se utilizó manguera sanitaria de 1” y asegurada con abrazaderas de cremallera, el diámetro en la salida de las boquillas se redujo a ¾”. En el apéndice A se observan los catálogos de los materiales seleccionados y sus especificaciones.

Con el sistema diseñado se calculó las pérdidas hidráulicas para determinar la altura  $H_B$  que debe impulsar la bomba y para comprobar la potencia de la bomba seleccionada.

Primero se determino  $Re_G$  y  $Re_C$  para conocer el régimen del flujo.

$$Re_G = \frac{D^n \times V^{2-n} \times \rho}{K \times 8^{n-1} \left( \frac{3 \times n - 1}{4 \times n} \right)^n} \quad (26)$$

$$Re_C = \frac{6464 \times n}{(1 + 3 \times n)^2 \left( \frac{1}{2 + n} \right)^{\frac{2+n}{1+n}}} \quad (27)$$

Se calculó dos  $Re_G$ , uno correspondiente al tramo de tubería de 1" donde se transporta el caudal de la bomba de  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  y otro para los tramos de manguera de 1" donde el caudal transportado se divide a la mitad.

$$Re_{Gt} = \frac{0,0229^{0,58} \times 0,337^{2-0,58} \times 1175}{0,73 \times 8^{0,58-1} \left( \frac{3 \times 0,58}{4 \times 0,58} \right)^{0,58}} = 178,55$$

$$Re_{Gm} = \frac{0,0254^{0,58} \times 0,137^{2-0,58} \times 1175}{0,73 \times 8^{0,58-1} \left( \frac{3 \times 0,58}{4 \times 0,58} \right)^{0,58}} = 52,82$$

Calculando  $Re_C$

$$Re_C = \frac{6464 \times 0,58}{(1 + 3 \times 0,58)^2 \left( \frac{1}{2 + 0,58} \right)^{\frac{2+0,58}{1+0,58}}} = 2347,29$$

$$Re_{Gt} < Re_C > Re_{Gm}$$

El número de Reynolds crítico es mayor al Reynolds generalizado en ambos tramos, por lo tanto, el régimen será laminar en toda la red de flujo.

Se calculo  $H_B$  como la diferencia entre la presión en el punto de succión y el punto de descarga

$$H_B = H_D - H_S$$

Calculando  $H_S$ , la disponibilidad en este punto, como se observa en la figura 24, es la presión que existe en el punto 1, menos las pérdidas desde el punto 1 hasta el punto de succión.

$$H_S = Z_1 - f_1 \text{ (Considerando el tanque lleno)}$$

Calculando  $f_1$

$$f_1 = 4 \times f_{FT} \frac{L_1 \times V_T^2}{D_T \times 2 \times g} \quad (30)$$

Debido a que  $Re_{Gt} < Re_C$ , entonces  $f_{FT} = \frac{16}{Re_{Gt}}$ . Calculando la velocidad del fluido en la tubería

$$V_T = \frac{Q_T}{A_T}$$

Determinando el área

$$A_T = \pi \times \left(\frac{D_T}{2}\right)^2 = 4,119 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_T = \frac{1,389 \times 10^{-4}}{4,119 \times 10^{-4}} = 0,337 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$f_1 = 4 \times \frac{16}{178,55} \times \frac{0,051 \times 0,337^2}{0,0229 \times 2 \times 9,81} = 4,59 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$H_S = 0,528 + 4,59 \times 10^{-3} = 0,52341 \text{ m}$$

Calculando  $H_D$ , como se observa en la figura 24, es la presión que existe en el punto 2, más las pérdidas desde el punto de descarga hasta el punto 2.

$$H_D = Z_2 + \frac{V_b^2}{2 \times g} + f_2 + 2 \times f_m$$

Calculando  $V_b$  dividimos el caudal de boquilla entre el área de la salida de la boquilla.

$$V_b = \frac{Q_b}{A_b}$$

Se considera el caudal en la boquilla como  $\frac{Q_B}{2}$ , ya que el caudal entregado por la bomba será dividido en dos boquillas de dosificación

$$Q_b = \frac{Q_B}{2} = \frac{0,5}{2} = 0,25 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Calculando  $A_b$

$$A_b = \pi \times \left(\frac{D_b}{2}\right)^2 = 2,15 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$
$$V_b = \frac{6,945 \times 10^{-5}}{8,17 \times 10^{-5}} = 0,323 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Calculando  $f_2$ , teniendo en cuenta que  $L_2$  es la longitud del tramo de la tubería antes de la succión de la bomba.

$$f_2 = 4 \times f_{FT} \frac{L_2 \times V_T^2}{D_T \times 2 \times g}$$

$$f_2 = 4 \times \frac{16}{178,55} \times \frac{(0,14 + 0,44) \times 0,337^2}{0,0229 \times 2 \times 9,81} = 0,052 \text{ m}$$

Calculando  $f_m$ , teniendo en cuenta que  $f_{Fm}$ : es el factor de fricción en la manguera  
 $L_m$ : longitud del tramo de un tramo de manguera desde el punto 3 hasta la boquilla (m)  
 $V_m$ : velocidad del fluido en la manguera (m/s) y  $D_m$ : diámetro interno de la tubería (m)

$$f_m = 4 \times f_{Fm} \frac{L_m \times V_m^2}{D_m \times 2 \times g}$$

Debido a que  $Re_{Gm} < Re_C$ , entonces  $f_{FT} = \frac{16}{Re_{Gm}}$ .

Calculando la velocidad

$$V_m = \frac{Q_m}{A_m}$$

El caudal de la manguera es igual al caudal de la boquilla, por lo tanto

$$Q_m = Q_B = 6,945 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Calculando el área de la manguera

$$A_m = \pi \times \left(\frac{D_m}{2}\right)^2 = 5,067 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_m = \frac{6,945 \times 10^{-5}}{5,067 \times 10^{-4}} = 0,137 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$f_m = 4 \times \frac{16}{52,82} \times \frac{(0,504 + 0,188) \times 0,137^2}{0,0254 \times 2 \times 9,81} = 0,0315 \text{ m}$$

Entonces:

$$H_D = 0,845 + \frac{0,323^2}{2 \times 9,81} + 0,052 + 2 \times 0,0315 = 0,97 \text{ m}$$

Calculando

$$H_B = 0,97 + 0,52341 = 0,44659 \text{ m}$$

Se calculó la potencia teórica requerida de la bomba para comprobar la potencia de la bomba seleccionada

$$P_t = \frac{Q_B \times H_B \times \rho \times g}{\eta}$$

$$P_t = \frac{1,389 \times 10^{-4} \times 0,4765 \times 1175 \times 9,81}{0,75} = 1,01 \text{ w}$$

#### 4.4.3.3 Pérdidas por transferencia de calor por enfriamiento

El tiempo del manejo del fluido es un factor importante para el diseño de la máquina, ya que su comportamiento interviene como parámetro. Se comprobó que el tiempo de enfriamiento de la mermelada es mucho mayor que el tiempo que se requiere para dosificar el batch completo.

Para la estimación de la pérdida de calor se hicieron las siguientes consideraciones teóricas:

- Fluido newtoniano.

- Intercambio de calor por convección natural.

La primera consideración se hace válida al observar que el índice de comportamiento del fluido, tiende a la unidad. Situación debida a la excitación molecular por temperatura (a mayor temperatura, menor viscosidad).

La condición de convección natural es exacta ya que el intercambio de energía ocurre sin la intervención de ningún elemento mecánico que afecte el coeficiente convectivo del medio ambiente en condiciones normales. Aunado a esto, el diferencial de temperatura es tan pequeño que incluso podemos despreciar el impulso inicial al movimiento que se origina en el seno de un fluido con variaciones internas de densidad por efectos puntuales de la temperatura.

Por lo tanto, se planteó el siguiente problema: Se tiene una mermelada a una temperatura de 100°C contenido en un tanque de forma cilíndrica, (se considera recipiente con resistencia interna despreciable), de longitud 750mm y 500mm de diámetro, de acero inoxidable, la temperatura del ambiente es de 23°C. Se quiere saber en cuanto tiempo la mermelada disminuirá su temperatura a 85°C. Considerándose un proceso de convección natural estacionario.

Usando la ecuación 34 sacamos la temperatura de película

$$T_f = \frac{T_\infty + T_p}{2}$$

$$T_f = \frac{100^\circ C + 23^\circ C}{2} = \frac{123}{2} = 61.5^\circ C$$

Con esta temperatura nos vamos a las propiedades del aire en la tabla A-15 Considerando la mínima variabilidad de las propiedades entre 60° y 70° se justifica la no interpolación:

**TABLA A-15**

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T_f$ , °C	Densidad, $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Calor específico, $c_p$ , J/kg · K	Conductividad térmica, $k$ , W/m · K	Difusividad térmica, $\alpha$ , m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	Viscosidad dinámica, $\mu$ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, $\nu$ , m <sup>2</sup> /s	Número de Prandtl Pr
25	1.184	1 007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132

Entonces tenemos que a 60°C (Apéndice D)

$$k = 0.02808 \text{ W m K}$$

$$\nu = 1.896 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}$$

$$PR = 0.7202$$

El coeficiente de dilatación volumétrica se obtiene mediante la ecuación 36:

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

$$\beta = \frac{1}{(61.5 + 273)K} = 2,989 \times 10^{-3}$$

Un cilindro vertical puede considerarse una pared plana siempre y cuando se cumpla esta condición (ecuación 37):

$$D \frac{35L}{Gr^{1/4}}$$

Obteniendo el valor de Grashof, con la ecuación 40 se tiene

$$Gr_f = \frac{g\rho(T_s - T_{amb})L^3}{\nu^2}$$

$$Gr_{rf} = \frac{9,81x(2,989x10^{-3}) (100^{\circ}C - 23^{\circ}C)0,75^3}{1.896x10^{-5^2}}$$

$$Gr_{rf} = 2,610x10^9$$

Entonces:

$$\frac{35L}{Gr^{1/4}} = \frac{35x0,75}{2,610x10^{9^{1/4}}} = 0,116$$

Comparando, tenemos

$$0,5 > 0,116$$

Con esta comparativa del diámetro del cilindro con el número de Grashof, podemos usar los valores de la placa vertical empleando la fórmula (33)

$$Nu_f = C(Gr_f Pr_f)^m$$

Usando los datos de la figura 19, se obtuvieron los valores “C” y “m” usando el valor de  $Gr_{rf}$  como referencia

$$Nu_f = 0,59(Gr_f Pr_f)^{1/4}$$

$$Nu_f = 0,59(2,610x10^9 x 0,7198)^{1/4} = 122,833$$

Calculando el área

$$A = \pi DL = \pi(0,5)(0,750) = 1,178m^2$$

El coeficiente convectivo de transmisión de calor se obtiene mediante la ecuación

41

$$h = \frac{k}{L} Nu_f$$

$$= \frac{0,02819 W m^{-1} K}{0,75} x 122,833 = 4,616 W m^{-2} K$$

Usando la ley de enfriamiento de Newton (ecuación 45) tenemos que:

$$T = T_{\infty} + (T_0 - T_{\infty})e^{-kt}$$

Para determinar k usaremos la ecuación 44, donde el calor específico de la mermelada se obtiene de la tabla en el Apéndice B.

$$k = \frac{A}{mC_e} = \frac{4,616 \text{ W } m^2 \text{ } ^\circ K \times 1,178 m^2}{100 \text{ kg } \times 3000 \text{ J } \text{ kg. } ^\circ K} = 1,812 \times 10^{-5}$$

Sustituyendo k en la ecuación (45) obtendremos las horas en que sucede la pérdida de calor por enfriamiento.

$$85 = 23 + 77e^{-1,812 \times 10^{-5} t}$$

$$62 = 77e^{-1,812 \times 10^{-5} t}$$

$$\frac{62}{77} = e^{-1,812 \times 10^{-5} t}$$

$$\ln \frac{62}{77} = -1,812 \times 10^{-5} t$$

$$\frac{0,216}{1,812 \times 10^{-5}} = t = 11920,529 \text{ s} = 3, \text{ oras}$$

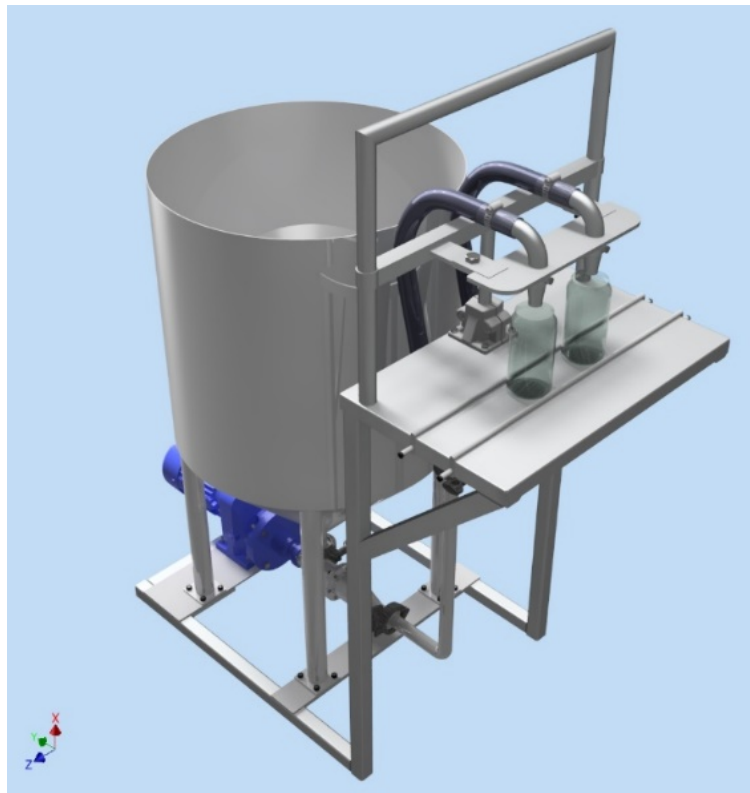
Con este resultado podemos asegurar que el tiempo de llenado según el caudal del diseño de la máquina es muchísimo menor al tiempo de las pérdidas por transferencia de calor en ese gradiente de temperatura.

