



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS

Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

Diseño de un sistema de transporte para un fluido Herschel-Bulkley
(mayonesa)

Trabajo de Titulación, Modalidad: Proyectos de Investigación, previo la obtención del Título de Ingeniero en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Christian John Choes Vera

Tutora: Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

Ambato – Ecuador

Septiembre - 2021

APROBACIÓN DE LA TUTORA

Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

CERTIFICA

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este trabajo de Titulación bajo la modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 30 de julio de 2021

Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

C.I.: 180406708-8

Tutora

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Christian John Choes Vera, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.



Christian John Choes Vera.

C.I. 055029352-6

Autor

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Presidente del Tribunal

Ing. M. Sc. Diego Manolo Salazar Garcés

C.I. 180312429-4

Ing. Santiago Esmiro Cadena Carrera PhD

C.I. 171560259-3

Ambato, 27 de agosto de 2021

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de Titulación o parte de él, como documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Christian John Choes Vera

C.I.: 055029352-6

AUTOR

DEDICATORIA

A Dios,

A mis padres, Diocles y Santa.

A mis hermanos, Juan, Carlos, Jonathan y Yamilex

A mis sobrinos, Carlitos, Leonel, Rafaella, Emanuel y Sebastián

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme salud y vida,

A mis padres, por ese apoyo incondicional, sin ellos esto no hubiera sido posible,

A la Alma Mater, Universidad Técnica de Ambato, por haberme abierto sus puertas,

A mi Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, centro de estudios que me acogió durante estos 5 años de carrera,

A mi estimada tutora, la Ing. M.Sc. Liliana Acurio Arcos, docente entregada y comprometida con la educación. Gracias por todo su apoyo, paciencia y carisma.

A todos mis profesores, en especial a la Dra. Dayana Morales, M.Sc. Dolores Robalino, M.Sc. Diego Salazar, Dra. Cecilia Carpio, Dra. Jacqueline Ortiz, a quienes admiro por su entrega, profesionalismo y dedicación al impartir sus conocimientos.

A ti, amiga, Lic. Verónica Peñafiel, que estuviste en el momento indicado para darme esa voz de aliento para cumplir esta meta. Estoy seguro que Dios te encomendó esa tarea.

A mis amigos, en quienes siempre confié.

¡Gracias a todos!

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

Contenido

APROBACIÓN DE LA TUTORA.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	iv
DERECHOS DE AUTOR	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvi
RESUMEN	xviii
ABSTRACT.....	xix
CAPÍTULO I.....	20
MARCO TEÓRICO	20
1.1. Antecedentes investigativos.....	20
1.1.1. Transporte de fluidos	20
1.1.2. Tipos de fluidos alimentarios	20
a. Fluidos Newtonianos	20
b. Fluidos no Newtonianos	21
b.1. Fluidos independientes del tiempo	21
b.1.1. Fluido sin esfuerzo umbral	21
b.1.1.1. Fluidos pseudoplásticos (<i>shear-thinning</i>).....	21
b.1.1.2. Fluidos dilatantes (<i>shear-thickening</i>).....	21
b.1.2. Fluidos con esfuerzo umbral.....	22
b.1.2.1. Fluidos plásticos	22
b.2. Fluidos dependientes del tiempo.....	22
1.1.3. Reología	22
1.1.4. Reología de la mayonesa.....	23
1.1.5. Componentes de un sistema de transporte de fluidos	23

1.1.5.1. Accesorios.....	23
a. Te (T).....	23
b. Cruz (X).....	23
c. Codos(C).....	24
d. Filtros (F).....	24
e. Expansiones/Reducciones (E/R)	24
f. Válvulas.....	25
1.1.6.2. Bombas	25
a. Bombas centrífugas	25
b. Bombas de desplazamiento positivo	26
b.1. Ventajas de bomba de desplazamiento positivo	26
b.2. Desventajas de bombas de desplazamiento positivo	26
1.1.7. Maquinarias y equipos	27
1.1.7.1. Tanques de almacenamiento	27
1.1.7.2. Mezclador de emulsión – Tanque agitado simple	27
1.1.8. Diseño de sistema de transporte para elaboración de mayonesa	27
1.1.8.1. Circulación de fluidos incompresibles.....	27
a. Caudal (Q).....	27
b. Flujo másico (M)	28
c. Densidad (ρ)	28
d. Peso específico.....	28
e. Viscosidad.....	28
e.1. Viscosidad absoluta o dinámica (μ).....	28
f. Presión (P)	29
f.1. Presión atmosférica	29
f.2. Presión absoluta.....	29
g. Temperatura	29
h. Diámetro interno de la tubería	29
i. Área de la tubería.....	30
j. Velocidad del fluido	30
k. Número de Reynolds	30
l. Número de Reynolds crítico	32
1.1.9. Balance de energía total.....	34

1.1.9.1. Entalpía (\check{H})	35
1.1.9.2. Energía cinética (\check{K}).....	35
1.1.9.3. Energía potencial (Φ)	36
1.1.10. Balance de energía mecánica.....	36
1.1.10.1. Ecuación de Bernoulli.....	36
1.1.10.2. Pérdida de energía mecánica.....	37
a. Pérdida de energía mecánica en tramos rectos de tubería.....	37
a.1. Flujo en régimen laminar	37
a.2. Flujo en régimen turbulento.....	38
b. Pérdidas de energía mecánica en accesorios que forman el sistema	41
1.1.10.3. Pérdidas mecánicas totales.....	43
1.1.11. Bomba.....	43
1.1.11.1. Trabajo de la bomba	43
1.1.11.2. Potencia teórica de la bomba	44
1.2. Objetivos.....	44
1.2.1. Objetivo general.....	44
1.2.2. Objetivos específicos	44
CAPÍTULO II.....	45
METODOLOGÍA.....	45
2.1. Materiales.....	45
2.2. Métodos	45
2.2.1. Enfoque de la investigación.....	45
2.2.2. Metodologías	45
2.2.2.1. Deductivo.....	46
2.2.2.2. Bibliográfico	46
2.2.3. Recolección de información	46
2.2.4. Procesamiento de datos.....	47
2.2.4.1. Identificación de comportamiento reológico	47
2.2.4.2. Cálculos para el diseño del sistema de transporte por tubería	48
2.2.4.3. Diagrama de sistema de transporte de fluido.....	49
2.2.4.4. Costos de implementación del sistema	49
CAPÍTULO III.....	50
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50

3.1. Variables de transporte a considerar para un fluido Herschel-Bulkley a través de todo el sistema.....	50
3.1.1. Determinación de fluido necesarios alimentarios de tipo mayonesa.....	50
3.1.2. Parámetros reológicos de los ingredientes de la mayonesa.....	50
3.1.3. Parámetros reológicos de la mayonesa.....	51
3.1.4. Datos complementarios de los fluidos.....	52
3.1.5. Diseño de realización.....	52
3.1.6. Datos del sistema de transporte para un fluido Herschel-Bulkley (mayonesa).....	53
3.1.7. Especificaciones técnicas de la tubería de acero inoxidable.....	53
3.1.7.1. Diámetro de tubería de acero inoxidable AISI 304.....	53
3.1.7.2. Coeficiente para pérdidas en accesorios y codos.....	54
3.1.7.3. Coeficiente de rugosidad de acero inoxidable.....	54
3.1.8. Especificaciones generales del sistema de transporte.....	54
3.1.9. Criterios del dimensionamiento del sistema de transporte.....	55
3.1.9.1. Dimensionamiento del área para el sistema de transporte de fluido Herschel-Buckley (mayonesa).....	55
3.1.9.2. Criterios de las líneas de tubería para el sistema de transporte de fluido Herschel-Buckley.....	56
3.2. Cálculos de ingeniería para el diseño y dimensionamiento del sistema de transporte de un fluido Herschel-Bulkley (mayonesa).....	56
3.2.1. Determinación del caudal.....	56
3.2.2. Cálculo del diámetro interno de la tubería.....	57
3.2.3. Cálculo de la velocidad del fluido.....	57
3.2.4. Cálculos para el tanque de almacenamiento de aceite LA1.....	57
3.2.4.1. Cálculo del flujo másico.....	57
3.2.4.2. Cálculo del número de Reynolds.....	57
3.2.4.3. Determinación del factor de corrección adimensional α	58
3.2.4.4. Cálculo pérdidas menores de energía mecánica.....	58
3.2.4.5. Determinación del trabajo de la bomba.....	59
3.2.4.6. Cálculo de la potencia teórica de la bomba.....	59
3.2.5. Cálculos para el tanque de almacenamiento de vinagre LV2.....	60
3.2.5.1. Cálculo del flujo másico.....	60
3.2.5.2. Cálculo del número de Reynolds.....	60

3.2.5.3. Determinación del factor de corrección adimensional α	60
3.2.5.4. Cálculo pérdidas menores de energía mecánica	60
3.2.5.5. Determinación del trabajo de la bomba	62
3.2.5.6. Cálculo de la potencia teórica de la bomba	62
3.2.6. Cálculos para el tanque de almacenamiento de yema de huevo YH3	63
3.2.6.1. Cálculo del flujo másico	63
3.2.6.2. Cálculo del número de Reynolds generalizado.....	63
3.2.6.3. Determinación del número de Reynolds generalizado crítico	63
3.2.6.4. Determinación del factor de corrección adimensional α	64
3.2.6.5. Cálculo de las pérdidas menores de energía mecánica	64
3.2.6.6. Determinación del trabajo de la bomba	66
3.2.6.7. Cálculo de la potencia teórica de la bomba	66
3.2.7. Cálculos para el tanque de almacenamiento de la mezcla saborizante LMS4	66
3.2.7.1. Cálculo del flujo másico	66
3.2.7.2. Cálculo del número de Reynolds	67
3.2.7.3. Determinación del factor de corrección adimensional α	67
3.2.7.4. Cálculo pérdida menores de energía mecánica.....	67
3.2.7.5. Determinación del trabajo de la bomba	69
3.2.7.6. Cálculo de la potencia teórica de la bomba	69
3.2.8. Cálculos para el tanque de producto terminado LPM5.....	69
3.2.8.1. Determinación del caudal	69
3.2.8.2 Cálculo de la velocidad del fluido	70
3.2.8.3. Cálculo del flujo másico	70
3.2.8.4. Cálculo del número de Reynolds generalizado.....	70
3.2.8.5. Cálculo del número de Hedstrom generalizado	71
3.2.8.6. Determinación del número de Reynolds generalizado crítico	72
3.2.8.7. Determinación del valor de m.....	72
3.2.8.8. Determinación del factor de corrección adimensional α	73
3.2.8.9. Cálculo pérdida menores de energía mecánica.....	73
3.2.8.10. Determinación del trabajo de la bomba	75
3.2.8.11. Cálculo de la potencia teórica de la bomba	75
3.2.9. Discusión de los resultados.....	77

3.2.9.1. Propiedades básicas de los fluidos.....	77
3.2.9.2. Modelos reológicos identificados	77
3.2.9.3. Diseño de realización del sistema.....	77
3.2.9.4. Análisis del sistema de bombeo.....	78
3.2.10. Planos del sistema de transporte de fluido Herschel-Bulkley (mayonesa) 79	
3.3. Costo de implementación del sistema de transporte diseñado.....	85
CAPÍTULO IV	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
4.1. Conclusiones.....	86
4.2. Recomendaciones	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
ANEXOS	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Regímenes de circulación según el número de Reynolds para fluidos newtonianos	31
Tabla 2.	Tabla de resistencia k	42
Tabla 3.	Modelos para caracterización reológica de fluidos	47
Tabla 4.	Formulación de preparación de mayonesa con 75% de concentración de aceite (w/w)	50
Tabla 5.	Parámetros reológicos obtenidos	51
Tabla 6.	Parámetros reológicos de una mayonesa a una concentración del 75% de aceite	51
Tabla 7.	Datos complementarios de los fluidos	52
Tabla 8.	Nomenclatura para la identificación de las líneas de fluido	52
Tabla 9.	Datos para el diseño del sistema de transporte de un fluido Herschel-Bulkley (mayonesa)	53
Tabla 10.	Diámetro de tubería empleada para el diseño del sistema de transporte	53
Tabla 11.	Rugosidad del acero	54
Tabla 12.	Accesorios de la línea LA1	58
Tabla 13.	Accesorios de la línea LV2	61
Tabla 14.	Accesorios de la línea LYH3	65
Tabla 15.	Accesorio de la línea LMS3	68
Tabla 16.	Determinación del valor m	72
Tabla 17.	Accesorios de la línea LPM5	74
Tabla 18.	Cálculos del diseño de sistema de transporte para un fluido Herschel-Buckley (mayonesa)	76
Tabla 19.	Equipos y tuberías necesarios para el diseño del sistema de transporte	84
Tabla 20.	Costos de implementación del sistema de transporte diseñado	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Reómetro de fluidos newtonianos y no newtonianos independientes del tiempo	21
Figura 2.	Reómetro de fluidos no Newtonianos dependientes del tiempo	22
Figura 3.	Accesorio Te (T)	23
Figura 4.	Accesorio Cruz (X)	23
Figura 5.	Accesorio Codo ©	24
Figura 6.	Accesorio filtro	24
Figura 7.	Accesorio de expansión/reducción	24
Figura 8.	Válvula de compuerta	25
Figura 9.	Bomba centrífuga	25
Figura 10.	Bomba de desplazamiento positivo	26
Figura 11.	Tanque de almacenamiento	27
Figura 12.	Tanque agitado simple	27
Figura 13.	Regímenes de flujo	31
Figura 14.	Número de Reynolds crítico en función del número de Hedstrom y del índice de flujo para fluidos Herschel-Bulkley	34
Figura 15.	Diagrama de Moody para fluidos Newtonianos	39
Figura 16.	Diagrama de Dodge y Metzner para fluidos de la ley de la potencia	39
Figura 17.	Diagrama de Hedstrom para plásticos de Bingham	40
Figura 18.	Factor de fricción para fluido de Herschel-Bulkley ($n=0,2$)	40
Figura 19.	Factor de fricción para fluido de Herschel-Bulkley ($n=0,5$)	41

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.	Caudal	27
Ecuación 2.	Flujo másico	28
Ecuación 3.	Densidad	28
Ecuación 4.	Peso específico	28
Ecuación 5.	Diámetro interno de tubería	29
Ecuación 6.	Área de tubería	30
Ecuación 7.	Velocidad de fluido	30
Ecuación 8.	Número de Reynolds para fluido Newtoniano	32
Ecuación 9.	Número de Reynolds generalizado para fluidos Ley de la Potencia y Herschel-Bulkley	32
Ecuación 10.	Número de Reynolds para plásticos de Bingham	32
Ecuación 11.	Valor crítico del número de Reynolds generalizado fluido Ley de la Potencia	32
Ecuación 12.	Relación entre umbral de fluencia y esfuerzo cortante m	33
Ecuación 13.	Valor crítico del número de Reynolds para plásticos de Bingham	33
Ecuación 14.	Valor crítico de m	33
Ecuación 15.	Número de Hedstrom	33
Ecuación 16.	Número de Hedstrom generalizado	33
Ecuación 17.	Balance de energía total	34
Ecuación 18.	Entalpía de fluidos incompresibles	35
Ecuación 19.	Entalpía de fluidos compresibles	35
Ecuación 20.	Energía cinética	35
Ecuación 21.	Energía cinética en función de la velocidad media	35
Ecuación 22.	Corrección adimensional α para fluidos de la ley de la potencia	35
Ecuación 23.	Corrección adimensional α para fluidos plásticos de Bingham	36
Ecuación 24.	Corrección adimensional α para fluidos Herschel-Bulkley	36
Ecuación 25.	Energía potencial	36
Ecuación 26.	Ecuación de Bernoulli	36

Ecuación 27.	Perdidas de energía mecánica en tramos rectos de tubería	37
Ecuación 28.	Factor de fricción (f) en régimen laminar para fluidos Newtonianos	37
Ecuación 29.	Factor de fricción (f) en régimen laminar para fluidos de la ley de la potencia	37
Ecuación 30.	Factor de fricción (f) en régimen laminar para fluidos Bingham	37
Ecuación 31.	Factor de fricción (f) en régimen laminar para fluidos Herschel-Bulkley	38
Ecuación 32.	Expresión Ψ	38
Ecuación 33.	Número de Reynold Generalizado para fluidos Herschel-Buckley	38
Ecuación 34.	Ecuación de Colebrook. Factor de fricción en régimen turbulento para fluidos Newtonianos	38
Ecuación 35.	Ecuación de Nikuradse. Factor de fricción en régimen turbulento para fluidos Newtonianos	38
Ecuación 36.	Factor de fricción en régimen turbulento para fluidos de la ley de la potencia	39
Ecuación 37.	Factor de fricción en régimen turbulento para fluidos plásticos de Bingham	40
Ecuación 38.	Pérdidas mecánicas menores por accesorio en tuberías	41
Ecuación 39.	Corrección del factor de resistencia	41
Ecuación 40.	Pérdidas mecánicas menores totales	43
Ecuación 41.	Trabajo de la bomba	43
Ecuación 42.	Potencia teórica de la bomba	44

RESUMEN

El presente estudio se desarrolló con el objetivo de diseñar un sistema de transporte para un fluido Herschel-Bulkley (mayonesa), para ello se aplicaron los principios, ecuaciones y modelos matemáticos establecidos en la mecánica de fluidos. Para esto, se inició con la búsqueda de información de los componentes, propiedades de los fluidos, máquinas y accesorios necesarios para el diseño del sistema de transporte. Para el diseño se utilizaron materiales resistentes a la corrosión, debido a las propiedades físico – químicas de los fluidos involucrados. Se obtuvo el diseño de un sistema de transporte para un fluido no Newtoniano con las siguientes características: dimensiones de 7,5 m de largo por 23 m de ancho, 5 bomba Netzsch con caudal nominal máximo de 3,1 metros cúbicos por segundo, tubería AISI 304 acero inoxidable, distribuido en 5 líneas de tubería de 1 pulgada de diámetro nominal; además cada línea de tubería contempló sus respectivos accesorios y caudalímetros. El estudio permitió calcular la potencia teórica de las bombas en cada línea de tubería bajo condiciones del sistema. Finalmente, se evaluó el costo de implementación del sistema obteniendo un valor de 60 072,94 USD, este valor fue obtenido mediante la cotización a diversas empresas distribuidoras del país.

Palabras claves: Mecánica de fluidos, transporte de fluidos, fluidos no newtonianos, reología de alimentos, bombas, mayonesa

ABSTRACT

The present study was developed with the objective of designing a conveying system for a Herschel-Bulkley fluid (mayonnaise), for which the principles, equations and mathematical models established in fluid mechanics were applied. For this, we began with the search for information on the components, properties of the fluids, machines and accessories necessary for the design of the conveying system. Corrosion resistant materials were used for the design, due to the physical-chemical properties of the fluids involved. The design of a transport system for a non-Newtonian fluid was obtained with the following characteristics: dimensions of 7.5 m long by 23 m wide, 5 Netzsch pumps with a maximum nominal flow of 3.1 cubic meters per second, AISI 304 stainless steel piping, distributed in 5 pipe lines of 1-inch nominal diameter; in addition, each pipe line contemplated its respective accessories and flowmeters. The study allowed calculating the theoretical power of the pumps in each pipe line under system conditions. Finally, the cost of implementing the system was evaluated, obtaining a value of 60,072.94 US dollars, this value was obtained by means of a quotation to several distribution companies in the country.

Keywords: Fluid mechanics, fluid transport, non-Newtonian fluids, food rheology, pumps, mayonnaise

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

1.1.1. Transporte de fluidos

Los autores **Andronov and Tuniyantz (1977)**, definen al transporte como una serie de medidas que promueven la producción de bienes materiales a través de su traslado. A nivel industrial la mayoría de fluidos deben ser transportados a través de conducciones por temas de inocuidad y eficiencia, por esta razón este proceso es de gran importancia y es catalogado como una operación unitaria debido a que se deben aplicar un conjunto de conocimientos ingenieriles teóricos y prácticos (**Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005; MineríaChilena, 2006**). Entiéndase como fluido a una sustancia que continúa deformándose independientemente de las fuerzas aplicadas o cortes (**Streeter, Wylie, Bedford, & Saldarriaga, 1988**).

1.1.2. Tipos de fluidos alimentarios

Se puede realizar una clasificación de los fluidos alimentarios en función de las propiedades viscosas (Figura 1). Se conoce como fluido newtoniano a las sustancias que presentan viscosidad constante (viscosidad newtoniana); mientras que se denomina fluido no newtoniano cuando esta propiedad no es constante (**Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005**).

a. Fluidos Newtonianos

Presenta una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación (**Ramírez-Navas, 2006**). Esta ley se cumple en líquidos simples, soluciones de polímeros sin interacción, disolventes de baja masa molecular y pastas con bajo contenido de sólidos (**Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005**).

b. Fluidos no Newtonianos

En un fluido no newtoniano la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación no es lineal, por lo tanto la viscosidad está en función de la velocidad cortante (Ramírez-Navas, 2006).

b.1. Fluidos independientes del tiempo

Estos fluidos se pueden subdividir en función de si presenta o no un esfuerzo umbral; es decir un esfuerzo cortante mínimo para que comience a deslizarse (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005).

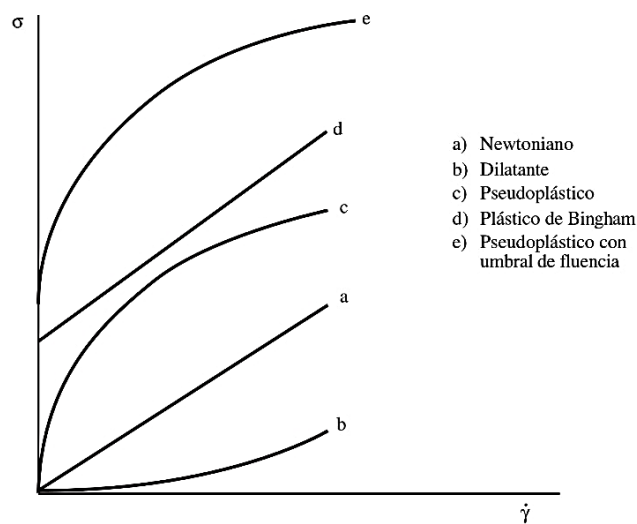


Figura 1. Reograma de fluidos newtonianos y no newtonianos

Fuente: Ibarz and Barbosa-Cánovas (2005)

b.1.1. Fluido sin esfuerzo umbral

b.1.1.1. Fluidos pseudoplásticos (*shear-thinning*)

En estos fluidos el coeficiente de viscosidad está en función de la velocidad de deformación, tomando un valor de viscosidad a cada instante.

b.1.1.2. Fluidos dilatantes (*shear-thickening*)

Se trata de suspensiones en las que el esfuerzo cortante y la viscosidad aumentan con la velocidad de deformación.

b.1.2. Fluidos con esfuerzo umbral

b.1.2.1. Fluidos plásticos

Una sustancia plástica o cuerpo de Bingham, se caracteriza por la existencia de un esfuerzo de cizalla, denominado valor umbral o umbral de fluencia.

b.2. Fluidos dependientes del tiempo

Ciertos materiales presentan propiedades de flujo dependientes del tiempo. Por lo tanto, estos fluidos bajo ciertas condiciones pueden ser más o menos viscosos en función del tiempo de flujo. A este fenómeno se le conoce como reopexia y tixotropía (Figura 2).

