

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“DISEÑO, MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE UNA  
LÍNEA PROCESADORA DE LECHE FRESCA  
PASTEURIZADA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL  
TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**BRUNO ALEJANDRO RATTO VERGARAY**

**LIMA – PERÚ**

**2022**

## Document Information

|                   |   |
|-------------------|---|
| Analyzed document | TSP- Bruno Alejandro Ratto Vergaray FINAL.docx (D152136134) |
| Submitted         | 12/5/2022 4:34:00 PM  |
| Submitted by      | Eduardo Morales   |
| Submitter email   | erms@lamolina.edu.pe  |
| Similarity        | 1%  |
| Analysis address  | erms.unalm@analysis.arkund.com                              |

## Sources included in the report

|           |  |  |
|-----------|--|--|
| <b>SA</b> | <b>Universidad Nacional Agraria La Molina / Monografía TSP-PEVE GONZALES OMAR ABEL (2).pdf</b><br>Document Monografía TSP-PEVE GONZALES OMAR ABEL (2).pdf (D141262163)<br>Submitted by: celiasp@lamolina.edu.pe<br>Receiver: celiasp.unalm@analysis.arkund.com |  <b>3</b>   |
| <b>SA</b> | <b>8450-Alava Merino, Asís Alcides.pdf</b><br>Document 8450-Alava Merino, Asís Alcides.pdf (D35162632)   |  <b>1</b> |
| <b>SA</b> | <b>10_GRUPO 10_TRABAJO GRUPAL 2.pdf</b><br>Document 10_GRUPO 10_TRABAJO GRUPAL 2.pdf (D131865850)  |  <b>2</b> |

## Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS  
"DISEÑO, MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE UNA LINEA PROCESADORA DE LECHE FRESCA PASTEURIZADA"

100%

**MATCHING BLOCK 1/6**

**SA**

Monografía TSP-PEVE GONZALES OMAR ABEL (2).pdf  
(D141262163)

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

BRUNO ALEJANDRO RATTO VERGARAY  
LIMA - PERÚ  
2021

"A mi Madre, por su cariño, ejemplo, enseñanzas y sacrificios que son el cimiento de mi vida profesional y personal"  
INDICE GENERAL

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**“DISEÑO, MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE UNA LÍNEA  
PROCESADORA DE LECHE FRESCA PASTEURIZADA”**

Presentado por:

BRUNO ALEJANDRO RATTO VERGARAY

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

---

Dr. Edwin O. Baldeón Chamorro

PRESIDENTE

---

Julio M. Vidaurre Ruiz, PhD

MIEMBRO

---

Mg.Sc. Silvia M. García Torres

MIEMBRO

---

Dr. Eduardo R. Morales Soriano

ASESOR

Lima – Perú

2022

## **DEDICATORIA**

*“A mi Madre, por su cariño, ejemplo, enseñanzas y sacrificios que son el cimiento de mi vida profesional y personal”*

# ÍNDICE GENERAL

## RESUMEN

### ABSTRACT

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| <b>I.</b>   | <b>INTRODUCCIÓN</b> .....   | <b>1</b>  |
| <b>II.</b>  | <b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....   | <b>2</b>  |
| 2.1.        | ZONA DE RECEPCIÓN DE LECHE FRESCA .....   | 2         |
| 2.1.1.      | DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE LECHE FRESCA.....  | 3         |
| 2.1.2.      | MEDICIÓN DE LA CANTIDAD DE LECHE .....  | 4         |
| 2.1.3.      | SISTEMA DE FILTRACIÓN DE LECHE FRESCA .....   | 4         |
| 2.1.4.      | ENFRIAMIENTO DE LA LECHE FRESCA .....   | 5         |
| 2.1.5.      | TANQUE DE RECEPCIÓN DE LECHE FRESCA.....  | 8         |
| 2.2.        | SISTEMA DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE FRESCA .....   | 9         |
| 2.2.1.      | TANQUE DE BALANZA .....   | 10        |
| 2.2.2.      | BOMBA DEL SISTEMA DE PASTEURIZACIÓN .....   | 11        |
| 2.2.3.      | INTERCAMBIADOR DE CALOR.....  | 13        |
| 2.2.4.      | TUBERÍA DE RETENCIÓN.....   | 21        |
| 2.2.5.      | HOMOGENIZADOR .....   | 22        |
| 2.2.6.      | SEPARADOR CENTRÍFUGO .....  | 24        |
| 2.2.7.      | SISTEMA DE TUBERÍAS Y VÁLVULAS.....   | 28        |
| <b>III.</b> | <b>METODOLOGÍA</b> .....  | <b>33</b> |
| 3.1.        | LUGAR DE EJECUCIÓN .....  | 33        |
| 3.2.        | MATERIAS PRIMAS, PROGRAMAS Y EQUIPOS .....  | 33        |
| 3.2.1.      | MATERIA PRIMA .....   | 33        |
| 3.2.2.      | PROGRAMAS Y TABLAS DE DIMENSIONAMIENTO, EQUIPOS,<br>MATERIALES, MEDIOS DE CULTIVO Y REACTIVOS ..... | 33        |
| 3.2.3.      | MÉTODO DE DISEÑO DE LA LÍNEA PROCESADORA DE LECHE FRESCA<br>PASTEURIZADA.....                       | 35        |
| <b>IV.</b>  | <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....   | <b>39</b> |
| 4.1.        | ZONA DE RECEPCIÓN DE LECHE FRESCA .....   | 39        |
| 4.2.        | DISEÑO Y PLANO P&ID DE LA ZONA DE RECEPCIÓN DE LECHE FRESCA<br>.....                                | 40        |
| 4.2.1.      | DESCRIPCIÓN DEL PROCESO .....   | 41        |