#### 4.4.3.4 Sistema diseñado

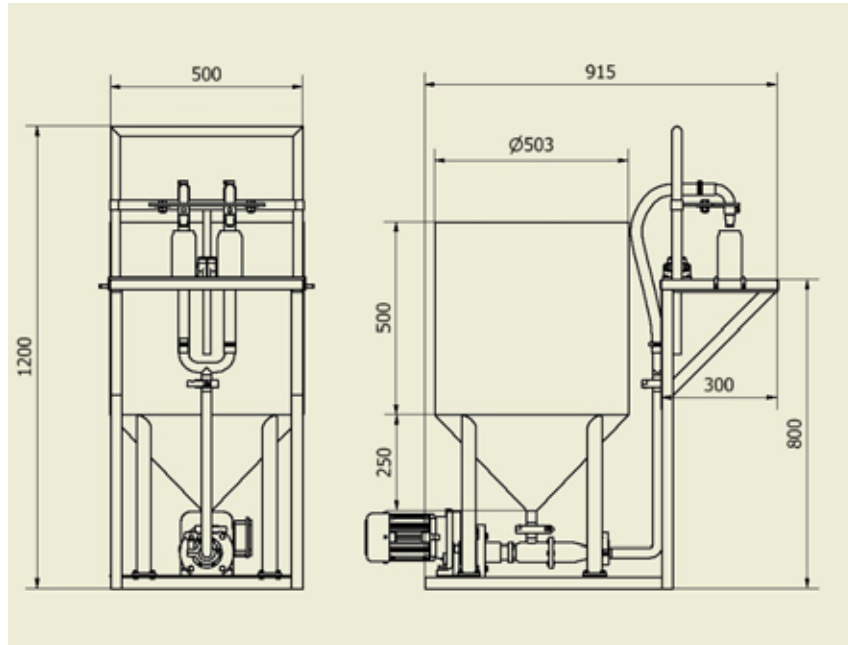
En las figuras 26 y 27 se observan la vista isométrica del sistema diseñado y las vistas frontal y lateral del diseño junto con las dimensiones principales. El sistema cuenta con una base que sirve de apoyo en la parte trasera del equipo para el motor, para el tanque de producto y también de mesa de trabajo donde se llevara a cabo el llenado de los envases.

En la figura 28 se puede apreciar en detalle el funcionamiento de los mecanismos presentes en la mesa de llenado. Las boquillas 1 y 2 a través de las cuales el producto es dosificado en los envases se insertan en las bocinas del cabezal 3 y se fijan mediante un tornillo, este cabezal 3 se puede modificar (se fabrica según la necesidad) lo que permite aumentar o disminuir la abertura entre las boquillas para diferentes tipos de envases y también para agregar más boquillas de llenado.

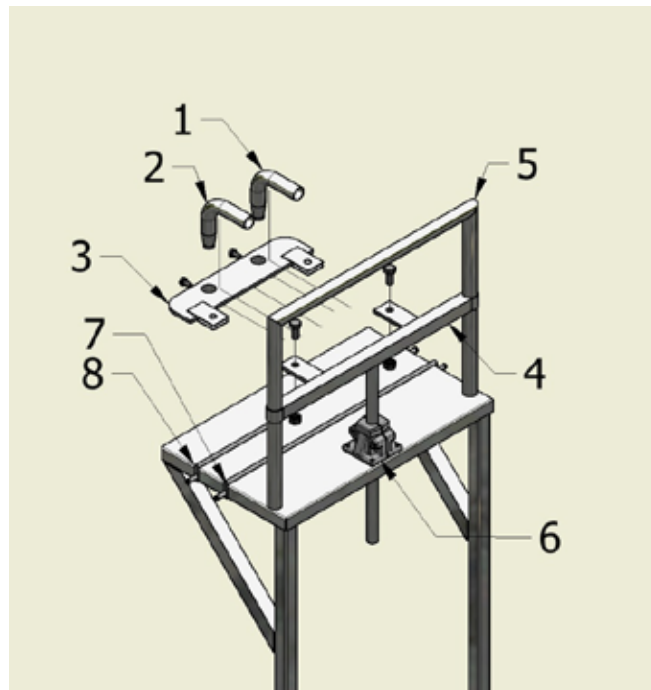
La pieza 3 se fija mediante dos tornillos al soporte 4 el cual desliza de forma vertical sobre las guías de la estructura 5 permitiendo ajustar la altura de las boquillas según el envase a llenar y se fija en una determinada posición gracias a la abrazadera de base 6, adicionalmente la mesa de llenado cuenta con los guías 7 y 8 que se pueden ajustar a diferentes aberturas en la mesa lo que le facilita la colocación de los envases al operador.



**Figura 26.** Vista isométrica del diseño de la llenadora.  
**Fuente:** Brijaldo, Eliana (2020).



**Figura 27.** Vista isométrica del diseño de la llenadora.  
**Fuente:** Brijaldo, Eliana (2020).

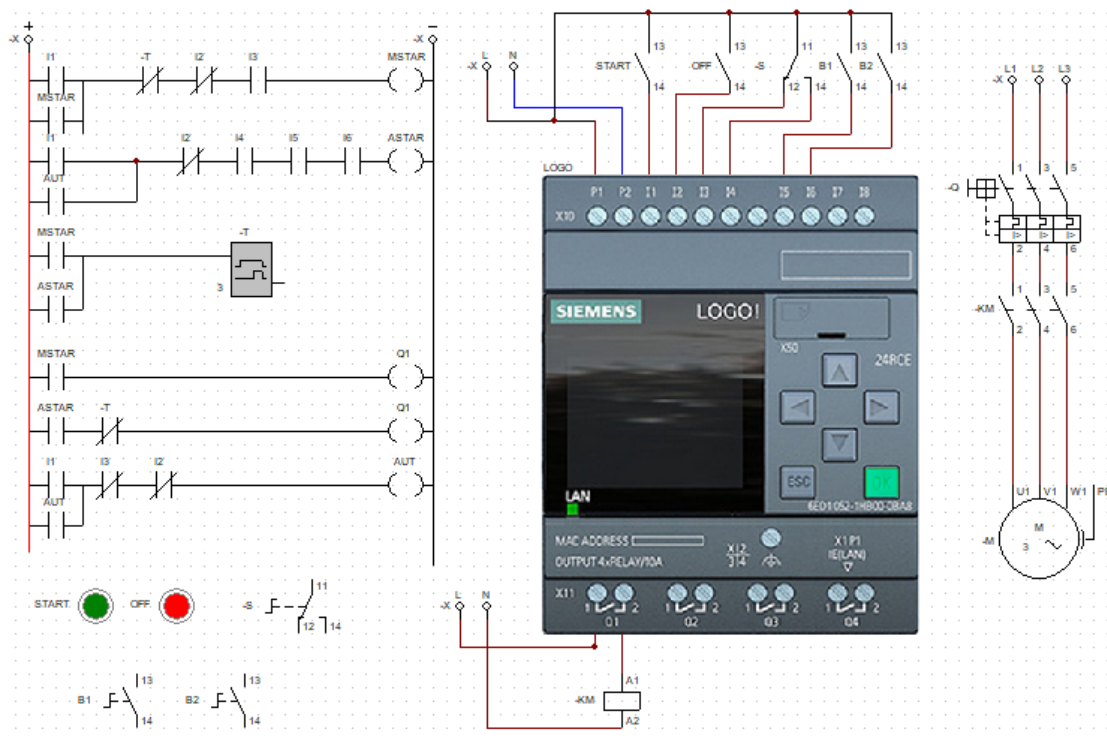


**Figura 28.** Vista isométrica del diseño de la llenadora.  
**Fuente:** Brijaldo, Eliana (2020).

En el anexo A se pueden observar los planos de los elementos que conforman el equipo diseñado.

#### 4.4.3.5 Circuito PLC de funcionamiento

Para la programación de la máquina, se utilizó el software CADeSimu; éste programa permite simular la programación ladder del PLC y el diagrama eléctrico de la máquina llenadora (figura 29). Se ha diseñado una programación ladder de modo que por medio de una perilla (conmutador), el operador pueda escoger entre “manual” y “automática”, donde esta última cuenta con dos sensores de posición para los envases.



**Figura 29.** Programación ladder del PLC y diagrama eléctrico de la máquina llenadora.

**Fuente:** Brijaldo, Eliana (2020).

#### **Funcionamiento y declaración de variables:**

Se ha utilizado 6 entradas para el PLC (figura 29):

I1: “START”: Botón o perilla que acciona el sistema.

I2: “OFF”: botón de parada del sistema.

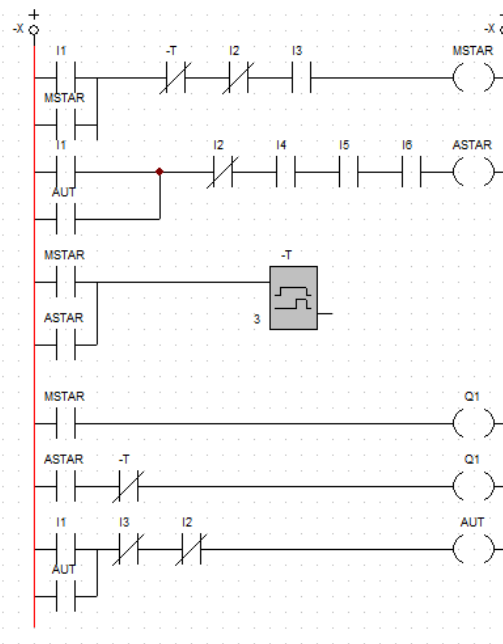
I2 e I4: “-S”: Perilla, conmutador, permite al operador escoger entre un sistema manual o automatizado.

I5 e I6: “B1, B2”: Sensores que detectan la presencia de los envases.

Se tiene una sola salida Q1 “-KM” (figura 29), éste es la bobina que cierran los contactores del motor de la bomba de desplazamiento positivo.

### Modo manual

Para poner en funcionamiento la máquina llenadora, el operador debe: accionar el disyuntor que alimenta el sistema, luego por medio de la perilla, seleccionar el modo (manual, automática) ver figura 29, colocar los envases en posición y presionar “START”. De esta manera el motor permanecerá encendido los 2,88s, tiempo necesario para dosificar 200ml de mermelada por cada boquilla.



**Figura 30.** Programación ladder del PLC de máquina llenadora.

**Fuente:** Brijaldo, Eliana (2020).

INTERVALO	TIEMPO	ON	OFF
T1	0S	1	
T2	2,89S		1

El circuito inicia con la entrada (pulsador “START”, entrada I1). El temporizador con retardo a la conexión (timer on delay, TON) (figura 30) es activado por un tiempo (T2, tiempo de llenado de los envases), finalizado el tiempo, éste abre el contacto normalmente cerrado (-T, figura 29) y se desenergiza la bobina (-KM, figura 29) apagando el motor de la bomba. De este modo se permite el cambio de los envases realizado por el operador de la máquina. Para volver a su funcionamiento el operador deberá oprimir el botón de “START”

**Modo automático:**

El algoritmo de este modo funciona a través de dos sensores de posición “B1” y “B2”, el circuito está diseñado de manera que se encienda el motor solamente si se detectan los dos envases en su posición. Donde a diferencia del modo manual, el operador no deberá pulsar ningún botón, sino solamente posicionar los envases, de esta manera, la segunda línea (ver figura 30) se mantiene energizada ya que I5 e I6 se cierra cuando el sensor detecta los envases, permitiendo que la salida “ASTAR” energice el temporizador con retardo a la conexión; una vez dosificado el motor no vuelve a encenderse hasta que se retire los envases llenos, y se coloquen los envases vacíos. Este proceso se repetirá las veces en que el sensor detecte los envases.

**4.5 Análisis de costo relacionado al diseño de la máquina llenadora.**

Para el análisis de costo se hizo una comparativa de las ganancias actuales de la empresa, para una tanda de 60kg, 255 mermeladas envasadas en una jornada laboral de 8 horas, trabajando 5 días por semana y 11 meses al año. Los procesos de elaboración y mano de obra no fueron contabilizados, el propósito de este análisis es dar una predicción aproximada de las ganancias que se obtendrán con el uso de la máquina llenadora. Es decir, el estudio se hizo solamente del producto ya terminado.

Los datos recibidos por la empresa son los siguientes:

**Tabla 11.** Comparación de velocidades para diferentes diámetros de tuberías.

DESCRIPCION	UNIDAD	COSTO	TOTAL
Producción de 255 mermeladas	1 día	206\$	206\$

Fuente: Brijaldo, Eliana (2020).