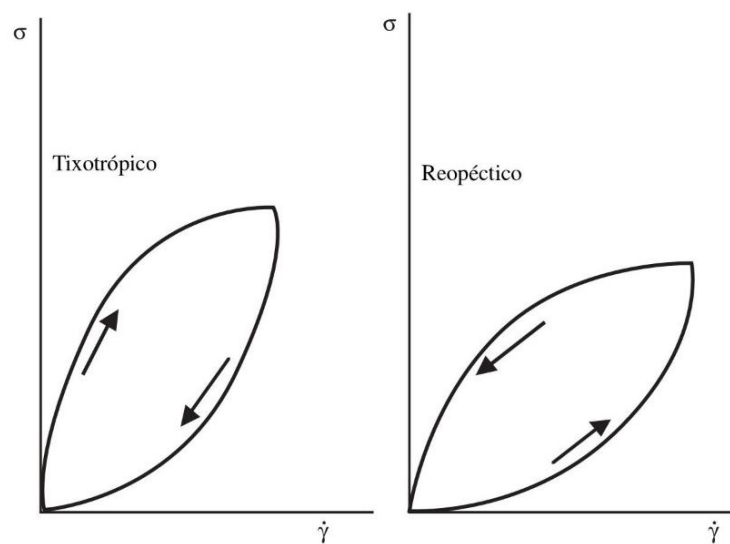


Figura 2. Reograma de fluidos no newtonianos dependientes del tiempo

Fuente: Ibarz and Barbosa-Cánovas (2005)

1.1.3. Reología

La reología es la ciencia que estudia la deformación y flujo de los materiales; es decir, analiza como los materiales responden a un esfuerzo aplicado. Muchas áreas de la industria alimentaria requieren de datos reológicos para cálculos relacionados con la función de los ingredientes en el desarrollo de productos, control de calidad, evaluación de la vida útil y evaluación de la textura (J. F. Steffe, 1996).

1.1.4. Reología de la mayonesa

El comportamiento reológico de la mayonesa ha sido estudiado por diversos autores, debido a su importancia en la elección de la formulación, condiciones de proceso y control de calidad. Su análisis es muy complejo, debido a que presenta un umbral de fluencia, un límite elástico, un comportamiento pseudoplástico y variaciones con el tiempo del tipo tixotrópico (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005; Liu, Xu, & Guo, 2007). Además, sus propiedades pueden depender de la historia previa a la que ha sido sometida, tanto térmica como de cizalla (F. García, Berjano, & Gallegos, 1988).

1.1.5. Componentes de un sistema de transporte de fluidos

1.1.5.1. Accesorios

De acuerdo con Boixader, Falconi, Lladó, López, and López (2016), los accesorios son piezas que sirven para unir tuberías o equipos a través del proceso. Los accesorios más usados en las plantas industriales se describen a continuación.

a. Te (T)

Este accesorio permite realizar conexiones de tres vías (Boixader et al., 2016).



Figura 3. Accesorio Te (T)

Fuente: Octal (2012 - 2020)

b. Cruz (X)

Permite la unión de cuatro pasos. Son conocidos como racor de cruz, T de cuatro pasos o T de salida lateral (Boixader et al., 2016).



Figura 4. Accesorio Cruz (X)

Fuente: AliExpress (2010 - 2021)

c. Codos(C)

Los codos son accesorios que permiten desviar la dirección recta de un sistema de tubería. Los codos más empleados son los de 45° y 90° (Boixader et al., 2016).



Figura 5. Accesorio codo (C)

Fuente: Lupeda (2020)

d. Filtros (F)

Son categorizados como accesorios de seguridad, puesto que permiten la retención y control de partículas no deseadas (Boixader et al., 2016).



Figura 6. Accesorio filtro

Fuente: Conasi (2014 - 2021)

e. Expansiones/Reducciones (E/R)

Permite la disminución o el aumento del diámetro de tubería según las necesidades de cada tramo (Boixader et al., 2016).



Figura 7. Accesorio expansión/reducción

Fuente: KenKachels (2021)

f. Válvulas

Son dispositivos mecánicos capaces de arrancar, detener o controlar una o más aberturas o tuberías mediante una parte móvil para abrir, cerrar o bloquear parcialmente la circulación de un líquido o gas (**Boixader et al., 2016**).



Figura 8. Válvula de compuerta

Fuente: Inoxalia (2021)

1.1.6.2. Bombas

La finalidad de una bomba es transferir energía a un fluido, para que pueda ser transportado a través de una instalación. Éste generalmente aumenta la presión de salida de la bomba (**Viejo Zubicaray & Álvarez Fernández, 2004**).

a. Bombas centrífugas

Están formadas por una serie de paletas que giran alrededor del eje en el interior de una carcasa. El fluido entra por el centro y la fuerza centrífuga se logra debido al giro de las paletas, logrando el desplazamiento del mismo (**Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005**). Son utilizadas comúnmente para transportar fluidos alimentarios.



Figura 9. Bomba centrífuga

Fuente: Seguas (2020)

b. Bombas de desplazamiento positivo

La transferencia de energía al fluido es hidrostática en este tipo de bombas. Son adecuadas para fluidos alimentarios de alta viscosidad, como pastas, ketchup, mayonesa, chocolates, entre otros.



Figura 10. Bomba de desplazamiento positivo

Fuente: Basher (2017)

EddyPump (1984 - 2021), plantea ciertas ventajas y desventajas en relación al uso de bombas de desplazamiento positivo:

b.1. Ventajas de bomba de desplazamiento positivo

- Mantiene un caudal constante independientemente de la presión del sistema
- Puede manejar una amplia gama de líquidos y viscosidades
- La capacidad no se ve afectada por la presión de operación
- Mayor eficiencia que las bombas centrifugas cuando se bombea fluidos viscosos

b.2. Desventajas de bombas de desplazamiento positivo

- En muchos de los casos, necesita el empleo de válvulas de alivio de presión o seguridad
- Son menos adecuadas para altas velocidades
- Cuentan con mayor número de piezas en relación a las bombas centrifugas
- No son ideales para fluidos con caudales superiores a 100 gpm (galones por minuto)

1.1.7. Maquinarias y equipos

1.1.7.1. Tanques de almacenamiento

Se utilizan para almacenar de forma segura alimentos semiacabados como salsas y zumos de frutas. Se pueden calentar con vapor o agua sobrecalentada (TCM, 2010).



Figura 11. Tanques de almacenamiento

Fuente: TCM (2010)

1.1.7.2. Mezclador de emulsión – Tanque agitado simple

Cumple con la función principal de homogenizar y emulsificar los componentes de una mezcla húmeda (García-Cortés & Jáuregui-Haza, 2006).



Figura 12. Tanque agitado simple

Fuente: Inoximexico (2018)

1.1.8. Diseño de sistema de transporte para elaboración de mayonesa

1.1.8.1. Circulación de fluidos incompresibles

a. Caudal (Q)

Se define a el caudal como *la cantidad de fluido que atraviesa una sección en la unidad de tiempo* (Ec. 1) (Domingo, 2011).

$$Q = A \times v \quad (1)$$

Donde: **Q** es el caudal (m³/s); **A** es el área (m²); **v** es la velocidad del fluido (m/s).

b. Flujo másico (M)

El flujo másico representa la *velocidad de la masa de una sustancia a través de una superficie* (Ec. 2).

$$M = \rho \times Q \quad (2)$$

Donde: **W** es el flujo másico (kg/s); **ρ** la densidad ([kg]/m³); **Q** es el caudal (m³/s).

c. Densidad (ρ)

Se define como la *masa por unidad de volumen* (Ec. 3). Para un fluido homogéneo, la densidad no varía de un punto a otro (**Çengel & Cimbala, 2012**).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Donde: **ρ** es la densidad ([kg]/m³); **m** es la masa (kg); **V** es el volumen (m³).

d. Peso específico

Se define como el *peso por unidad de volumen* (Ec. 4) (**Domingo, 2011**).

$$Y = \rho \times g \quad (4)$$

Donde: **Y** el peso específico (N/m³); **ρ** la densidad ([kg]/m³); **g** la gravedad (m/s²).

e. Viscosidad

La viscosidad expresa la resistencia de un fluido al movimiento. Para fluidos perfectos su efecto es muy pequeño, llegando a ser despreciable, mientras que para fluidos reales no es posible ignorar esta propiedad (**Domingo, 2011**).

e.1. Viscosidad absoluta o dinámica (μ)

Es la propiedad de los fluidos que se caracteriza por su resistencia a fluir, debido al rozamiento entre sus moléculas (**Çengel & Cimbala, 2012**).

f. Presión (P)

Se define como la fuerza normal aplicada por el fluido por unidad de área. Se habla de presión solo cuando se trata de un gas o un líquido. Dado que la presión se define como fuerza por unidad de área, tiene la unidad de newton por metro cuadrado (N/m^2), la cual se llama pascal (Pa) (Çengel & Cimbala, 2012).

f.1. Presión atmosférica

Se entiende como presión atmosférica, a la presión que ejerce la atmósfera sobre todos los objetos inmersos en ella (Terán Herrera, Torres Muñoz, Arteaga López, & Sánchez Ocaña, 2018).

f.2. Presión absoluta

La presión absoluta de un fluido es aquella presión medida con referencia al vacío perfecto (cero absoluto). Esta presión es cero únicamente cuando no existen colisiones intermoleculares, esto indica que la densidad o velocidad molecular en estado gaseoso es muy pequeña (Terán Herrera et al., 2018).

g. Temperatura

Se define como la capacidad de un sistema para transferir calor. Las escalas de temperatura usadas actualmente en el SI y el sistema inglés son la escala Celsius y la escala Fahrenheit, respectivamente (Çengel & Boles, 2006).

h. Diámetro interno de la tubería

El diámetro interno de una tubería se calcula restando al diámetro externo, el espesor del material (Ec. 5).

$$\Phi_i = \Phi_e - 2e \quad (5)$$

Donde: Φ_i es el diámetro interno de la tubería (m); Φ_e es el diámetro externo de la tubería (m); e es el espesor de la tubería (m).

i. Área de la tubería

Para la determinación del área transversal de una tubería se aplica la Ecuación 6.

$$A = \frac{\pi \times \Phi_i^2}{4} \quad (6)$$

Donde: **A** es el área de la tubería (m²); **Φ_i** el diámetro interno de la tubería (m).

j. Velocidad del fluido

La velocidad denota la distancia recorrida por el fluido, por unidad de tiempo. A existir mayor velocidad el desgaste de la superficie interior de la tubería y de los accesorios será mayor (**Caibe Yanzapanta, 2013**). La velocidad de un fluido se puede determinar mediante la Ecuación 7.

$$v = \frac{Q}{A} \quad (7)$$

Donde: **Q** es el caudal (m³/s); **A** es el área (m²); **v** es la velocidad (m/s).

k. Número de Reynolds

El número de Reynolds es un número adimensional que se utiliza para describir el movimiento de un fluido. Como todos los números adimensionales es un cociente.

Cuando un fluido circula por un tubo lentamente, lo hace en líneas paralelas al eje del tubo; a este régimen de circulación se lo denomina flujo laminar.

A medida que aumenta la velocidad, el fluido llega a una “velocidad crítica”, donde se forman remolinos y corrientes cruzadas, a este estado se lo conoce como régimen de flujo turbulento. Existe un régimen intermedio llamado de transición, que no es más que el paso del estado del régimen laminar al turbulento (**Jaramillo Díaz & Cárdenas Bañol, 2015**).

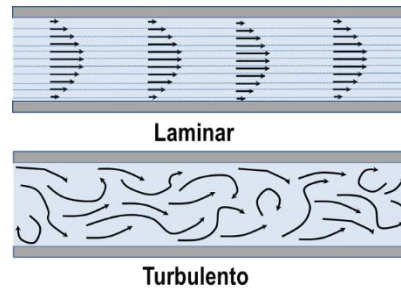


Figura 13. Regímenes de flujo

Fuente:IQR (2020)

Para la determinación del número de Reynolds en fluidos newtonianos se aplica la Ecuación 8 (Coulson & Richardson, 1979-1981 ; McCabe, Smith, & Harriott, 1985).

$$Re = \frac{v \times \Phi_i \times \rho}{\mu} \quad (8)$$

Donde: v es la velocidad media que lleva el fluido en la tubería (m/s); Φ_i el diámetro interno de la tubería (m); ρ es la densidad ([kg]/m³); μ la viscosidad (Pa).

Para determinar el régimen de circulación en estos fluidos se aplica la Tabla 1.

Tabla 1. Regímenes de circulación según el número de Reynolds para fluidos newtonianos

Re < 2 100	Régimen laminar
2 100 < Re < 4 000	Régimen de transición
4 000 < Re < 10 000	Régimen parcialmente turbulento
10 000 < Re	Régimen turbulento

Fuente: Ibarz and Barbosa-Cánovas (2005)

Para los fluidos que se ajustan a la Ley de la potencia y fluidos Herschel-Bulkley se define un número de Reynolds generalizado Re_G . (Ec. 9) (Charm, 1971; Singh & Heldman, 2009).

$$Re_G = \frac{d^n \times v^{2-n} \times \rho}{8^{n-1} \times k} \times \left(\frac{4n}{1+3n}\right)^n \quad (9)$$

Donde: v es la velocidad media que lleva el fluido en la tubería (m/s); Φ_i es el diámetro interno de la tubería (m); ρ es la densidad del fluido ([kg]/m³); k es el índice de consistencia (Pa×sⁿ); n es el índice del comportamiento del fluido.

Mientras que para fluidos de Bingham se define un número de Reynolds de Bingham (Ec. 10) (Charm, 1971; Singh & Heldman, 2009).

$$Re_B = \frac{v \times \Phi_i \times \rho}{\eta_p} \quad (10)$$

Donde: v es la velocidad media del fluido en la tubería (m/s); Φ_i es el diámetro interno (m); ρ es la densidad del fluido ([kg]/m³); η_p es la viscosidad plástica (Pa).

1. Número de Reynolds crítico

Para fluidos no newtonianos se determina un valor crítico del número de Reynolds y se aplica la siguiente regla de decisión:

- Si Re_G es mayor a Re_G crítico el fluido es turbulento.
- Si Re_G es menor a Re_G crítico el fluido es laminar.

Para fluidos de la ley de potencia el valor crítico del número de Reynolds está dado por la Ecuación 11 (J. Steffe & Morgan, 1986).

$$Re_{G \text{ Critico}} = \frac{6464n}{(1+3n)^2 \times \left(\frac{1}{2+n}\right)^{\frac{(2+n)}{(1+n)}}} \quad (11)$$

Donde: n es el índice del comportamiento del fluido.

Para plásticos de Bingham es necesario definir un parámetro m (Ec. 12), que es la relación entre el umbral de fluencia (σ_0) y el valor de esfuerzo cortante que el fluido ejerce sobre la pared (σ_w).

$$m = \frac{\sigma_0}{\sigma_w} \quad (12)$$

El valor del número de Reynolds crítico para plástico de Bingham se define con la Ecuación 13.

$$Re_{B \text{ Critico}} = \frac{He}{8 \times m_c} \left(1 - \frac{4 m_c}{3} + \frac{m_c^4}{r}\right) \quad (13)$$

Donde: **He** es el número de Hedstrom; m_c valor crítico de m ; r radio interno de la tubería (m).

El valor de m_c se obtiene de la siguiente relación:

$$\frac{m_c}{(1 - m_c)^2} = \frac{He}{16800} \quad (14)$$

Donde: **He** es el número de Hedstrom; m_c es un valor crítico de m .

Y el número de Hedstrom se define aplicando la expresión siguiente:

$$He = \frac{\sigma_0 \times \Phi_i^2 \times \rho}{\eta_p^2} \quad (15)$$

Donde: **He** es el número de Hedstrom (adimensional); σ_0 esfuerzo umbral; Φ_i diámetro interno de la tubería (m); ρ densidad ([kg]/m³); η_p viscosidad plástica.

Para fluidos Herschel-Bulkley el número de Hedstrom se calcula con la Ecuación 16.

$$He_G = \frac{\Phi_i^2 \times \rho}{k} \times \left(\frac{\sigma_0}{k}\right)^{\frac{2}{n}-1} \quad (16)$$

Donde: **He_G** es el número de Hedstrom generalizado; σ_0 el esfuerzo umbral; Φ_i el diámetro interno de la tubería (m); ρ la densidad ([kg]/m³); k el índice de consistencia (Pa×sⁿ); n el índice del comportamiento del fluido.

Para la obtención del número de Reynolds crítico en fluidos del tipo Herschel-Bulkley se utiliza la Figura 14.

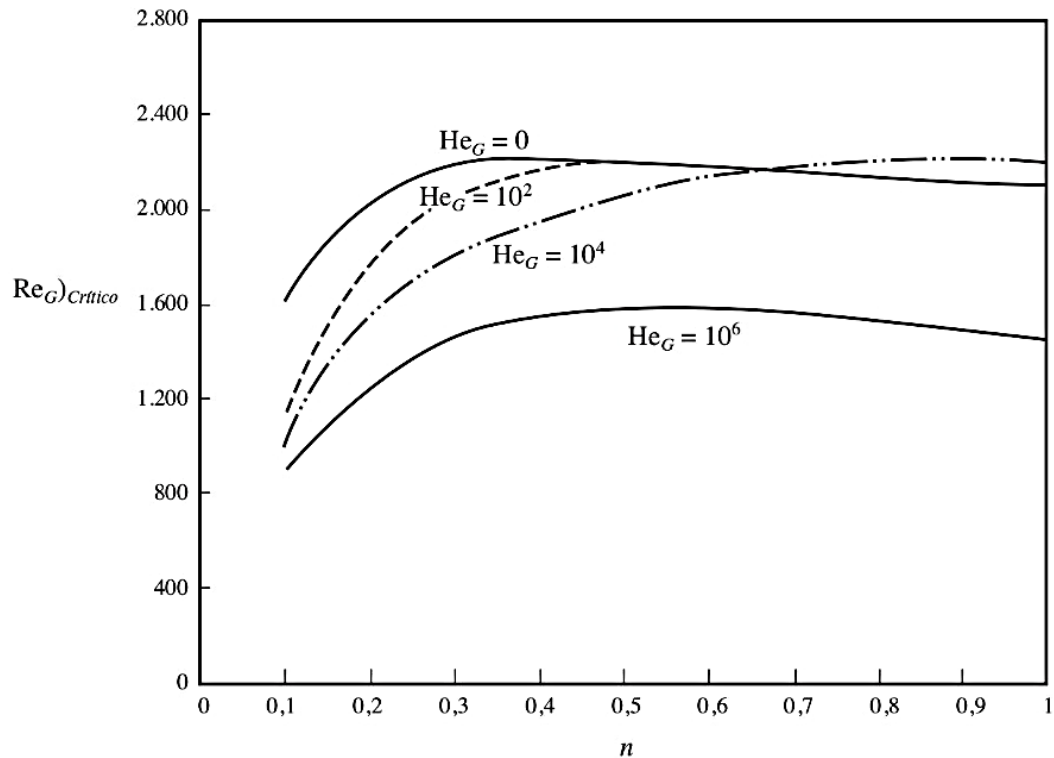


Figura 14. Número de Reynolds crítico para fluidos Herschel-Bulkley

Fuente: Ibarz and Barbosa-Cánovas (2005) (Adaptado de Hanks and Ricks (1974) y J. Steffe and Morgan (1986))

1.1.9. Balance de energía total

El balance general de energía en un tramo de la tubería se determina con la Ecuación 17 (Smith & Van Ness, 1975). Los primeros términos son función de estado, por lo cual debe definirse un nivel de referencia.

$$w_1(\hat{H}_1 + \check{K}_1 + \Phi_1) - w_2(\hat{H}_2 + \check{K}_2 + \Phi_2) + \dot{Q} + \dot{W} = 0 \quad (17)$$

Donde: \hat{H} , \check{K} , Φ , son la entalpía, la energía cinética y potencial por kg de fluido, respectivamente; \dot{Q} el caudal de calor que entra al sistema (J/s); \dot{W} el trabajo (J/s).

1.1.9.1. Entalpía (Ĥ)

Para fluidos incompresibles se aplica la Ecuación 18.

$$d\check{H} = \hat{C}_p dT \quad (18)$$

Donde: \hat{C}_p es la capacidad calorífica por unidad de masa a presión constante.

Mientras que para fluidos compresibles se aplica la Ecuación 19.

$$d\check{H} = \hat{C}_p dT + V dP \quad (19)$$

Donde: V es el volumen específico.

1.1.9.2. Energía cinética (Ķ)

La energía por unidad de masa está dada por la Ecuación 20.

$$\check{K} = \frac{1}{2} \frac{(v^3)_m}{v_m} \quad (20)$$

Donde: v_m es la velocidad media (m/s); v es la velocidad del fluido (m/s).

Si se quiere expresar este término en función de una velocidad media para todos los puntos de una misma sección se tiene aplica la Ecuación 21.

$$\check{K} = \frac{1}{2} \frac{(v_m)^2}{\alpha} \quad (21)$$

Donde: α es un factor de corrección adimensional que depende del régimen de flujo y del tipo de fluido que está siendo transportado.

El valor de α depende del tipo de fluido (**Charm, 1971; Osorio & Steffe, 1984; Rao, 1992**). Para fluidos newtonianos es igual a 0,5 y para fluidos que se ajustan a la Ley de la potencia se obtiene mediante la Ecuación 22.

$$\alpha = \frac{(2n + 1) \times (5n + 3)}{3(3n + 1)^2} \quad (22)$$

Si se trata de plásticos de Bingham se aplica la Ecuación 23.

$$\alpha = \frac{1}{2 - m} \quad (23)$$

Y si son fluidos del tipo Herschel-Bulkley se aplica la Ecuación 24.

$$\alpha = \frac{A}{B} \quad (24)$$

Donde:

$$A = [(1 + 3n + 2n^2 + 2n^2m + 2nm + 2n^2m^2)^3][(2 + 3n)(3 + 5n)(3 + 4n)]$$

$$B = [(2n + 1)^2(3n + 1)^2][18 + n(105 + 66m) + n^2(245 + 306m + 85m^2) + n^3(289 + 522m + 350m^2) + n^4(159 + 390m + 488m^2)]$$

1.1.9.3. Energía potencial (Φ)

En el caso de la energía potencial el campo gravitatorio es el único a considerar, por lo que la energía potencial por unidad de masa se define mediante la Ecuación 25.

$$\Phi = g \times z \quad (25)$$

Donde: g es la aceleración de la gravedad (m/s^2); z la altura (m).

1.1.10. Balance de energía mecánica

1.1.10.1. Ecuación de Bernoulli

Un fluido que se transporta a través de cualquier tipo de conducto, contiene energía interna, potencial, de presión y cinética. La ecuación de Bernoulli implica estos tipos de energía y se expresa en la Ecuación 26.

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 + \rho g z_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 + \rho g z_2 \quad (26)$$

Donde: P_1 , P_2 es la presión en los puntos 1 y 2 (Pa); ρ es la densidad ($[kg]/m^3$); V_1 , V_2 la velocidad del fluido en los puntos 1 y 2 (m/s); g la gravedad (m/s^2); z la altura (m).

1.1.10.2. Pérdida de energía mecánica

a. Pérdida de energía mecánica en tramos rectos de tubería

Se utiliza la Ecuación 27 para el cálculo de estas pérdidas de energía mecánica.

$$E_f = 4 f \frac{L}{\Phi_i} \times \frac{V^2}{2} \quad (27)$$

Donde: L es la longitud de la tubería recta (m); Φ_i es el diámetro interno de la tubería (m); v es la velocidad del fluido (m/s); f es el factor de fricción.