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| 4.3.         | DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS DE LA ZONA DE RECEPCIÓN DE LECHE FRESCA .....                | 42        |
| 4.4.         | PLANO 3D DE LA ZONA DE RECEPCIÓN DE LECHE FRESCA .....   | 50        |
| 4.5.         | ZONA DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE FRESCA .....   | 51        |
| 4.5.1        | DISEÑO Y PLANO P&ID DE LA ZONA DE PASTEURIZACIÓN DE LA ZONA DE LECHE FRESCA.....                     | 52        |
| 4.5.2        | DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS DE LA ZONA DE PASTEURIZACIÓN DE LA ZONA DE LECHE FRESCA..... | 55        |
| 4.5.3        | PLANO 3D DE LA ZONA DE PASTEURIZACIÓN DE LA ZONA DE LECHE FRESCA .....                               | 67        |
| 4.6.         | ZONA DE ENVASADO.....  | 68        |
| 4.6.1.       | DISEÑO Y PLANO 3D DE LA ZONA DE ENVASADO .....   | 69        |
| 4.6.2.       | DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS DE LA ZONA DE ENVASADO .....                                 | 70        |
| 4.7.         | MONTAJE Y ARRANQUE DE LA LÍNEA PRODUCTIVA.....   | 72        |
| 4.7.1.       | SOLDADURA TIG.....   | 72        |
| 4.7.2.       | MONTAJE DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LECHE FRESCA.....   | 75        |
| 4.8.         | EVALUACIONES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS .....  | 81        |
| 4.8.1.       | ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS .....   | 81        |
| 4.8.2.       | ANÁLISIS DE GRASA Y HOMOGENIZADO .....   | 82        |
| 4.8.3.       | EVALUACIÓN SENSORIAL DE LA LECHE .....   | 84        |
| 4.9.         | APLICACIÓN DE LAS COMPETENCIAS PROFESIONALES .....   | 84        |
| <b>V.</b>    | <b>CONCLUSIONES .....</b>  | <b>87</b> |
| <b>VI.</b>   | <b>RECOMENDACIONES .....</b>   | <b>88</b> |
| <b>VII.</b>  | <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>  | <b>89</b> |
| <b>VIII.</b> | <b>ANEXOS .....</b>  | <b>93</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Tabla 1:  | Etapas realizadas en la zona de recepción de leche fresca.....   | 3  |
| Tabla 2:  | Tratamientos térmicos.....   | 15 |
| Tabla 3:  | Metodología de diseño de la empresa Soluciones en Proyectos de Alimentos<br>.....  | 35 |
| Tabla 4:  | Evaluaciones microbiológicas para la leche pasteurizada .....  | 37 |
| Tabla 5:  | Listado de equipos que conforman la zona de recepción de leche fresca....  | 41 |
| Tabla 6:  | Parámetros para considerar para dimensionar un intercambiador de calor de<br>placas.....                                   | 46 |
| Tabla 7:  | Caída de presión de todos los componentes en la zona de recepción .....  | 50 |
| Tabla 8:  | Listado de equipos que conforman la zona de pasteurización de leche fresca<br>.....  | 53 |
| Tabla 9:  | Configuración del intercambiador de calor de 4 Etapas .....  | 58 |
| Tabla 10: | Especificación técnica separador centrífugo Andritz .....  | 60 |
| Tabla 11: | Especificación técnica del homogenizador FBF.....  | 61 |
| Tabla 12: | Flujo de procesamiento y limpieza CIP .....  | 64 |
| Tabla 13: | Caída de presión en el sistema hasta llegar al homogenizador .....   | 65 |
| Tabla 14: | Cálculo de la caída de presión del sistema considerando el proceso CIP....   | 66 |
| Tabla 15: | Resumen del flujo y caída de presión en el sistema de pasteurizado.....  | 67 |
| Tabla 16: | Listado de equipos que conforman la zona de envasado de leche fresca<br>pasteurizada.....                                  | 69 |
| Tabla 17: | Especificación técnica de la máquina envasadora de leche .....   | 72 |
| Tabla 18: | Recuento microbiológico de la leche fresca y pasteurizada .....  | 82 |
| Tabla 19: | Porcentaje de grasa en la leche antes y después del <i>centrifugado</i> .....  | 82 |
| Tabla 20: | Atributos para considerar en la evaluación sensorial de la leche fresca .....  | 84 |
| Tabla 21: | Cursos y conocimientos adquiridos y aplicados en el desempeño laboral ..   | 85 |
| Tabla 22: | Cursos y conocimientos adquiridos y aplicados en el diseño de una línea de<br>producción de leche fresca pasteurizada..... | 86 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Figura 1:  | Espectro de aplicación para el filtrado de leche .....                            | 5  |
| Figura 2:  | Tanque de refrigeración de leche fresca.....                                      | 6  |
| Figura 3:  | Perfil de temperaturas al interior de un intercambiador de placas .....           | 7  |
| Figura 4:  | Tanque de recepción de leche fresca.....  | 8  |
| Figura 5:  | Diagrama de bloques para el proceso de pasteurización de leche fresca ..          | 9  |
| Figura 6:  | Tanque de equilibrio con válvula tipo flotador .....                              | 10 |
| Figura 7:  | Partes de una bomba centrífuga sanitaria.....                                     | 12 |
| Figura 8:  | Curva característica de las bombas centrífugas.....                               | 12 |
| Figura 9:  | Letalidad para distintas bacterias .....  | 14 |
| Figura 10: | Perfil de temperaturas para un intercambiador de calor flujo contracorriente..... | 17 |
| Figura 11: | Perfil de temperaturas para un intercambiador de calor flujo concurrente .....    | 18 |
| Figura 12: | Modelos de placas de un intercambiador de calor de placas.....                    | 20 |
| Figura 13: | Intercambiador de calor de placas .....   | 21 |
| Figura 14: | Transformación de los glóbulos de grasa de la leche.....                          | 22 |
| Figura 15: | Cabeza de homogenización de 2 Etapas .....  | 23 |
| Figura 16: | Instalación de sistema de homogenización .....                                    | 24 |
| Figura 17: | Clarificador de leche fresca.....   | 25 |
| Figura 18: | Platos de distribución de un separador centrífugo .....                           | 26 |
| Figura 19: | Esquema de separación de la grasa de la leche a través de los discos ....         | 26 |
| Figura 20: | Principio de estandarización de leche fresca.....                                 | 27 |
| Figura 21: | Principio de estandarización de leche fresca en línea .....                       | 28 |
| Figura 22: | Conexiones desmontables en acero inoxidable .....                                 | 29 |
| Figura 23: | Accesorios de acero inoxidable.....   | 29 |
| Figura 24: | Válvulas de asiento Bardiani.....   | 30 |
| Figura 25: | Válvulas mariposa automática .....  | 31 |
| Figura 26: | Válvulas con actuador .....   | 32 |
| Figura 27: | Zona de recepción de leche fresca automática .....                                | 39 |
| Figura 28: | P&ID Zona de recepción de leche fresca .....                                      | 40 |
| Figura 29: | Balanza de zona de recepción .....  | 42 |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Figura 30: | Tina de almacenaje intermedio .....  | 43 |
| Figura 31: | Filtros mellizos Alfa Laval.....   | 43 |
| Figura 32: | Curvas de caída de presión filtros LKSF.....   | 44 |
| Figura 33: | Cálculo de la velocidad de un flujo de 4 m <sup>3</sup> /h en tubería de 25 mm.....                  | 45 |
| Figura 34: | Cálculo de la velocidad de un flujo de 4 m <sup>3</sup> /h en tubería de 38 mm.....                  | 46 |
| Figura 35: | Configuración del intercambiador de calor zona de recepción .....                                    | 47 |
| Figura 36: | Tanque de almacenamiento zona de recepción .....   | 48 |
| Figura 37: | Caída de presión de tuberías y accesorios .....  | 49 |
| Figura 38: | Plano 3D de la zona de recepción .....   | 51 |
| Figura 39: | Sistema automático de pasteurización de leche fresca.....  | 52 |
| Figura 40: | P&ID Zona de pasteurización de leche fresca.....   | 53 |
| Figura 41: | Cálculo de la velocidad de un flujo de 1 m <sup>3</sup> /h en tubería de 25 mm.....                  | 55 |
| Figura 42: | Válvula mariposa neumática .....   | 56 |
| Figura 43: | Dimensiones del tanque de balanza del pasteurizador .....  | 57 |
| Figura 44: | Sensor de nivel Alfa Laval .....   | 57 |
| Figura 45: | Intercambiador de calor de 4 etapas Alfa Laval M3FG .....  | 58 |
| Figura 46: | Separador centrífugo Andritz .....   | 60 |
| Figura 47: | Cálculo del Holding, sistema de pasteurización.....  | 62 |
| Figura 48: | Válvula de asiento .....   | 63 |
| Figura 49: | Cálculo de la velocidad al interior de la tubería de 25 mm a un flujo de 2.5 m <sup>3</sup> /h ..... | 64 |
| Figura 50: | Plano 3D de la zona de pasteurización.....   | 68 |
| Figura 51: | P&ID Zona de envasado de leche fresca pasteurizada.....  | 69 |
| Figura 52: | Tanque de almacenamiento zona de envasado.....   | 71 |
| Figura 53: | Máquina envasadora de leche fresca.....  | 71 |
| Figura 54: | Esquema de proceso de soldadura TIG .....  | 73 |
| Figura 55: | Recubrimiento con varilla de acero inoxidable.....   | 73 |
| Figura 56: | Soldadura externa de tubería de 1.5” .....   | 74 |
| Figura 57: | Costra de soldadura interna formada por mala soldadura del acero .....                               | 74 |
| Figura 58: | Vista frontal plano 3D de la línea de producción de leche fresca.....                                | 75 |
| Figura 59: | Vista superior diagonal plano 3D de la línea de producción de leche fresca .....                     | 76 |
| Figura 60: | Vista superior del plano 3D de la línea de producción de leche fresca...                             | 76 |
| Figura 61: | Vista diagonal superior del pasteurizador de leche fresca .....                                      | 77 |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Figura 62: | Vista frontal del pasteurizador de leche fresca.....  | 77 |
| Figura 63: | Vista frontal del pasteurizador de leche fresca.....  | 78 |
| Figura 64: | Colocación de la estructura del pasteurizador, tanques de almacenamiento, homogenizador y llenadora ..... | 78 |
| Figura 65: | Montaje del Intercambiador de calor, tanque de balanza y holding o tubería de retención .....             | 79 |
| Figura 66: | Tina de pesado, bomba de recepción, intercambiador de calor, filtros mellizos y tanque de recepción ..... | 79 |
| Figura 67: | Vista frontal del pasteurizador de leche fresca, separador centrífugo y homogenizador .....               | 80 |
| Figura 68: | Vista lateral del sistema de pasteurizador hasta la zona de envasado .....                                | 80 |
| Figura 69: | Partición de los glóbulos de grasa durante el proceso de homogenización .....                             | 83 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|          |   |    |
|----------|---|----|
| ANEXO 1: | FICHA TÉCNICA DE FILTROS MELLIZOS.....  | 63 |
| ANEXO 2: | FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA CENTRÍFUGA DE LA ZONA DE RECEPCIÓN .....                | 64 |
| ANEXO 3: | FICHA TÉCNICA DEL SENSOR DE NIVEL ALFA NAVAL .....                                | 64 |
| ANEXO 4: | ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE LA BOMBA CENTRÍFUGA PARA MÁXIMO FLUJO DE CIP .....      | 64 |
| ANEXO 5: | ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE LA BOMBA CENTRÍFUGA PARA EL FLUJO DE PROCESAMIENTO..... | 64 |
| ANEXO 6: | PLANO MECÁNICO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR - PASTEURIZADOR.....                   | 64 |

## RESUMEN

Al interior del país, son pocas las empresas dedicadas al procesamiento de leche a nivel industrial, esto debido a que pequeños ganaderos cuentan con solo tecnología de grado artesanal. Sin embargo, pequeños productores han empezado a agruparse para buscar solución a esta situación, y poder procesar grandes volúmenes de leche por día. Es por ello, que el presente trabajo propone el diseño, montaje y puesta en marcha, de una línea productiva de leche fresca pasteurizada de 1000 litros/hora; que permita envasar la misma en bolsas de polietileno de 500 y 1000 ml. Se detalló la metodología para la correcta implementación de la línea de producción, así como los planos P&ID (*Piping and Instrumentation Diagram*) y los planos 3D. Se brindó los criterios para corroborar la correcta instalación de la maquinaria e interconexión; así mismo se verificó el correcto procesamiento de la leche a través de sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

**Palabras clave:** Pasteurización, intercambiador de calor, bomba centrífuga, separador centrífugo, homogenizador

## **ABSTRACT**

Within the country, there are few companies dedicated to milk processing at an industrial level, this is due to the fact that small farmers have only artisanal grade technology. However, small producers have begun to group together to find a solution to this situation, and to be able to process large volumes of milk per day. For this reason, the present work proposes the design, assembly and start-up of a productive line of fresh pasteurized milk of 1000 liters/hour; that allows it to be packaged in polyethylene bags of 500 and 1000 ml. The steps for the correct design and selection of the equipment of a pasteurizer are exposed, the Piping and Instrumentation Diagram (P & ID) and the 3D diagram were elaborated, the main steps for the correct assembly and set up of the factory are shown, the physicochemical and microbiological characteristics of the processed milk are evaluated.