En la tabla 11 se tiene que la inversión diaria es de aproximadamente 206\$ solamente del producto ya terminado. El porcentaje de ganancias que la empresa maneja, es de aproximadamente 30% de lo invertido.

Con la máquina llenadora la empresa tendrá la capacidad de producir 2 tandas de 60kg cada una al día, teniendo unas pérdidas de producto de aproximadamente 2%, esto representa 10 envases en las dos tandas de producción. Entonces se puede decir que:

**Tabla 12.** Costos de la producción actual de la empresa

PRODUCCION ACTUAL 255 ENVASES			
INVERSION	COSTO	GANANCIAS 30%	TOTAL
DIARIA	\$ 206,00	\$ 61,80	\$ 267,80
MENSUAL	\$ 4.120,00	\$ 1.236,00	\$ 5.356,00
ANUAL	\$ 45.320,00	\$ 13.596,00	\$ 58.916,00

Fuente: Brijaldo, Eliana (2020)

**Tabla 13.** Producción de propuesta reflejada en dólares.

PRODUCCION PROPUESTA 500 ENVASES			
INVERSION	INVERSION	GANANCIAS 30%	TOTAL
DIARIA	\$ 412,00	\$ 123,60	\$ 535,60
MENSUAL	\$ 8.240,00	\$ 2.472,00	\$ 10.712,00
ANUAL	\$ 90.640,00	\$ 27.192,00	\$ 117.832,00

Fuente: Brijaldo, Eliana (2020)

$$\%crecimiento = \frac{P}{Producción\ actual} \times 100$$

$$\%crecimiento = \frac{500 - 255}{255} \times 100 = 96,08\%$$

Para cuantificar el tiempo en que se recupera la inversión en esta propuesta se realizó un análisis de los costos generados para la fabricación de la máquina.

**Tabla 14.** Análisis de costo de la materia prima

ITEM	DESCRIPCIÓN	FORMATO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<b>MATERIA PRIMA</b>					
1	TUBO INOX 304L SANITARIO 1"	PZA	1	\$ 50,00	\$ 50,00
2	CONEXIONES SANITARIAS DE ACERO INOXIDABLES	PZA	10	\$ 5,00	\$ 50,00
3	TUBO CUADRADO ACERO INOXIDABLE 30X30X2,5	PZA	2	\$ 60,00	\$ 120,00
4	LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE 304L e=1.5mm, FORMATO 8'X4'	PZA	1	\$ 185,00	\$ 185,00
5	ABRAZADERAS DE TUBERIAS Y MANGUERAS	PZA	7	\$ 3,00	\$ 21,00
6	TORNILLERIA	N/A			\$ 15,00
7	MANGUERAS	M	1,5	\$ 40,00	\$ 60,00
<b>TOTAL</b>					\$ 501,00

Fuente: Brijaldo, Eliana (2020).

**Tabla 15.** Análisis de costo del material eléctrico

ITEM	DESCRIPCIÓN	FORMATO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<b>MATERIAL ELÉCTRICO</b>					
1	CAJETIN BOTONERA	PZA	1	\$ 50,00	\$ 50,00
2	LUZ ENCENDIDO	PZA	1	\$ 5,00	\$ 5,00
3	PLC	PZA	1	\$ 80,00	\$ 80,00
4	PULSADORES	PZAS	3	\$ 5,00	\$ 15,00
5	CONTACTOR	PZA	1	\$ 50,00	\$ 50,00
6	CABLEADO	M	5	\$ 4,00	\$ 20,00
7	BORNERA	PZA	1	\$ 5,00	\$ 5,00
8	OTROS	N/A			\$ 20,00

<b>TOTAL</b>	<b>\$ 245,00</b>
--------------	------------------

**Fuente:** Brijaldo, Eliana (2020).

**Tabla 16.** Análisis de costo de la fabricación

ITEM	DESCRIPCIÓN	FORMATO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<b>FABRICACIÓN</b>					
1	SOLDADURA EN ACERO INOXIDABLE	M	3	\$ 40,00	\$ 120,00
2	FABRICACIÓN				\$ 150,00
3	BOMBA TORNILLO DE 0.36 Kw	PZA	1	\$ 550,00	\$ 550,00
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 820,00</b>

**Fuente:** Brijaldo, Eliana (2020).

**Tabla 17.** Costo final de la máquina.

ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO
<b>FABRICACIÓN</b>		
1	MATERIA PRIMA	\$ 501,00
2	MATERIALES ELECTRICOS	\$ 245,00
3	FABRICACION	\$ 820,00
SUBTOTAL		\$ 1.566,00
IVA 16%		\$ 250,56
GANANCIA EMPRESA 30%		\$ 469,80
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 2.286,36</b>

**Fuente:** Brijaldo, Eliana (2020).

El tiempo de recuperación de inversión, debe hacerse bajo flujos de caja que tenga la empresa, sin embargo, se consideró una ganancia neta constante durante todo el año para este cálculo. Por este motivo el tiempo de recuperación de la inversión será el dividendo de la inversión entre la ganancia neta recibida en el año.

$$T_{\text{recuperación}} = \frac{\text{Costo de la maquina}}{\text{Ganancia neta anual}} = \frac{2.286,36\$}{27.192} = 1 \text{ mes.}$$

## CONCLUSIONES

- La mermelada tiene un comportamiento pseudoplástico, dos factores intervienen en el comportamiento de la viscosidad, siendo la primera el aumento de la velocidad de corte, y el segundo el aumento de la temperatura. Datos necesarios para el diseño de la máquina llenadora. Las condiciones de trabajo de la mermelada, se maneja en temperaturas comprendidas entre 100°C a 85°C. Por otro lado, los índices reológicos se obtuvieron de manera experimental para el desarrollo de ecuaciones necesarios para el manejo del fluido por tuberías.
- El sistema de impulsión para la mermelada que se escogió brinda al equipo una gran versatilidad ya que su instalación se facilita en gran medida debido a que no depende de equipos externos instalados en la planta ni de otras instalaciones más que la toma de corriente.
- Mediante la bomba de tornillo excéntrico la empresa puede dosificar con un margen de error muy pequeño los envases pequeños de 200ml y además permite que se pueden llenar envases de un volumen mucho mayor solo con aumentar el tiempo de encendido de la bomba en cada llenado.
- Para diseñar las partes de la máquina se debió cumplir con parámetros de temperatura, ya que se estableció que el envasado debe realizarse en una temperatura no menor a los 85°C. Los cálculos de pérdida de calor por enfriamiento arrojaron un total de 3 horas para que este evento suceda.
- El funcionamiento sencillo de la máquina permite que cualquier operario sea capaz de utilizarla sin la necesidad de conocimientos técnicos, lo que evita que sea necesario la formación de personal especializado para su utilización o para su limpieza.
- El volumen de producción de los envases de 200 ml se incrementó en un 100%, dado que al realizar de manera manual se lograba dosificar 3 envases por cada minuto mientras que con la implementación de la máquina se llega a dosificar 20 envases por minuto.

- Gracias a que el proceso de dosificado no es manipulado directamente por el operador, se reduce considerablemente el tiempo que permanecen los envases y el producto sin envasar disminuyendo así la posibilidad de contaminación con cualquier microorganismo o elemento extraño.

- La utilización de un correcto software CAD (Diseño Asistido por Computadora) ofrece grandes beneficios al proceso de diseño encontrándose entre ellas:

  - La eventualidad de corregir errores en la fase de diseño.

  - Disminución de tiempo frente a las posibles modificaciones que pueden presentar los elementos.

  - Gran facilidad al momento de la elaboración de los planos.

  - Elevada precisión en los detalles.

  - Se puede representar completamente el equipo permitiendo visualizar cada uno de sus detalles.

- Por su parte la implementación del software CAE (Ingeniería Asistida por Computadora) permite integrar cada una de las propiedades de los elementos, así como las condiciones a las que se encuentran sometidos de tal manera que se pueda establecer cómo se va a comportar cada uno de los elementos obteniéndose múltiples beneficios entre ellos podemos citar los siguientes:

  - Se elimina la necesidad de construir varios prototipos.

  - Productos previamente verificados permite disminuir los costos de producción.

  - Productos con un gran estándar de calidad.

- Con la aplicación de un sistema automatizado por PLC se pudo reducir la intervención del personal en el proceso productivo, además de que permite fácilmente configurar el equipo dándole a la empresa una herramienta muy útil para configurar la máquina conforme varíen sus procesos productivos y requerimientos.

- La cantidad de personal que interviene en la producción se ha reducido a un solo operario lo que permite que estos puedan destinarse a otras tareas que incrementen la productividad y además garantiza el cumplimiento de las condiciones sanitarias del producto.

- Los costos de la máquina llenadora se mantienen dentro de los márgenes solicitados por la empresa, garantizando la demanda de producción planteada. Siendo un proyecto factible en términos de producción y fabricación.

## **RECOMENDACIONES**

- Con el mejoramiento de equipos y procesos antes y después de la dosificación la empresa puede aumentar sus niveles de producción de manera significativa sin la necesidad de recurrir a una modificación de la llenadora.
- Si se cuenta con el presupuesto, puede implementarse una banda transportadora y otros elementos de control que se sincronicen mediante un PLC para lograr la operación totalmente automática de la máquina en la dosificación de los frascos.
- Los materiales seleccionados pueden modificarse al momento de la fabricación para utilizar el equipo en rubros distintos al de los alimentos.
- Se recomienda acondicionar el área de trabajo de manera que se unifique los procesos de disponibilidad de envases, dosificado y roscado. Para que el trabajo del operador sea de la manera más fluida y segura posible.
- El sistema diseñado puede ser fácilmente modificado a conveniencia de la empresa, por lo que es completamente funcional para envases de distintos tamaños de diámetro y altura, además de ser posible reducir o aumentar la cantidad de boquillas con el recambio de algunas piezas sin la necesidad de hacer modificaciones al sistema diseñado.

## REFERENCIAS

- White, F. (2003) **Mecánica de fluidos**. McGraw-Hill, 5ta Ed.
- Rodríguez, (2010). **Metodología de la Investigación**. México. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Sabino, C. (2002). **El proceso de Investigación**. Caracas. Editorial Panapo De Venezuela.
- Arias, F. (2006). **El proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica**. 5° edición. Caracas. Episteme C. A.
- Balestrini, M. (2002). **Como se elabora el proyecto de Investigación**. 6° edición. Caracas. BL Consultores Asociados. Servicio Editorial
- Mataix, C. (1986). **Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas**. 2ª edición. Madrid. Ediciones del Castillo, S.A.
- Cengel, Y. (2006) **Mecánica de fluidos. Fundamentos y aplicaciones**. 1ra edición. McGraw-Hill.
- Bautista, O. (2016). **Clasificación de los fluidos no-newtonianos**. Universidad nacional autónoma de México.
- Ramírez, J. (2006). **Introducción a la reología de los alimentos**. Universidad del valle. Cali, Colombia
- García d., Paredes g. 2001. **Proceso tecnológico para la elaboración de mermelada de guayaba (Psidium guava)**. Universidad central de Venezuela facultad de agronomía.
- Martín, R. Salcedo, R. Font. (2011). **Mecánica de fluidos Tema2. Impulsión de fluidos**. Universidad de Alicante
- De las Heras, S. (2011). **Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas**. Universidad politécnica de Catalunya
- F. Ebel, S. Idler, G. Prede, D. Scholz. (2008). **Fundamentos de la técnica de automatización**. Artículo por FESTO.

Holman, J. (1998). **Transferencia de calor**. Octava edición. McGraw-Hill.