El factor de fricción (f) representa la relación entre el esfuerzo que el fluido ejerce sobre la pared de la tubería (σ_w) y la energía cinética. Existen diversos modelos para determinarlo en función del tipo de fluido y del régimen de circulación (**Coulson & Richardson, 1979-1981 ; E. J. García & Steffe, 1987; Skelland, 1967**).

a.1. Flujo en régimen laminar

Para fluidos newtonianos se aplica la siguiente Ecuación 28.

$$f = \frac{16}{Re} \quad (28)$$

Donde: f es el factor de fricción; Re es el número de Reynolds.

Para los fluidos que se ajustan a la ley de potencia se aplica la Ecuación 29.

$$f = \frac{16}{Re_G} \quad (29)$$

Donde: f es el factor de fricción; Re_G es el módulo de Reynolds generalizado.

El factor de fricción para los plásticos de Bingham es una función implícita de los módulos de Reynolds y Hedstrom, y se puede calcular con la Ecuación 30.

$$\frac{1}{Re_B} = \frac{f}{16} - \frac{He}{6(Re_B)^2} + \frac{(He)^4}{3f(Re_B)^8} \quad (30)$$

Donde: Re_B es el módulo de Reynolds para plásticos de Bingham; He es el módulo de Hedstrom.

Por su parte para los fluidos de Herschel-Bulkley se aplica la Ecuación 31.

$$f = \frac{16}{\Psi Re_G} \quad (31)$$

Y Ψ se determina con la Ecuación 32 (JF Steffe, Mohamed, & Ford, 1984).

$$\Psi = (3n + 1)^n (1 - m)^{1+n} \left[\frac{(1 - m)^2}{3n + 1} + \frac{2m(1 - m)}{2n + 1} + \frac{m^2}{n + 1} \right]^n \quad (32)$$

Donde: m es la relación entre los esfuerzos cortantes (Ec. 12).

Para fluidos de Bingham y Herschel-Bulkley, si el valor de m no es conocido, es necesario realizar un proceso iterativo utilizando las Ecuaciones 9, 31 y 33.

$$Re_G = 2 He \left(\frac{n}{3n + 1} \right)^2 \left(\frac{\Psi}{m} \right)^{\left(\frac{2}{n} \right) - 1} \quad (33)$$

a.2. Flujo en régimen turbulento

Para la determinación del factor de fricción (f) en fluidos newtonianos se aplica la ecuación de Colebrook (Ec. 34).

$$\frac{1}{(4f)^{1/2}} = -2 \log \left[\frac{2,51}{Re(4f)^{1/2}} + \frac{1}{3,5} \frac{\varepsilon}{d} \right] \quad (34)$$

Donde: f es el factor de fricción; $\frac{\varepsilon}{d}$ es la rugosidad relativa de la tubería.

Para régimen turbulento completamente desarrollado se aplica la ecuación de Nikuradse (Ec. 35).

$$\frac{1}{(4f)^{1/2}} = 2 \log \left(3,7 \frac{d}{\varepsilon} \right) \quad (35)$$

Sin embargo, un modo más práctico de calcular el factor de fricción es mediante el uso del diagrama de Moody (Figura 15), en la que este factor esta función del módulo de Reynolds y de la rugosidad relativa (ε/d).

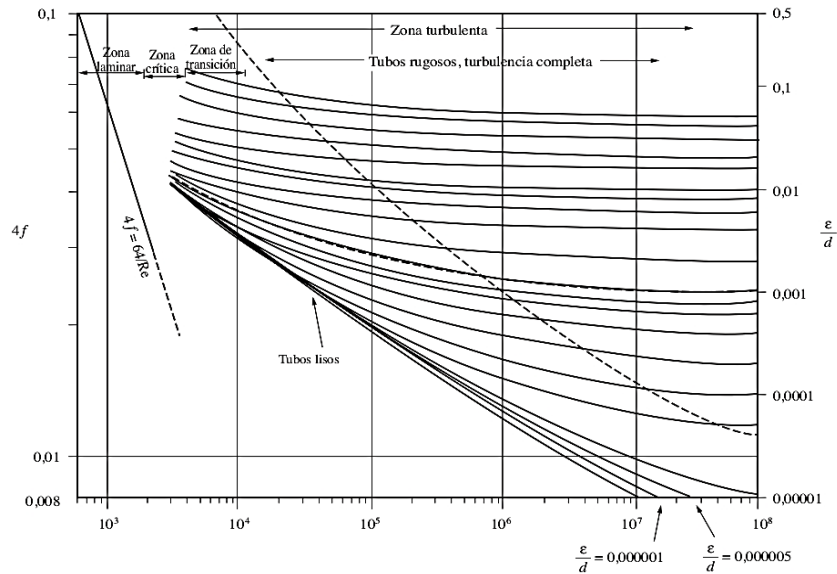


Figura 15. Diagrama de Moody para fluidos newtonianos

Fuente: Ibarz and Barbosa-Cánovas (2005)

Para fluidos de la ley de potencia el cálculo del factor de fricción se puede determinar mediante la Ecuación 36 (Skelland, 1967).

$$\frac{1}{(4f)^{1/2}} = \frac{2}{n^{0,75}} \log \left[Re_G f^{(1-\frac{n}{2})} \right] - \frac{0,4}{n^{1,2}} \quad (36)$$

O gráficamente mediante la Figura 16, desarrollada por Dodge y Metzner.

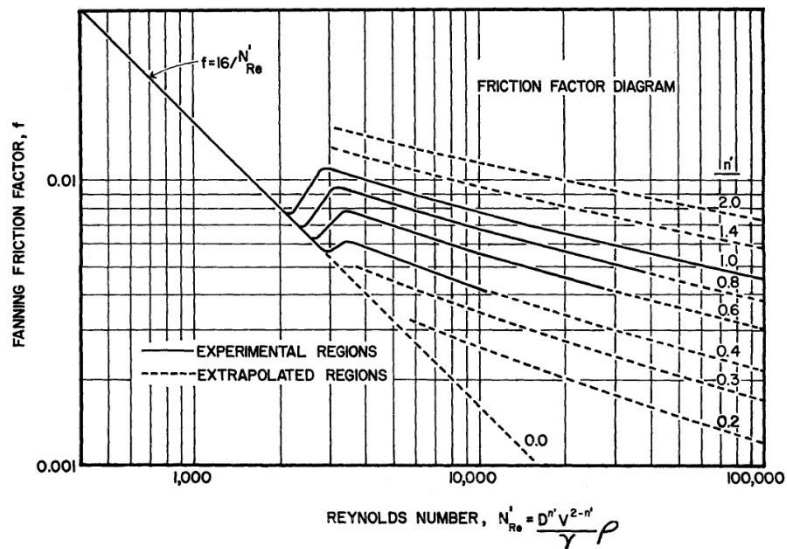


Figura 16. Diagrama de Dodge y Metzner para fluidos de la ley de la potencia

Fuente: Dodge and Metzner (1959)

Por su parte, para los fluidos plásticos de Bingham se utiliza la Ecuación 37.

$$\frac{1}{(4f)^{1/2}} = 2,27 \log(1 - m) + 2,27 \log [Re_B f^{1/2}] - 1,15 \quad (37)$$

O puede obtenerse con la Figura 17, en función de Reynolds (Re_B) y Hedstrom.

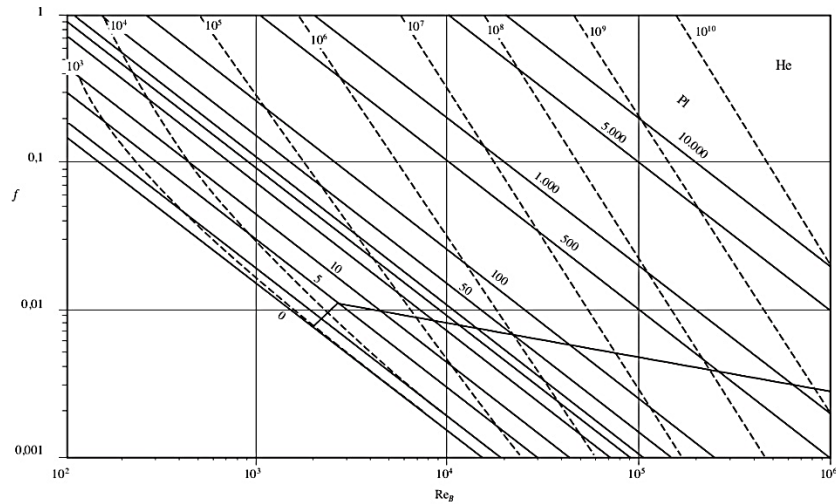


Figura 17. Diagrama de Hedstrom para plásticos de Bingham

Fuente: Ibarz and Barbosa-Cánovas (2005) (Adaptado de E. J. García and Steffe (1987))

En el caso de fluidos de tipo Herschel-Bulkley se pueden aplicar las Figura 18 y Figura 19, para valores de índice de flujo de 0,2 y 0,5 respectivamente.

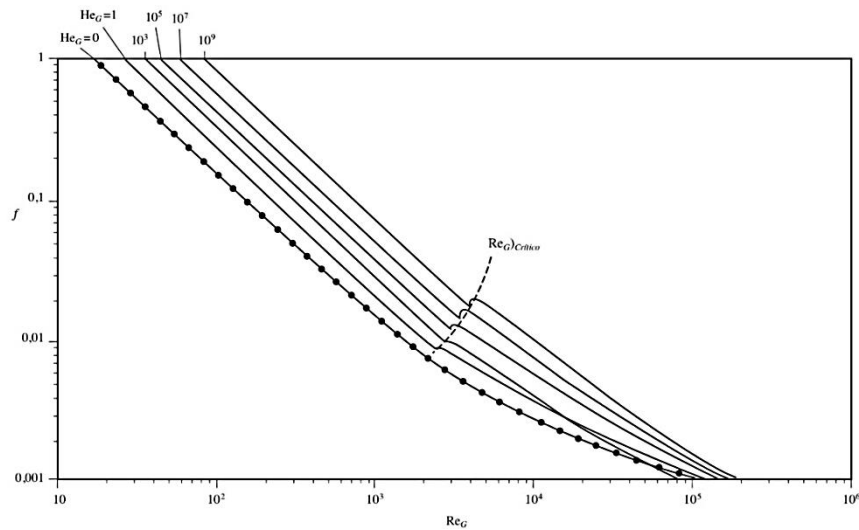


Figura 18. Factor de fricción para fluido de Herschel-Bulkley ($n=0,2$)

Fuente: Ibarz and Barbosa-Cánovas (2005) (Adaptado de E. J. García and Steffe (1987))

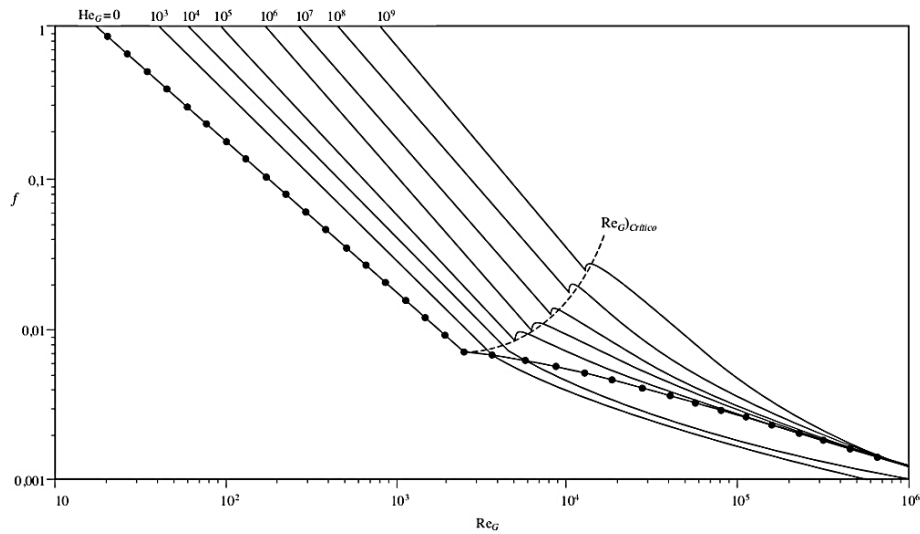


Figura 19. Factor de fricción para fluido de Herschel-Bulkley ($n=0,5$)

Fuente: Ibarz and Barbosa-Cánovas (2005) (Adaptado de E. J. García and Steffe (1987))

b. Pérdidas de energía mecánica en accesorios que forman el sistema

Existen también pérdidas de energía mecánica provenientes de los accesorios que forman sistema y se calculan con la Ecuación 38 (Foust, Wenzel, Clump, Maus, & Andersen, 1980).

$$E_f = k \times \frac{v^2}{2} \quad (38)$$

Donde: k corresponde al factor de resistencia; v es la velocidad del fluido (m/s).

Los valores de los factores de resistencia k , se presenta en la Tabla 2.

El cálculo obtenido mediante la ecuación (39) es válido para fluidos Newtonianos, para fluidos con comportamiento no newtoniano y con un módulo de Reynolds menor a 500 se debe aplicar la Ecuación 39 (JF Steffe et al., 1984).

$$k_{NN} = \frac{500 \times k_N}{Re} \quad (39)$$

Donde: Re es el número de Reynolds; k_N corresponde al factor de resistencia de un fluido no newtoniano.

Tabla 2. Factores de resistencia k

Accesorio	k
Codo de 45° estándar	0,35
Codo de 45° gran curvatura	0,20
Codo de 90° estándar	0,75
Codo de 90° gran curvatura	0,45
Codo de 90° pequeña curvatura	1,30
Curva de 180°	1,50
T estándar:	
• Con bifurcación cerrada	0,40
• Usada como codo	1,00
• Con división de caudal	1,00
Unión roscada	0,04
Manguito de unión	0,04
Válvula de compuerta:	
• Abierta	0,17
• ¾ abierta	0,90
• ½ abierta	4,50
• ¼ abierta	24,00
Válvula de asiento	
• Abierta	9,00
• ¾ abierta	13,00
• ½ abierta	36,00
• ¼ abierta	112,00
Válvula de diafragma	
• Abierta	2,30
• ¾ abierta	2,60
• ½ abierta	4,30
• ¼ abierta	21,00
Válvula angular abierta	2,00
Válvula de retención (abierta):	
• De charnela	2,00
• De bola	70,00
• De disco	10,00
Válvula de bola:	
• Cerrada 5°	0,05
• Cerrada 10°	0,29
• Cerrada 20°	1,56
• Cerrada 40°	17,30
• Cerrada 60°	206,00
Válvula de mariposa	
• Cerrada 5°	0,24
• Cerrada 10°	0,52
• Cerrada 20°	1,54
• Cerrada 40°	10,80

• Cerrada 60°	118,00
Válvula de fondo	15,00
Caudalímetros mecánicos:	
• De disco	7,00
• De pistón	15,00
• Rotatorio	10,00
• De turbina	6,00
Entrada:	
• Encañonadas	0,78
• Cantos vivos	0,50
• Ligeramente redondeada	0,23
• Bien redondeada	0,04
Salidas	
• Encañonadas	1,00
• Cantos vivos	1,00
• Ligeramente redondeada	1,00

Fuente: Ibarz and Barbosa-Cánovas (2005)

1.1.10.3. Pérdidas mecánicas totales

Para la obtención de las pérdidas mecánicas totales se suman las pérdidas en tramo recto y las pérdidas de mecánicas por accesorios (Ec. 40).

$$\sum E_f = E_{f_{tramo\ recto}} + E_{f_{accesorios}} \quad (40)$$

1.1.11. Bomba

1.1.11.1. Trabajo de la bomba

Una vez definido el punto de instalación de la bomba, se debe determinar la potencia de la misma, esta potencia debe ser capaz de hacer circular el fluido entre los puntos de carga y descarga (Ec. 41).

$$g(z_2 - z_1) + \frac{(P_2 - P_1)}{\rho} + \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2\alpha} + E_f = W \quad (41)$$

A partir de esta ecuación se obtiene W, que es el trabajo por unidad de masa que debe suministrarse al fluido para que circule desde el punto 1 al punto 2.

1.1.11.2. Potencia teórica de la bomba

La potencia teórica de la bomba se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$Potencia_{teórica} = W \times M \quad (42)$$

Donde: **W** es el trabajo de la bomba (J/kg); **M** es el flujo másico (kg/s)

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Diseñar un sistema de transporte para un fluido Herschel-Bulkley (mayonesa).

1.2.2. Objetivos específicos

- Establecer las variables de transporte a considerar para un fluido Herschel-Bulkley a través de todo el sistema.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el diseño y dimensionamiento del sistema de transporte de un fluido Herschel-Bulkley (mayonesa).
- Evaluar los costos de implementación del sistema de transporte diseñado.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

- Computadora
- Impresora
- Escáner
- Plataformas virtuales
- Software de dibujo asistido por computadora AutoCAD
- Aplicaciones informáticas

2.2. Métodos

2.2.1. Enfoque de la investigación

La investigación fue del tipo cuantitativa, puesto que recogieron y analizaron datos sobre variables y a su vez se estudiaron las características y fenómenos cuantitativos (Cea D'Ancona, 1999). El trabajo de investigación propuesto está destinado a ser un referente que reúne sustento científico - técnico de la relevancia del estudio de los sistemas de transporte de fluidos alimentarios no newtonianos.

2.2.2. Metodologías

La presente investigación empleó recursos teóricos y bibliográficos para obtener la metodología apropiada para la implementación del proyecto. Se sustentó el diseño, selección y aplicación de todos los componentes y accesorios necesarios para el desarrollo de un sistema de transporte para un fluido de tipo Herschel-Bulkley. La investigación diseñó un sistema de transporte para un fluido de tipo Herschel-Bulkley,

que incluyó líneas de tuberías, accesorios y tanques para las materias primas (fluidos), involucrados en la elaboración de este fluido alimentario. Esto implicó el uso de 4 tanques de almacenamiento: aceite, vinagre, huevo líquido y mezcla saborizada. Dichos fluidos pasaron mediante un sistema de bombas a un emulsificador, y finalmente a un tanque de almacenamiento de la mayonesa.

2.2.2.1. Deductivo

Mediante este método aplicaron los principios de mecánica de fluidos, cálculos básicos y operaciones unitarias. Para el diseño del sistema de transporte de fluido se partió de fundamentos físicos previamente establecidos, tales como el principio de Arquímedes, la ecuación de Bernoulli, entre otros. Dichos principios y ecuaciones se tomaron como valederos y se aplicaron a un proceso común en la industria alimentaria, yendo así de lo general (leyes y principios) a lo particular (fenómenos o hechos concretos) (**Raffino, 2020**).

2.2.2.2. Bibliográfico

La metodología bibliográfica pertenece a la indagación cuantitativa, puesto que colabora de manera efectiva a la formulación del problema de investigación (**Cea D'Ancona, 1999**). Es así que se utilizaron fuentes bibliográficas, tales como artículos científicos, obtenidos de bases de datos de libre acceso a través del Sistema Integrado de la Universidad, tales como Web of Science, Taylor & Francis Group, Scielo, Wiley Online Library y de acceso libre como ResearchGate.

2.2.3. Recolección de información

En la fase de recolección de información se obtuvieron respuestas para las variables de estudio. Se utilizó información de evidencias científicas reportadas que ayudaron a la determinación del comportamiento reológico del fluido de tipo mayonesa, selección de materiales y accesorios, y elección de bombas para el sistema de transporte de fluido.

2.2.4. Procesamiento de datos

2.2.4.1. Composición de un fluido tipo mayonesa

Se empleó una formulación de la mayonesa industrial (Tabla 4) reportada en el estudio publicado por **Ma and Barbosa-Cánovas (1995)**. La inclusión de las materias primas (fluidos) involucrados en la composición de fluido tipo mayonesa, permitió el estudio de varios tipos de fluidos, complementando la aplicación de los principios estudiados en el campo de la mecánica de fluidos y operaciones unitarias.

2.2.4.1. Identificación de comportamiento reológico

Basado en el estudio de **Ma and Barbosa-Cánovas (1995)**, se identificó el comportamiento reológico tanto de las materias primas, tales como: aceite, vinagre, huevo líquido y mezcla saborizada, como del fluido tipo mayonesa (Tabla 5 y 6).

Se cotejó el comportamiento reológico reportado por diversos autores con los modelos reológicos reportados por **Ibarz and Barbosa-Cánovas (2005)**, para definir si se trataban de fluidos newtonianos o no newtonianos (Tabla 3). Esta búsqueda permitió la elección de las ecuaciones correctas para los cálculos, basándose en el comportamiento reológico del fluido previamente establecido y a su vez, proporcionó datos relevantes como la viscosidad cinemática de los fluidos involucrados.

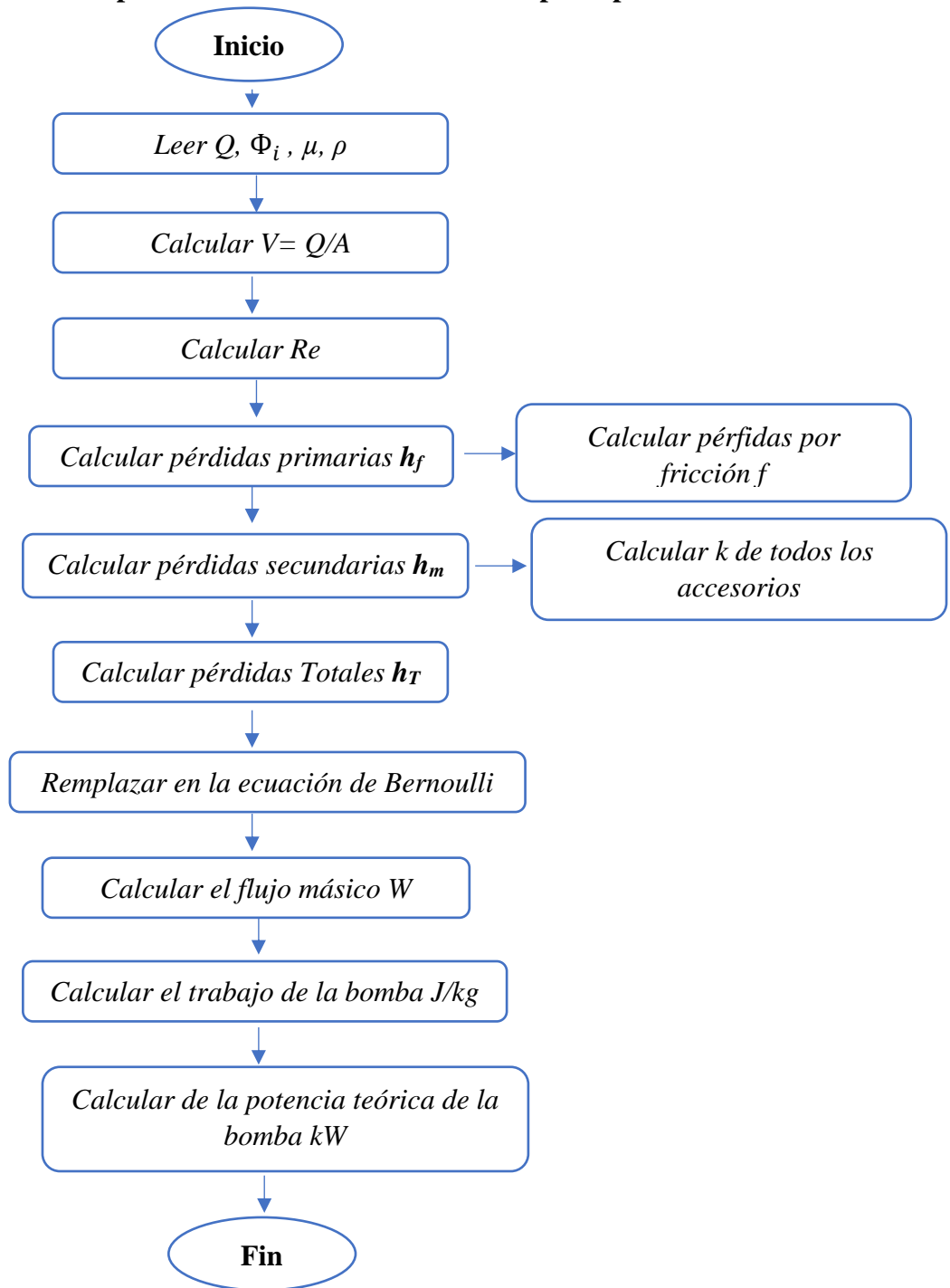
Tabla 3. Modelos para caracterización reológica de fluidos

Modelo	Ecuación
Newtoniano	$\sigma = \mu (\dot{\gamma})$
Ley de la Potencia	$\sigma = k (\dot{\gamma})^n$
Plástico de Bingham	$\sigma = \sigma_0 + \mu (\dot{\gamma})$
Herschel - Bulkley	$\sigma = k (\dot{\gamma})^n + \sigma_0$

Dónde: σ = esfuerzo de cizalla (Pa), μ = coeficiente de viscosidad, $\dot{\gamma}$ = velocidad de deformación (s^{-1}), k = índice de consistencia ($Pa \times s^n$), σ_0 = esfuerzo umbral (Pa).