**Keywords:** Pasteurization, heat exchanger, centrifugal pump, centrifugal separator, homogenizer

## I. INTRODUCCIÓN

El mercado lácteo en el Perú, en especial el de leche fresca, es del tipo oligopsonio; debido a que existen muchos productores y pocos compradores con la capacidad, infraestructura y calidad para poder procesar la leche y posteriormente comercializarla a nivel nacional. En la actualidad, los principales compradores de leche a nivel nacional son Gloria, Laive y Nestlé; quienes a través de diversas políticas acopian la leche de pequeños productores o ganaderos dentro del territorio; imponiendo el precio de compra debido a la estructuración del mercado y al poco poder de negociación que tienen los productores (Carvalho, 2017).

A nivel nacional son pocas las empresas en el centro del país que se dedican al procesamiento de leche a nivel industrial; la mayoría de los negocios se dedica a la elaboración de derivados lácteos mediante tecnología artesanal; siendo este segmento productivo insuficiente para poder procesar toda la leche de los pequeños productores. Ante esta problemática; un consorcio de productores de leche de la región de Junín busca una alternativa para poder procesar 2000 litros de leche al día.

El presente trabajo propuso los lineamientos para el diseño, montaje y puesta en marcha, de una línea productiva de leche fresca pasteurizada de 1000 litros/hora de capacidad variable; que permita envasar la misma en bolsas de polietileno de 500 y 1000 ml, respectivamente. Bajo esta premisa, este trabajo brindó los pasos para el correcto diseño y selección de equipos de la línea de pasteurización de leche fresca, la elaboración del plano P&ID (*Piping and Instrumentation Diagram*) y plano 3D; así mismo; se dieron las recomendaciones para el correcto montaje y puesta en marcha de la línea productiva completa. Por último, se corroboraron los adecuados parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la leche procesada.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

El diseño de una línea de leche fresca pasteurizada contempla el cálculo de varias etapas y equipos, por donde pasará la leche antes de llegar al consumidor como un producto final. Esto debido a que este proceso productivo en particular, se realiza de forma continua y en un sistema cerrado, donde cada uno de los componentes se encuentra interconectado a través de tuberías (Guaraca-Pino & Guaraca-Sigüencia, 2019).

De acuerdo a Ramírez (2014), la complejidad y el diseño de un sistema de pasteurización pueden variar dependiendo de varios factores:

- La capacidad y nivel de control que se desee obtener
- Los parámetros del proceso que se desean controlar
- El costo de los equipos y la instalación de todo el sistema

Además, una línea completa de procesamiento de leche fresca pasteurizada está compuesta por distintas zonas y equipos de proceso; siendo las principales las siguientes (Según Ramírez, 2014):

- Zona de recepción de leche fresca
- Sistema de pasteurización
- Zona de envasado

### **2.1. ZONA DE RECEPCIÓN DE LECHE FRESCA**

La leche fresca de vaca proviene de diversas granjas ubicadas en diversas zonas del país, es recolectada en centros de acopio, para luego ser enviadas a los centros de producción día a día; y su transporte se puede dar a través de cisternas o bidones con capacidad de 30 a 50 litros.

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), dependiendo de la empresa, son distintas las etapas que suelen darse en la zona de recepción de leche fresca (FAO, 2003). Las principales operaciones realizadas en esa zona se detallan en la Tabla 1.

**Tabla 1: Etapas realizadas en la zona de recepción de leche fresca**

| Etapas                                      |
|---|
| Determinación de la calidad de leche fresca |
| Medición de la cantidad de leche fresca     |
| Enfriamiento de la leche fresca             |
| Almacenaje y control                        |

FUENTE: Soluciones en Proyectos de Alimentos (2018)

### **2.1.1. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE LECHE FRESCA**

De acuerdo a Guaraca-Pino & Guaraca-Sigüencia (2019), la primera operación en la recepción de la leche fresca es la evaluación de su calidad; siendo responsabilidad de cada centro de producción determinar cuál es la metodología para *aceptar* o *rechazar* la leche que van a utilizar en su proceso; las principales pruebas suelen ser de evaluación, sensoriales, recuento de células somáticas, medición de antibióticos, medición de sólidos totales y grasa, entre otras. Las evaluaciones más relevantes se detallan a continuación.

#### **a. EVALUACIÓN SENSORIAL**

Consiste en evaluar ciertas características de la leche fresca, antes de su ingreso al centro de producción lechero, se busca aceptar leche que no presente desviaciones significativas en cuanto a gusto y olfato; si alguna característica no concuerda con lo establecido, se *rechaza* el lote (Bylund, 1995).

#### **b. RECUENTO DE CÉLULAS SOMÁTICAS**

Se procede a realizar el recuento de estas células. Bylund (1995) detallan que un conteo superior al de 500 000 células por mililitro en leche, indica la presencia de enfermedad en las ubres de las vacas productoras, y la leche debe *rechazarse*.

### **c. MEDICIÓN DE ANTIBIÓTICOS**

Según Bylund (1995), en este análisis se busca identificar la presencia o no de antibióticos en la leche mediante la realización de una prueba rápida; en caso la prueba sea “positiva” se procederá a *rechazar* el lote

### **d. MEDICIÓN DEL CONTENIDO DE SÓLIDOS TOTALES Y GRASA**

Se busca identificar que la leche no ha sido adulterada con agua o con otro componente líquido. El aceptar o no la leche, se encuentra en función de los parámetros que establecidos por el centro de producción (Bylund, 1995).

## **2.1.2. MEDICIÓN DE LA CANTIDAD DE LECHE**

A continuación, Jaramillo & Hernández (2015) detallan los dos métodos utilizados para medir cantidades de leche:

### **a. MEDICIÓN POR VOLUMEN**

Para esta medición es necesario utilizar un flujómetro o caudalímetro, a medida que la leche vaya pasando por este equipo de instrumentación se irá contabilizando el volumen que llegue a la planta de procesamiento. En general, esta metodología se usa cuando se reciben grandes cantidades de leche, y el proceso de pesado es complejo.

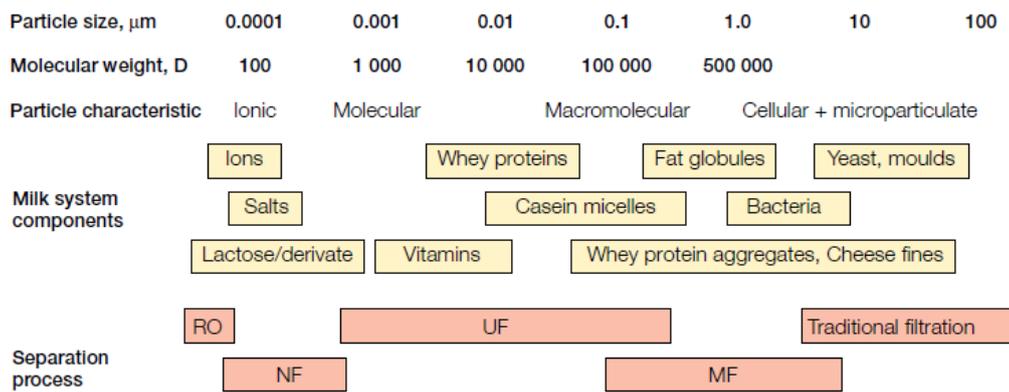
### **b. MEDICIÓN POR PESO**

La leche recolectada a granel puede ser pesada de dos maneras; en la primera se coloca pesa al camión cisterna antes y después de la descarga, y luego restando estos resultados. En la segunda, se utilizan tanques de pesaje especiales, que cuentan con celdas de carga en su base.

## **2.1.3. SISTEMA DE FILTRACIÓN DE LECHE FRESCA**

El proceso de filtración de leche fresca busca eliminar impurezas que se encuentran en el medio, como sangre, paja o estiércol; ya que estas se mezclan con la leche durante el proceso

de ordeño. Para este fin, Bylund (1995) expone que se suelen utilizar cartuchos de acero inoxidable por el que fluirá la leche alimentada por una bomba centrífuga; donde en el interior de estos cartuchos se encuentran mallas capaces de retener un tamaño determinado de partícula; para leche fresca se recomienda que los filtros tengan una capacidad de retención de 100 - 200 micras, tal como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1: Espectro de aplicación para el filtrado de leche**

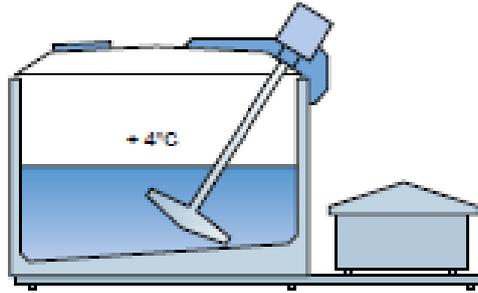
FUENTE: Bylund (1995)

#### 2.1.4. ENFRIAMIENTO DE LA LECHE FRESCA

Según Vásquez (2010), durante el proceso de transporte y pesaje de la leche fresca, es normal que se detecte un aumento en su temperatura que incluso supere los  $4^{\circ}\text{C}$  o incluso iguale la temperatura ambiental de la zona de trabajo; por este motivo, antes de su almacenamiento se debe enfriar la misma hasta una temperatura por debajo de los  $4^{\circ}\text{C}$ . Para este proceso existen dos sistemas de enfriamiento, los cuales se detallan a continuación.