Pero, J. (2006). **“Ciencia e ingeniería de los materiales”**. Quinta edición. Ed. Dossat

**Apéndice A**  
**(Catálogo de tuberías y accesorios sanitarios)**

## Conexiones para abrazadera Clamp ó Triclamp

**2 KMP**  
CODO 45° CLAMP



TAMANO PULGADAS	C
1"	110
1 1/2"	170
2"	180
2 1/2"	210
3"	220
4"	310
6"	480

**2 CMP**  
CODO 90° CLAMP



TAMANO PULGADAS	C
1"	7
1 1/2"	21 1/2
2"	31 1/2
2 1/2"	41 1/2
3"	5
4"	69 1/2
6"	10

**7 MP**  
TEE CLAMP



TAMANO PULGADAS	C	L
1"	110	48
1 1/2"	210	51 1/2
2"	310	7
2 1/2"	310	7
3"	310	7 1/2
4"	410	9
6"	710	15

### Ferrulas Clamp Sanitarias Grado Alimenticio Farmaceutico

**14 WMP**  
FÉRRULA CORTA CLAMP 1" - 10"




FÉRRULA CORTA P/SOLDAR

largo de cuello 1/2"

TAMANO PULGADAS	A MM	B MM	F MM
1/2"	12.7	9.4	25
3/4"	19.1	15.75	25
1"	25.4	22.1	50.5
1 1/4"	31.7	14.8	50.5
2"	50.8	47.5	64
2 1/2"	63.5	60.3	77.5
3"	76.2	73.2	91
4"	101.6	97.4	119
6"	152.4	147.0	167

FÉRRULA CORTA MINICLAMP EN 1/2" Y 3/4"

**14 AMP**  
FÉRRULA LARGA PARA MAQUINA ORBITAL



largo de cuello 1 1/8"

TAMANO PULGADAS	A PULGADA	B MM	F MM
1/2"	31 1/2	9.4	25
3/4"	31 1/2	15.75	25
1"	31 1/2	22.1	50.5
1 1/4"	31 1/2	34.8	50.5
2"	31 1/2	47.5	64
2 1/2"	31 1/2	60.3	77.5
3"	31 1/2	72.9	91
4"	31 1/2	97.4	119
6"	31 1/2	147.0	167

FÉRRULA LARGA CLAMP 1" - 6"

LA LARGA CLAMP EN 1/2" Y 3/4"

FÉRRULA LARGA

**14 RMP**  
FÉRRULA PARA ROLAR O EXPANDER



TAMANO PULGADAS	A PULGADA	B MM	F MM
1"	1 1/4	22.1	25.4
1 1/4"	1 3/4	34.8	50.5
2"	2 1/4	47.5	64.0
2 1/2"	2 3/4	60.2	77.5
3"	3 1/4	72.9	91.0
4"	4 1/4	97.4	119.0
6"	6 1/4	147.0	167.0

**14 MPW**  
FÉRRULA GRUESA PARA SOLDAR A TANQUE



TAMANO PULGADAS	A PULGADAS	B PULGADAS	C PULGADAS	F MM
1"	1 1/4	.870	1.160	25.4
1 1/4"	1 3/4	1.370	1.676	50.5
2"	2 1/4	1.870	2.192	64.0
2 1/2"	2 3/4	2.370	2.708	77.5
3"	3 1/4	2.870	3.224	91.0
4"	4 1/4	3.814	4.256	119.0
6"	6 1/4	5.834	6.256	167.0

**ASME BPE SF1**  
FÉRRULA ASME BPE FARMACÉUTICA ALTA PUREZA PARA TUBING BPE



TAMANO PULGADAS	A MM	F MM	C MM
1/2"	44.5	25.4	12.7
3/4"	44.5	25.4	19.1
1"	44.5	50.5	25.4
1 1/4"	44.5	50.5	38.1
2"	57.2	64.0	50.8
2 1/2"	57.2	77.5	63.5
3"	57.2	91.0	76.2
4"	57.2	119.0	101.6

### Abrazaderas Clamp Para Ferrulas, Tapones Sanitarios Y Empaques

**13 MHH**  
ABRAZADERA AJUSTABLE REFORZADA



TAMANO PULGADAS	C
1/2" y 3/4"	15" y 16"
1"	18"
1 1/2"	22"
2"	26"
2 1/2"	30"
3"	34"
4"	41"
6"	72"

**40MPU-N**  
EMPAQUE CLAMP DE NEOPRENO "NBR" O BUNA GRADO ALIMENTICIO COLOR NEGRO PARA FÉRRULAS Y TAPONES CLAMP



**40 MPU-S**  
EMPAQUE CLAMP SILICÓN TRANSLUCIDO



**40 MPU-T**  
EMPAQUE CLAMP DE TEFLÓN SÓLIDO COLOR BLANCO



**16 AMP**  
TAPON CLAMP O FÉRRULA CIEGA CLAMP



TAMANO PULGADAS	G PULGADAS	F MM
1/2 y 3/4"	1/4"	25.4
1" y 1 1/2"	1/4"	30.3
2"	1/4"	64.0
2 1/2"	1/4"	77.5
3"	1/4"	91.0
4"	1/4"	119.0
6"	1/4"	167.0

MINI TAPON CLAMP 1/2" Y 3/4"

TAPON CLAMP 1" - 8"

## Conexiones Sanitarias Soldables

**2 A P 7**

**CODO 90° CORTO SOLDABLE TRADICIONAL**

TAMARO PULGADAS	A	PAIRE B
1/2"	1 1/2"	.065
3/4"	1 1/2"	.065
1"	1 1/2"	.065
1 1/2"	2 1/2"	.065
2"	3"	.065
2 1/2"	3 1/2"	.065
3"	4 1/2"	.065
4"	6"	.083
6"	9"	.109
8"	12"	.109

**2 S**

**CODO 90° LARGO SOLDABLE TANGENCIAL**

TAMARO PULGADAS	A	PAIRE B
1/2"	1 1/2"	.065
3/4"	1 1/2"	.065
1"	2 1/2"	.065
1 1/2"	2 5/8"	.065
2"	4 1/8"	.065
2 1/2"	5 1/8"	.065
3"	6 1/8"	.065
4"	8 1/2"	.083
6"	11 1/2"	.109

**2 K S**

**CODOS 45° SOLDABLE**

TAMARO PULGADAS	L1	D	R
1"	15.8	25.4	38.1
1 1/2"	23.8	38.1	57.2
2"	31.8	50.8	76.3
2 1/2"	39.7	63.5	95.3
3"	47.6	76.2	114.3
4"	63.5	101.6	152.4
6"	94.7	152.4	228.6

## R E D U C C I O N E S

**7 W-T E E**

TAMARO PULGADAS	A	PAIRE B
1/2"	1 1/4"	.065
3/4"	1 3/4"	.065
1"	1 7/8"	.065
1 1/2"	2 1/4"	.065
2"	3"	.065
2 1/2"	3 1/2"	.065
3"	3 3/4"	.065
4"	5 1/4"	.083
6"	8"	.109
8"	10 1/2"	.109

**31W CONCÉNTRICA/ 32W EXCÉNTRICA**

SOLDABLES

TAMARO PULGADAS	A	B	C
1 1/2" 1"	1.0	0.75	2.0
1 1/2" 3/4"	1.5	0.75	4.0
1 1/2" 1/2"	1.5	1.0	2.0
2" 1"	2.0	1.0	4.0
2" 1/2"	2.0	1.5	2.0
2 1/2" 1 1/2"	2.5	1.5	4.0
2 1/2" 1"	2.5	2.0	2.0
3" 1 1/2"	3.0	1.5	6.0
3" 1"	3.0	2.0	4.0
3" 1/2"	3.0	2.5	2.0
4" 2"	4.0	2.0	8.0
4" 1 1/2"	4.0	2.5	6.0
4" 1"	4.0	3.0	4.0
6" 3"	6.0	3.0	6.0
6" 4"	6.0	4.0	4.0

**3114 MP CONCÉNTRICA/ 3214 MP EXCÉNTRICA**

CLAMP

TAMARO PULGADAS	A	B	C
1 1/2" 1"	1.988	0.984	3.0
1 1/2" 3/4"	1.988	0.984	5.0
1 1/2" 1/2"	1.988	1.988	3.0
2" 1"	2.519	1.988	5.0
2" 1/2"	2.519	1.988	3.0
2 1/2" 1 1/2"	3.051	1.988	5.0
2 1/2" 1"	3.051	2.519	3.0
3" 1 1/2"	3.582	1.988	7.0
3" 1"	3.582	2.519	5.0
3 1/2" 2"	3.582	3.051	3.0
4" 2"	4.682	2.519	9.125
4" 1 1/2"	4.682	3.051	7.125
4" 1"	4.682	3.581	5.125
6" 3"	6.567	3.582	7.374
6" 4"	6.567	4.682	5.50

## Válvulas Muestreo o Sacamuestras Sanitarias

1/4" NPT



1/2" MINI CLAMP



VÁLVULA DE MUESTREO ASCÉPTICA PARA SOLDAR A TANQUE 1"



1/2" NPT



1" / 1.5" CLAMP



**Apéndice B**  
**(Calor específico de la mermelada)**

1. Pulpa de piña

Concentración (°Brix)	Calor específico(KJ/Kg°K)			
	Experimental (P1)	Siebel (P2)	Heldman (P3)	Choi y Okos (P4)
10	3,869	3,831	3,879	3,894
15	3,665	3,565	3,651	3,679
20	3,558	3,452	3,556	3,590
24	3,385	3,244	3,382	3,426
28	3,171	2,992	3,170	3,227
<b>Promedio</b>	<b>3,530</b>	<b>3,417</b>	<b>3,528</b>	<b>3,563</b>

P1: Calor específico a diferentes concentraciones halladas por el método experimental

P2: Calor específico a diferentes concentraciones halladas por la ecuación de Siebel

P3: Calor específico a diferentes concentraciones halladas por la ecuación de Heldman

P4: Calor específico a diferentes concentraciones halladas por la ecuación de Choi y Okos

De la tabla 21 se obtiene el error del promedio de los cuadrados y se aplica la ecuación:

**Fuente:** Sullá, Ruth. "Influencia de los sólidos solubles en el calor específico de la pulpa concentrada de piña, zumo concentrado de naranja y comparación con los modelos matemáticos de Choi y Okos, Siebel y Heldman" Universidad nacional del centro de Perú. (2016) (p. 98)

**Apéndice C**  
**(Resultados estudio reológico)**

**Tabla 1.** Composición de las mermeladas de albaricoque, arándano y escaramujo.**Table 1.** Composition of apricot, bilberry and rose hip jams.

	Albaricoque	Arándano	Escaramujo
pH	3,80 ± 0,01	3,30 ± 0,03	3,50 ± 0,03
Acidez (mL NaOH 0,1 N/100 g)	120,0 ± 1,2	120,0 ± 2,1	134,1 ± 3,8
°Brix (20 °C)	45,10 ± 0,20	59,90 ± 0,15	60,45 ± 0,15
Fibra (%)	3,1 ± 0,1	2,1 ± 0,1	3,2 ± 0,1
Sólidos insolubles en alcohol (% ppdo alcohólico)	35,2 ± 0,2	77,6 ± 0,5	98,9 ± 0,5
Cenizas	1,5 ± 0,15	2,0 ± 0,1	0,1 ± 0,02
Glucosa (%)	19,5 ± 0,3	0,0	0,0
Fructosa (%)	2,9 ± 0,2	50,7 ± 0,3	51,0 ± 1,5
Sacarosa (%)	24,0 ± 0,4	0,0	0,0

en la que  $J$  es un parámetro que varía con el tiempo y depende de la estructura que presenta la muestra. Si se supone que disminuye según una cinética de primer orden, se obtiene

$$\tau = \tau_e + (\tau_0 - \tau_e) \exp(-kt) \quad (2)$$

donde  $k$  es la constante cinética de variación estructural.

La caracterización del flujo de las mermeladas se realizó mediante una curva de flujo que comprendía: a) un período inicial de 600 s con un gradiente de velocidad de  $100 \text{ s}^{-1}$  orientado a eliminar el comportamiento tixotrópico de la muestra, ya que según los resultados obtenidos en la etapa anterior aplicando este gradiente de velocidad, a partir de los 240 s el esfuerzo cortante se hacía independiente del tiempo; b) un período de 600 s, en el que el gradiente de velocidad asciende desde  $10$  a  $500 \text{ s}^{-1}$ ; c) una etapa de 100 s en la que el gradiente de velocidad se mantiene constante a  $500 \text{ s}^{-1}$ ; y d) una fase final de 600 s en la que el gradiente de velocidad desciende de  $500$  a  $10 \text{ s}^{-1}$ . Estas curvas fueron realizadas por triplicado para cada temperatura objeto de análisis.

Para relacionar el esfuerzo cortante con el gradiente de velocidad (Rao y Rizvi, 1986) se ha utilizado la ecuación de la ley de la potencia:

$$\tau = k \gamma^n \quad (3)$$

y el modelo de Herschel-Bulkley

$$\tau = \tau_c + k \gamma^n \quad (4)$$

Para estudiar la influencia de la temperatura sobre la viscosidad se ha utilizado la ecuación de Arrhenius-Guzman:

$$\eta_a = (K_a) \exp(-E/RT) \quad (5)$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

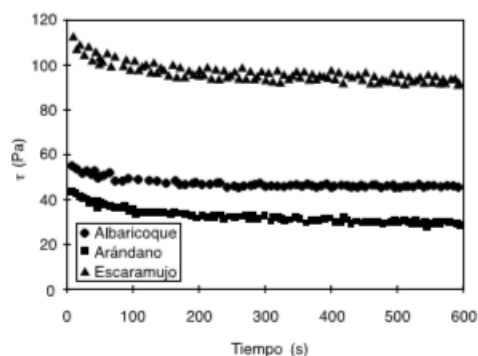
Como puede observarse en la Tabla 1, las principales diferencias de composición existente entre las mermeladas radican en el tipo de azúcar y porcentaje total de los mismos, porcentaje de sólidos solubles (°Brix) y sólidos insolubles en alcohol, aspectos éstos con gran influencia en el comportamiento reológico.

Los geles de pectina como los que aparecen en las mermeladas pueden presentar características viscoelásticas, viscoplásticas, tixotropía reversible o no, y tensión límite de fluencia. En la Figura 1 se presenta la evolución del esfuerzo cortante ( $\tau$ ) con el tiempo, a la temperatura de  $45 \text{ °C}$  y un gradiente de velocidad constante de  $100 \text{ s}^{-1}$ , para las tres mermeladas analizadas. En todas las muestras se observa que el esfuerzo cortante, para un gradiente de velocidad constante, es función del tiempo. Este efecto tixotrópico es mayor a medida que aumenta el porcentaje de sólidos insolubles en alcohol en la mermelada (relacionado con el porcentaje de pectinas), de forma que el albaricoque presenta el menor descenso de  $\tau$ , seguido del arándano y por último el escaramujo. Este efecto tixotrópico puede ser debido probablemente a la destrucción de la estructura de gel formada por las pectinas. Todas las muestras, tras un período de reposo de 30 min, volvían a presentar el mismo comportamiento de  $\tau$  con el tiempo para un gradiente de velocidad constante, por lo que se comprueba que existe una recuperación estructural del producto con el reposo.