Fuente: Ibarz and Barbosa-Cánovas (2005)

2.2.4.2. Cálculos para el diseño del sistema de transporte por tubería



Dónde: Q =caudal del fluido (m^3/s), μ = coeficiente de viscosidad ($Pa \times s$), Φ_i = diámetro interno de la tubería (m), ρ = densidad del fluido ($[kg]/m^3$), v = velocidad del fluido (m/s), A = área transversal de la tubería (m^2), Re = Número de Reynolds

Diagrama 1. Esquema resumido para el diseño de transporte de fluidos

Fuente: Caibe Yanzapanta (2013)

2.2.4.3. Diagrama de sistema de transporte de fluido

Se empleó el software asistido por computadora AutoCAD para diagramar el sistema de transporte. En éste se detallaron las dimensiones del sistema, accesorios y equipos involucrados. Los *layouts* están bajo lineamientos establecidos en la CPE INEN 003: Código de dibujo técnico, mecánico.

2.2.4.4. Costos de implementación del sistema

Se enviaron solicitudes de cotización a empresas proveedoras de accesorios e implementos de acero inoxidable en Ecuador. Esto se realizó con la finalidad de conocer el costo de su implementación y así tener una visión económica de lo que implica implementar un sistema en la industria alimentaria.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Variables de transporte a considerar para un fluido Herschel-Bulkley a través de todo el sistema

3.1.1. Determinación de fluido necesarios alimentarios de tipo mayonesa

Ma and Barbosa-Cánovas (1995), reportan la formulación de una mayonesa con una concentración del 75% (w/w), elaborada con los siguientes ingredientes: aceite, vinagre 10%, yemas de huevo, agua, sal y azúcar (Tabla 4).

Tabla 4. Formulación de preparación de mayonesa con 75% de concentración de aceite (w/w)

Componentes	Cantidad (g)	Porcentaje (%)
Aceite	150	75
Vinagre (ácido acético 20%)	2	1
Yema de huevo	12	6
Mezcla saborizante	Agua	32,4
	Azúcar	3,1
	Sal	0,5
TOTAL	200	100

Fuente: Ma and Barbosa-Cánovas (1995)

3.1.2. Parámetros reológicos de los ingredientes de la mayonesa

Una vez establecidos los ingredientes, se realizó una búsqueda bibliográfica para definir los parámetros reológicos de cada una de las corrientes. Relacionando la velocidad de corte ($\dot{\gamma}$) con el esfuerzo cortante (σ), se obtuvo que el vinagre, aceite de maíz y mezcla saborizante tienen un comportamiento newtoniano; mientras que la yema de huevo presenta un comportamiento pseudoplástico (Tabla 5).

Tabla 5. Parámetros reológicos obtenidos

Fluido alimentario	Modelo de fluido a estimar	Instrumento/Técnica empleada	T (°C)	μ (Pa×s)	R ²	Referencia
Aceite vegetal – Maíz	Newtoniano	Viscosímetro digital Anton Para DV-3 P	21	0,0535	0,95	Severa, Havlíček, Buchar, and Křivánek (2014)
Yema de huevo	Pseudoplástico	Brookfield DV II	25	0,4380	1	Atılgan and Unluturk (2008)
Vinagre (tipo Shanxi)	Newtoniano	Controlled strain rotational viscosimeter	25	0,0039	0,9579	Zhu, Falcone, Qiu, Ren, and Li (2020)
Mezcla saborizante*	Newtoniano	-	15	0,5000	-	SPX (2012)

* Considera la no presencia de estabilizantes

Elaborado por: Autor

3.1.3. Parámetros reológicos de la mayonesa

Así mismo, **Ma and Barbosa-Cánovas (1995)**, determinaron el comportamiento reológico de la mayonesa elaborada con la formulación reportada en la Tabla 4, mediante el empleo de un reómetro PhysicaRheolab MC20/UM, utilizando velocidad de corte controlada y con una geometría placa – placa de 50 mm de diámetro.

Para la mayonesa al 75% de concentración de aceite, no existió desplazamiento hasta que el esfuerzo cortante se incrementó a los 18 Pa. Los parámetros reológicos reportados se encuentran detallados en la Tabla 6.

Tabla 6. Parámetros reológicos de una mayonesa a una concentración del 75% de aceite

Modelo de fluido a estimar	Instrumento/Técnica empleada	T (°C)	Índice de consistencia, k (Pa×s ⁿ)	Índice de comportamiento de flujo, n	Esfuerzo umbral σ_0 (Pa)	R ²
Herschel-Bulkley	PhysicaRheolab MC20/UM	21	18,1	0,823	23	0,87

Fuente:(Ma & Barbosa-Cánovas, 1995)

Elaborado por: Autor

3.1.4. Datos complementarios de los fluidos

Datos complementarios de los fluidos alimentarios involucrados en el sistema de transporte se encuentran en la Tabla 7. Se consideraron valores de densidad y viscosidad cinemática reportados por diversos autores.

Tabla 7. Datos complementarios de los fluidos

Fluido alimentario	Densidad ([kg]/m³)	Viscosidad cinemática (Pa×s)	Referencia
Aceite vegetal – Maíz	926	0,0535	Severa et al. (2014)
Yema de huevo	1026,99	0,438	Atilgan and Unluturk (2008)
Vinagre 10%	1000	0,0039	Zhu et al. (2020)
Mezcla saborizada	1010	0,5	SPX (2012)
Mayonesa	950	18,1*	Ma and Barbosa-Cánovas (1995)

*Considera la viscosidad cinemática Pa×sⁿ

Elaborado por: Autor

3.1.5. Diseño de realización

El diseño del sistema de transporte para el fluido seleccionado abordó el transporte tanto las materias primas (fluidos) desde un tanque de almacenamiento hasta un emulsificador, y el transporte de fluido alimentario hacia un tanque de almacenamiento. Para ello se utilizaron 5 líneas de transporte de fluidos por tuberías. La nomenclatura utilizada para su identificación se detalla en la Tabla 8.

Tabla 8. Nomenclatura para la identificación de las líneas de fluido

Fluido alimentario	Líneas/tubería	Nomenclatura
Aceite vegetal – maíz	1	LA1
Vinagre	2	LV3
Yema de huevo	3	LYH2
Mezcla saborizada	4	LMS4
Mayonesa	5	LPM5

Elaborado por: Autor

3.1.6. Datos del sistema de transporte para un fluido Herschel-Bulkley (mayonesa)

Mediante un análisis previo de los componentes y accesorios involucrados en el diseño de un sistema de transporte para un fluido Herschel-Bulkley (mayonesa), se estableció el tipo de bomba a ser instalada, altura de descarga de fluido, diámetro de succión y descarga, y longitud total de la tubería AISI 304 (Tabla 9).

Tabla 9. Datos para el diseño del sistema de transporte de un fluido Herschel-Bulkley (mayonesa)

Parámetro	LA1	LH2	LV3	LMS4	LPM5
Altura de donde se descarga el fluido (m)	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5
Longitud de la tubería de succión (m)	1,3	1,3	1,3	1,3	0,4
Diámetro nominal de la tubería (")	1	1	1	1	1
Longitud de la tubería de descarga (m)	4,8	3,3	3,3	4,8	2,7
Diámetro nominal de la tubería (")	1	1	1	1	1
Longitud total de tubería recta (m)	6,1	4,6	4,6	6,1	3,1
Bomba instalada	Marca: Netzsch, Modelo: NM031BY01P05B				Marca: Netzsch, Modelo: NM038B Y01L06B

Elaborado por: Autor

3.1.7. Especificaciones técnicas de la tubería de acero inoxidable

3.1.7.1. Diámetro de tubería de acero inoxidable AISI 304

Se seleccionó una tubería de acero inoxidable AISI 304 de 1 pulgada de diámetro. Se consideraron las especificaciones del fabricante de dicha tubería (Tabla 10).

Tabla 10. Diámetro de tubería empleada para el diseño del sistema de transporte

Diámetro nominal (")	Diámetro externo (mm)	Espesor de la pared (mm)	Peso (kg/mt)	Peso (kg/6mt)
1	25,4	1,5	0,89	5,36

Fuente: Importaceros (2021)

3.1.7.2. Coeficiente para pérdidas en accesorios y codos

En el diseño del sistema de transporte se emplearon codos de 90° de gran curvatura, caudalímetros de turbina y válvulas de bola cerradas a 10°. Los coeficientes de pérdida por fricción de los accesorios se encuentran establecidos en la Tabla 2.

3.1.7.3. Coeficiente de rugosidad de acero inoxidable

Se empleó la rugosidad del acero inoxidable AISI 304 decapado STRIP-IT (Tabla 11). De acuerdo con **PermanentSteel (2017)**, el decapado es un serie de procesos técnicos en la superficie interna de la tubería, esta técnica emplea una solución ácida o alcalina con una cierta cantidad de inhibidor de corrosión; considerándose este tipo de material, con este tipo de procesos ideal para la circulación de alimentos.

Tabla 11. Rugosidad del acero inoxidable AISI 304

Material	Ra (μm)
STRIP-IT	2,3
STRIP-IT RED	2,1

Fuente: (Bibielle, 2001)

3.1.8. Especificaciones generales del sistema de transporte

Para el diseño de un sistema de transporte para un fluido Herschel-Bulkley (mayonesa), se consideró la hidráulica de tuberías y las propiedades fisicoquímicas de los fluidos a ser transportados, y bajo estos antecedentes se seleccionaron los mejores materiales.

El sistema contempla materiales y accesorios de acero inoxidable, tanto en los tanques de almacenamiento, como el tanque agitado. Las líneas de tuberías tienen una longitud mínima, con la finalidad de garantizar un consumo mínimo de energía en las diferentes bombas; sin embargo, esto no implica posibles problemas de seguridad industrial, considerando su posible aplicación en una nueva línea de producción.

El cálculo principal es la potencia teórica de las bombas a ser implementadas en sistema de transporte, las cuales son dependientes de tipo de fluidos, pérdidas de presión por fricción y accesorios.

En relación al sistema de bombeo en fluidos alimentarios, según **HRS (2021)**, existe la posibilidad de riesgo a que el producto bombeado sufra daños, pudiendo la viscosidad verse afectada; dando lugar a salsas muy líquidas o cortadas. De ahí la importancia de una adecuada selección de bombas tanto para el producto como para el proceso. Si bien es cierto, las bombas centrífugas son normalmente utilizadas para pastas y bebidas, dada la sensibilidad al cizallamiento del producto que fluye puede que esté sea dañado por el impulsor de la bomba. Existe otro tipo de bombas denominadas de desplazamiento positivo, resultando ideales para la producción de hielo, masas, rellenos y purés de frutas, pasta y salsa de tomate, mayonesa, entre otras.

Las bombas de desplazamiento positivo permiten mantener la calidad del fluido a ser transportado, presenta utilidad a una gran variedad de fluidos altamente viscosos, sensibles al cizallamiento y partículas grandes (**HRS, 2021**). Por último, cabe mencionar que una bomba de desplazamiento positivo puede resultar más costosa en relación a otros tipos de bombas existentes en el mercado, sin embargo, estas bombas garantizan no dañar los productos destacando la higiene, alta calidad y seguridad alimentaria.

3.1.9. Criterios del dimensionamiento del sistema de transporte

3.1.9.1. Dimensionamiento del área para el sistema de transporte de fluido Herschel-Buckley (mayonesa)

Para el diseño del sistema de transporte para un fluido Herschel-Buckley (mayonesa), se consideró un área mínima para su dimensionamiento, la que permitirá una adecuada colocación de tanques de almacenamiento, bombas, accesorios, entre otros.

Las dimensiones del departamento del sistema fueron de 107 m², con dimensiones de 13,6 m de largo por 7,9 m de ancho (Ver *Layout 1*).

3.1.9.2. Criterios de las líneas de tubería para el sistema de transporte de fluido Herschel-Buckley

Cada línea de tubería, tanto de los ingredientes como de la mayonesa, contempló el uso de tubería de acero inoxidable AISI 304, de 1 pulgada de diámetro. Los diámetros de la tubería de succión y descarga son iguales (1”), y las longitudes de estas fueron consideradas en función de la distribución de los tanques de almacenamiento y del tanque agitado simple (Ver *Layouts* 1 y 2).

Como plantea **Mardal (2007 - 2010)**, no es recomendable emplear tuberías de menor diámetro al de las bocas de succión y descarga. De ser el caso que existiesen diámetros diferentes en relación a la tubería de descargar y la brida de la bomba, está debería emplear una reducción concéntrica; y para la tubería de aspiración de ser necesario deberá usar una reducción excéntrica, estando paralela a la generatriz de la bomba evitando la formación de aire (**Lesá, 2015**); sin embargo el uso de más accesorios provoca un aumento en las pérdidas de energía, lo cual en muchos casos resulta contraproducente. Las bombas Netzsch empleadas cuentan con conexión de succión y descarga de 1”, lo cual garantiza su óptimo funcionamiento (Véase Anexo F).

3.2. Cálculos de ingeniería para el diseño y dimensionamiento del sistema de transporte de un fluido Herschel-Bulkley (mayonesa)

Tras un análisis de los fluidos a ser transportado, se seleccionaron bombas de desplazamiento positivo, de acero inoxidable, marca Netzsch. Para las materias primas se emplearon bombas Netzsch, modelo: NM031BY01P05B.

3.2.1. Determinación del caudal

Para efectos de cálculos, se consideró el caudal nominal máximo de la bomba empleada (Véase Anexo F).

$$Q_{m\acute{a}x} = 3,1 \frac{m^3}{h} = 8,611 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

3.2.2. Cálculo del diámetro interno de la tubería

Se calculó con el empleo de la Tabla 10 y la Ecuación 5.

$$\Phi_i = \Phi_e - 2e = 25,4 \text{ mm} - (2 \times 1,5) \text{ mm} = 22,4 \text{ mm} = 0,0244 \text{ m}$$

3.2.3. Cálculo de la velocidad del fluido

Se calculó utilizando las Ecuaciones 6 y 7.

$$v = \frac{4 \times Q}{\pi \times \Phi_i^2}$$

$$v = \frac{4 \times 8,611 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \times (0,0244 \text{ m})^2}$$

$$v = 1,842 \text{ m/s}$$

3.2.4. Cálculos para el tanque de almacenamiento de aceite LA1

Dado que el aceite vegetal tiene un comportamiento newtoniano se aplicaron las fórmulas para este tipo de fluidos.

3.2.4.1. Cálculo del flujo másico

Se calculó con la Ecuación 2.

$$M = Q \times \rho$$

$$M = 8,611 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 926 \text{ [kg]/m}^3$$

$$M = 0,797 \text{ kg/s}$$

3.2.4.2. Cálculo del número de Reynolds

Se calculó con la Ecuación 8.

$$Re = \frac{v \times \Phi_i \times \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{1,842 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,0244 \text{ m} \times 926 \text{ [kg]/m}^3}{0,0535 \text{ Pa} \times \text{s}}$$

$$Re = 777,9$$

Dado que el número de Reynolds es 777,9, el régimen de circulación es laminar.

3.2.4.3. Determinación del factor de corrección adimensional α

Al ser un fluido Newtoniano y con un régimen de circulación laminar, el factor de corrección adimensional es igual a 0,5.

3.2.4.4. Cálculo pérdidas menores de energía mecánica

a. Factor de fricción f

Se calculó con la Ecuación 28.

$$f = \frac{16}{Re}$$

$$f = \frac{16}{777,9}$$

$$f = 0,0206$$

b. Pérdidas por accesorio

Se determinaron los valores de k de los accesorios usados en el sistema (*Layout 3*).

Tabla 12. Accesorios línea LA1

N°	Accesorio	k	k_{Total}
7	Codos de 90° gran curvatura	0,45	3,15
1	Caudalímetro de turbina	6	6
1	Válvula de bola, cerrado 10°	0,29	0,29
TOTAL			9,44

Elaborado por: Autor

Y las pérdidas por accesorios se calcularon con la Ecuación 38.

$$E_f = k \times \frac{v^2}{2}$$

$$E_f = 9,44 \times \frac{(1,842 \frac{m}{s})^2}{2}$$

$$E_f = 16,015 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

c. Pérdidas en tramo recto de tubería

Se calculó con la Ecuación 27.

$$E_f = 4f \times \frac{L}{d} \times \frac{v^2}{2}$$

$$E_f = 4 * 0,0206 \times \frac{6,1 \text{ m}}{0,0244 \text{ m}} \times \frac{(1,842 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2}$$

$$E_f = 34,948 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

d. Cálculo de las pérdidas menores totales

Se calculó con la Ecuación 40.

$$\Sigma E_f = E_{f_{\text{tramos rectos}}} + E_{f_{\text{accesorios}}}$$

$$\Sigma E_f = 34,948 \text{ m}^2/\text{s}^2 + 16,015 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\Sigma E_f = 50,963 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

3.2.4.5. Determinación del trabajo de la bomba

Se calculó con la Ecuación 41.

$$g(z_2 - z_1) + \frac{(P_2 - P_1)}{\rho} + \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2\alpha} + E_f = W$$

$$9,81 \text{ m}/\text{s}^2 (1,6 \text{ m} - 0 \text{ m}) + 50,963 \text{ m}^2/\text{s}^2 = W$$

$$W = 66,659 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

3.2.4.6. Cálculo de la potencia teórica de la bomba

Se calculó con la Ecuación 42.

$$\text{Potencia}_{\text{teórica}} = W \times M$$

$$\text{Potencia}_{\text{teórica}} = 66,659 \text{ J}/\text{kg} \times 0,797 \text{ kg}/\text{s}$$

$$Potencia_{teórica} = 53,127 W \rightarrow 0,053 kW$$

3.2.5. Cálculos para el tanque de almacenamiento de vinagre LV2

Dado que el vinagre tiene un comportamiento newtoniano (Tabla 4), se aplicaron las fórmulas para dicho tipo de fluido.

3.2.5.1. Cálculo del flujo másico

Se calculó con la Ecuación 2.

$$M = Q \times \rho$$

$$M = 8,61 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} \times 1000 [kg]/m^3$$

$$M = 0,861 kg/s$$

3.2.5.2. Cálculo del número de Reynolds

Se calculó con la Ecuación 8.

$$Re = \frac{v \times \Phi_i \times \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{1,842 \frac{m}{s} \times 0,0244 m \times 1000 [kg]/m^3}{0,0039 Pa \times s}$$

$$Re = 11 524,3$$

Dado un número de Reynolds es 11 524,3, el régimen de circulación es turbulento.

3.2.5.3. Determinación del factor de corrección adimensional α

Al ser un fluido newtoniano y con un régimen de circulación turbulento, el factor de corrección adimensional es igual a 1.

3.2.5.4. Cálculo pérdidas menores de energía mecánica

a. Factor de fricción f

Al tener un régimen de circulación turbulento, se usó el diagrama de Moody.

$$4f = 0,0253$$

$$f = 6,325 \times 10^{-3}$$

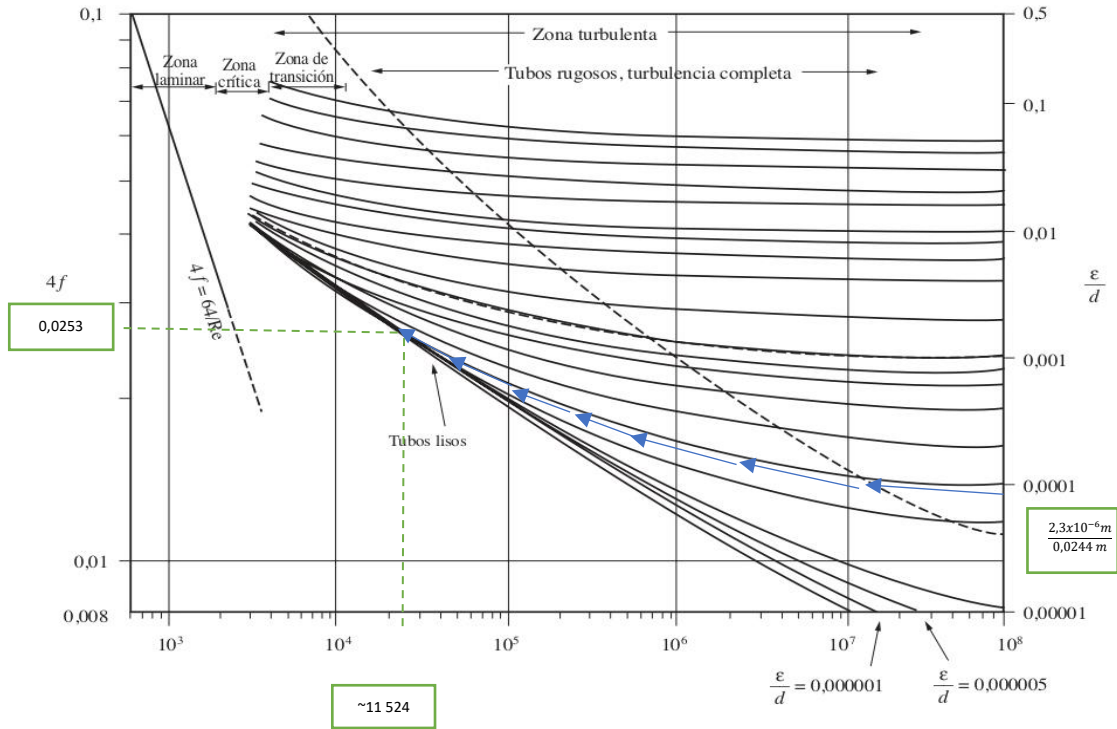


Figura 15. Diagrama de Moody para fluidos newtonianos

Fuente: Ibarz and Barbosa-Cánovas (2005)

b. Pérdidas por accesorios

Se determinaron los valores de k de los accesorios usados en el sistema (*Layout 3*).