##### a. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CON TANQUE DE REFRIGERACIÓN

Estos tanques son elaborados en acero inoxidable y se encuentran recubiertos en aislante térmico; en su interior cuentan con un agitador y evaporador, los cuales se anexan a un equipo de refrigeración con controladores (Figura 2). Este equipo enfría toda la masa de leche que se almacenan en su interior a través del sistema de refrigeración (suele estar integrado en su base); el proceso de enfriamiento de toda la leche suele abarcar entre 1 a 2 horas, dependiendo de la capacidad establecida (Vásquez, 2010).



**Figura 2: Tanque de refrigeración de leche fresca**

FUENTE: Bylund (1995)

Para la asegurar la correcta calidad de la leche durante su almacenaje, Bylund (1995) considera que es necesario evaluar los siguientes ciertos criterios:

- Construcción y pulido interior: Se espera que el tanque este elaborado en acero inoxidable 304 o 316. Una rugosidad superficial menor de  $1\ \mu\text{m}$  y ángulos interiores curvados de al menos 3 mm; para lograr la correcta carga y descarga de la leche en él y facilitará la limpieza del tanque.
- Agitador: El mismo cumple varias funciones como evitar la formación de hielo, aumentar las corrientes de convección para generar una correcta distribución de la temperatura en la masa de lecha; y por último, lograr una homogenización de la leche que se encuentra en el interior del tanque, previa a su procesamiento.
- Aislamiento térmico: De este material dependerá que la temperatura de la leche no incremente y el proceso de enfriamiento sea más efectivo, un material correcto de aislamiento debe asegurar que la temperatura de la masa total de leche no suba en más de  $3^{\circ}\text{C}$  en un tiempo de 12 horas.
- Capacidad del equipo de enfriamiento: Para determinar la capacidad de este equipo es importante dimensionar de forma correcta la potencia del compresor, evaporador y condensador. Un mal calculo en el dimensionamiento de estos elementos podría generar un tiempo de enfriamiento prolongado o que la temperatura de evaporación del refrigerante sea muy baja y suceda que la leche se congele en la base del tanque.

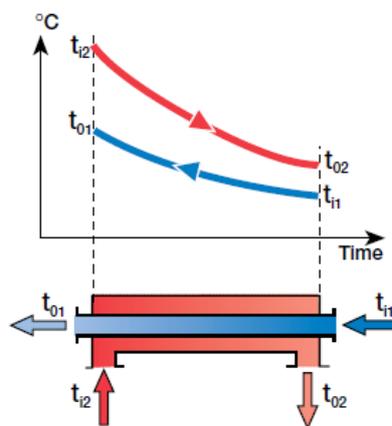
## b. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CON INTERCAMBIADOR DE CALOR

De acuerdo a Callejo (2013), el sistema de enfriamiento utilizando un intercambiador de calor, es una de las maneras más eficientes para poder conseguir la temperatura de  $4^{\circ}\text{C}$ , ideal para almacenar la leche que se está recibiendo.

Este enfriamiento se debe a que el flujo de leche generado por una bomba centrífuga, atraviesa un intercambiador de calor de dos secciones; en la primera sección la leche estará fluyendo a una temperatura ambiente, y por la segunda sección estará pasando el fluido refrigerante; donde este intercambio de calor, por convección y conducción se realiza de forma instantánea (Bylund, 1995). Finalmente, la leche se almacena en un tanque isotérmico hasta su posterior procesamiento.

Bylund (1995) detalla los equipos que componen el sistema de enfriamiento de placas:

- Bomba centrífuga: La bomba centrífuga es la más utilizada en la industria láctea debido a que es de gran adaptación a distintas condiciones de trabajo, es económica y sirve para bombear líquidos de viscosidad baja como es la leche; a pesar de no tener la capacidad autocebante.
- Intercambiador de placas: Es un equipo que sirve para transferir calor de un fluido a otro de forma indirecta. Está conformado por placas de acero inoxidable, por el que ambos líquidos se desplazarán sin mezclarse, transfiriendo en este proceso el calor de uno al otro. Los perfiles de temperatura se muestran en la Figura 3.



**Figura 3: Perfil de temperaturas al interior de un intercambiador de placas**

FUENTE: Bylund (1995)

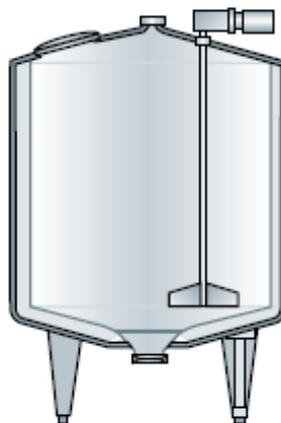
Según Virgil (2017), en el caso de la recepción de leche fresca se busca transferir el calor de la leche que se encuentra a temperatura ambiente, hasta llevarla a una temperatura de 4°C; siendo agua helado el fluido al que normalmente se le transfiere el calor.

- Unidad generadora de agua helada (*Chiller*): Esta unidad se encarga de remover el calor de un fluido al generar la compresión de un gas refrigerante. El fluido utilizado en este proceso suele ser agua o en muchos casos una mezcla de agua y glicol; el fluido enfriado, será utilizado en el intercambiador de calor para enfriar la leche (Virgil, 2017).

### **2.1.5. TANQUE DE RECEPCIÓN DE LECHE FRESCA**

De acuerdo a Bylund (1995), los tanques de recepción de leche fresca se utilizan para almacenar la misma a una temperatura de 4°C hasta su procesamiento; son fabricados a partir de acero inoxidable y se encuentran aislados térmicamente para mantener la temperatura de la masa en su interior, tal como se muestra en la Figura 4. El mismo puede estar equipado con varios componentes entre los que destacan:

- Agitador
- Controles de nivel
- Controles de temperatura

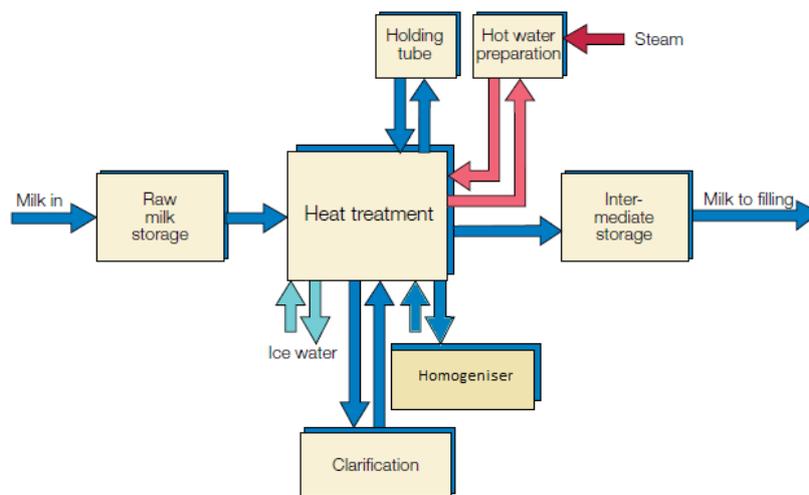


**Figura 4: Tanque de recepción de leche fresca**

FUENTE: Bylund (1995)

## 2.2. SISTEMA DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE FRESCA

El proceso de pasteurización es de tipo cerrado continuo, interconectado a través de todo un sistema de tuberías; este proceso es la operación más importante en el tratamiento de leche fresca para su consumo directo; a la vez, es la operación más importante, utilizada como un pre-tratamiento para los distintos derivados lácteos como yogurt, quesos, entre otros (Bylund, 1995). El tipo de tratamiento dependerá de diversos factores; sin embargo, los principales componentes que conforman un sistema de pasteurización para leche fresca se detallan en la Figura 5.



**Figura 5: Diagrama de bloques para el proceso de pasteurización de leche fresca**

FUENTE: Bylund (1995)

Según Guaraca-Pino & Guaraca-Sigüencia (2019), el sistema de pasteurización de leche fresca se encuentra conformado por los siguientes equipos:

- Tanque de balanza
- Bomba del sistema de pasteurización
- Intercambiador de calor (para el proceso de calentamiento y enfriamiento de la leche)
- Tubería de retención
- Centrífuga
- Homogenizador
- Válvulas de Control y de desvío.
- Equipo de control de capacidad, temperatura y posiciones de válvulas

- Sistemas de servicio:
- Suministro de agua.
- Producción de vapor
- Sistema de refrigeración
- Sistema de aire comprimido
- Suministro eléctrico

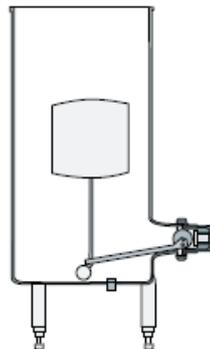
### 2.2.1. TANQUE DE BALANZA

El tanque de balanza es un equipo elaborado a partir de acero inoxidable, tiene la función de asegurar que el sistema de pasteurización trabaje de forma constante; asegurando que el nivel del fluido a trabajar se mantenga por encima del nivel de succión de la bomba centrífuga (Hernández *et al.*, 2013).