Por otra parte se realizaron experiencias a distintas temperaturas con objeto de evaluar la influencia de esta variable sobre la tixotropía. Los valores del esfuerzo  $\tau$  se han relacionado con el tiempo, para cada temperatura, según la Ecuación 2 mediante un programa de regresión no lineal que utiliza el algoritmo

FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY INTERNATIONAL (1997) 3(1)

**Fuente:** Villaran, M. Cepeda, E. Ibarz, A. "Estudio de la influencia de la temperatura en el comportamiento reológico de mermeladas de albaricoque, arándano y escaramujo. Food science and technology international. (1997)



**Figura 1.** Variación del esfuerzo cortante con el tiempo a un gradiente de velocidad de  $100 \text{ s}^{-1}$  a  $45 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Figure 1.** Shear stress variation with the time for a shear rate of  $100 \text{ s}^{-1}$  at  $45 \text{ }^\circ\text{C}$ .

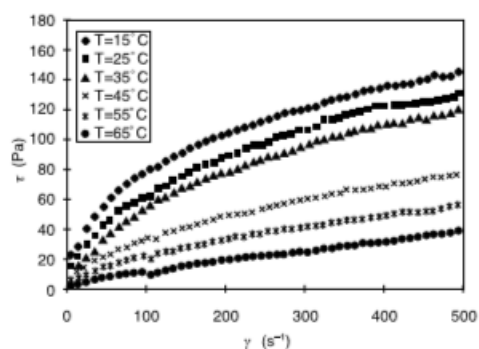
de Marquard (Tabla 2). Como puede observarse, los valores del esfuerzo cortante de equilibrio y esfuerzo cortante inicial disminuyen con la temperatura al producirse un debilitamiento de la red tridimensional constituida por las pectinas, siendo este efecto mayor cuanto más elevado es el contenido en sólidos insolubles en alcohol de la mermelada. En general se observa que  $(\tau_0 - \tau_e)$  presenta valores elevados, lo que indica que ha habido una elevada degradación

**Tabla 2.** Valores de los parámetros de la Ecuación 2 [ $\tau = \tau_e + (\tau_0 - \tau_e) \exp(-kt)$ ] para diferentes temperaturas.

**Table 2.** Values of the parameters of Equation 2 [ $\tau = \tau_e + (\tau_0 - \tau_e) \exp(-kt)$ ] at different temperatures.

Mermelada	T (°C)	$\tau_e$ (Pa)	$\tau_0$ (Pa)	k	$r^2$	$(\tau_0 - \tau_e)$ (Pa)
Albaricoque	25	75	94,4	$1,6 \cdot 10^{-2}$	0,994	19,4
	35	49,9	69,4	$8,8 \cdot 10^{-3}$	0,996	19,5
	45	47,3	50,3	$2,3 \cdot 10^{-3}$	0,992	2,9
Arándano	15	90,2	105,9	$3,4 \cdot 10^{-2}$	0,904	15,7
	45	30,4	44,5	$6,4 \cdot 10^{-3}$	0,985	14,1
	55	13,1	20,2	$8,1 \cdot 10^{-3}$	0,988	7,1
	65	10,3	14,5	$8,1 \cdot 10^{-3}$	0,990	4,2
Escaramujo	15	523,0	609,2	$1,2 \cdot 10^{-2}$	0,955	86,2
	25	378,5	418,7	$1,1 \cdot 10^{-2}$	0,990	40,2
	35	283,6	317,5	$8,2 \cdot 10^{-3}$	0,991	33,9
	45	146,9	167,3	$4,2 \cdot 10^{-3}$	0,995	20,4
	65	73,6	90,3	$4,5 \cdot 10^{-3}$	0,998	16,7

FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY INTERNATIONAL (1997) 3(1)



**Figura 2.** Evolución del esfuerzo cortante frente al gradiente de velocidad a distintas temperaturas para la mermelada de albaricoque.

**Figure 2.** Shear stress versus shear rate at different temperatures in apricot jam.

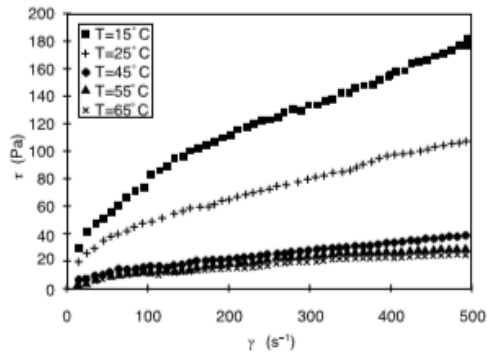
estructural hasta llegar al valor de equilibrio. El valor del parámetro  $K$  ( $K < 0,016$ ) indica que la citada estructura se destruye con rapidez (Costell *et al.*, 1982). Experimentalmente se ha comprobado que la destrucción estructural tuvo lugar en 4 min para un gradiente de cizalla de  $100 \text{ s}^{-1}$ .

Para eliminar la influencia de la tixotropía en el flujo de estos productos, en las experiencias de curva de flujo se aplicó a las muestras a un gradiente de velocidad de  $100 \text{ s}^{-1}$  durante 10 min antes de empezar la medida. En las Figuras 2, 3 y 4 se muestran los roogramas obtenidos para la mermelada de albaricoque, arándano y escaramujo, respectivamente, a las temperaturas de 15, 25, 35, 45 y 65 °C. Para el resto de temperaturas se obtuvieron roogramas similares. Como puede observarse, en todos los casos se pone de manifiesto el comportamiento pseudoplástico de las tres mermeladas.

A partir del ajuste de los resultados a los modelos de la potencia y de Herschel-Bulkley (Tablas 3 y 4) se puede apreciar que el parámetro  $\tau_c$  del modelo Herschel-Bulkley, y con ello la plasticidad, disminuye al aumentar la temperatura. Esto es debido a que al aumentar la temperatura se produce un debilitamiento de la red tridimensional constituida por las pectinas.

El índice de consistencia decrece en las tres mermeladas a medida que aumenta la temperatura mientras que el índice de flujo aumenta (Tabla 3). Esto indica que al aumentar la temperatura la pseudo-plasticidad de las muestras disminuye. No obstante, a temperaturas altas, debido al debilitamiento de la

**Fuente:** Villarán, M. Cepeda, E. Ibarz, A. "Estudio de la influencia de la temperatura en el comportamiento reológico de mermeladas de albaricoque, arándano y escaramujo. Food science and technology international. (1997)



**Figura 3.** Evolución del esfuerzo cortante frente al gradiente de velocidad a distintas temperaturas para la mermelada de arándano.

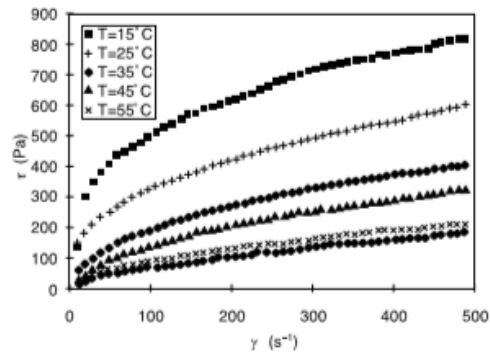
**Figure 3.** Shear stress versus shear rate at different temperatures in bilberry jam.

estructura formada por las pectinas, este efecto de la temperatura sobre los índices citados es menor, de forma que a 65 °C, las tres mermeladas presentan valores de *n* bastante similares.

**Tabla 3.** Valores de los parámetros de la Ecuación 3 [ $\tau = k \gamma^n$ ] en función de la temperatura.

**Table 3.** Values of the parameters of Equation 3 [ $\tau = k \gamma^n$ ] as a function of temperature.

Mermelada	T (°C)	k (Pa . s <sup>n</sup> )	n	r <sup>2</sup>
Albaricoque	5	31,30	0,33	0,986
	15	11,40	0,41	0,992
	25	6,90	0,48	0,995
	35	3,12	0,54	0,996
	45	2,21	0,58	0,993
Arándano	55	1,20	0,62	0,996
	65	0,65	0,65	0,985
	5	14,7	0,39	0,990
	15	13,0	0,43	0,950
	25	5,96	0,46	0,991
Escaramujo	45	1,10	0,57	0,985
	55	0,89	0,58	0,976
	65	0,76	0,62	0,961
	15	98,5	0,36	0,945
	25	61,8	0,37	0,980
	35	18,4	0,55	0,988
	45	9,06	0,59	0,994
	55	5,76	0,60	0,997
	65	2,72	0,69	0,998



**Figura 4.** Evolución del esfuerzo frente al gradiente de velocidad a distintas temperaturas para la mermelada de escaramujo.

**Figure 4.** Shear stress versus shear rate at different temperatures in rose hip jam.

Finalmente, para cuantificar el efecto que la temperatura ejerce sobre el comportamiento reológico, se han tomado las viscosidades aparentes de las tres mermeladas, para las diferentes temperaturas mencionadas en este trabajo, a cuatro valores de gradientes de velocidad (10, 100, 250 y 500 s<sup>-1</sup>) y para cada velocidad de deformación, y se ajustaron a la forma linealizada de la Ecuación 5, para calcular las energías de activación al flujo para las tres mermeladas (Tabla 5). Se observa que, para un mismo producto, los valores de la energía de activación aumenta a medida que disminuye la velocidad de deformación. La energía de activación asociada al flujo, a una misma temperatura, decrece a medida que aumenta el gradiente de cizalla. De los datos obtenidos se puede concluir que el valor de la energía de activación aumenta al aumentar el contenido en sólidos solubles (°Brix) y cuando disminuye la velocidad de deformación (Saravacos, 1970; Ibarz *et al.*, 1988; Ibarz y Lozano, 1992). Así, los mayores valores de energía de activación, para una misma velocidad de deformación, corresponden a la mermelada de escaramujo, siendo los menores los correspondientes a la de albaricoque.

**SYNOPSIS**

The rheological behavior of commercial apricot jam (*Prunus armeniaca*) manufactured with sucrose, bilberry (*Vaccinium myrtillus*) jam and rose hip (*Rosa canina*) jam manufactured with fructose for dietary

**Fuente:** Villaran, M. Cepeda, E. Ibarz, A. "Estudio de la influencia de la temperatura en el comportamiento reológico de mermeladas de albaricoque, arándano y escaramujo. Food science and technology international. (1997)

**Tabla 4.** Valores de los parámetros de la Ecuación 4 [ $\tau = \tau_c + k \dot{\gamma}^n$ ] en función de la temperatura.**Table 4.** Values of the parameters of Equation 4 [ $\tau = \tau_c + k \dot{\gamma}^n$ ] as a function of temperature.

Mermelada	T (°C)	$\tau_c$ (Pa)	k (Pa · s <sup>n</sup> )	n	r <sup>2</sup>
Albaricoque	5	58,50	3,10	0,68	0,959
	15	18,20	2,99	0,62	0,960
	25	12,30	2,06	0,67	0,975
	35	5,22	1,79	0,64	0,980
	45	3,12	1,29	0,66	0,976
	55	2,77	0,80	0,69	0,988
Arándano	5	15,60	1,03	0,87	0,986
	15	15,75	1,00	0,75	0,928
	25	15,90	0,97	0,64	0,973
	45	1,83	0,62	0,66	0,984
	55	0,0	0,89	0,58	0,976
	65	0,19	0,73	0,58	0,961
Escaramujo	15	122,0	203,0	0,60	0,742
	25	136,0	6,29	0,72	0,925
	35	41,10	5,38	0,70	0,957
	45	20,90	3,42	0,75	0,963
	55	14,80	1,93	0,77	0,965
	65	7,33	1,22	0,82	0,970

was studied. There are previous references for apricot jam (Costell *et al.*, 1985), but no data were found in the literature for bilberry or rose hip jams. We studied the rheological characterization of the jams and the relation between rheology and temperature.

Apricot jam (Centra, Spain), bilberry and rose hip jams (Bioforce, Switzerland, made with fructose and citric acid) with 40, 51.7 and 51.3% sugar, respectively, were used. The first percentage figure refers to total content of glucose, sucrose and fructose; the other two figures refer only to fructose in the jams recommended for diabetics. The rose hip jam was filtered through a 0.250 mm sieve to eliminate the seeds. Soluble solids, insoluble solids in alcohol, titratable acidity, ash, and fibre were analysed according to the Spanish official methods of analysis (Ministerio de Presidencia, 1988), and sugar content was found by high performance liquid chromatography.

The rheological assays were performed in a Mettler RM 180 rotary viscometer with SWR27 software. The experiments were done in quadruplicate. To quantify thixotropy the model of Elliot and Green (1977) was used. Figure 1 shows the changes in stress versus time for the three jams for a shear rate of 100 s<sup>-1</sup> at 45 °C. The samples showed a dependency with the time. This thixotropy was greater when the percentage of

**Tabla 5.** Valores de los parámetros de la Ecuación 5 [ $\eta_b = (K_0) (-E_a/RT)$ ].**Table 5.** Values of the parameters of Equation 5 [ $\eta_b = (K_0) (-E_a/RT)$ ].