Tabla 13. Accesorios línea LV2

N°	Accesorio	k	k_{Total}
7	Codos de 90° gran curvatura	0,45	3,15
1	Caudalímetro de turbina	6	6
1	Válvula de bola, cerrado 10°	0,29	0,29
TOTAL			9,44

Elaborado por: Autor

Las pérdidas por accesorios se calcularon con la Ecuación 38.

$$E_f = k \times \frac{v^2}{2}$$

$$E_f = 9,44 \times \frac{(1,842 \frac{m}{s})^2}{2}$$

$$E_f = 16,015 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

c. Pérdidas en tramo recto

Se calculó con la Ecuación 27.

$$E_f = 4f \times \frac{L}{d} \times \frac{v^2}{2}$$

$$E_f = 4 * 6,325 \times 10^{-3} \times \frac{4,6 \text{ m}}{0,0244 \text{ m}} \times \frac{(1,842 \frac{m}{s})^2}{2}$$

$$E_f = 8,092 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

d. Cálculo de pérdidas menores totales

Se calculó con la Ecuación 40.

$$\Sigma E_f = E_{f_{\text{tramos rectos}}} + E_{f_{\text{accesorios}}}$$

$$\Sigma E_f = 16,015 \text{ m}^2/\text{s}^2 + 8,092 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\Sigma E_f = 24,107 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

3.2.5.5. Determinación del trabajo de la bomba

Se calculó con la Ecuación 41.

$$g(z_2 - z_1) + \frac{(P_2 - P_1)}{\rho} + \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2\alpha} + E_f = W$$

$$9,81 \text{ m}/\text{s}^2 (1,6 \text{ m} - 0 \text{ m}) + 24,107 \text{ m}^2/\text{s}^2 = W$$

$$W = 39,803 \frac{J}{kg}$$

3.2.5.6. Cálculo de la potencia teórica de la bomba

Se calculó con la Ecuación 42.

$$Potencia_{teórica} = W \times M$$

$$Potencia_{teórica} = 39,803 \text{ J/kg} \times 0,861 \text{ kg/s}$$

$$Potencia_{teórica} = 34,270 \text{ W} = 0,034 \text{ kW}$$

3.2.6. Cálculos para el tanque de almacenamiento de yema de huevo YH3

Dado que la yema de huevo tiene un comportamiento pseudoplástico, y se ajusta a la Ley de la potencia, se aplicaron las fórmulas para dicho tipo de fluido.

3.2.6.1. Cálculo del flujo másico

Se calculó con la Ecuación 2.

$$M = Q \times \rho$$

$$M = 8,61 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1026,9 \text{ [kg]/m}^3$$

$$M = 0,884 \text{ kg/s}$$

3.2.6.2. Cálculo del número de Reynolds generalizado

Se calculó con la Ecuación 9.

$$Re_G = \frac{\Phi_i^n \times v^{2-n} \times \rho}{8^{n-1} \times k} \times \left(\frac{4 \times n}{1 + 3n}\right)^n$$

$$Re_G = \frac{(0,0244 \text{ m})^{0,897} \times (1,842 \frac{\text{m}}{\text{s}})^{2-0,897} \times 1026,99 \frac{\text{[kg]}}{\text{m}^3}}{8^{0,897-1} \times 0,4380 \text{ Pa} \times \text{s}} \times \left(\frac{4 \times 0,897}{1 + 3 \times 0,897}\right)^{0,897}$$

$$Re_G = 198,7$$

3.2.6.3. Determinación del número de Reynolds generalizado crítico

Se calculó con la Ecuación 11.

$$Re_{G \text{ crítico}} = \frac{6464n}{(1 + 3n)^2 \times \left(\frac{1}{2+n}\right)^{\left(\frac{2+n}{1+n}\right)}}$$

$$Re_{G \text{ crítico}} = \frac{6464 \times 0,897}{(1 + 3 * 0,897)^2 \times \left(\frac{1}{2 + 0,897}\right)^{\left(\frac{2+0,897}{1+0,897}\right)}}$$

$$Re_{G \text{ crítico}} = 2160,1$$

Dado que el número $Re_{G \text{ crítico}}$ es mayor que el Re_G , el régimen de circulación es laminar.

3.2.6.4. Determinación del factor de corrección adimensional α

Al ser un fluido pseudoplástico y con un régimen de circulación laminar, el factor de corrección adimensional se calculó mediante la Ecuación 22.

$$\alpha = \frac{(2n + 1)(5n + 3)}{3(3n + 1)^2}$$

$$\alpha = \frac{(2 \times 0,897 + 1)(5 \times 0,897 + 3)}{3(3 \times 0,897 + 1)^2}$$

$$\alpha = 0,512$$

3.2.6.5. Cálculo de las pérdidas menores de energía mecánica

a. Factor de fricción f

Se calculó con la Ecuación 29.

$$f = \frac{16}{Re_G}$$

$$f = \frac{16}{198,7}$$

$$f = 0,0805$$

b. Pérdidas por accesorios

Se determinaron los valores de k de los accesorios usados en el sistema (*Layout 3*).

Tabla 14. Accesorios línea LYH3

N°	Accesorio	k	k Total
7	Codos de 90° gran curvatura	0,45	3,15
1	Caudalímetro de turbina	6	6
1	Válvula de bola, cerrado 10°	0,29	0,29
TOTAL			9,44

Elaborado por: Autor

Las pérdidas por accesorios se calcularon con la Ecuación 38.

$$E_f = k \times \frac{v^2}{2}$$
$$E_f = 9,44 \times \frac{(1,842 \frac{m}{s})^2}{2}$$
$$E_f = 16,015 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

c. Pérdidas en tramo recto

Se calculó con la Ecuación 27.

$$E_f = 4 \times f \times \frac{L}{d} \times \frac{v^2}{2}$$
$$E_f = 4 \times 0,0805 \times \frac{4,6 \text{ m}}{0,0244 \text{ m}} \times \frac{(1,842 \frac{m}{s})^2}{2}$$
$$E_f = 102,985 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

d. Cálculo de pérdidas menores totales

Se calculó con la Ecuación 40.

$$\Sigma E_f = E_{f_{\text{tramos rectos}}} + E_{f_{\text{accesorios}}}$$
$$\Sigma E_f = 102,985 \text{ m}^2/\text{s}^2 + 16,015 \text{ m}^2/\text{s}^2$$
$$\Sigma E_f = 119,000 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

3.2.6.6. Determinación del trabajo de la bomba

Se calculó con la Ecuación 41.

$$g(z_2 - z_1) + \frac{(P_2 - P_1)}{\rho} + \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2\alpha} + E_f = W$$

$$9,81 \text{ m/s}^2 (1,6 \text{ m} - 0 \text{ m}) + 119,000 \text{ m}^2/\text{s}^2 = W$$

$$W = 134,696 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

3.2.6.7. Cálculo de la potencia teórica de la bomba

Se calculó con la Ecuación 42.

$$\text{Potencia}_{teórica} = W \times M$$

$$\text{Potencia}_{teórica} = 134,696 \text{ J/kg} \times 0,884 \text{ kg/s}$$

$$\text{Potencia}_{teórica} = 119,071 \text{ W} \rightarrow 0,119 \text{ kW}$$

3.2.7. Cálculos para el tanque de almacenamiento de la mezcla saborizante LMS4

3.2.7.1. Cálculo del flujo másico

Se calculó con la Ecuación 2.

$$M = Q \times \rho$$

$$M = 8,61 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1010 \text{ [kg]/m}^3$$

$$M = 0,870 \text{ kg/s}$$

3.2.7.2. Cálculo del número de Reynolds

Se calculó con la Ecuación 8.

$$Re = \frac{v \times \Phi_i \times \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{1,842 \frac{m}{s} \times 0,0244 m \times 1010 [kg]/m^3}{0,500 Pa \times s}$$

$$Re = 90,8$$

Dado un número de Reynolds es 90,8, el régimen de circulación es laminar.

3.2.7.3. Determinación del factor de corrección adimensional α

Al ser un fluido newtoniano y con un régimen de circulación laminar, el factor de corrección adimensional es de 0,5.

3.2.7.4. Cálculo pérdida menores de energía mecánica

a. Factor de fricción f

Se calculó con la Ecuación 28.

$$f = \frac{16}{Re}$$

$$f = \frac{16}{90,8}$$

$$f = 0,1762$$

b. Pérdidas por accesorios

Se determinaron los valores de k de los accesorios usados en el sistema de transporte (Tabla 15 y *Layout 3*).

Tabla 15. Accesorio de la línea LMS3

N°	Accesorio	k	k Total
7	Codos de 90° gran curvatura	0,45	3,15
1	Caudalímetro de turbina	6	6
1	Válvula de bola, cerrado 10°	0,29	0,29
TOTAL			9,44

Elaborado por: Autor

Se calculó con la Ecuación 38.

$$E_f = k \times \frac{v^2}{2}$$
$$E_f = 9,44 \times \frac{(1,842 \frac{m}{s})^2}{2}$$
$$E_f = 16,015 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

c. Pérdidas en tramo recto

Se calculó con la Ecuación 27.

$$E_f = 4 \times f \times \frac{L}{d} \times \frac{v^2}{2}$$
$$E_f = 4 \times 0,1762 \times \frac{6,1 \text{ m}}{0,0244 \text{ m}} \times \frac{(1,842 \frac{m}{s})^2}{2}$$
$$E_f = 298,920 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

d. Cálculo de las pérdidas menores totales

Se calculó con la Ecuación 40.

$$\Sigma E_f = E_{f_{\text{tramos rectos}}} + E_{f_{\text{accesorios}}}$$
$$\Sigma E_f = 298,920 \text{ m}^2/\text{s}^2 + 16,015 \text{ m}^2/\text{s}^2$$
$$\Sigma E_f = 314,935 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

3.2.7.5. Determinación del trabajo de la bomba

Se calculó con la Ecuación 41.

$$g(z_2 - z_1) + \frac{(P_2 - P_1)}{\rho} + \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2\alpha} + \Sigma E_f = W$$
$$9,81 \text{ m/s}^2 (1,6 \text{ m} - 0 \text{ m}) + 314,935 \text{ m}^2/\text{s}^2 = W$$
$$W = 330,631 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

3.2.7.6. Cálculo de la potencia teórica de la bomba

Se calculó con la Ecuación 42.

$$Potencia_{teórica} = W \times M$$
$$Potencia_{teórica} = 330,631 \text{ J/kg} \times 0,870 \text{ kg/s}$$
$$Potencia_{teórica} = 287,649 \text{ W} = 0,288 \text{ kW}$$

3.2.8. Cálculos para el tanque de producto terminado LPM5

Considerando la viscosidad de la mayonesa se seleccionó una bomba de desplazamiento positivo de acero inoxidable marca Netzsch, modelo: NM038BY01L06B.

3.2.8.1. Determinación del caudal

Para efectos de cálculos, se consideró el caudal nominal máximo de la bomba empleada (Véase Anexo F).

$$Q_{\text{m}\ddot{a}\text{x}} = 2,9 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 8,06 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

La mayonesa al ser un fluido de tipo Herschel-Bulkley se aplicaron las fórmulas para tal caso.

3.2.8.2 Cálculo de la velocidad del fluido

Se calculó con las Ecuaciones 6 y 7.

$$v = \frac{4 \times Q}{\pi \times \Phi_i^2}$$

$$v = \frac{4 \times 8,056 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{\pi \times (0,0244m)^2}$$

$$v = 1,723 \text{ m/s}$$

3.2.8.3. Cálculo del flujo másico

Se calculó con la Ecuación 2.

$$M = Q \times \rho$$

$$M = 8,056 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} \times 950,00 \text{ [kg]/m}^3$$

$$M = 0,765 \text{ kg/s}$$

3.2.8.4. Cálculo del número de Reynolds generalizado

Se calculó con la Ecuación 9.

$$Re_G = \frac{\Phi_i^n \times v^{2-n} \times \rho}{8^{n-1} \times k} \times \left(\frac{4 \times n}{1 + 3n}\right)^n$$

$$Re_G = \frac{(0,0244 \text{ m})^{0,83} \times \left(1,723 \frac{m}{s}\right)^{2-0,83} \times 950 \text{ [kg]/m}^3}{8^{0,83-1} \times 18,1 \text{ Pa} \times s^n} \times \left(\frac{4 \times 0,83}{1 + 3 \times 0,83}\right)^{0,83}$$

$$Re_G = 6,2$$

3.2.8.5. Cálculo del número de Hedstrom generalizado

Se calculó con la Ecuación 15.

$$He_G = \frac{\Phi_i^2 * \rho}{k} \times \left(\frac{\sigma_0}{k}\right)^{\left(\frac{2}{n}-1\right)}$$

$$He_G = \frac{(0,0244)^2 * 950 \text{ [kg]/m}^3}{18,1 \text{ Pa} * s^n} * \left(\frac{23 \text{ Pa}}{18,1 \text{ Pa} * s^n}\right)^{\left(\frac{2}{0,83}-1\right)}$$

$$He_G = 0,05$$

Se ajusta a la línea de Hedstrom de 0, en la Figura 14.

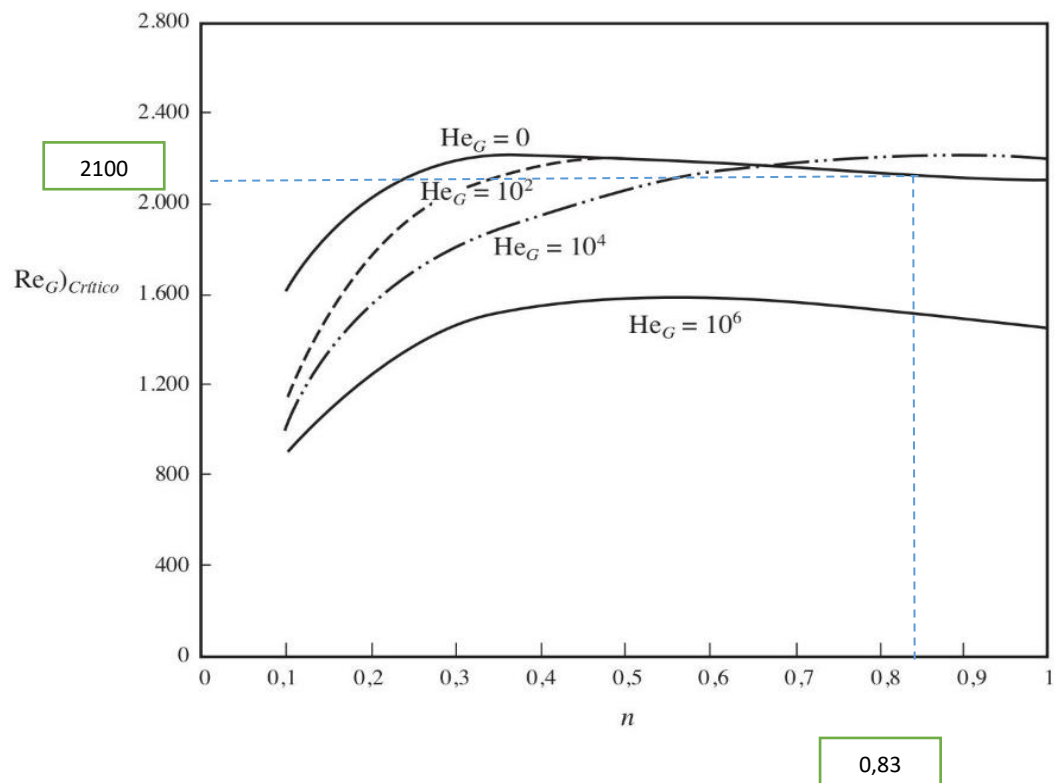


Figura 14. Número de Reynolds crítico en función del número de Hedstrom y del índice de flujo para fluidos Herschel-Bulkley

Fuente: Ibarz and Barbosa-Cánovas (2005)

3.2.8.6. Determinación del número de Reynolds generalizado crítico

Con un índice de comportamiento al flujo (n) igual a 0,83 y un He_G igual a 0, se determinó un valor de Reynolds generalizado crítico igual a 2100. Dado que el número Re_G crítico es mayor que el Re_G , el régimen de circulación es laminar.

3.2.8.7. Determinación del valor de m

Al ser m un valor no establecido, se procedió a su determinación mediante el método de iteración. El proceso iterativo implicó los siguientes pasos:

1. Se asumió un valor de m a partir del cual se evaluó el valor de ψ (Ec. 32.)
2. Una vez calculado el valor de ψ se determinó el factor de pérdidas por fricción f (Ec. 31).
3. Mediante la resolución de la Ecuación (9), se calculó el número de Reynolds generalizado.
4. A partir de los valores de m y ψ calculados se reemplazó en la Ecuación 33, despejando el valor de m de dicha ecuación. Al encontrar un valor de m que no coincide con el asumido, se repitió el proceso (Tabla 16).

Tabla 16. Determinación del valor m

Iteración	m (asumida)	ψ	Re	f	m (calculada)
1	0,5	0,2938	6,2	8,7837	0,12260
2	0,12260	0,6701	6,2	3,8510	0,00427
3	0,00427	0,7937	6,2	3,2513	0,00505
4	0,00505	0,7929	6,2	3,2547	0,00505

Elaborado por: Autor

Dada a la 4 iteración, se estableció un valor de m igual a 0,00505.

3.2.8.8. Determinación del factor de corrección adimensional α

Al tratarse de un fluido Herschel-Bulkley, con un régimen de circulación laminar se aplicó la Ecuación 24.

$$\alpha = \frac{A}{B}$$

Se calcularon los parámetros A y B:

$$A = [(1 + 3n + 2n^2 + 2n^2m + 2nm + 2n^2m^2)^3][(2 + 3n)(3 + 5n)(3 + 4n)]$$

$$A = [(1 + 3 \times 0,83 + 2 \times 0,83^2 + 2 \times 0,83^2 \times 0,00505 + 2 \times 0,83 \times 0,00505 + 2 \times 0,83^2 \times 0,00505^2)^3][(2 + 3 \times 0,83)(3 + 5 \times 0,83)(3 + 4 \times 0,83)]$$

$$A = 23\,658,256$$

$$B = [(2n + 1)^2(3n + 1)^2][18 + n(105 + 66m) + n^2(245 + 306m + 85m^2) + n^3(289 + 522m + 350m^2) + n^4(159 + 390m + 488m^2)]$$

$$B = [(2 \times 0,83 + 1)^2(3 \times 0,83 + 1)^2][18 + 0,83(105 + 66 \times 0,00505) + 0,83^2(245 + 306 \times 0,00505 + 85 \times 0,00505^2) + 0,83^3(289 + 522 \times 0,00505 + 350 \times 0,00505^2) + 0,83^4(159 + 390 \times 0,00505 + 488 \times 0,00505^2)]$$

$$B = 44\,534,152$$

$$\alpha = 0,531$$

3.2.8.9. Cálculo pérdida menores de energía mecánica

a. Factor de fricción f

Se calculó con la Ecuación (34).

$$f = \frac{16}{\psi Re_G}$$

Para la determinación de ψ se procedió con la aplicación de la Ecuación 31.

$$\psi = (2n + 1)^n (1 - m)^{1+n} \times \left[\frac{(1-m)^2}{3n+1} + 2m \times \frac{(1-m)}{2n+1} + \frac{m^2}{n+1} \right]^n$$

$$\psi = (2 \times 0,83 + 1)^{0,83} (1 - 0,00505)^{1+0,83} \times \left[\frac{(1-0,00505)^2}{3 \times 0,83+1} + 2 \times 0,00505 \right. \\ \left. \frac{(1-0,00505)}{2 \times 0,83+1} + \frac{0,00505}{0,83+1} \right]^{0,83}$$

$$\psi = 0,7929$$

Con la determinación del valor de ψ se calculó el factor f con la Ecuación 34.

$$f = \frac{16}{0,7921 \times 5,10} = 3,2547$$

b. Pérdidas por accesorios

Se determinaron los valores de k de los accesorios que intervienen en el sistema (Tabla 17 – Layout 4).

Tabla 17. Accesorios de la línea LPM5

N°	Accesorio	k	k Total
4	Codos de 90° gran curvatura	0,45	1,8
1	Caudalímetro de turbina	6	6
1	Válvula de bola, cerrada 10°	0,29	0,29
TOTAL			8,09

Elaborado por: Autor

Al ser el número de Reynold menor a 500, se corrigió el factor k (Ec. 39).

$$k_{NN} = \frac{500 \times k_N}{Re}$$

$$k_{NN} = \frac{500 \times 8,09}{6,2} = 652,419$$

Las pérdidas de energía por accesorios se calcularon con la Ecuación 38.

$$E_f = 652,419 \times \frac{(1,723 \frac{m}{s})^2}{2} = 968,428 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

c. Pérdidas en tramo recto

Se calculó con la Ecuación 27.

$$E_f = 4 \times f \times \frac{L}{d} \times \frac{v^2}{2}$$
$$E_f = 4 \times 3,2547 \times \frac{3,1 \text{ m}}{0,0244 \text{ m}} \times \frac{(1,723 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2}$$
$$E_f = 2455,180 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

d. Cálculo de pérdidas menores totales

Se calculó con la Ecuación 40.

$$\Sigma E_f = E_{f_{\text{tramos rectos}}} + E_{f_{\text{accesorios}}}$$
$$\Sigma E_f = 2455,180 \text{ m}^2/\text{s}^2 + 968,428 \text{ m}^2/\text{s}^2$$
$$\Sigma E_f = 3423,608 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

3.2.8.10. Determinación del trabajo de la bomba

Se calculó con la Ecuación 41.

$$g(z_2 - z_1) + \frac{(P_2 - P_1)}{\rho} + \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2\alpha} + \Sigma E_f = W$$
$$9,81 \text{ m}/\text{s}^2 (1,5 \text{ m} - 0 \text{ m}) + 3423,608 \text{ m}^2/\text{s}^2 = W$$
$$W = 3438,323 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

3.2.8.11. Cálculo de la potencia teórica de la bomba

Se calculó con la Ecuación 42.

$$\text{Potencia}_{\text{teórica}} = W \times M$$
$$\text{Potencia}_{\text{teórica}} = 3438,323 \text{ J}/\text{kg} \times 0,765 \text{ kg}/\text{s}$$
$$\text{Potencia}_{\text{teórica}} = 2630,317 \text{ W} \rightarrow 2,630 \text{ kW}$$

Tabla 18. Cálculos del diseño de sistema de transporte de fluido para un fluido Herschel-Buckley (mayonesa)

Tanque	LA1	LV2	LYH3	LME4	LPT5
Comportamiento reológico	Newtoniano	Newtoniano	Pseudoplástico	Newtoniano	Herschel-Bulkley
Temperatura (T en °C)	21	25	25	15	25
Caudal máximo de la Bomba (Q en m ³ /s)	8,61×10 ⁻⁴	8,61×10 ⁻⁴	8,61×10 ⁻⁴	8,61×10 ⁻⁴	8,06×10 ⁻⁴
Flujo másico (M en kg/s)	0,797	0,861	0,884	0,870	0,765
Viscosidad (μ en Pa×s)	0,0535	0,0039	0,4380	0,5000	18,1000
Densidad del fluido (ρ en kg /m ³)	926,000	1000,000	1026,990	1010,000	950,00
Diámetro interno de tubería (Φ _i en m)	0,024	0,024	0,024	0,024	0,0244
Longitud de tubería recta (L en m)	6,100	4,600	4,600	6,100	3,100
Velocidad del fluido (v en m/s)	1,842	1,842	1,842	1,842	1,723
Número de Reynolds (Re)	777,9	11524,3	198,7	90,8	6,2
Régimen de circulación del fluido	Laminar	Turbulento	Laminar	Laminar	Laminar
Factor de corrección adimensional (α)	0,500	1,000	0,512	0,500	0,531
Factor de fricción (f)	0,0206	0,0063	0,0805	0,1762	3,2547
Pérdidas energía mecánicas tramo recto (E _r en m ² /s ²)	34,948	8,092	102,985	298,920	2455,180
Pérdidas energía mecánicas accesorio (E _r en m ² /s ²)	16,015	16,015	16,015	16,015	968,428
Pérdidas energía mecánicas totales (ΣE _r en m ² /s ²)	50,963	24,107	119,000	314,935	3423,608
Punto de instalación de la bomba (z ₁ en m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Punto de descarga de fluido (z ₂ en m)	1,60	1,60	1,60	1,60	1,50
Trabajo de la bomba (W en J/kg)	66,659	39,803	134,696	330,631	3438,323
Potencia teórica consumida por la bomba (P _{teórica} en kW)	0,053	0,034	0,119	0,288	2,630

Elaborado por: Autor

3.2.9. Discusión de los resultados

3.2.9.1. Propiedades básicas de los fluidos

Para el diseño del sistema de transporte para fluido Herschel-Bulkley (mayonesa) se partió con la búsqueda de los ingredientes que forman parte de este producto (Tabla 4). Una vez conocidos dichos fluidos, se establecieron las propiedades para el control y dimensionamiento del sistema de transporte, como son la densidad, temperatura y parámetros reológicos (Tablas 5 y 6). Los datos adquiridos se obtuvieron de artículos reportados, tras una minuciosa búsqueda de información.