De acuerdo a Bylund (1995), existen dos maneras para asegurar este mecanismo, las cuales se presentan a continuación:

#### a. FLOTADOR

A través de un flotador con una palanca excéntrica; a medida que el tanque va disminuyendo su volumen de leche se irá aperturando la válvula de entrada hasta llegar al volumen programado; este dispositivo se muestra en la Figura 6. Una vez que se alcance el volumen deseado la válvula se cerrara.



**Figura 6: Tanque de equilibrio con válvula tipo flotador**

FUENTE: Bylund (1995)

## **b. SISTEMA AUTOMÁTICO**

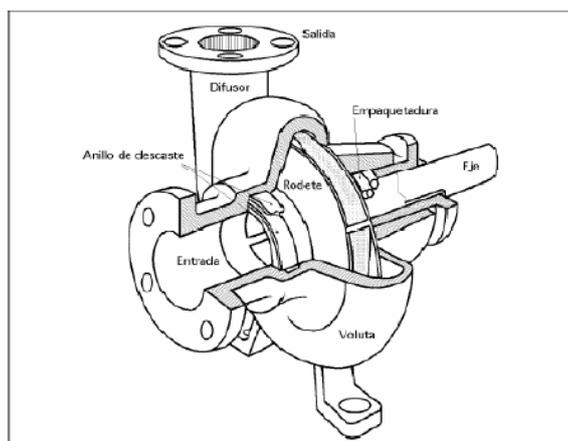
A través de un sistema automático que consta de sensores de nivel; estos dispositivos al no estar en contacto con la leche por un tiempo determinado mandarán una señal para apertura la válvula automática de carga y encender la bomba de abastecimiento, hasta recuperar el nivel del tanque; una vez recuperado el nivel la válvula se cierra y la bomba se apaga.

### **2.2.2. BOMBA DEL SISTEMA DE PASTEURIZACIÓN**

Martín (2012) menciona que, para el procesamiento de la leche, es necesario forzar el flujo de esta a través de tuberías, intercambiadores de calor, válvulas, filtros y varios equipos más; por lo que seleccionar la bomba adecuada es de vital importancia para el correcto funcionamiento del sistema. Siendo los principales factores para la selección de bomba los siguientes:

- Flujo del sistema
- Producto para procesar
- Viscosidad
- Densidad
- Temperatura
- Presión del sistema
- Material de la bomba

Para el procesamiento de productos lácteos las bombas más populares son las bombas centrífugas, de anillo líquido y de desplazamiento positivo; siendo las bombas tipo centrífugas las más utilizadas debido al factor precio/costo (Martín, 2012). Las partes que conforman esta última bomba se muestran en la Figura 7.



**Figura 7: Partes de una bomba centrífuga sanitaria**

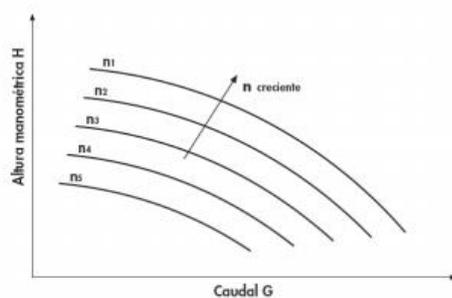
FUENTE: Martín (2012)

La principal desventaja en el empleo de las bombas centrífugas es su baja capacidad para poder impulsar líquidos aireados; esto genera que la bomba cavite y se detenga en el proceso; por lo que es importante evitar que suceda este error (Martín, 2012).

El líquido ingresa por el centro de la bomba al impulsor como resultado de la fuerza centrífuga y el movimiento del impulsor; luego, el líquido sale de la bomba a mayor velocidad y a mayor presión que en el centro del impulsor (Bylund, 1995). De acuerdo a Martín (2012), para el dimensionamiento correcto de una bomba es necesario revisar tres curvas:

- **Curva caudal vs Caída de presión (altura en metros de agua)**

Esta gráfica busca determinar cuál es la caída de presión que debe superar la bomba para que el fluido circule sin problema por el sistema. La grafica clásica se muestra en la Figura 8.



**Figura 8: Curva característica de las bombas centrífugas**

FUENTE: Martín (2012)

- **Curva de potencia consumida por el motor**

La potencia necesaria para el correcto funcionamiento de la bomba dependerá del caudal al que se desee trabajar, la caída de presión que se desee vencer y del trabajo que se pretenda realizar.

$$P_{bomba} = \frac{\rho \cdot q \cdot \Delta p}{\eta_T}$$

Donde:

P potencia absorbida por la bomba [W]

$\rho$  densidad [kg/m<sup>3</sup>]

$\dot{m}_V$  caudal [m<sup>3</sup>/s]

$\Delta p$  caída de presión en el circuito o altura manométrica [kPa]

$\eta_T$  rendimiento total de la bomba [adimensional]

- **Curva NPSH (*Net Positive Suction Head Required*)**

Para asegurar el correcto funcionamiento de la bomba centrífuga y evitar el fenómeno de cavitación es necesario asegurar que la bomba sea alimentada con una presión similar a la recomendada por el fabricante.

NPSH (requerida) < NSPH (disponible)

### 2.2.3. INTERCAMBIADOR DE CALOR

Según Bilurbina & Iribarren (2012), el intercambiador de calor es el equipo responsable del calentamiento de la leche hasta una temperatura que pueda conseguir la letalidad de distintos microorganismos.

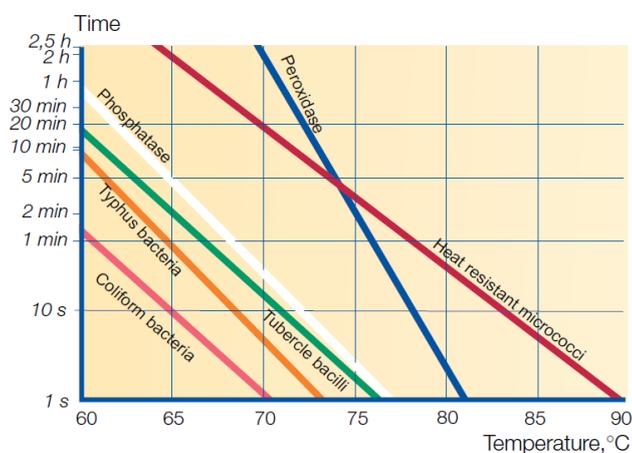
Bylund (1995) mencionan que, si bien la enzima fosfatasa está siempre presente en la leche fresca, esta es eliminada por la combinación de temperatura/tiempo aplicada en una pasteurización eficiente; por lo que, la ausencia de la fosfatasa indica que el proceso térmico se ha realizado correctamente.

El microorganismo más resistente en la leche es el bacilo tuberculoso con una letalidad a 63°C por 30 minutos; es el patógeno más resistente; por ende, si se asegura su eliminación,

se puede inferir que el producto estará libre de otros patógenos. A parte de los patógenos, en la leche existen otros microorganismos capaces de generar cambios fisicoquímicos y sensoriales en la leche que alterarían su sabor y propiedades nutricionales (Bylund, 1995).

### a. COMBINACIÓN TIEMPO / TEMPERATURA

De acuerdo a Bylund (1995), la combinación de las variables tiempo/temperatura es muy importante porque de esta dependerá la intensidad del tratamiento térmico. En la Figura 9 se muestra las distintas curvas de letalidad para bacterias coliformes, tifus y bacilos tuberculosos.



**Figura 9: Letalidad para distintas bacterias**

FUENTE: Bylund (1995)

De acuerdo con la Figura 9, para distintos tipos de microorganismos se pueden utilizar distintas combinaciones de temperatura y tiempo de exposición; en el caso de los Bacilos tuberculosos, se obtendrá la misma letalidad si se trata la leche a 70°C por 20 segundos que como si se le tratase a 65°C por 2 minutos.

La pasteurización *High Temperature Short Time* (HTST), contempla calentar la leche a 72 - 75°C por 15 - 20 segundos, la enzima fosfatasa es destruida a esta temperatura, por lo que el resultado de la prueba debería dar negativo para asegurar el correcto tratamiento térmico.

El tratamiento térmico intenso es deseable para asegurar la eliminación de todos los microorganismos, pero esto afectaría la apariencia, sabor y valor nutricional de leche; en consecuencia, la combinación de tiempo/temperatura debe ser escogida de manera eficiente,

asegurando la letalidad de los principales microorganismos y la menor pérdida de nutrientes (Bylund, 1995). En la Tabla 2 se muestran las distintas categorías de tratamientos térmicos.