Mermelada	$\dot{\gamma}$ (s <sup>-1</sup> )	K <sub>0</sub> (Pa · s)	E <sub>a</sub> (kcal.mol)	r <sup>2</sup>
Albaricoque	10	3,11.10 <sup>-6</sup>	9,28	0,995
	100	4,48.10 <sup>-4</sup>	6,97	0,991
	250	3,22.10 <sup>-3</sup>	6,07	0,988
	500	1,49.10 <sup>-2</sup>	5,35	0,984
Arándano	10	3,84.10 <sup>-6</sup>	9,00	0,984
	100	2,04.10 <sup>-4</sup>	7,29	0,964
	250	9,98.10 <sup>-4</sup>	6,60	0,989
Escaramujo	500	4,56.10 <sup>-3</sup>	5,91	0,956
	10	7,02.10 <sup>-7</sup>	11,26	0,997
	100	3,19.10 <sup>-4</sup>	8,21	0,998
	250	3,63.10 <sup>-3</sup>	7,01	0,995
	500	2,38.10 <sup>-2</sup>	6,07	0,988

insoluble solids in jams increased. The apricot jam showed the smallest  $\tau$  decrease, followed by bilberry jam and rose hip jam.

To evaluate the influence of temperature on the thixotropic effect, the experiment was done at different temperatures. The data was fitted to Equation 4 by means of a nonlinear program that uses the Marquard algorithm (Table 2). Equilibrium stress and initial stress diminished with temperature, as a result of the weakness of the tridimensional network formed by the pectins. This effect was greater when the pectin and fibre content in the jam increased. To eliminate the thixotropic effect in these products the samples were subjected to 100 s<sup>-1</sup> during 10 min before beginning the measurement. For flow studies, experiments were done with shear rates from 10 s<sup>-1</sup> to 500 s<sup>-1</sup> at temperatures between 5 and 65 °C ( $\pm 0.5$  °C). Figures 2, 3, and 4 show the rheograms obtained for apricot, bilberry and rose hip jams at 15, 25, 35, 45 and 65 °C. All three jams showed pseudoplastic behaviour.

The experimental data were fitted to two models: the power law (Equation 3) and the Herschel-Bulkley model (Equation 4, Tables 3 and 4);  $\tau_c$  in the Herschel-Bulkley model increased as temperature decreased. This was a result of weakness of the tridimensional network formed by pectins and sugars produced when the temperature increased.

The consistency index decreased as the temperature increased, whereas the behaviour index increased (Table 3). This fact indicates that when temperature increased sample pseudoplasticity decreased. However, at high temperatures, because of the weakness of the structure formed by the pectins, this

**Fuente:** Villarán, M. Cepeda, E. Ibarz, A. "Estudio de la influencia de la temperatura en el comportamiento reológico de mermeladas de albaricoque, arándano y escaramujo. Food science and technology international. (1997)

**Apéndice D**  
**(Tabla del propiedades del aire a presión 1 atm)**

**TABLA A-15**

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

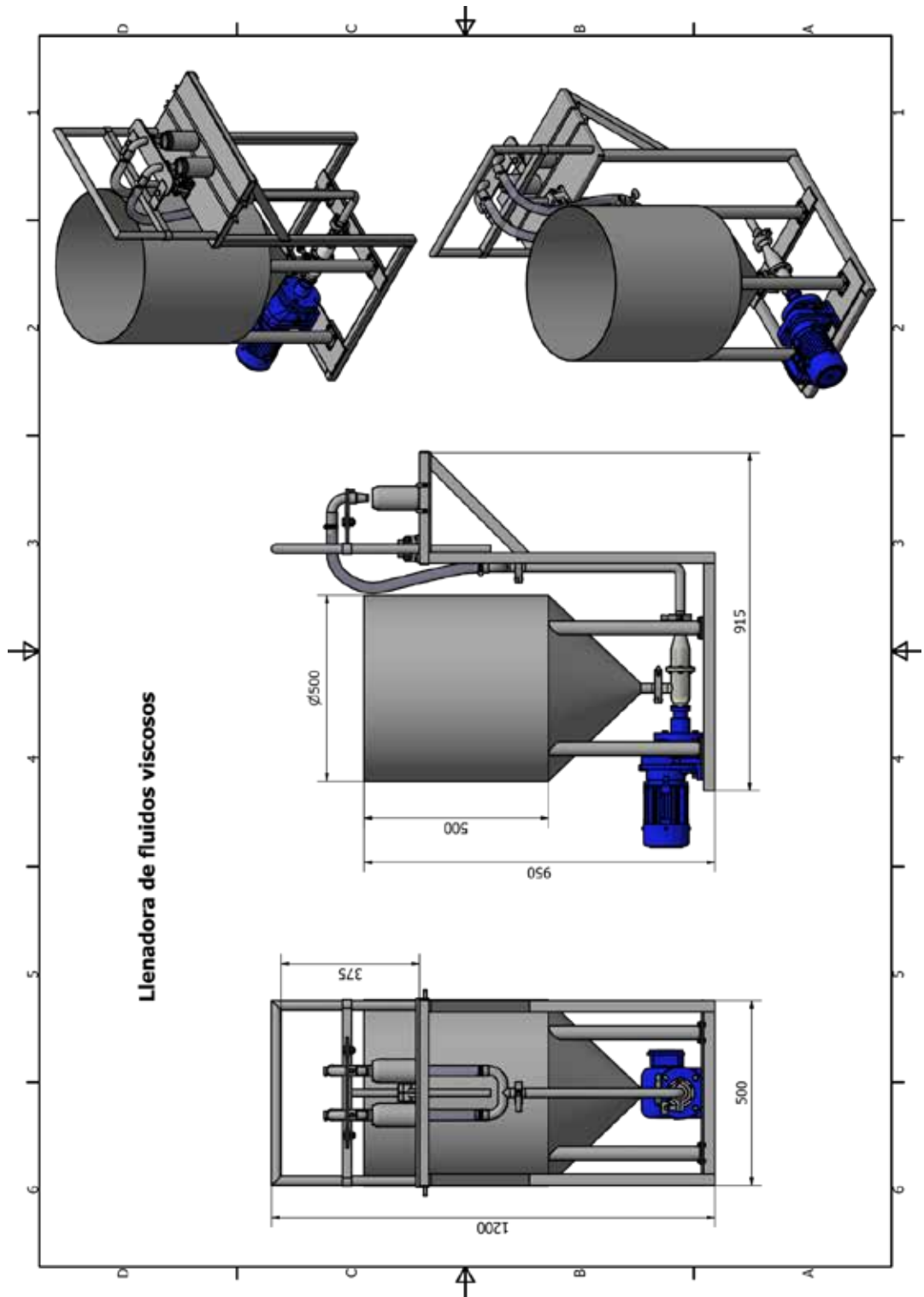
Temp., T, °C	Densidad, $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Calor específico, $c_p$ , J/kg · K	Conductividad térmica, k, W/m · K	Difusividad térmica, $\alpha$ , m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	Viscosidad dinámica, $\mu$ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, $\nu$ , m <sup>2</sup> /s	Número de Prandtl, Pr
150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-5}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-5}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1.002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1.004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1.005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
10	1.341	1.006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1.006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1.006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1.006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1.007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1.007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1.007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1.007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1.007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1.007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1.007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1.007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1.007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1.007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1.008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1.008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1.009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1.011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1.013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1.016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1.019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1.023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1.033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946
300	0.6158	1.044	0.04418	$6.871 \times 10^{-5}$	$2.934 \times 10^{-5}$	$4.765 \times 10^{-5}$	0.6935
350	0.5664	1.056	0.04721	$7.892 \times 10^{-5}$	$3.101 \times 10^{-5}$	$5.475 \times 10^{-5}$	0.6937
400	0.5243	1.069	0.05015	$8.951 \times 10^{-5}$	$3.261 \times 10^{-5}$	$6.219 \times 10^{-5}$	0.6948
450	0.4880	1.081	0.05298	$1.004 \times 10^{-4}$	$3.415 \times 10^{-5}$	$6.997 \times 10^{-5}$	0.6965
500	0.4565	1.093	0.05572	$1.117 \times 10^{-4}$	$3.563 \times 10^{-5}$	$7.806 \times 10^{-5}$	0.6986
600	0.4042	1.115	0.06093	$1.352 \times 10^{-4}$	$3.846 \times 10^{-5}$	$9.515 \times 10^{-5}$	0.7037
700	0.3627	1.135	0.06581	$1.598 \times 10^{-4}$	$4.111 \times 10^{-5}$	$1.133 \times 10^{-4}$	0.7092
800	0.3289	1.153	0.07037	$1.855 \times 10^{-4}$	$4.362 \times 10^{-5}$	$1.326 \times 10^{-4}$	0.7149
900	0.3008	1.169	0.07465	$2.122 \times 10^{-4}$	$4.600 \times 10^{-5}$	$1.529 \times 10^{-4}$	0.7206
1 000	0.2772	1.184	0.07868	$2.398 \times 10^{-4}$	$4.826 \times 10^{-5}$	$1.741 \times 10^{-4}$	0.7260
1 500	0.1990	1.234	0.09599	$3.908 \times 10^{-4}$	$5.817 \times 10^{-5}$	$2.922 \times 10^{-4}$	0.7478
2 000	0.1553	1.264	0.11113	$5.664 \times 10^{-4}$	$6.630 \times 10^{-5}$	$4.270 \times 10^{-4}$	0.7539

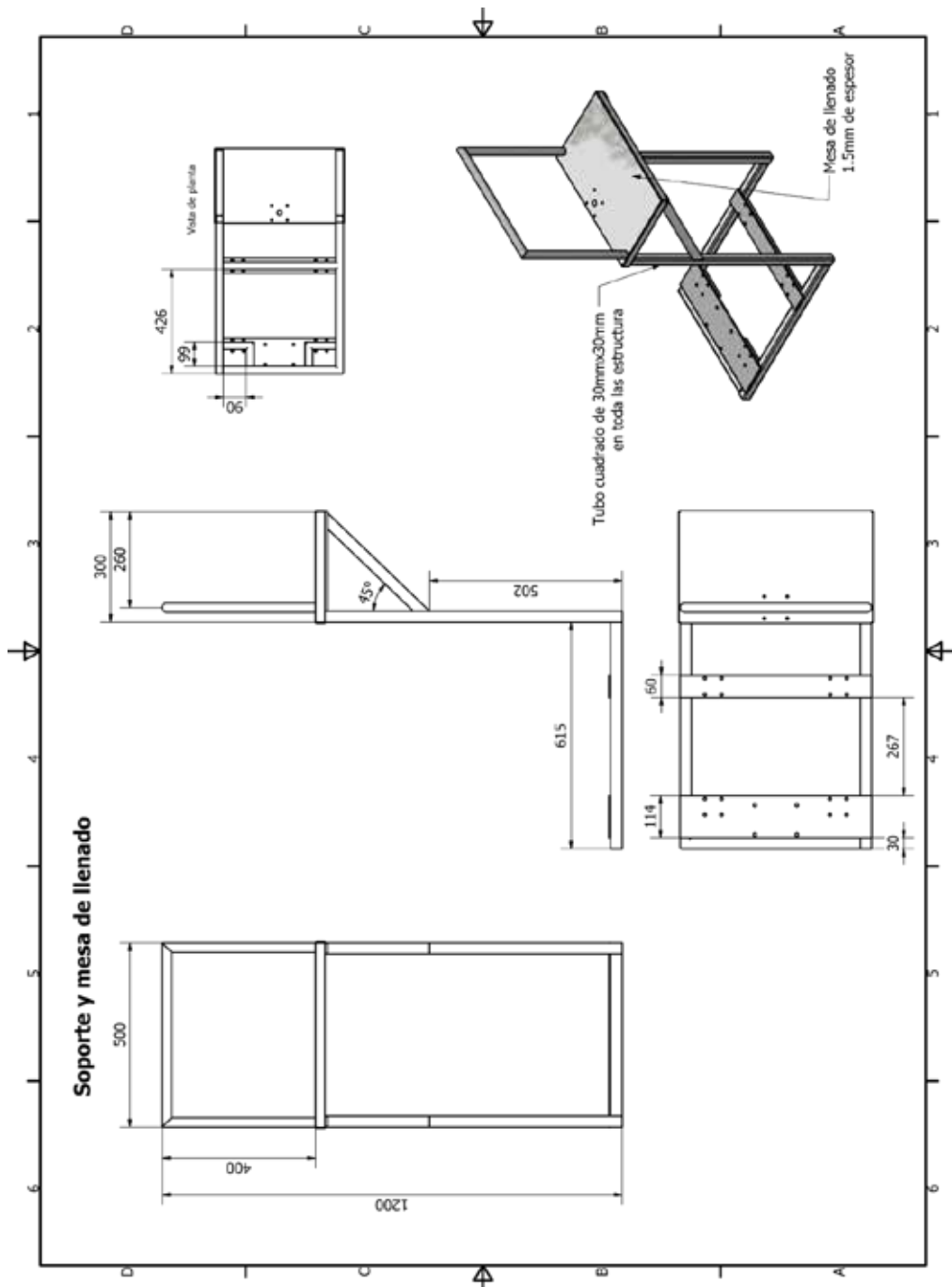
*Note:* Para los gases ideales, las propiedades  $c_p$ ,  $k$ ,  $\mu$  y Pr son independientes de la presión. Las propiedades  $\rho$ ,  $\nu$  y  $\alpha$  a una presión  $P$  (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de  $\rho$ ,  $\alpha$  a la temperatura dada, por  $P$  y al dividir  $\nu$  y  $\alpha$  entre  $P$ .

*Source:* Datos generados basándose en el software EES (donde se usó por S. A. Klein y F. L. Alvarado). Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. F. Ely, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosidad, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hoopes, II (Plenum, NY, 1970) ISBN 0-306067020-8.