Como se aprecia en la Tabla 5, los datos de los fluidos involucrados fueron tomados de diversos autores, cabe destacar que se realizaron comparaciones entre diversas publicaciones, existiendo similitud entre los datos bajo condiciones similares, por ello, los valores considerados se los categorizó como confiables dentro de la investigación.

3.2.9.2. Modelos reológicos identificados

Los modelos matemáticos considerados fueron: Newtoniano, Ley de la Potencia y Herschel-Bulkley. En esta fase de la investigación se identificó el comportamiento reológico de los fluidos, siendo la viscosidad newtoniana el parámetro de interés en el caso del aceite, vinagre y la mezcla saborizante; mientras que en los modelos Herschel- Bulkley y Ley de la potencia (mayonesa y yema de huevo, respectivamente), fueron de interés los parámetros viscoplásticos (Tablas 5 y 6).

De acuerdo con **Ibarz and Barbosa-Cánovas (2005)**, las soluciones azucaradas cuentan con un comportamiento Newtoniano, es así que se consideró como Newtoniano el fluido compuesto por la mezcla saborizante citada por **SPX (2012)**.

3.2.9.3. Diseño de realización del sistema

Para el diseño del sistema de transporte se consideró el método deductivo, pues es una aplicación de los principios establecidos en la mecánica de fluidos, operaciones unitarias y cálculos básicos de ingeniería en un proceso industrial. Es así como, a falta de fase y pruebas experimentales, se consideraron variables establecidas por diversos autores y fabricantes, aplicando de manera simultánea el método bibliográfico.

La elección de tuberías, accesorios, codos, tanques de almacenamiento, tanque agitado, entre otros, resultaron de un análisis crítico y de una navegación bibliográfica de lo que involucra el diseño de sistema de transporte de un fluido viscoso. Como lo expresa **Singh and Heldman (2009)**, las tuberías para transporte de fluidos pueden variar de 2 a 10 cm de diámetro y los codos contribuyen a los cambios de dirección de los fluidos. Todos los componentes contribuirán a una manipulación aséptica del producto. Partiendo de esa premisa se diseñó el sistema, considerando una distribución adecuada, simulando el procesamiento industrial.

Se eligió una bomba de desplazamiento positivo, Marca: Netzsch, modelo NM031BY01P05B y NM038BY01L06B (Anexo F). Bombas aplicadas en el sector alimentario en productos como mermeladas, jaleas, mayonesa, vino, grasa y aceites, jugos, concentrados de fruta, entre otros.

Para la aplicación de los cálculos de ingeniería que involucran el sistema de transporte de fluido, se consideró el caudal máximo de las bombas seleccionadas. Esto permitió no partir de la subjetividad. De esta manera se calculó la potencia teórica consumida por dichas bombas trabajando a su capacidad máxima en los diferentes fluidos involucrados.

En relación con la tubería se consideró tubería AISI 304 acero inoxidable, con lo cual se cumplió con los estándares establecidos en la industria alimentaria. Según **Singh and Heldman (2009)**, la utilización de este material proporciona superficies lisas, resistentes a la corrosión. Sin embargo, existe la posibilidad de la formación de una película superficial en el acero inoxidable debido a la exposición al aire. Por ello, se requiere un mantenimiento de tuberías contra la corrosión.

3.2.9.4. Análisis del sistema de bombeo

Se consideró el uso de dos modelos de bombas del mismo tipo (Netzsch). Al tener un caudal máximo de 3,1 m³/h en las líneas de tubería de los ingredientes y 2,9 m³/h en el caso de la mayonesa.

Al tratarse de un fluido incompresible y al ser una tubería de sección constante ($v_1=v_2$), se suprimió la velocidad de la ecuación de Bernoulli. En el caso de la presión, se consideró la atmosférica con la consideración de que son sistemas abiertos, es decir, la existencia de dos medias tapas abiertas en los tanques de almacenamiento y el tanque con agitador (Ver *Layout 2*).

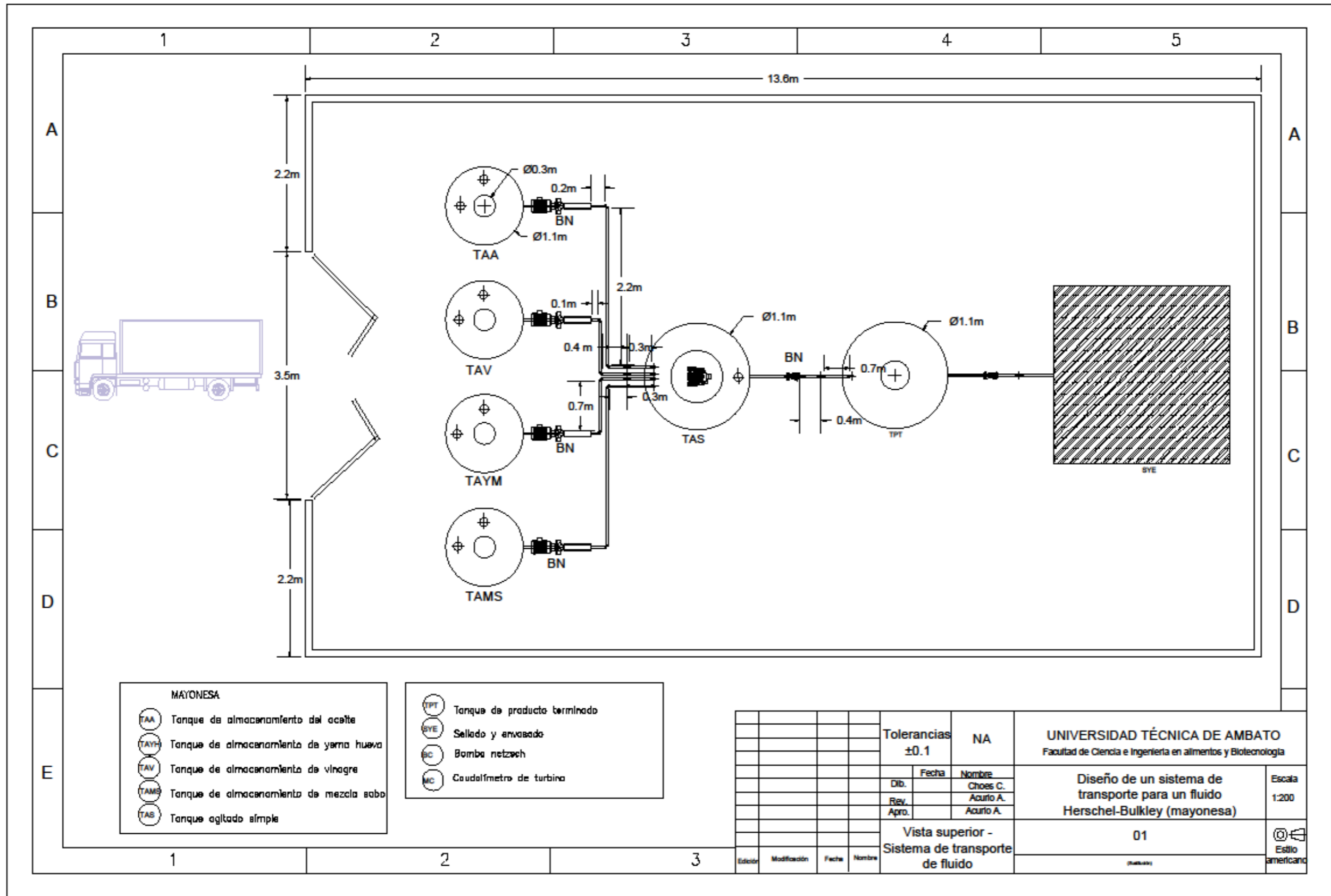
Las potencias consumidas por las bombas en los fluidos ingredientes estuvieron en un rango de 0,034 - 0,288 kW (Ver Tabla 18); la línea de fluido del aceite y la mezcla saborizante presentaron un régimen de circulación laminar, mientras que la del vinagre un régimen turbulento. Por su parte la yema de huevo se determinó como fluido pseudoplástico y presentó un régimen laminar (puesto que el módulo de Reynolds generalizado calculado fue menor al módulo de Reynolds generalizado crítico).

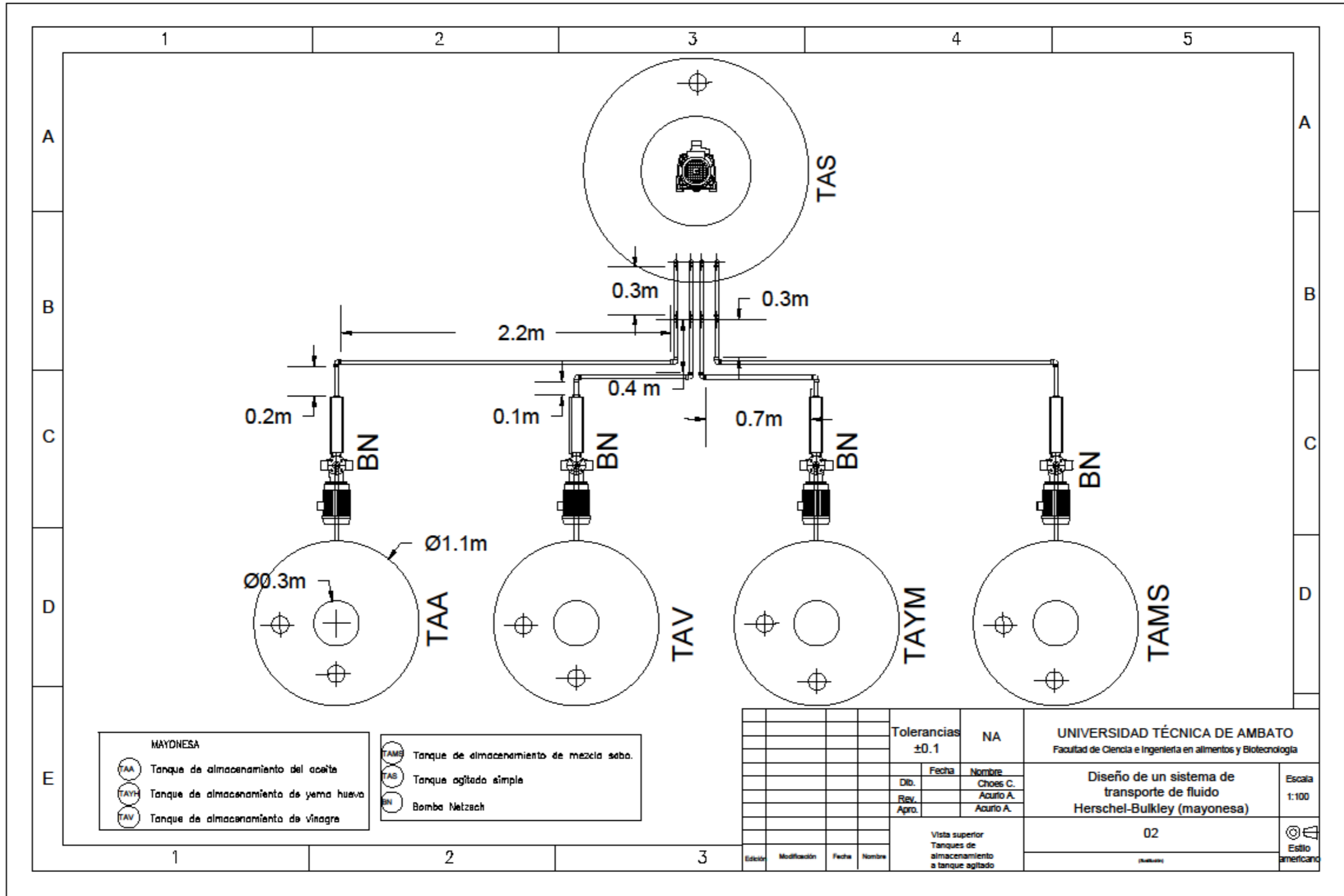
Las pérdidas de energía mecánica son proporcionales al factor de fricción, longitud de la tubería y cantidad de accesorios implementados en el sistema. Siendo la línea de la mezcla saborizante la que mayor pérdida presentó, con un valor de $314,935 \text{ m}^2/\text{s}^2$.

En el caso de la mayonesa al ser un fluido Herschel-Bulkley (no newtoniano dependiente del tiempo), la potencia teórica consumida por la bomba, bajo las consideraciones detalladas en la Tabla 9, fue de 2,630 kW. Su régimen de circulación fue laminar, y presentó un total de pérdidas de energía mecánica igual a $3423,608 \text{ m}^2/\text{s}^2$.

3.2.10. Planos del sistema de transporte de fluido Herschel-Bulkley (mayonesa)

Mediante la aplicación del software AutoCAD se diseñaron los planos del sistema de transporte, mismos que se exponen a continuación.





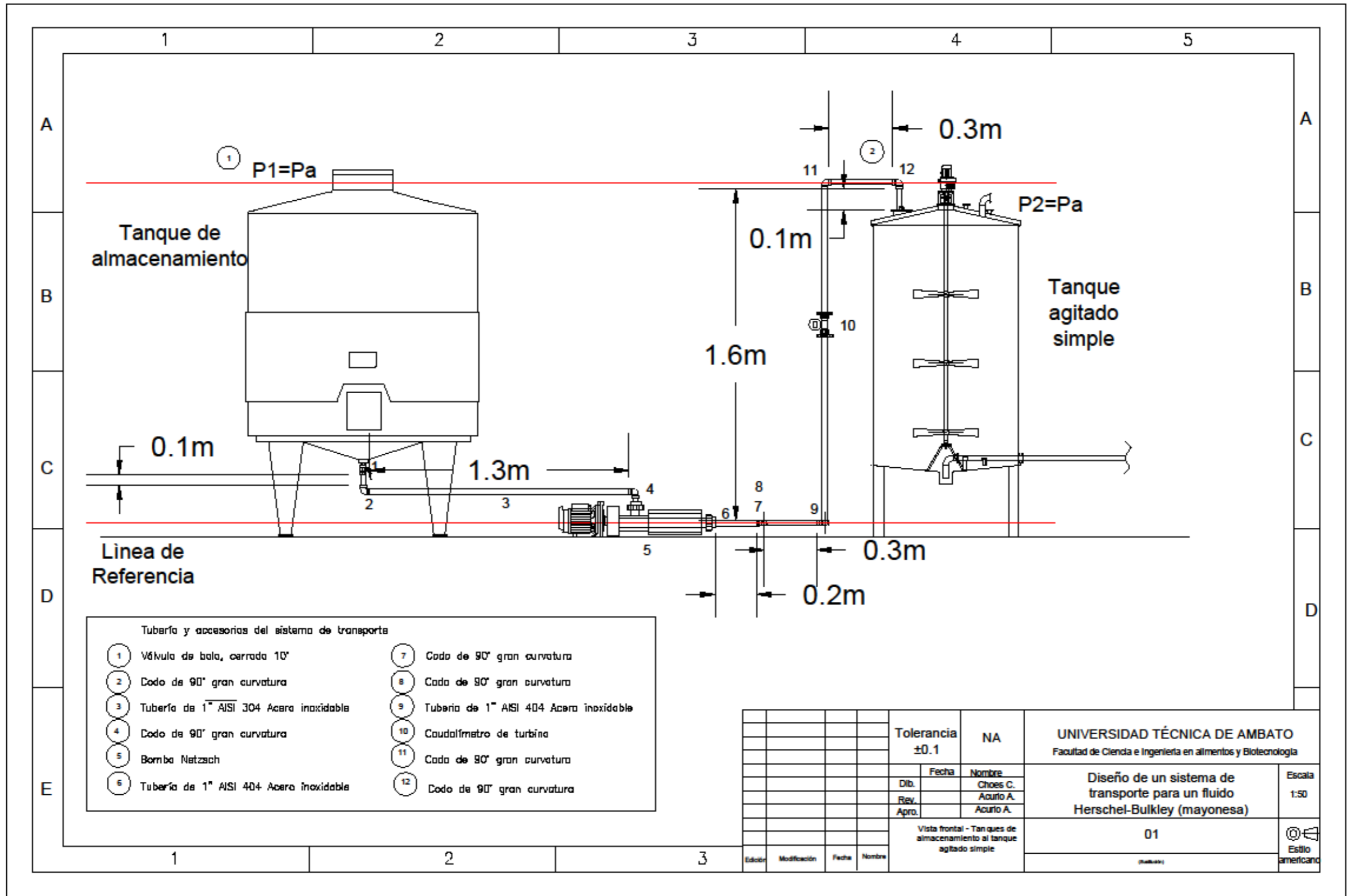
MAYONESA

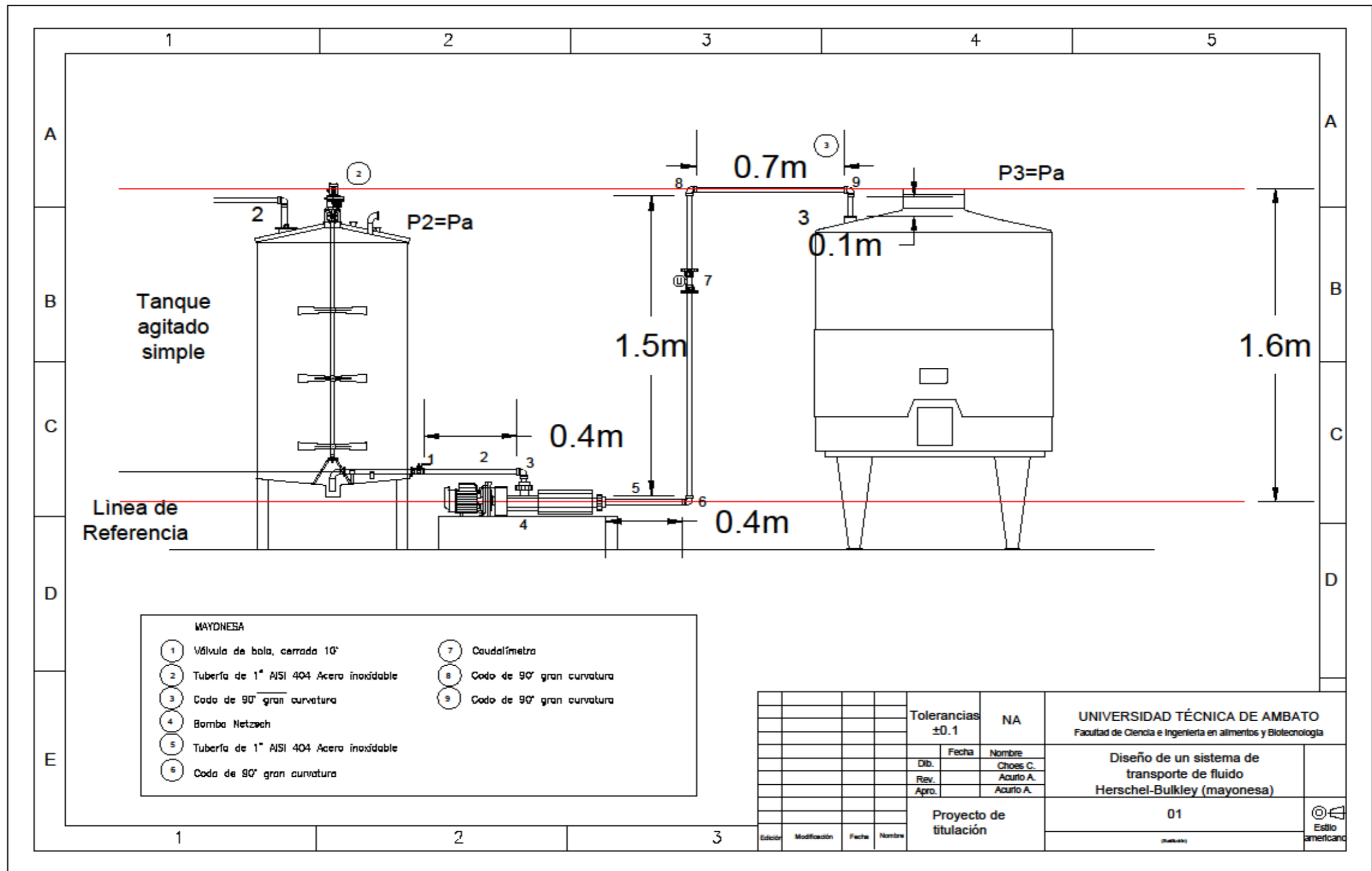
	Tanque de almacenamiento del aceite
	Tanque de almacenamiento de yema huevo
	Tanque de almacenamiento de vinagre

	Tanque de almacenamiento de mezcla saba.
	Tanque agitado simple
	Bomba Netzsch

Tolerancias ±0.1				NA
Fecha				Nombre
Dib.				Choes C.
Rev.				Acurio A.
Apro.				Acurio A.
Vista superior Tanques de almacenamiento a tanque agitado				
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO Facultad de Ciencia e Ingeniería en alimentos y Biotecnología	
Diseño de un sistema de transporte de fluido Herschel-Bulkley (mayonesa)	
02	
Escala 1:100	Estilo americano





Los componentes del sistema de transporte, de acuerdo con el *Layout 1* son:

1. 5 bombas
2. Tubería de diámetro de 1"
3. 32 codos de 90° gran curvatura
4. 5 caudalímetros de turbina 1"
5. 4 tanques de almacenamiento
6. 1 tanque con agitador tipo ancla
7. 5 válvulas de turbina

Tabla 19. Equipos y tuberías necesarios para el diseño del sistema de transporte

	Especificaciones	Capacidad	Dimensiones	Función en el sistema de transporte
Tanque de almacenamiento	Acero inoxidable AISI 304.	1000 L	Alto: 1,2 m Diámetro: 1,1 m	Almacenar fluidos
Tanque con agitador tipo ancla	Diseñado para un fluido de densidad máxima 1.1 g/cm ³ y una viscosidad de 60000 cp.	1000 L	Diámetro Interior: 1,05 m Altura de envoltura: 1,22 m	Emulsificar los componentes de una mezcla
Bomba de desplazamiento positivo	Marca: Netzsch Modelo: NM031BY01P05B	3,1 m ³ /h	-	Transformar la energía mecánica en energía hidráulica.
	Marca: Netzchel Modelo: NM038BY01L06B	2,9 m ³ /h	-	Conducir el fluido de un punto a otro
Caudalímetros de turbina	Modelo: GTGT32 Marca: Jujie automatic technology	-	-	Medir el caudal o gasto volumétrico de los fluidos
Codos	Acero inoxidable	-	1" X 90° ROSC	Cambiar la dirección del flujo
Válvulas de bola	Acero inoxidable 316	-	1"	Detener, iniciar o regular la circulación de los fluidos
Tubería	Acero inoxidable AISI 304.	-	Longitud: 6 m 1"	Transportar el fluido de un punto a otro.