**Tabla 2: Tratamientos térmicos**

| Proceso              | Rango de temperaturas (°C) | Tiempo           |
|----------------------|----------------------------|------------------|
| Termización          | 63 - 65                    | 15 segundos      |
| Pasteurización LTLT  | 63 - 65                    | 30 minutos       |
| Pasteurización HTST  | 72 - 75                    | 15 - 20 segundos |
| Ultra Pasteurización | 125 - 138                  | 2 - 4 segundos   |
| UHT                  | 135 - 140                  | Pocos segundos   |

FUENTE: Bylund (1995)

#### **b. CÁLCULO PARA DIMENSIONAR UN INTERCAMBIADOR DE CALOR**

Según Bilurbina & Iribarren (2012), la configuración de un intercambiador de calor depende de muchos factores; siendo el principal el área total de transferencia de calor necesaria para que el proceso térmico requerido se pueda dar; con ese dato se podrá obtener distintas configuraciones de intercambiadores de calor, que satisfagan nuestra operación.

Una vez determinada el área de transferencia de calor, se debe evaluar otros parámetros para poder determinar el correcto modelo. Para Bilurbina & Iribarren (2012) los principales parámetros a considerar son:

- Menor caída de presión.
- Mejor eficiencia en la transferencia de calor
- Costos del equipo

De acuerdo a Bylund (1995), es factible poder determinar el área de transferencia de calor requerida de forma teoría a través de la siguiente formula:

$$A = \frac{V \times \rho \times c_p \times \Delta t}{\Delta t_m \times k}$$

- A = Área de transferencia de calor requerida
- V = Caudal de producto
- $\rho$  = Densidad del producto
- C<sub>p</sub> = Calor específico del producto
- $\Delta t$  = Cambio de temperatura del producto
- $\Delta t_m$  = Diferencia de temperatura media logarítmica (LMTD)
- k = Coeficiente de transferencia de calor global

- Caudal del producto:

Este valor es la cantidad a la que estará funcionando la línea productiva. Este factor guarda relación directa con el tamaño del intercambiador, mientras mayor sea el caudal de leche, mayor será el tamaño del intercambiador.

- Propiedades fisicoquímicas del producto:

Propiedades como la densidad, calor específico y la viscosidad varían dependiendo del tipo de producto que se quiera procesar y dependiendo de estas características existirá un diseño especializado para cada una de las placas.

- Programas de temperatura:

El objetivo de la transferencia de calor es poder calentar o enfriar un fluido, desde una temperatura de entrada hasta una temperatura de salida determinada. La transferencia de calor se dará desde la leche a un fluido de servicio, que puede ser agua caliente o agua helada dependiendo de lo que se busque hacer.

En este punto el cambio de temperaturas, la temperatura diferencial y la dirección del flujo de los líquidos.

- Cambio de temperatura en producto:

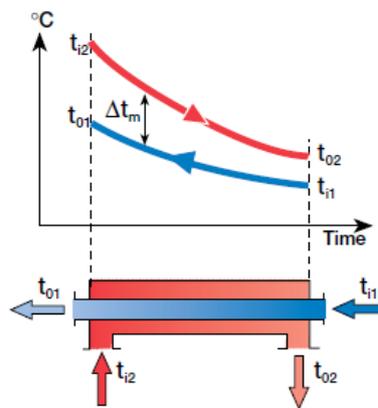
En los intercambiadores de calor, la eficiencia del intercambio energético es alta debido a que los diseños actuales, desprecian las pérdidas de calor hacia el ambiente ya que son muy pequeñas; por tal razón se puede considerar la siguiente fórmula para determinar esta variación:

$$V_1 \times \rho_1 \times c_{p1} \times \Delta t_1 = V_2 \times \rho_2 \times c_{p2} \times \Delta t_2$$

- Diferencia de temperatura media logarítmica (LMTD):

Para que se dé la transferencia de calor, es necesario que haya una diferencia de temperaturas entre ambos fluidos. Ese diferencial de temperatura es la fuerza impulsora del sistema; sin embargo, existen productos muy sensibles que sufrirían grandes cambios si es que son expuestos a diferencias de temperatura muy elevadas (González, s.f.).

A medida que los fluidos avanzan en el intercambiador de calor, la diferencia de temperatura en su interior va variando, tal como se muestra en la Figura 10.



**Figura 10: Perfil de temperaturas para un intercambiador de calor flujo contracorriente**

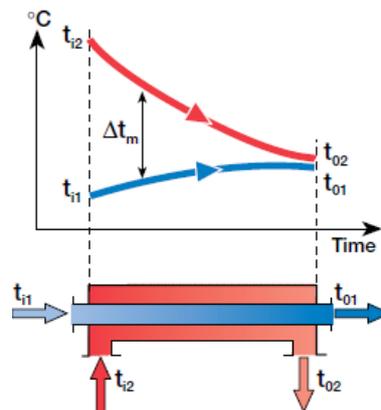
FUENTE: Bylund (1995)

Utilizando las variables de la Figura 10, se puede determinar la diferencia de temperatura media logarítmica; este valor se puede determinar utilizando la siguiente fórmula:

$$\Delta t_m = \frac{(t_{i2} - t_{o1}) - (t_{o2} - t_{i1})}{\ln \frac{(t_{i2} - t_{o1})}{(t_{o2} - t_{i1})}}$$

Para Díaz & Vega (2017), es importante mencionar que un factor importante en el cálculo de la LMTD, son las direcciones del flujo que tendrán en el intercambiador de calor. A continuación, Bylund (1995), detalla las dos opciones de flujo:

- Flujo contracorriente: Los flujos ingresan al intercambiador por sentidos opuestos; tal como se puede apreciar en la Figura 10. En esta disposición, se suele aprovechar de mejor manera la diferencia de temperatura de ambos fluidos. Durante el paso del flujo por el intercambiador de calor se ira calentando progresivamente, la diferencia de temperatura será solo unos grados por debajo del medio de calentamiento.
- Flujo concurrente: Ambos flujos ingresan al intercambiador por el mismo sentido, tal como se muestra en la Figura 11. En esta disposición, será imposible calentar el flujo a una temperatura superior a la que se tendría si se mezclaran ambos medios.



**Figura 11: Perfil de temperaturas para un intercambiador de calor flujo concurrente**

FUENTE: Bylund (1995)

- Coeficiente de transferencia de calor global (K):

De acuerdo a Bylund (1995), este coeficiente es la medida de la eficiencia en la transferencia de calor, medido a través de  $1^{\circ}\text{C}$  en  $1\text{ m}^2$  de superficie; mientras el valor de K sea más alto, más eficiente será la transferencia de calor.

Según Bylund (1995), el cálculo de este factor depende de las siguientes variables:

- Caídas de presión permitidas para los fluidos: La caída de presión en el intercambiador de placas dependerá, del distanciamiento entre las placas; existiendo dos posibilidades: (1) si el distanciamiento entre las placas es grande,

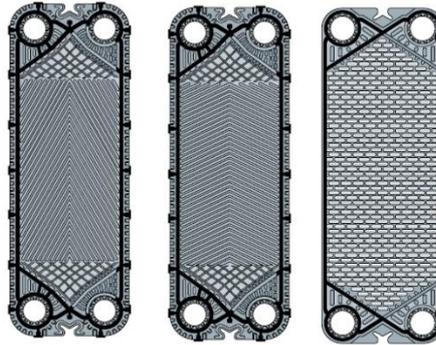
la caída de presión será baja, al igual que la transferencia de calor y la velocidad de los fluidos. (2) si el distanciamiento entre las placas es pequeño, la caída de presión será alta, al igual que la transferencia de calor y la velocidad de los fluidos.

Díaz & Vega (2017) añaden que, si no se configura adecuadamente este distanciamiento, se puede tener problemas fisicoquímicos sobre la leche, debido al trato violento que se le puede dar al interior del equipo; en muchos casos una alta caída de presión significaría que el sistema se tiene que reforzar con bombas adicionales para levantar la presión del medio.

- Viscosidad de los fluidos: La viscosidad del fluido está relacionada de manera directa con el distanciamiento entre las placas del intercambiador. Mientras más viscoso sea el fluido, será más complicado que se desplace por el interior del intercambiador (generará un flujo laminar); por lo que será necesario un intercambiador de calor más grande a diferencia de un fluido menos viscoso (capaz de generar un flujo turbulento) que requeriría menor espacio entre placas para que fluya con normalidad; por ende, un menor tamaño de intercambiador de placas (Bylund, 1995).
- Forma y grosor de las placas: Las placas suelen tener diseños corrugados con curvas con la intención que pueda generar al fluido que se desplace por su interior un flujo turbulento.

Sobre el grosor de las placas, se busca que sean lo más delgadas posibles para que la transferencia de calor sea lo más eficiente posible, sin embargo, se debe considerar que las mismas deben ser lo suficientemente fuertes para aguantar la presión del sistema (Bylund, 1995).

En la figura 12, se pueden apreciar los distintos modelos que existen de placas que conforman un intercambiador de calor.



**Figura 12: Modelos de placas de un intercambiador de calor de placas**

FUENTE: Díaz & Vega (2017)

- Material de la participación: Shah & Sekulić (1998) exponen que para la industria alimentaria el material utilizado para fabricar los intercambiadores de calor es el acero inoxidable, el mismo presenta buenas características para conseguir una buena transferencia del calor entre los fluidos.
- Presencia de contaminantes: Si se trabaja con diferenciales de temperatura muy elevadas, se conseguirá que la leche pueda coagularse e incluso quemarse, si esto pasará no solo se obtendría un producto de mala calidad, si no que la eficiencia en posteriores procesos disminuiría y la caída de presión aumentaría (Shah & Sekulić, 1998).