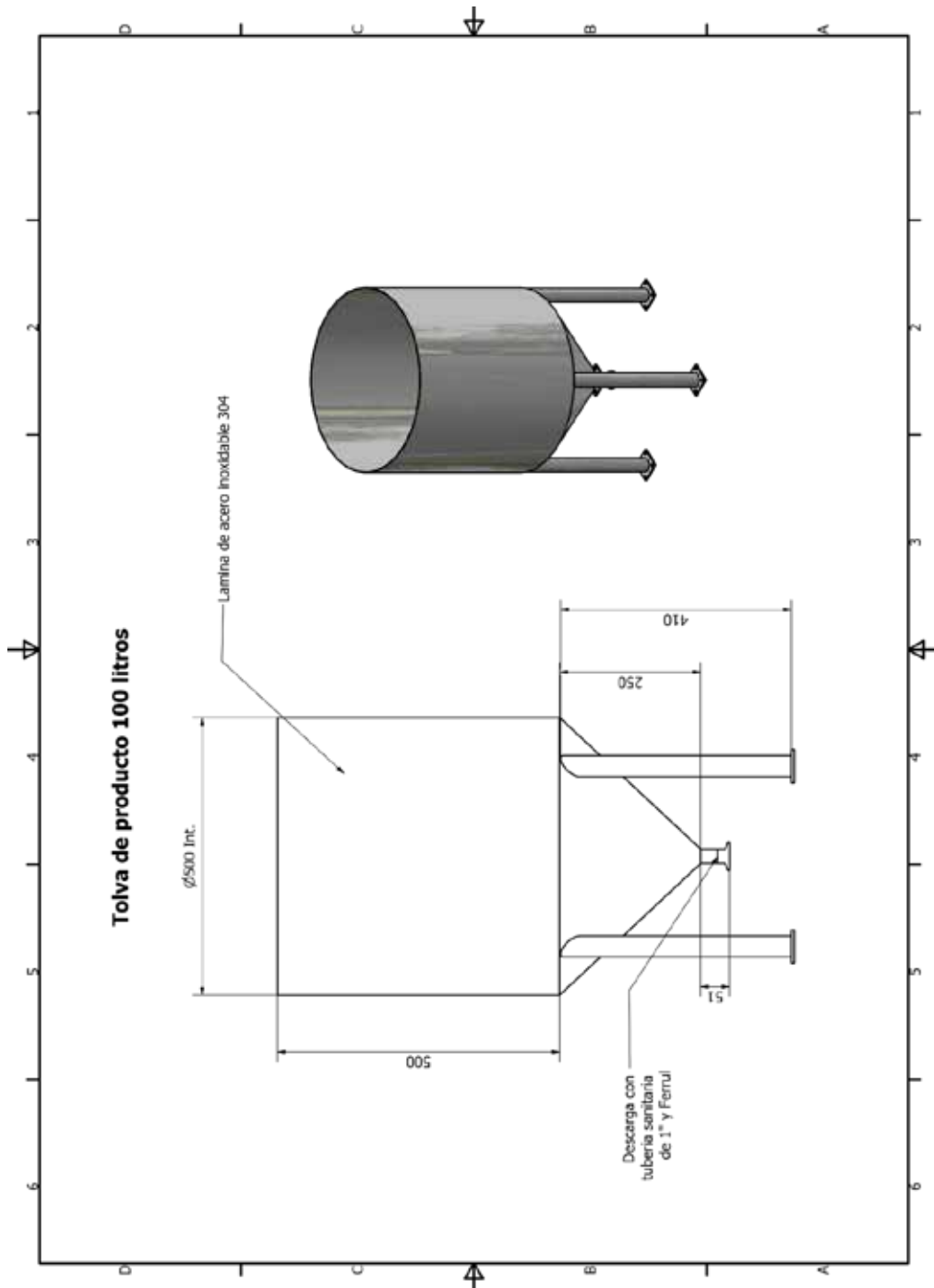
**Anexo No 3. Propiedades del Aire @ 1 atm.**

**Anexo A**  
**(Planos de los elementos constitutivos)**

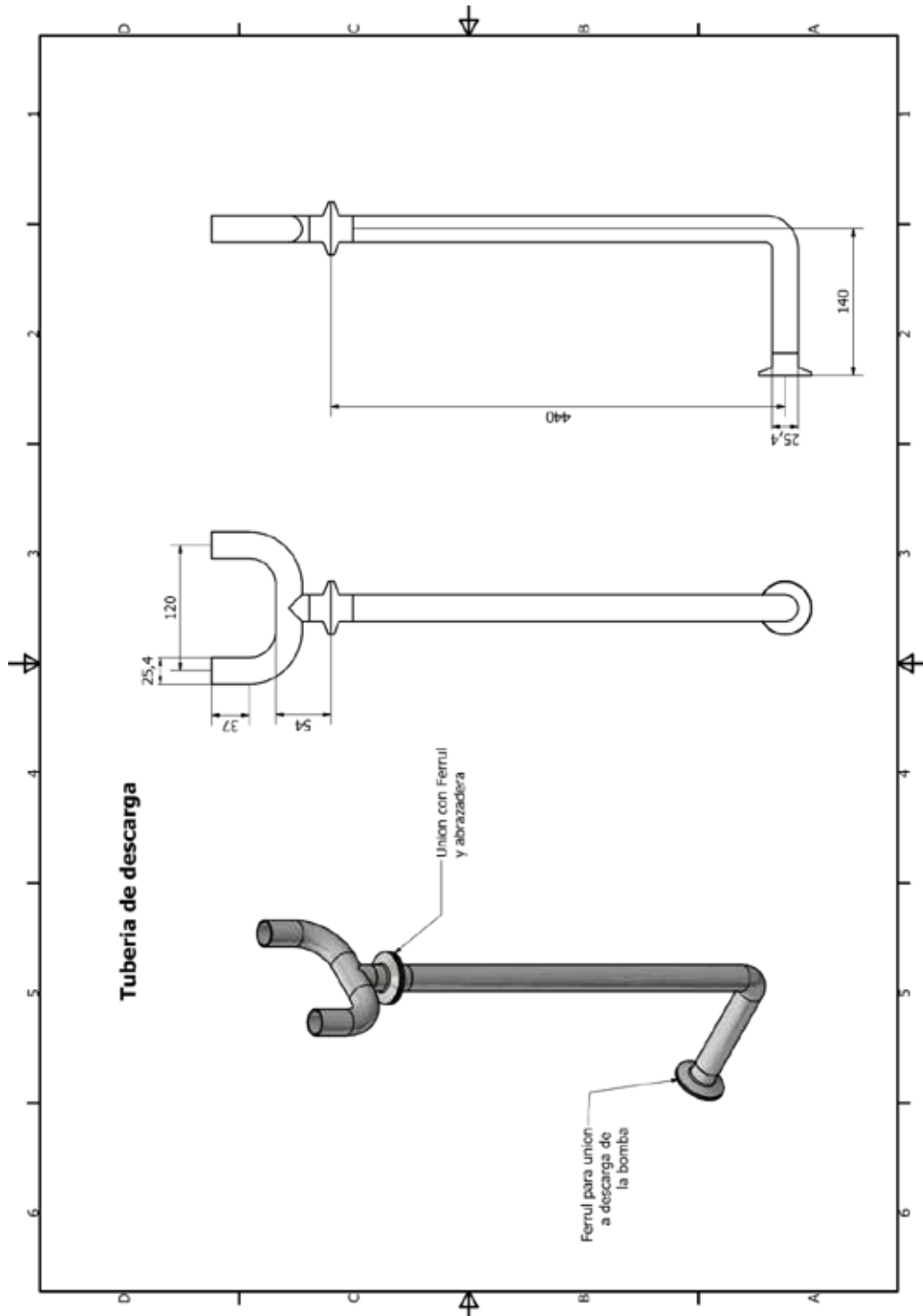




Fuente: Brijaldo, Eliana (2020)

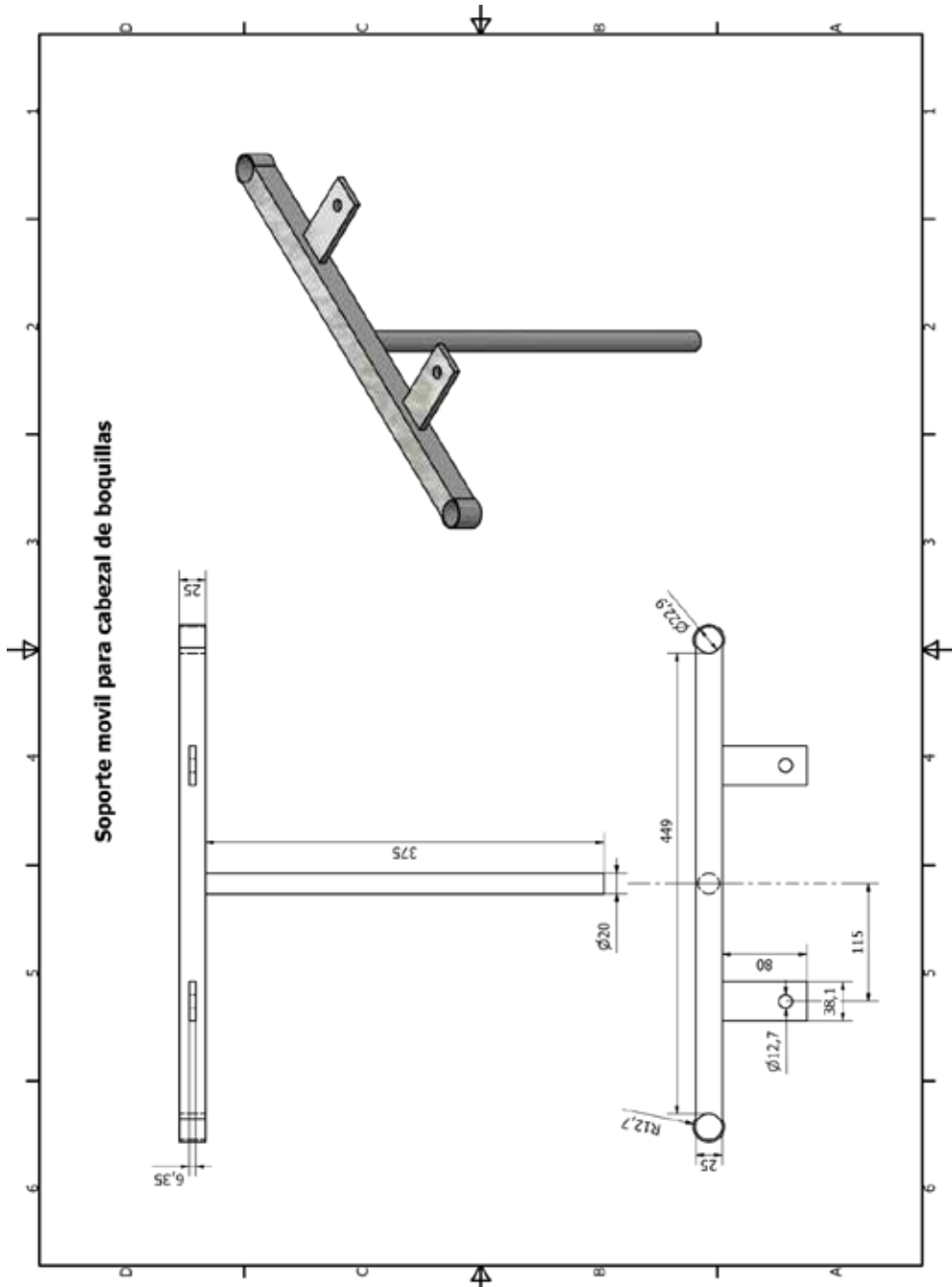


Fuente: Brijaldo, Eliana (2020)