Elaborado por: Autor

3.3. Costo de implementación del sistema de transporte diseñado

Para la determinación del costo de implementación del sistema de transporte diseñado, se consideraron las cotizaciones de las siguientes empresas nacionales: Import Acero industria metalmeccánica, Ferretería Luferi, Importadora Industrial Sufec S.A, VVA Industrial Supplies & Services, Master Solution S.A, Repraser S.A y Interinox S.A. Los precios de los equipos, implementos y accesorios del sistema se encuentran detallados en la Tabla 20.

Tabla 20. Costo de implementación del sistema de transporte diseñado

Materiales	Característica	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Tanque de almacenamiento	1000 L	5	2 950,00	16 520,00*
Tanque con agitador tipo Ancla	1000 L	1	13 900,00	13 900,00
Bombas grado alimentario	Netzsch NM031BY01P05B	4	3 387,00	13 548,00
Bomba grado alimentario	Netzchel NM038BY01L06B	1	4 887,00	4 887,00
Caudalímetros	De turbina	5	1 900,00	10 640,00*
Codos 90°, gran curvatura, acero inoxidable	1"	32	4,98	178,80*
Válvulas de bola, acero inoxidable	1"	5	59,10	281,32*
Tubería de acero inoxidable AISI 304 1"	6 m	5	21,04	117,82*
TOTAL				60 072,94

*el precio total considera el IVA

Elaborado por: Autor

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se diseñó un sistema de transporte para un fluido Herschel-Bulkley (mayonesa), el que consideró dimensiones, máquinas, materiales y accesorios utilizados a nivel industrial. El sistema incluyó las líneas de tubería de las materias primas necesarias para la elaboración de este producto.
- El sistema de bombas consideró el caudal nominal máximo de las bombas instaladas. Las variables de operación fueron consideradas a un rango de operación entre los 15 – 25°C y con flujo máximo de 3,1 m³/h para las líneas de tubería de los ingredientes y 2,9 m³/h para la mayonesa. El material que se empleó en las tuberías fue acero inoxidable AISI 304, al igual que en los tanques de almacenamientos, codos y accesorios.
- Se emplearon modelos y ecuaciones matemáticas para el transporte de fluidos Newtonianos y no Newtonianos. Los fluidos como aceite, vinagre y mezcla saborizante, fueron tratados como fluidos que cumplen la Ley de Newton, mientras que la yema de huevo y la mayonesa presentaron propiedades viscoplásticas, considerándose los modelos de la Ley de la Potencia y Herschel-Bulkley, respectivamente.
- En las condiciones de bombeo que se encontraron los fluidos trabajaron a diversos regímenes de circulación, siendo el vinagre el único que presentó turbulencia en la circulación. Además, se evidenció la proporcionalidad de las pérdidas de energía mecánica con el factor de fricción, longitud de tubería y cantidad de accesorios involucrados en el sistema.

- El costo de implementación del sistema a escala industrial, descartando el costo de construcción (mano de obra) es de 60 072,94 dólares americanos.

4.2. Recomendaciones

- Realizar una simulación para validar los resultados. Para ello considerar un programa de simulación 3D, como lo es el software libre EPANET.
- Emplear ensayos experimentales en un reómetro para conocer las propiedades viscoplásticas de la mayonesa de acuerdo con la formulación citada.
- Dada la construcción del sistema del sistema, darle el respectivo mantenimiento y limpieza de las superficies, para así evitar las corrosiones causadas por el aire.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AliExpress. (2010 - 2021). Cruz de acero inoxidable, hilo de cruz, accesorios de tubería de 4 vías. Recuperado de <https://es.aliexpress.com/item/32962852589.html>
- Andronov, L., & Tuniyantz, T. (1977). *Estudio del movimiento de mercancías y las operaciones de estibación*. Moscú URSS Editorial MIR.
- Atılgan, M. R., & Unluturk, S. (2008). Rheological properties of Liquid Egg Products (LEPS). *International Journal of Food Properties*, 11(2), 296-309.
doi:10.1080/10942910701329658
- Basher. (2017). Bomba de desplazamiento positivo de 2 tornillos. *basheruruguay*.
Recuperado de <http://www.basheruruguay.com/index.php/productos/bombas-desplazamiento-positivo/de-2-tornillos-detail.html>
- Bibielle. (2001). Tabla RA (en Acero Inox AISI 304). *bibielle*. Recuperado de <https://bibielle.com/pdf/tabelle/TabellaRA-ES.pdf>
- Boixader, Q., Falconi, C. Y., Lladó, J., López, E., & López, P. (2016). Planta de producción de acetato de vinilo. . In I. Vam (Ed.). España: Universitat Autònoma de Barcelona. Escola Técnica Superior d'Enginyeria.
- Caibe Yanzapanta, F. M. (2013). *Diseño y construcción de un sistema de transporte de fluidos para la medición de caudales (rotámetro)*. (Ingeniero químico), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba Chimborazo.
- Cea D'Ancona, M. A. (1999). *Metodología cuantitativa: Estrategias y técnicas en investigación social* (Síntesis Ed.). Madrid España.
- Çengel, Y., & Boles, M. A. (2006). *Termodinámica* (Séptima edición ed.). México McGraw-Hill.
- Çengel, Y., & Cimbala, J. M. (2012). *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones* (Segunda edición ed.). México McGraw-Hill Interamericana.
- Charm, S. E. (1971). *The fundamentals of Food Engineering* (2nd edition ed.). USA Westport.

- Conasi. (2014 - 2021). Filtro de acero inoxidable grande. *conasi eu*. Recuperado de <https://www.conasi.eu/te-y-cafe/1651-filtro-acero-inoxidable-grande-trendglas.html>
- Coulson, J. M., & Richardson, J. F. (1979-1981). *Ingeniería Química*. Barcelona España Reverté.
- Dodge, D. W., & Metzner, A. B. (1959). Turbulent flow of non-Newtonian systems. *AIChE Journal*, 5(2), 189-204.
- Domingo, A. M. (2011). *Apuntes de mecánica de fluidos* (Alike Ed.). España: Universidad Politécnica de Madrid: Departamento de Física e Instalaciones.
- EddyPump. (1984 - 2021). ¿Qué son las bombas de desplazamiento positivo? Recuperado de <https://eddyump.com/es/education/eddy-pump-vs-positive-displacement-pump/>
- Foust, A. S., Wenzel, L. A., Clump, C. W., Maus, L., & Andersen, L. B. (1980). *Principles of Unit Operations*. New York: John Wiley & Sons.
- García-Cortés, D., & Jáuregui-Haza, U. (2006). Hidrodinámica en tanques agitados con turbinas de disco con paletas planas. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*(38), 97-113.
- García, E. J., & Steffe, J. F. (1987). Comparison of friction factor equations for non-Newtonian fluids in pipe flow. *Journal of Food Process Engineering*, 9(2), 93-120.
- García, F., Berjano, M., & Gallegos, C. (1988). Reología de Mayonesas. *Review Grasas y Aceites*, 39(4-5), 281-285.
- Hanks, R. W., & Ricks, B. L. (1974). Laminar-turbulent transition in flow of pseudoplastic fluids with yield stresses. *J. Hydronautics*, 8 (4), 163.
- HRS. (2021). Las bombas para la industria alimentaria no sólo sirven para procesar líquidos. *hrs-heatexchangers*. Recuperado de <https://www.hrs-heatexchangers.com/es/noticias/las-bombas-para-la-industria-alimentaria-no-solo-sirven-para-procesar-liquidos/>
- Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. (2005). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos*. Madrid España: Mundi-Prensa Libros.

- Importaceros. (2021). Catálogo de productos. In IMPORTACEROS (Ed.), (pp. 39). Quito Ecuador: IMPORTACEROS.
- Inoxalia. (2021). Accesorios y recambios In. España.
- Inoximexico. (2018). Tanque de agitación de 1000 litros *Inoximexico* Recuperado de <https://www.inoximexico.com/producto/403/tanque-de-agitacion-de-1000-litros->
- IQR. (2020). Flujo turbulento en ingeniería química. Recuperado de <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2021/02/flujo-turbulento-en-ingenieria-quimica.html>
- Jaramillo Díaz, J. D., & Cárdenas Bañol, H. A. (2015). *Número de Reynolds*. (Ingeniería Civil), Universidad en Bogotá, Colombia.
- KenKachels. (2021). Reducción/expansión del tubo de la estufa de 150 - 200 mm de acero inoxidable. *kenkachels*. Recuperado de <https://es.kentkachels.com/kachelpijpen/kortingenuitbreidingen/roestvrij-staal/conische-verminderinguitbreiding/403/150-200-mm-rookpijp-reductie/uitbreiding-roestvrij-staal#>
- Lesla. (2015). Recomendaciones para la tubería de aspiración y descarga *bombaslesa*. Recuperado de <https://www.bombaslesa.com/sitio-wp/wp-content/uploads/2015/07/Recomendaciones-para-la-Tuber%C3%ADa-de-Aspiraci%C3%B3n-y-Descarga-1.1.pdf>
- Liu, H., Xu, X., & Guo, S. D. (2007). Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. *LWT-Food Science and Technology*, 40(6), 946-954.
- Lupeda. (2020). Codo De Acero Inoxidable. *lupeda ec*. Recuperado de <https://www.ludepa.ec/productos/griferia/codo-de-acero-inoxidable-2/>
- Ma, L., & Barbosa-Cánovas, G. (1995). Rheological characterization of mayonnaise. Part I: Slippage at different oil and xanthan gum concentrations. *Journal of food engineering*, 25(3), 397-408.

- Mardal. (2007 - 2010). Recomendaciones para la Instalación de Bombas Centrifugas. *mardal*. Recuperado de http://mardal.com.ve/descargas/bcentrif_recomendaciones.pdf
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (1985). *Unit Operations of Chemical Engineering*. Singapore McGraw-Hill Book.
- MineríaChilena. (2006). Transporte de fluidos: Variables a considerar para una mayor disponibilidad. *mch cl*. Recuperado de <https://www.mch.cl/informes-tecnicos/transporte-fluidos-variables-considerar-una-mayor-disponibilidad/>
- Octal. (2012 - 2020). Tee Recta de Acero (y Tee Reducida) – Accesorios Comunes para Tubos. *octalacero*. Recuperado de <https://www.octalacero.com/tee-recta-de-acero-reducida>
- Osorio, F., & Steffe, J. (1984). Kinetic Energy Calculations for Non-Newtonian Fluids in Circular Tubes. *Food Science*, 49(5), 1295-1296.
- PermanentSteel. (2017). Introducción de decapado de tuberías. *permanentsteel* Recuperado de <https://www.permanentsteel.com/es/m/newsshow/Introductionofpipepickling.html>
- Raffino, M. E. (2020). Método Deductivo. *Concepto de*. Recuperado de <https://concepto.de/metodo-deductivo/>
- Ramírez-Navas, J. (2006). Introducción a la Reología de Alimentos. *Revista ReCiTeIA*, 6(1), 1-46.
- Rao, M. (1992). Transport and storage of food products. In *Handbook of food engineering* (pp. 365-408). New York Marcel Dekker.
- Seguas. (2020). Bombas centrífugas y su uso en instalaciones hidráulicas. *seguas*. Recuperado de <https://www.seguas.com/bombas-centrifugas-instalaciones-hidraulicas/>
- Severa, L., Havlíček, M., Buchar, J., & Křivánek, I. (2014). On the selected rheological parameters of edible vegetable oils. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 54, 83-94. doi:10.11118/actaun200654010083

- Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2009). *Introducción a la Ingeniería de los Alimentos: Acribia*.
- Skelland, A. H. P. (1967). *Non-Newtonian flow and heat transfer (Book on quantitative relationships for non-Newtonian systems, considering classification and fluid behavior of materials with anomalous flow properties)*. New York J. Wiley & Sons, Inc.
- Smith, J. M., & Van Ness, H. C. (1975). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*. New York EEUU: McGraw-Hill.
- SPX. (2012). *Fine food production. White paper*. Recuperado de Charlotte North Carolina: https://www.spxflow.com/assets/pdf/GS_fine_food_production_GB.pdf
- Steffe, J., Mohamed, I., & Ford, E. (1984). Pressure drop across valves and fittings for pseudoplastic fluids in laminar flow. *Transactions of the ASAE*, 27(2), 616-619.
- Steffe, J., & Morgan, R. (1986). Pipeline design and pump selection for non-Newtonian fluid foods. *Food technology*, 40(12), 78-85.
- Steffe, J. F. (1996). *Rheological methods in food process engineering*: Freeman press.
- Streeter, V. L., Wylie, E. B., Bedford, K. W., & Saldarriaga, J. G. (1988). *Mecánica de los fluidos* (Vol. 7): McGraw-Hill Colombia.
- TCM. (2010). Tanques de almacenamiento *tmc tortora*. Recuperado de <https://tcmtortora.com/es/servicios/tanques-de-almacenamiento/>
- Terán Herrera, H., Torres Muñoz, G., Arteaga López, O., & Sánchez Ocaña, W. (2018). *Mecánica de fluidos* (David Andrade Aguirre ed.). Sangolqui Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Viejo Zubicaray, M., & Álvarez Fernández, J. (2004). *Bombas: Teoría, diseño y aplicaciones*. México.
- Zhu, H., Falcone, P. M., Qiu, J., Ren, C.-Z., & Li, Z.-G. (2020). Effect of Ageing on Rheological Properties and Quality of Shanxi Aged Vinegar. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 615, 012096. doi:10.1088/1755-1315/615/1/012096

ANEXOS

Anexo A. Especificaciones técnicas de la tubería



TUBERÍA REDONDA ACERO INOXIDABLE 304

Son los elementos más utilizados en procedimientos industriales y aplicaciones domésticas.

Las industrias prefieren utilizar estas tuberías por su excelente resistencia a temperaturas extremas, así como a elementos destructivos.

Además, debido a que el acero inoxidable es un metal con bastante adaptabilidad, las tuberías pueden ser de cualquier diámetro, o grosor,

dependiendo del uso que se les quiera dar, vienen en el largo de 6 metros.

DESCRIPCIÓN

Tubo redondo acero inoxidable 304

Calidad:	AISI 304
Largo normal:	6,00 m
Espesor:	1,00 mm, 1,2 mm, 1,5 mm, 2,00 mm y 3,00 mm
Dimensiones:	3/8 pulgadas hasta 6 pulgadas



Usos y aplicaciones:

- Industria automotriz.
- Estructuras
- Decoración
- Industria alimentaria.
- Maquinarias.
- Construcción e ingeniería.
- Electrodomésticos.
- Herramientas quirúrgicas, entre otras aplicaciones.



Especificaciones Generales:

Descripción: tubo redondo inoxidable 304 acabado N4 pulido. Largo 6 mts

DIMENSIONES			PROPIEDADES	
pulg	mm	ESPESOR mm	PESO Kg/mt	PESO Kg/6mt
3/8"	9,52	1	0,21	1,27
3/8"	9,52	1,2	0,25	1,49
3/8"	9,52	1,5	0,30	1,8
3/8"	9,52	2	0,38	2,25
1/2"	12,7	1	0,29	1,75
1/2"	12,7	1,2	0,34	2,06
1/2"	12,7	1,5	0,42	2,51
1/2"	12,7	2	0,53	3,2
5/8"	15,9	1	0,37	2,23
5/8"	15,9	1,2	0,44	2,64
5/8"	15,9	1,5	0,54	3,23
5/8"	15,9	2	0,69	4,15
3/4"	19,1	1	0,45	2,71
3/4"	19,1	1,2	0,54	3,21
3/4"	19,1	1,5	0,66	3,95
3/4"	19,1	2	0,85	5,11
7/8"	22	1	0,52	3,14
7/8"	22	1,2	0,62	3,73
7/8"	22	1,5	0,77	4,6
7/8"	22	2	1,00	5,98
1"	25,4	1	0,61	3,65
1"	25	1,2	0,72	4,34

DIMENSIONES			PROPIEDADES	
pulg	mm	ESPESOR mm	PESO Kg/mt	PESO Kg/6mt
1"	25,4	1,5	0,89	5,36
1"	25,4	2	1,17	6,99
1 1/4"	31,8	1	0,77	4,6
1 1/4"	31,8	1,2	0,92	5,49
1 1/4"	31,8	1,5	1,13	6,79
1 1/4"	31,8	2	1,49	8,91
1 1/2"	38,1	1	0,92	5,54
1 1/2"	38,1	1,2	1,10	6,62
1 1/2"	38,1	1,5	1,37	8,2
1 1/2"	38,1	2	1,80	10,79
1 3/4"	44,5	1	1,61	9,64
1 3/4"	44,5	1,2	1,30	7,77
1 3/4"	44,5	1,5	1,61	9,64
1 3/4"	44,5	2	2,12	12,7
2"	50,8	1	1,24	7,44
2"	50,8	1,2	1,48	8,9
2"	50,8	1,5	1,84	11,05
2"	50,8	2	2,43	14,59
2 1/2"	63,5	1	1,56	9,34
2 1/2"	63,5	1,2	1,86	11,17

DIMENSIONES			PROPIEDADES	
pulg	mm	ESPESOR mm	PESO Kg/mt	PESO Kg/6mt
2 1/2"	63,5	1,2	1,86	11,17
2 1/2"	63,5	1,5	2,32	13,9
2 1/2"	63,5	2	3,06	18,38
3"	76,2	2	3,70	22,18
4"	101,6	2	4,96	29,77
5"	127	2	6,23	37,36
6"	152,4	2	7,49	44,95

Anexo B. Proforma de la tubería de acero inoxidable



**IMPORT ACEROS INDUSTRIA
METALMECANICA**

RUC: 1792628431001
 Dirección: N77 Antonio Castillo OE1 346 y Av OE1 C Juan de
 Selis
 Celular: 0997 800 636 099 126 7562
 www.importaceros.com
 info@importaceros.com.ec

Cliente: CLIENTE FINAL / CONSUMIDOR FINAL
 R.U.C.:
 Dirección:
 Telefonos: /

Cotización

CT00051114

PBX: 2 486 287

Fecha: 25-05-2021

Descripción	Cantidad	P.V.P	% Dcto	Valor Neto	Valor Total
TUBO REDONDO INOX PULIDO 1*1.2(25*1.2)	5.00	21.04	0.00	21.04	105.20

Peso Total Kgs : 19.90 Peso Total GQ : 0.43



Favor girar cheque cruzado a nombre de IMPORT ACEROS INDUSTRIA METALMECANICA

Mon: **Ciento Diez Y Siete Con 82/100**

Sub/Total: 105.20
 Descuentos: 0.00
 Valor Neto.: 105.20
 I.V.A.: 12.62
 (=) Total Cotizado: *****117.82

 APROBADO:

Anexo C. Proforma de los codos de 90°

 LUFERI S.A. R.U.C: 089249327001 Dirección: Av. La Cultura y Comunicación, Manta Teléfono: 2677401 2677025 052315244 General: 2677401 2677025 052315244 Comercial: 2677401 2677025 052315244 Email: info@luferi.com.ec www.luferi.com.ec			PROFORMA Nº: 1017 Fecha: 26/05/2021 Validez: 8 días laborables					
Nombre: CHOEZ VERA CRISTIAN JOHN RUC: 0500263526 Contacto: Teléfono: +593 96 506 5008 Email: cchoez3126@uta.edu.ec Dirección: Hiachi Chico, Ambato		Cond.Pago: AL CONTADO Verdedor: CINTRIA REYES						
#	Código	Descripción	Imagen	Cantidad	Precio	% desc	Precio final	Total
1	1688	CODIGO ANEXO 1 (PULG) X 90° R057		00,00	1,9000	0,00	1,9000	149,84
		UNIDAD						
* Las imágenes de los artículos son de referencia. El artículo puede diferir del que aparece. OK								Parcial: 149,84 Total desc: 0,00 Subtotal: 149,84 Iva 12%: 17,96 Total: 167,80
VALIDEZ DE LA PROFORMA: 8 DIAS LABORABLES Fecha emisión: Manta, 26 de mayo de 2021								

Anexo D. Proforma de las válvulas de bola



IMPORTADORA INDUSTRIAL SUFEC SA
SUFEC SA

RUC 1793008054001 TELEFONOS: 2379900-2376998

Cliente: DIRECCION DE INVESTIGACION Y DESARROLLO - DIDE
RUC: 1865027520001
Direccion: AV LOS CHASQUIS S/N y RIO GUAYLLABAMBA
Telefonos: 096996558
Fecha: 17/06/2021

PROFORMA

P000001366

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO	DESC.	SUBTOTAL
2025N05	VALVULA DE BOLA ACERO INOX 316 3PZ PN63 1" GENEBRE	5,00	59,100	15,00	251,18

* Productos y Servicios Sujetos a Impuestos, no estan incluidos en la proforma

Observaciones:

SUBTOTAL	295,50
DESCUENTO	44,33
SUBTOTAL NETO	251,18
SUBTOTAL 0%	0,00
SUBTOTAL 12 %	251,18
IVA 12 %	30,14
TOTAL	281,32

Anexo E. Proforma de los tanques de almacenamiento

Interinox s.a.