### **c. INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS**

La mayor cantidad de tratamientos térmicos en la industria láctea se realizan en intercambiadores de placas; los cuales constan de una serie de paquetes de placas de acero inoxidable sujetas a un marco; estos pueden contener varias placas, estar configurados en distintas etapas o zonas; además de poder servir como precalentamiento, calentamiento y enfriamiento (Díaz & Vega, 2017). El medio de calentamiento puede ser vapor o agua caliente, en función del control que se quiere tener sobre el proceso; para el medio refrigerante es común utilizar agua helada o alguna mezcla con glicoles.

Según Díaz & Vega (2017), las placas son corrugadas con distintos patrones, lo que asegura una correcta transferencia de calor, las placas serán comprimidas desde el marco para asegurar su correcto funcionamiento; los fluidos entran y salen a través de agujeros ubicados

en las esquinas del marco, diferentes patrones de agujeros abiertos y cerrados servirán para enrutar los líquidos, los límites de estos canales estarán conformados por diversas empaquetaduras.

Tal como se muestra en la Figura 13, el fluido a tratar entrará por la parte inferior de la primera y tercera placa, la recorrerá de manera vertical hasta salir por el otro extremo. En este extremo, se encuentra un canal rodeado por una empaquetadura, esta evitará que avance a las placas par, el fluido puede pasar por todas las placas impares la cantidad de placas a utilizar dependerá de la configuración; por el lado par recorrerá el fluido de servicio encargado de calentar o enfriar el producto (Díaz & Vega, 2017).



**Figura 13: Intercambiador de calor de placas**

FUENTE: Díaz & Vega (2017)

#### 2.2.4. TUBERÍA DE RETENCIÓN

Como se detalló en el punto anterior, un correcto tratamiento térmico, requiere que la temperatura alcanzada se mantenga por un determinado tiempo, esto con la finalidad de eliminar a los microorganismos en la leche. Según Narváez & Narváez (2005), este tiempo de retención por lo general se suele dar en una tubería dispuesta en zigzag o en espiral; por lo general suelen estar recubiertas para evitar pérdidas de calor o evitar accidentes en las fábricas en donde se utilicen. La longitud de la tubería de retención depende del caudal del fluido y diámetro interno, debido a las imperfecciones en la tubería, las distintas características de la leche y la velocidad variable del fluido, se deberá considerar un factor de eficiencia; según estudios este factor se encuentra entre 0.8 - 0.9.

Para Narváez & Narváez (2005), la longitud de la tubería de retención se calcula utilizando las siguientes formulas:

$$1. \quad V = \frac{Q \times HT}{3600 \times \eta} \text{ dm}^3$$

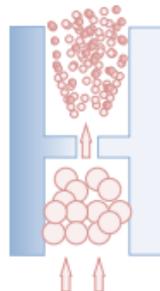
$$2. \quad L = \frac{V \times 4}{\pi \times D^2} \text{ dm}$$

- Q = Caudal del sistema (l/h)  
HT = Tiempo de retención (Segundos)  
L = Longitud de la tubería de retención. (dm)  
D = Diámetro interior de la tubería de retención (dm)  
V = Volumen de leche (dm<sup>3</sup>)  
n = Eficiencia del proceso

### 2.2.5. HOMOGENIZADOR

Según SPX Flow (2008), el objetivo de la homogenización es estabilizar la emulsión de grasa contra la separación por gravedad; el principio de funcionamiento consiste en disminuir el tamaño de los glóbulos de grasa hasta llegar a 1 mm de diámetro (Figura 14); ya que así se evita la formación de crema y se asegura la no agrupación de glóbulos.

Este proceso se da por acción mecánica, la leche pasa alta velocidad por un pequeño espacio y con esto se consigue esta reducción de tamaño, es importante mencionar que la homogenización genera la formación de un complejo grasa-proteína que asegura el “no agrupamiento” entre moléculas; un efecto de homogenización considerado “bueno” requiere 0.2 g de caseína por gramo de grasa (SPX Flow, 2008).



**Figura 14: Transformación de los glóbulos de grasa de la leche**

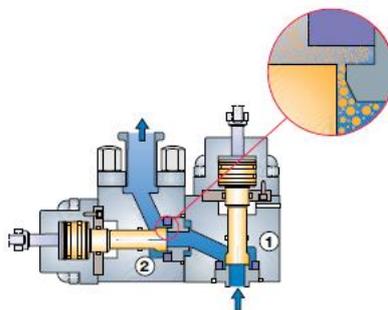
FUENTE: SPX Flow (2013)

El proceso de homogenización ofrece muchas ventajas para la leche, las principales son:

- Se evita el desfase de las moléculas de grasa, de la leche en el tiempo.
- Color más blanco y apetecible.
- Mejora las características sensoriales.
- Mejor estabilidad en los productos cultivados.

#### a. **HOMOGENIZACIÓN DE 1 Y 2 ETAPAS**

Según Bylund (1995), los homogenizadores pueden estar equipados con uno o dos dispositivos de homogenización instalados en serie (los dos se muestran en la Figura 15); para ambos casos la presión total de homogenizado  $P_1$ , se mide antes de la primera etapa y la presión de la segunda etapa justo antes de la misma. La homogenización de dos etapas se caracteriza por tener mayor eficiencia a la de una sola etapa siempre que la relación de precios  $P_1/P_2$  es de aproximadamente 0.2.



**Figura 15: Cabeza de homogenización de 2 Etapas**

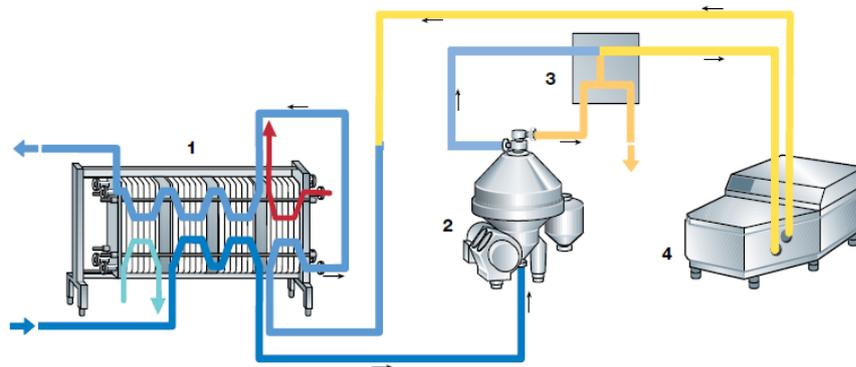
FUENTE: Bylund (1995)

De acuerdo a SPX Flow (2008), la homogenización de una etapa se suele utilizar para productos de mucha viscosidad o productos de alto contenidos de grasa. La segunda en el proceso de homogenización tiene dos funciones principales:

- Ofrecer una contrapresión constante a la primera etapa (proceso controlado).
- Eliminar las pequeñas aglomeraciones de las moléculas de grasa, generadas después de la primera etapa.

## b. INSTALACIÓN DE UN HOMOGENIZADOR EN LA LÍNEA DE PROCESAMIENTO

Para Bylund (1995), en la producción de leche fresca pasteurizada se recomienda que el homogenizador se instale justo antes del calentamiento final de la leche, y después de la primera regeneración, tal como se muestra la Figura 16. Para la selección del equipo adecuado, se debe considerar la siguiente información:



**Figura 16: Instalación de sistema de homogenización**

FUENTE: Bylund (1995)

## c. MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA DE HOMOGENIZADO

El método analítico más utilizado en la industria láctea es el método de Nizo, donde 25 ml de leche debe ser centrifugada por 30 minutos a 1000 rpm a una temperatura de 40°C. El resultado se obtiene dividiendo el contenido de grasa de los 20 ml de la parte inferior con el contenido de grasa del total de toda la muestra, la proporción se multiplica por 100; el resultado debe estar en el rango de 50 al 80% (Bylund, 1995).

### 2.2.6. SEPARADOR CENTRÍFUGO

Para SPX Flow (2013), el separador centrífugo es un equipo que cumple la función de separar la suciedad y los glóbulos de grasa (fase dispersa) de la leche desnatada o suero de leche (fase continua); donde la fase dispersa está conformada por:

- Suciedad: Partículas sólidas; células de la ubre, paja y pelo pulverizados y que logro pasar los filtros de la zona de recepción.
- Glóbulos de grasa : Partículas grasas de hasta 15 mm de diámetro.

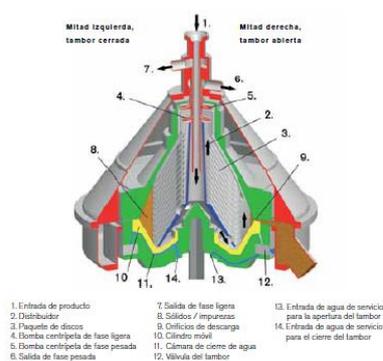
El principio del funcionamiento del separador centrífugo radica en la diferencia de densidades que presentan cada una de las fases de la leche; se debe considerar además la velocidad de sedimentación y flotación de sus partículas entre ellas los glóbulos de grasa, la fuerza centrífuga y el uso de discos deflectores que ayudan a aumentar la eficiencia en el proceso de separación; ya que aumentan el área disponible de sedimentación (SPX Flow, 2013). Basado en este principio de funcionamiento y modificando sus accesorios, el separador centrífugo se puede clasificar en dos equipos:

#### a. TIPOS DE SEPARADOR CENTRÍFUGOS

##### - Clarificador

El proceso de clarificado es utilizado en el procesamiento de leche, como una herramienta para mejorar la calidad higiénica, librando a la mismas de partículas sólidas que no se encuentren en su composición original (Bylund, 1995).