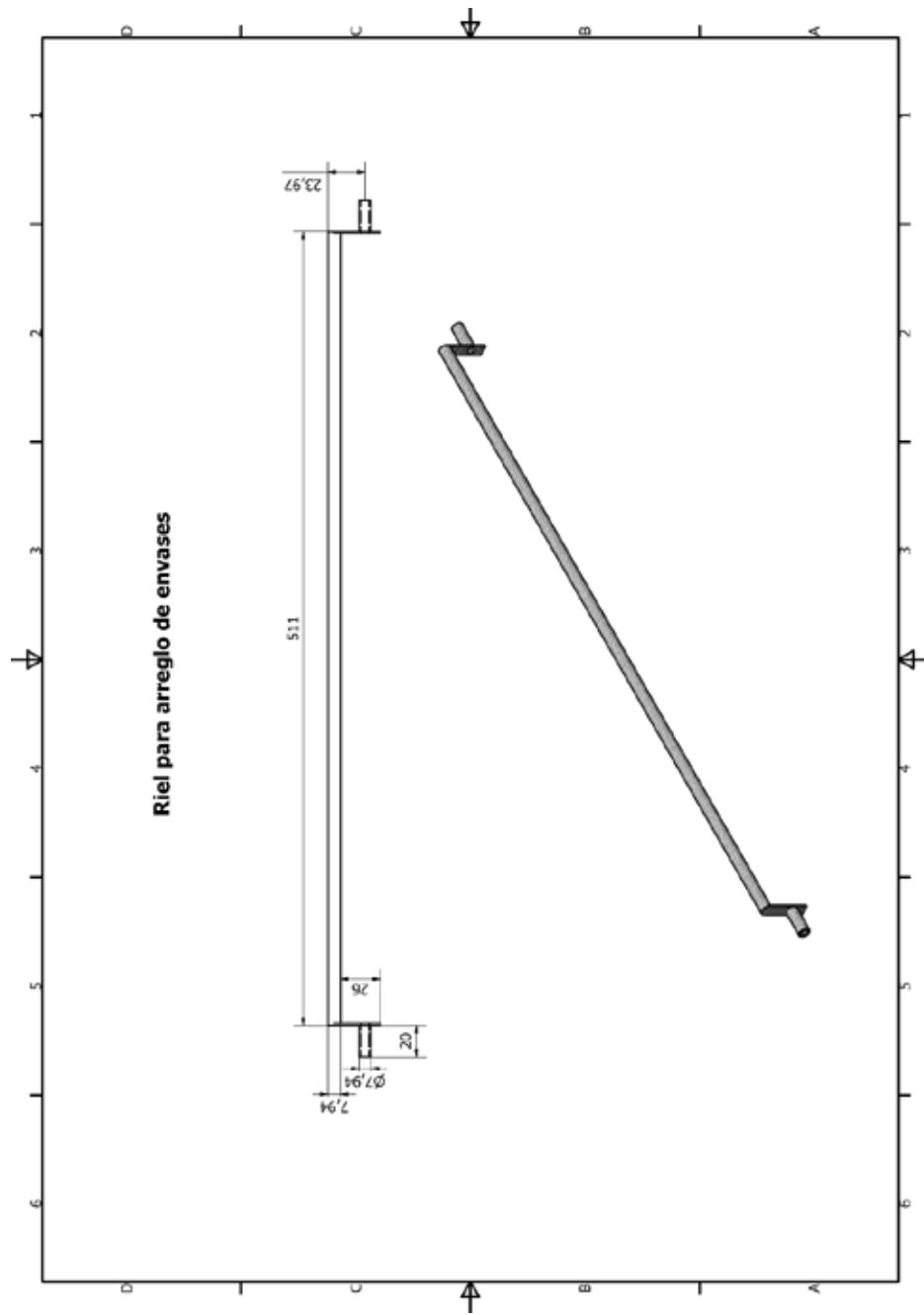


**Tuberia de descarga**

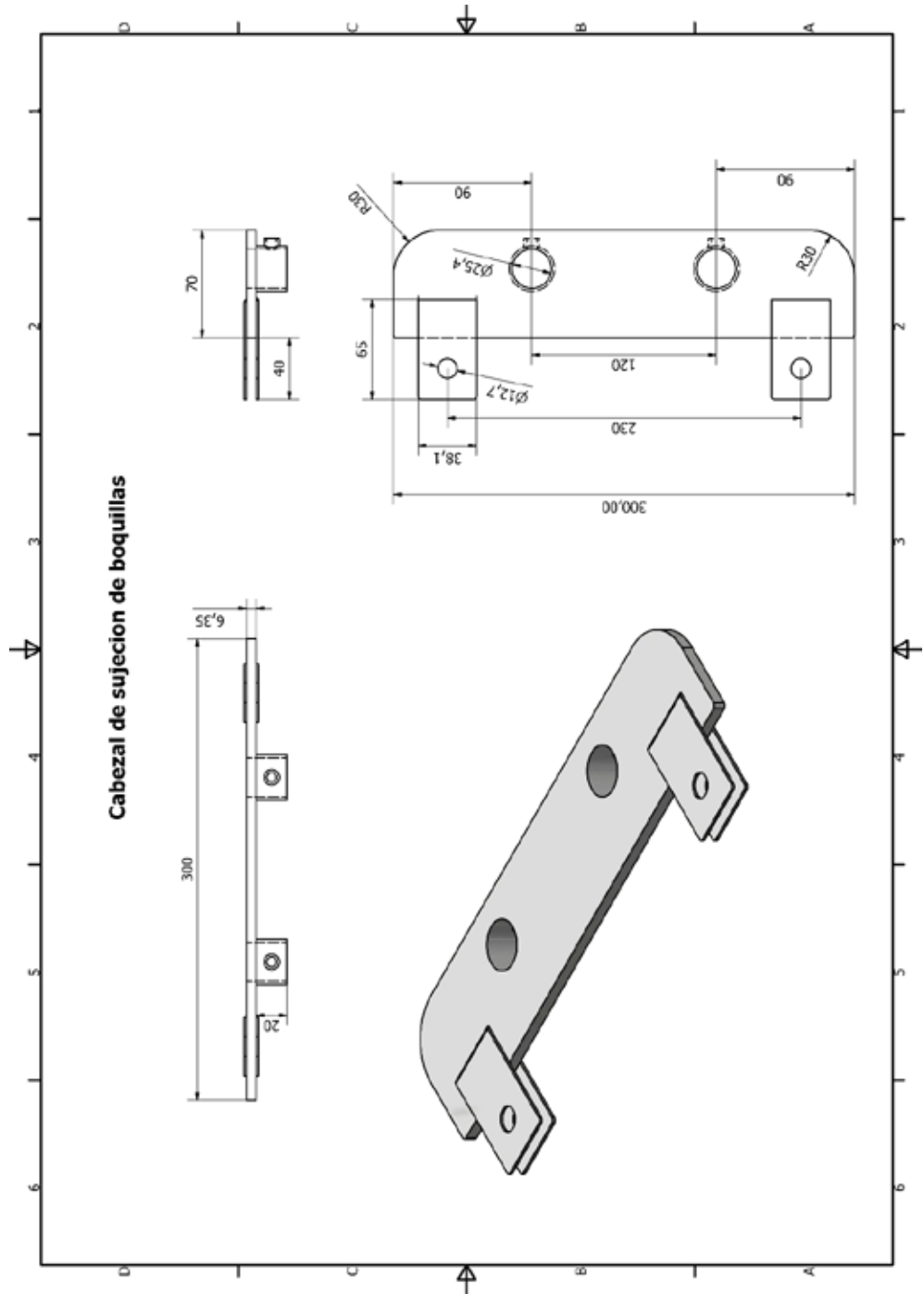
Fuente: Brijaldo, Eliana (2020)



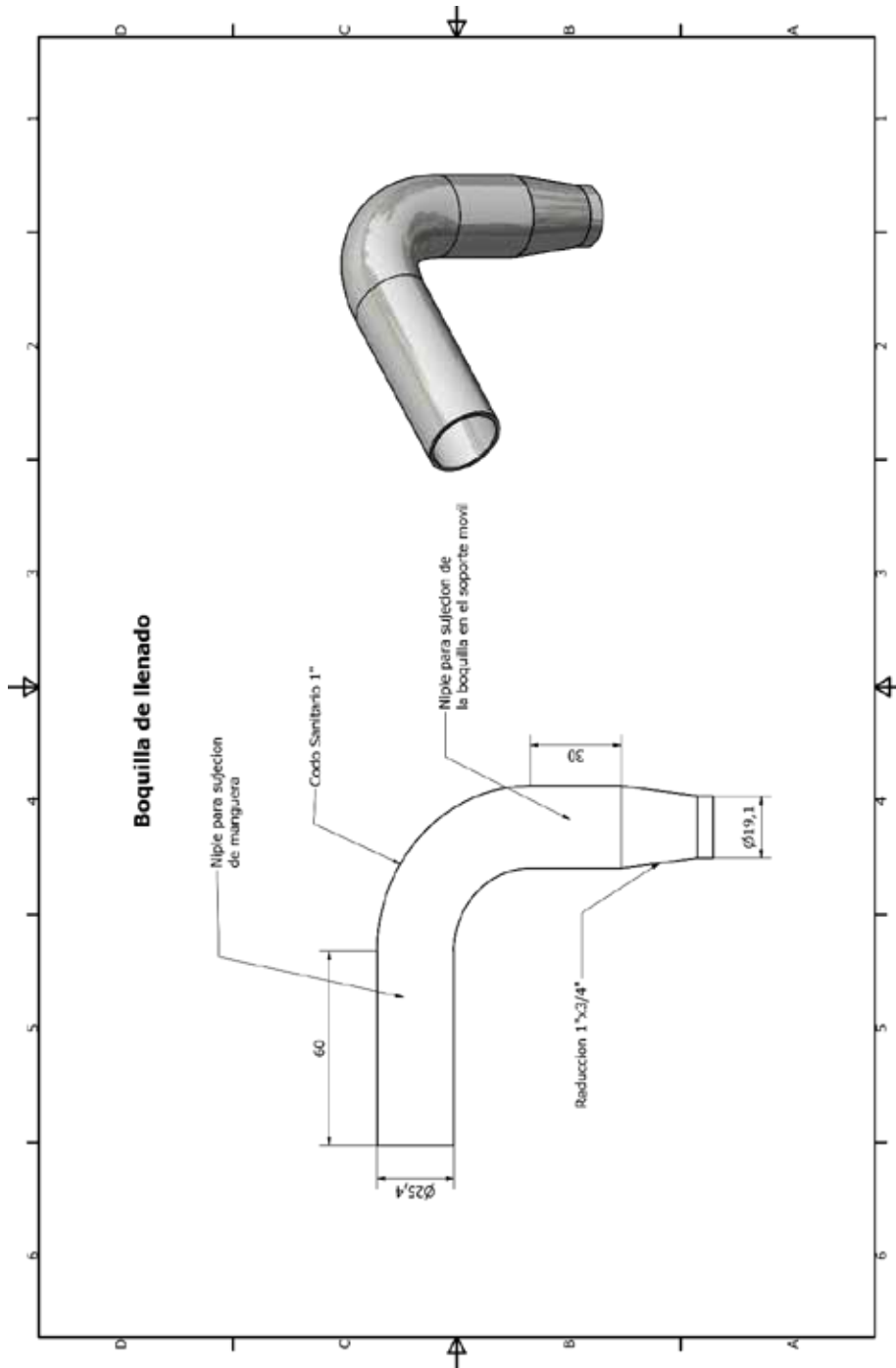
Fuente: Brijaldo, Eliana (2020)



Fuente: Brijaldo, Eliana (2020)



Fuente: Brijaldo, Eliana (2020)



Fuente: Brijaldo, Eliana (2020)

**Anexo B**  
**(Aplicación de restricciones, ponderación de criterios y selección de la mejor propuesta)**

### Aplicación de restricciones a posibles soluciones

	(PS)1	(PS)2	(PS)3
<b>R1</b>	Si	Si	Si
<b>R2</b>	Si	Si	Si
<b>R3</b>	Si	Si	No
<b>R4</b>	Si	Si	
<b>R5</b>	Si	Si	
<b>R6</b>	Si	Si	
<b>R7</b>	Si	Si	

Fuente: Brijaldo, Eliana (2020)

### Ponderación de criterios

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	No. De veces	P+1=N
<b>C1</b>								5	6
<b>C2</b>	C1							2	3
<b>C3</b>	C1	C2						1	2
<b>C4</b>	C1	C2	C3					0	1
<b>C5</b>	C1	C5	C5	C5				3	4
<b>C6</b>	C1	C6	C6	C6	C6			4	5
<b>C7</b>	C7	C7	C7	C7	C7	C7		6	7
<b>Orden de importancia</b>	2do	5to	6to	7mo	4to	3ero	1ero		

Fuente: Brijaldo, Eliana (2020)

**Ponderación soluciones respecto a cada criterio**

<b>C1</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>No. De veces</b>	<b>Pxi=N</b>	<b>C2</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>No. De veces</b>	<b>Pxi=N</b>
<b>S1</b>			1	2	<b>S1</b>			0	1
<b>S2</b>	S1		0	1	<b>S2</b>	S2		1	2
<b>Orden de importancia</b>	1ero	2do			<b>Orden de importancia</b>	2do	1ero		
<b>C3</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>No. De veces</b>	<b>Pxi=N</b>	<b>C4</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>No. De veces</b>	<b>Pxi=N</b>
<b>S1</b>			1	2	<b>S1</b>			0	1
<b>S2</b>	S1		0	1	<b>S2</b>	S2		1	2
<b>Orden de importancia</b>	2do	1ero			<b>Orden de importancia</b>	2do	1ero		
<b>C5</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>No. De veces</b>	<b>Pxi=N</b>	<b>C6</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>No. De veces</b>	<b>Pxi=N</b>
<b>S1</b>			1	2	<b>S1</b>			1	2
<b>S2</b>	S1		0	1	<b>S2</b>	S1		0	1
<b>Orden de importancia</b>	2do	1ero			<b>Orden de importancia</b>	1ero	2do		
<b>C7</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>No. De veces</b>	<b>Pxi=N</b>					
<b>S1</b>			2	1					
<b>S2</b>	S2		1	2					
<b>Orden de importancia</b>	1ero	2do							

Fuente: Brijaldo, Eliana (2020)

### Ponderación Final

<b>PCx</b>	<b>P1x</b>	<b>P1xPCx</b>	<b>P2x</b>	<b>P2xPCx</b>
<b>C1=6</b>	2	12	1	6
<b>C2=3</b>	1	3	2	6
<b>C3=2</b>	2	4	1	2
<b>C4=1</b>	1	1	2	2
<b>C5=4</b>	2	8	1	4
<b>C6=5</b>	2	10	1	5
<b>C7=7</b>	1	7	2	14
<b>Sumatoria</b>		<b>45</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>39</b>

Fuente: Brijaldo, Eliana (2020)