INGENIERIA Y FABRICACION DE EQUIPOS INDUSTRIALES

C.C. El Condado, Ofc. 21
 www.interinox.com.ec
 Telef: 249-5885 249-2746 249-8766
 Fax: 249-5629
 Quito - Ecuador

FACTURA PROFORMA No. 2021-060

CLIENTE:	DIRECCION INVESTIGACION Y DESARROLLO - DIDE - UTA Av. de los Chasquis S/N y Rio Guayllabamba Ambato Tungurahua	FECHA	2021-07-01
Atte:	Ing. Christian Choes	FORMA DE PAGO	
Telefono:	0989985558	FAX	

CANT.	UNI	DESCRIPCION	DCTO	P. UNIT.	P. TOTAL
5	U	<p>TANQUE DE 1000 L. PARA USO ALIMENTICO FORMA: Cilindrico vertical con fondo tori-conico 15- y borde superior con platina de refuerzo TAPAS: Dos medias tapas abisagradas a un puente diametral, seran simplemente asentadas sin empaque PATAS: Cuatro con pies regulables, placas base y arriostramientos CONEXIONES: Dos D.1plg. con uniones SMS, en la descarga se incluye valvula mariposa. DIMENSIONES: D.int.=1100 mm. H.env.=1220 mm. H.descarga-piso= 300 mm. MATERIALES: AISI 304 2 mm. SOLDADURA Y ACABADOS: Juntas soldadas con procedimiento TIG. Acabados internos totalmente sanitarios con soldaduras pulidas a 150 gritt. Soldaduras exteriores quedan "As welded". Los tanques se entrega pasivados y lavados CONDICIONES GENERALES: 1) 4 - 5 semanas para la entrega. 2) Entrega sobre camion enviado por el Cliente a nuestra planta en Quito. 3) 80% de anticipo y saldo contra entrega 4) Un anio de garantia contra defectos ocultos de fabricacion</p>		\$2,950.00	\$14,750.00
PLAZO DE ENTREGA Y VALIDEZ DE OFERTA			SUBTOTAL		\$14,750.00
			IVA		\$1,770.00
			TOTAL CON IVA		\$16,520.00

Atentamente
 Ing. Johnny Pazmino
 Gerente de Ventas
 INTERINOX S.A.

Anexo F. Proforma de las bombas



Cotización No:
MS21.821 Rev1

Fecha:
17 de Junio 2021

Pág:
1 / 8

SEÑORES:

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

Ref. BOMBAS NETZSCH MODELOS NM031BY01P05B/ NM038BY01L06B

Bomba NEMO®

Serie Industrial

- Caudal: hasta 500 m³/h
- Presión: hasta 180 bar



De mis consideraciones:

Como representantes de **NETZSCH** para el Ecuador, tenemos una vasta experiencia en bombas y soluciones industriales, así como servicio post-venta de repuestos, taller y personal técnico en Ecuador que garantiza el éxito del proyecto.

La especificación técnica del equipo, así como las demás condiciones comerciales, se encuentran adjuntas.

Esperamos que la propuesta haya atendido su interés y quedamos a disposición para cualquier aclaración y/o información adicional que se haga necesaria.

Reiterando nuestro compromiso de colaboración y servicio, lo saluda cordialmente;

Angel Tello

MASTERSOLUTION S.A.

Dirección: Av. Eloy Alfaro E8 y las Higueras
Urbanización Ron Muñoz, frente al Hospital San José Obrero.

Cel. +593 (9) 9 5874583

Tel. +593 (2) 2474278 / 2480747 / 2474087

angelt@mastersolution.com.ec

MASTERSOLUTION S.A.

Av. Eloy Alfaro y E8
Quito - Ecuador

☎ : 02-247 4278

: 02-248 0747

✉ : ventas@mastersolution.com.ec

BOMBA NEMO - INFORMACIÓN TÉCNICA:

BOMBA PARA ACEITE DE MAÍZ

Modelo: NM031BY01P05B

EJECUCIÓN DE LA BOMBA



Tirantes y tuercas	: Acero inoxidable AISI 304
Carcasa	: Acero inoxidable AISI 304 - Pulimento interno
Ejes	: Acero inoxidable AISI 304
Rotor	: Acero inoxidable AISI 304 - UM40
Estatof	: SBBPF - Grado alimenticio
Articulaciones	: Tipo pasador con sellado SM® NBR - con aceite atoxico
Sellado del eje	: Sello mecánico FDA - 8018189
Sentido de rotación	: Anti-horario
Instalación	: Horizontal
Conexión de succión	: Rosca Sanitaria 1" - SMS - vertical/central (1.a.1)
Conexión de descarga	: Rosca Sanitaria 1" - SMS - horizontal (4.a.0)
Pintura	: Gris claro RAL 7035 (NCS S 1502-G); plano nº 4
Prueba de performance	: Ensayo estándar NDB 114

CONDICIONES DE OPERACIÓN

Producto	: Aceite de maíz
Tenor de sólidos	: 0 %
Temperatura de bombeo	: 25 °C
pH	: pH
Densidad	: 926 kg/m ³
Viscosidad	: 53,5 cP = 0,0535 Pa.s
Caudal de proyecto	: 2,85 m ³ /h
Caudal nominal	: 2,9 - 3,1 m ³ /h
Presión de succión	: Positiva
Presión de descarga	: 2,9 bar
Revoluciones	: 239 - 266 rpm (54 - 60 Hz)
Potencia absorbida	: 0,5 - 0,6 kW
Tensión de alimentación	: 220 V

ALCANCE DEL SUMINISTRO

- 01 Bomba
- 01 Motorreductor NETZSCH/SEW NS27 # 266 rpm, i=6,59 - 1,5 kW, 4 polos, 220/380/440V, 60 Hz, trifásico, IP55, TCVE; Aislamiento clase F, Eficiencia Premium
- 01 Manual de instrucciones en español

BOMBA PARA VINAGRE

Modelo: NM031BY01P05B

EJECUCIÓN DE LA BOMBA



Tirantes y tuercas	: Acero inoxidable AISI 304
Carcasa	: Acero inoxidable AISI 304 - Pulimento interno
Ejes	: Acero inoxidable AISI 304
Rotor	: Acero inoxidable AISI 304 – UM40
Estator	: EPBPF - Grado alimenticio
Articulaciones	: Tipo pasador con sellado SM® EPDM - con aceite atoxico
Sellado del eje	: Sello mecánico - 8018183
Sentido de rotación	: Anti-horario
Instalación	: Horizontal
Conexión de succión	: Rosca Sanitaria 1" - SMS - vertical/central (1.a.1)
Conexión de descarga	: Rosca Sanitaria 1" - SMS - horizontal (4.a.0)
Pintura	: Gris claro RAL 7035 (NCS S 1502-G); plano nº 4
Prueba de performance	: Ensayo estándar NDB 114

CONDICIONES DE OPERACIÓN

Producto	: Vinagre
Tenor de sólidos	: 0 %
Temperatura de bombeo	: 25 °C
pH	: pH
Densidad	: 1000 kg/m ³
Viscosidad	: 3,9 cP = 0,0039 Pa.s
Caudal de proyecto	: 2,85 m ³ /h
Caudal nominal	: 2,9 - 3,1 m ³ /h
Presión de succión	: Positiva
Presión de descarga	: 2,9 bar
Revoluciones	: 239 - 266 rpm (54 - 60 Hz)
Potencia absorbida	: 0,5 - 0,6 kW
Tensión de alimentación	: 220 V

ALCANCE DEL SUMINISTRO

- 01 Bomba
- 01 Motorreductor NETZSCH/SEW NS27 # 266 rpm, i=6,59 - 1,5 kW, 4 polos, 220/380/440V, 60 Hz, trifásico, IP55, TCVE; Aislamiento clase F, Eficiencia Premium
- 01 Manual de instrucciones en español

BOMBA PARA YEMA DE HUEVO

Modelo: NM031BY01P05B

EJECUCIÓN DE LA BOMBA



Tirantes y tuercas	: Acero inoxidable AISI 304
Carcasa	: Acero inoxidable AISI 304 - Pulimento interno
Ejes	: Acero inoxidable AISI 304
Rotor	: Acero inoxidable AISI 304 - UM40
Estator	: SBBPF - Grado alimenticio
Articulaciones	: Tipo pasador con sellado SM® NBR - con aceite atoxico
Sellado del eje	: Sello mecánico FDA - 8016189
Sentido de rotación	: Anti-horario
Instalación	: Horizontal
Conexión de succión	: Rosca Sanitaria 1" - SMS - vertical/central (1.a.1)
Conexión de descarga	: Rosca Sanitaria 1" - SMS - horizontal (4.a.0)
Pintura	: Gris claro RAL 7035 (NCS S 1502-G); plano nº 4
Prueba de performance	: Ensayo estándar NDB 114

CONDICIONES DE OPERACIÓN

Producto	: Yema de Huevo
Tenor de sólidos	: 0 %
Temperatura de bombeo	: 25 °C
pH	: pH
Densidad	: 1026 kg/m ³
Viscosidad	: 438 cP = 0,4380 Pa.s
Caudal de proyecto	: 2,85 m ³ /h
Caudal nominal	: 2,9 - 3,1 m ³ /h
Presión de succión	: Positiva
Presión de descarga	: 2,9 bar
Revoluciones	: 239 - 266 rpm (54 - 60 Hz)
Potencia absorbida	: 0,5 - 0,6 kW
Tensión de alimentación	: 220 V

ALCANCE DEL SUMINISTRO

- 01 Bomba
- 01 Motorreductor NETZSCH/SEW NS27 # 266 rpm, i=6,59 - 1,5 kW, 4 polos, 220/380/440V, 60 Hz, trifásico, IP55, TCVE; Aislamiento clase F, Eficiencia Premium
- 01 Manual de instrucciones en español

BOMBA PARA MEZCLA SABORIZANTE

Modelo: **NM031BY01P05B**

EJECUCIÓN DE LA BOMBA



Tirantes y tuercas	: Acero inoxidable AISI 304
Carcasa	: Acero inoxidable AISI 304 - Pulimento interno
Ejes	: Acero inoxidable AISI 304
Rotor	: Acero inoxidable AISI 304 - UM40
Estator	: SBBPF - Grado alimenticio
Articulaciones	: Tipo pasador con sellado SM® NBR - con aceite atoxico
Sellado del eje	: Sello mecánico FDA - 8018189
Sentido de rotación	: Anti-horario
Instalación	: Horizontal
Conexión de succión	: Rosca Sanitaria 1" - SMS - vertical/central (1.a.1)
Conexión de descarga	: Rosca Sanitaria 1" - SMS - horizontal (4.a.0)
Pintura	: Gris claro RAL 7035 (NCS S 1502-G); plano nº 4
Prueba de performance	: Ensayo estándar NDB 114

CONDICIONES DE OPERACIÓN

Producto	: Mezcla saborizante
Tenor de sólidos	: 0 % - confirmar
Temperatura de bombeo	: 25 °C
pH	: pH
Densidad	: 1010 kg/m ³
Viscosidad	: 500 cP = 0,5 Pa.s
Caudal de proyecto	: 2,85 m ³ /h
Caudal nominal	: 2,9 - 3,1 m ³ /h
Presión de succión	: Positiva
Presión de descarga	: 2,9 bar
Revoluciones	: 239 - 266 rpm (54 - 60 Hz)
Potencia absorbida	: 0,5 - 0,6 kW
Tensión de alimentación	: 220 V

ALCANCE DEL SUMINISTRO

- 01 Bomba
- 01 Motorreductor NETZSCH/SEW NS27 # 266 rpm, i=6,59 - 1,5 kW, 4 polos, 220/380/440V, 60 Hz, trifásico, IP55, TCVE; Aislamiento clase F, Eficiencia Premium
- 01 Manual de instrucciones en español

BOMBA PARA MAYONESA

Modelo: NM038BY01L06B

EJECUCIÓN DE LA BOMBA



Tirantes y tuercas	: Acero inoxidable AISI 304
Carcasa	: Acero inoxidable AISI 304 - Pulimento interno
Ejes	: Acero inoxidable AISI 304
Rotor	: Acero inoxidable AISI 304 - UM40
Estató	: SBBPF - Grado alimenticio
Articulaciones	: Tipo pasador con sellado SM® NBR - con aceite atóxico
Sellado del eje	: Sello mecánico FDA - 8016192
Sentido de rotación	: Anti-horario
Instalación	: Horizontal
Conexión de succión	: Rosca Sanitaria 1" - SMS - vertical/central (1.a.1)
Conexión de descarga	: Rosca Sanitaria 1" - SMS - horizontal (4.a.0)
Pintura	: Gris claro RAL 7035 (NCS S 1502-G); plano nº 4
Prueba de performance	: Ensayo estándar NDB 114

CONDICIONES DE OPERACIÓN

Producto	: Mayonesa
Tenor de sólidos	: 0 %
Temperatura de bombeo	: 25 °C
pH	: pH
Densidad	: 950 kg/m ³
Viscosidad	: 18000 cP = 18,1 Pa.s
Caudal de proyecto	: 2,85 m ³ /h
Caudal nominal	: 2,9 m ³ /h
Presión de succión	: Positiva
Presión de descarga	: 2,9 bar
Revoluciones	: 136 rpm
Potencia absorbida	: 0,4 kW
Tensión de alimentación	: 220 V

ALCANCE DEL SUMINISTRO

- 01 Bomba
- 01 Motorreductor NETZSCH/SEW NS37 # 136 rpm, i=12,87 - 2,5 kW, 4 polos, 220/380/440V, 60 Hz, trifásico, IP55, TCVE; Aislamiento clase F, Eficiencia Premium
- 01 Manual de instrucciones en español

1. GARANTÍA

Mastersolution s.a, garantiza el funcionamiento de los equipos, contra cualquier defecto de material o de fabricación, por el periodo de 12 meses después de la entrega, todas las piezas sustituidas en este periodo sean originales Netzsch. La garantía no cubre piezas de desgaste natural. Los servicios de cambio y reparos como también el transporte y costos de viaje de técnicos, serán por cuenta del cliente.

2. CANTIDADES Y PRECIOS

ITEM	No. PARTE	DESCRIPCIÓN	UNID	CANT	P.UNITARIO	P.TOTAL
1	NM031BY01P05B	Bomba NM031BY01P05B Incluye: Motorreductor Manual de Instrucciones Español	PC	4,0	\$3.387,00	\$13.548,00
2	NDB4341167 / NDB4344437	Kit STP3 contra trabajo en seco.	PC	1	263,00	
3		Conexión adicional para CIP	PC	1	333,45	
4		Carcasa con pulimento externo	PC	1	136,89	
5		Base metálica "T" en acero carbono	PC	1	272,03	
6	NM038BY01L06B	Bomba NM038BY01L06B Incluye: Motorreductor Manual de Instrucciones Español	PC	1,0	\$4.887,00	\$4.887,00
7	NDB4341167 / NDB4344437	Kit STP3 contra trabajo en seco.	PC	1	263,00	
8		Conexión adicional para CIP	PC	1	366,80	
9		Carcasa con pulimento externo	PC	1	198,32	
10		Base metálica "T" en acero carbono	PC	1	305,37	
					BOMBA NETZSCH	\$18.435,00

3. MANUALES

Los manuales de Netzsch ahora son entregados de forma física y digital para un mejor almacenamiento de información. Se envía una hoja master (resumen) del listado de partes y posiciones dentro de la bomba de los repuestos para mejorar la identificación de las piezas.

4. CONDICIONES COMERCIALES

MasterSolution S.A. junto con **Netzsch Brasil**, brinda a sus clientes asistencia permanente mediante video conferencias o webinars para aclarar dudas del uso, tips de mantenimiento, desgaste o cualquier inquietud que se pueda presentar en el transcurso de la vida de la bomba. Siempre estaremos gustosos de apoyarlos para que los productos Netzsch, sean óptimos para su proceso industrial.

5. TERMINOS COMERCIALES:

Valor de la oferta: Precios expresados en dólares americanos y no incluyen IVA.
Términos de entrega: Entrega en las Bodegas del Cliente
Tiempo de entrega: 2 mes
Forma de pago: 50% con puesta de orden, 50% contra entrega
Validez de la oferta: 30 días

Angel Tello
MASTERSOLUTION S.A.
Dirección: Av. Eloy Alfaro E8 y las Higueras
Urbanización Ron Muñoz, frente al Hospital San José Obrero.
Cel. +593 (9) 9 5874583
Telf. +593 (2) 2474278 / 2480747 / 2474087
angelt@mastersolution.com.ec

Anexo G. Proforma del tanque con agitador



REPRASER S.A.

RUC 0990178283001
Av. Juan Tanca Marengo Km 0.5 # 316
Código Postal # 090513
Telf.: 593-4-2690654, 2399161,2280344
Guayaquil - Ecuador

Guayaquil, julio 20 del 2021

Señores
Dirección de Investigación y desarrollo – DIDE
Ambato

Atn: Sr. Christian Choes Vera

De nuestras consideraciones:

Tenemos el agrado de cotizar lo siguiente:

A. TANQUE CON AGITADOR TIPO ANCLA CAPACIDAD 1.000 LITROS.

1. ESPECIFICACIONES.

Tanque capacidad 1000 litros, de forma cilíndrica vertical con fondo plano y techo con tapas abatibles, sobre el fondo y el cuerpo tendrá una chaqueta tipo dimpled jacket para circulación de agua helada y vapor, las chaquetas de cuerpo y fondo se encuentran intercomunicadas, teniendo la entrada de agua/vapor sobre el cuerpo y salida de agua sobre el fondo plano en diámetro de 1 pulgada NPT. El tanque sobre cuerpo y fondo estará aislado con lana de vidrio en 1.5 pulgadas de espesor y forrado con láminas soldadas de acero inoxidable AISI.304.

Sobre el techo el tanque lleva una entrada de producto de diámetro 1 pulgada, una ducha de lavado en diámetro de 1 pulgada, un puente y un soporte para motor reductor que impulsa un agitador tipo ancla, este agitador tendrá cojinete de apoyo inferior fabricado de teflón.

En el cuerpo cilíndrico se colocará un termo pozo en diámetro de ½ pulgada NPT, y en el fondo tendrá la descarga de producto en diámetro de 1 pulgada.

2. SOPORTE DEL TANQUE:

- Cuatro patas tubulares regulables. Incluye placa base.

3. ACABADOS:

- INTERIOR - EXTERIOR: Soldaduras esmeriladas y pulidas a 150 Gritt.

4. SISTEMA DE AGITACION:

Está diseñado para un fluido de densidad máxima 1.1 g/cm³ y una viscosidad de 60000 cp.

- Puente transversal construido de plancha de acero inoxidable AISI 304 de 6 mm.
- Soporte para motorreductor de 7.5 hp y 30 rpm.
- Tipo de agitador: ancla con raspadores



REPRASER S.A.

RUC 0990178283001

Av. Juan Tanca Marengo Km 0.5 # 316

Código Postal # 090513

Tel.: 593-4-2690654, 2399161,2280344

Guayaquil - Ecuador

- Eje principal en diámetro 3".
- Tres niveles
- Crapolina inferior.

5. ACCESORIOS:

- Una descarga de producto con ferrule 1" (Fondo)
- Una entrada de producto acodada con ferrule 1" (superior)
- Una Spray ball
- Visor de nivel

6. DISEÑO:

- El tanque se encuentra diseñado para trabajar a presión atmosférica con presión hidrostática totalmente lleno. Las propiedades de los materiales según Código ASME, Sección II, Parte D.

7. DIMENSIONES:

	1000 LT
• Diámetro interior:	1.050 mm
• Altura de la envolvente:	1.220 mm
• Altura desde piso a la descarga	500 mm.

8. GARANTÍA:

- Un año de garantía técnica contra defectos de fabricación.

9. PRECIO:

UN (1) TANQUE 1.000 LITROS, CON AGITADOR ANCLA: US\$ 13,900.00

EL PRECIO NO INCLUYE EL IVA.

CONDICIONES FINANCIERAS:

PLAZO DE ENTREGA:	8 Semanas
FORMA DE PAGO:	50 % Anticipo; Saldo a la entrega.
VALIDEZ DE LA OFERTA:	10 días, por INESTABLE precio del acero
LUGAR DE ENTREGA:	Latacunga

Atentamente,

GERENTE

Anexo H. Proforma de los caudalímetros



VVA INDUSTRIAL
SUPPLIES & SERVICES

- ✓ Suministros Industriales.
- ✓ Electricidad industrial, control y automatización.
- ✓ Construcción y obras civiles industriales.
- ✓ Fabricaciones estructuras, fierros, metal mecánica y mecanizados (torno).
- ✓ Instalación de sistemas hidráulicos e instalaciones eléctricas industriales.
- ✓ Reparación de bombas y motores eléctricos.
- ✓ Ingeniería y diseño hidráulico, simulaciones de ingeniería.
- ✓ Proyectos de Innovación / optimización de procesos.




VVA INDUSTRIAL
SUPPLIES & SERVICES



EMPRESA: DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DIDE
RUC: 1865027520001
REFERENCIA: FLUJÓMETRO DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO
OFERTA: QVVAKAC2106A2021
FECHA: 21/06/2021

Es grato dirigirme a Ud. para saludarlo cordialmente, permitiéndome alcanzarle nuestro mejor presupuesto, por los repuestos y/o servicios definidos como se detallan:

Item	Cant	Descripción	Precio Unit	Precio Total
1	1	FLOWMETER POSITIVE DISPLACEMENT Brand: JUIIE AUTOMATION TECHNOLOGY Model: GTGF32 Diameter: DN 25(1") Flow range: 1000-12000 L/h (5- 52 GPM) Medium: oil Viscosity range: 2-200 mPas., Working pressure: 5MPa, Temperature: - 20 - 80 C. Shell Material: Aluminum alloy, Shaft Material: hard alloy, Accuracy: 0.5%, Output:4-20mA, Power supply: DC24V Explosion-proof level B1a IIC15.d IIBT4	\$ 1.900,00	\$ 1.900,00
				
2	1	Costo de envío/ transporte desde almacenes VVA INDUSTRIAL hasta agencia destino Provincias,gratis para montos superiores a \$350 +IVA. Envío pago a destino cliente.	\$ 0,00	\$ 0,00
SUB-TOTAL				\$ 1.900,00
IVA				\$ 228,00
TOTAL (DOLARES)				\$ 2.128,00

LOS PRODUCTOS INCLUYEN EL 10% DE DESCUENTO

GARANTIA 1 AÑO

DAMAVI SERVICIOS GENERALES SRL/ RUC: 20600007140 / 932 410 507
 Central Estratégica Norte: Maa. D Lote. 24 Urb. Los Corales- Piura
 Central Estratégica Centro: Av. paseo de la Castellana - torre B nro. 1230 dpto. 1402 cnd. paseo el mirador Lima - Lima - Santiago de Surco
 Central Estratégica Sur: Urb. San Agustín F 5-Paucarpata, Arequipa.
 Email: proyectos@damaviperu.com/ ventas@damaviperu.com / www.damaviperu.com **Página 1 de 7**



**VVA INDUSTRIAL
SUPPLIES & SERVICES**

- ✓ Suministros Industriales.
- ✓ Hochtensión industrial, control y automatización.
- ✓ Construcción y obras civiles Industriales.
- ✓ Fabricaciones estructurales, forjados, metal mecánico y mecanizados (torno).
- ✓ Instalación de sistemas hidráulicos e instalaciones eléctricas industriales.
- ✓ Reparación de bombas y motores eléctricos.
- ✓ Ingeniería y diseño hidráulico, simulaciones de ingeniería.
- ✓ Proyectos de Innovación / optimización de procesos.

**FLUJÓMETRO DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO MARCA IJUE AUTOMATION
TECHNOLOGY MODELO GTGE32**

Intelligent display head
Can LCD display real-time flow, cumulative flow, velocity, pulse rate, etc.
Can pulse signal, 4-20ma analog signal, RS485 signal output.



304 stainless steel
Resistant to high pressure, high and low temperature. Corrosion resistance is very strong.

Precision gear
Each tooth produces a pulse at a very high resolution.
Flowmeter can measure very small flow, quantitative small volume of liquid.
A variety of viscous media can be measured.



DN25-DN32 Installation dimension drawing



A variety of media can be measured
suitable for all working conditions.



Resin glue measurement



Hydraulic oil or grease measurement



Fuel oil measurement



Ink asphalt measurement



Liquid nitrogen freezing fluid measurement



Edible oil fish oil measurement