En el proceso de clarificado la lecha ingresa por la parte inferior del equipo, hacia los extremos de los discos deflectores y fluye de manera radial al centro del equipo, donde se encuentra el eje de rotación. A lo largo del camino las partículas solidas que se encuentran en la leche se iran apilando en cada uno de los discos deflectores (SPX Flow, 2013). Este proceso se muestra en la Figura 17.



**Figura 17: Clarificador de leche fresca**

FUENTE: SPX Flow (2013)

### - Separador

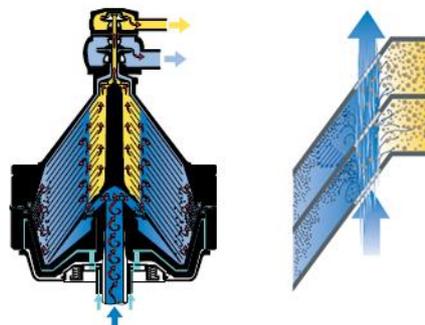
El proceso de separación es utilizado en el procesamiento de leche, como una herramienta para mejorar su calidad higiénica, y a demás permite separar los glóbulos de grasa de la fase fluida (leche desnatada); esto se lleva acabo debido a que los discos deflectores vienen equipados con una alinación vertical, como se observa en la Figura 18 (SPX Flow, 2013).



**Figura 18: Platos de distribución de un separador centrífugo**

FUENTE: Bylund (1995)

La leche fluye a través de los discos deflectores y a través de la fuerza centrífuga los sedimentos y los glóbulos de grasa empiezan a desplazarse hacia abajo y hacia afuera y hacia adentro, respectivamente; en función de la densidad relativa de cada partícula (Figura 19). La leche desnatada, sigue el recorrido por el espacio concéntrico hasta una salida en la parte superior del equipo. La eficiencia en el proceso de desnatado, depende de la configuración del equipo separador, la velocidad en la que fluye la leche y el tamaño y distribución de los glóbulos de grasa (Bylund, 1995).



**Figura 19: Esquema de separación de la grasa de la leche a través de los discos**

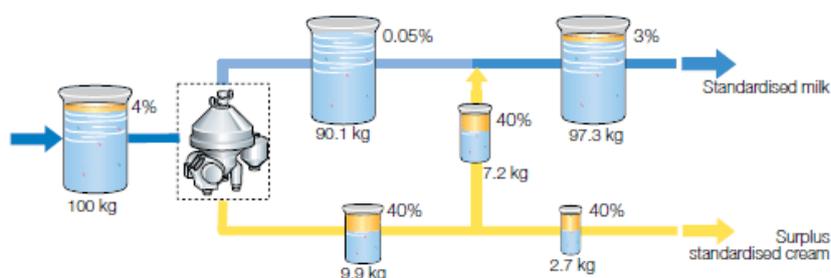
FUENTE: Bylund (1995)

## b. ESTANDARIZACIÓN DE LA GRASA EN LA LECHE FRESCA

De acuerdo a Bylund (1995), el proceso de estandarización se refiere al ajuste del contenido de grasa que debe tener la leche para su correcta distribución; a continuación, el autor detalla más sobre este proceso:

### - Principios de la estandarización

La leche y la crema obtenida después del proceso de separación deben ser constantes durante el proceso productivo. Este proceso puede realizarse de forma manual o de forma automática en la línea productiva; cualquiera sea el caso, el principio de esta operación se muestra en la Figura 20.



**Figura 20: Principio de estandarización de leche fresca**

FUENTE: Bylund (1995)

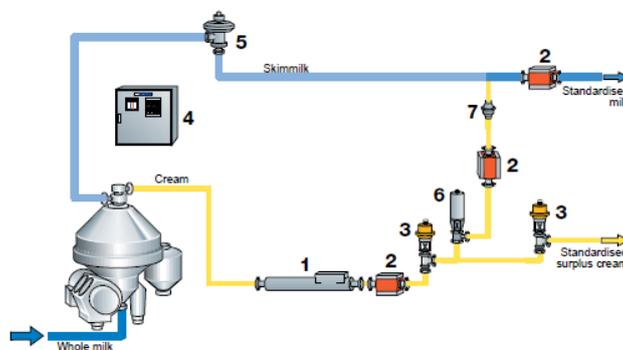
### - Estandarización automática en línea

A medida que se desee procesar volúmenes grandes de leche, es necesario contar con equipos que puedan facilitar tener un proceso más controlado y eficiente. Uno de los principales tipos de centrífuga separadoras que se utilizan en la industria, cuentan con una serie de equipos de instrumentación que permite realizar la operación de estandarización de forma continua en la línea, esto agilizará el proceso de estandarización; los principales equipos adicionales al separador centrífugo son las válvulas de control, medidores de flujo, medidores de densidad y un panel de control.

De acuerdo SPX Flow (2013), para que el proceso de estandarización se efectúe de manera correcta, se debe asegurar que la presión de salida de la leche desnatada sea constante. Por lo general para un correcto proceso de separación la leche fresca se calienta a 55 - 65°C . Después de la separación la leche desnatada se estandariza incorporando de esa manera

continua parte de la crema de leche que fue separada en la operación, el resto de crema será recogida en un depósito para trabajar sub productos.

En la Figura 21 se observa que, una vez que la crema es separada de la leche desnatada, se tiene la capacidad de controlar la cantidad de crema que se debe suministrar de manera continua mezclando nuevamente la misma con la leche desnatada hasta obtener el contenido de grasa requerido en la leche estandarizada. Este sistema viene con dos transmisores de flujos, uno ubicado en la línea de crema que será mezclada con la leche desnatada, y el otro en la línea de leche fresca desnatada.



**Figura 21: Principio de estandarización de leche fresca en línea**

FUENTE: Bylund (1995)

## 2.2.7. SISTEMA DE TUBERÍAS Y VÁLVULAS

Según ITEA (s.f.), el producto fluye a través de un sistema de tuberías que se interconectan a cada uno de los componentes; sin embargo, en línea productiva, no solo habrá sistemas de tuberías por donde circule el producto, también existirán otros sistemas de tuberías diseñados para el recorrido de otros fluidos de servicio como aire comprimido, agua, refrigerante, vapor, eléctrico. Estas tuberías son elaboradas por distintos materiales, siendo el principal material que conforma este sistema el AISI 304 y AISI 316.

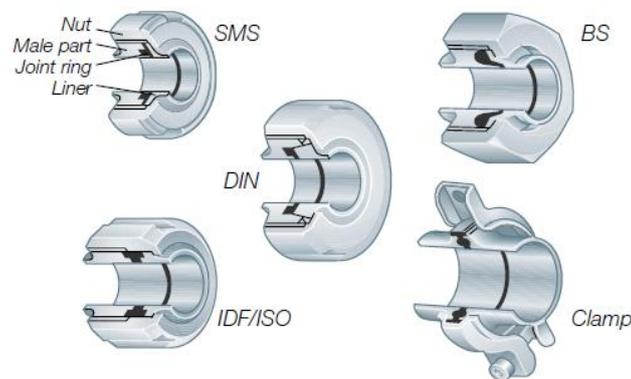
Los componentes de un sistema de tuberías son detallados por ITEA (s.f.):

- Tubos rectos, conexiones, codos, tes, reductores y uniones.
- Mirillas, curvas de instrumentación.

- Válvulas para detener y dirigir el flujo
- Válvulas de control de flujo

#### a. CONEXIONES

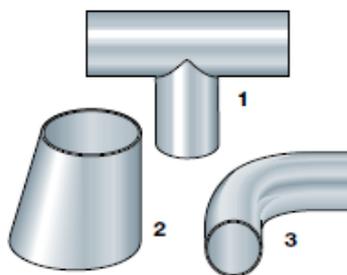
en la instalación del sistema de tuberías se buscará que el diseño tenga la menor cantidad de conexiones posibles, por lo que la mayoría de las conexiones serán permanentes; pero, habrá zonas en donde será necesario que el segmento de tubería se pueda desmontar sin que afecte al resto del sistema; con este fin es posible utilizar uniones SMS o abrazaderas IDF (ITEA, s.f.). Las principales conexiones desmontables se muestran en la Figura 22.



**Figura 22: Conexiones desmontables en acero inoxidable**

FUENTE: Bylund (1995)

Los codos, tes y reducciones son utilizados para poder elaborar el sistema de tuberías de acuerdo con el diseño del pasteurizador; estos accesorios se muestran en la Figura 23.



**Figura 23: Accesorios de acero inoxidable**

(1): Tes; (2): Reducciones; (3): Codos.

FUENTE: Bylund (1995)

## b. VÁLVULAS DE CIERRE Y DESVÍO

En el sistema de tuberías del sistema, es necesario detener o desviar el flujo del sistema, esto se puede realizar colocando el sistema distintos tipos de válvula; estas pueden ser las válvulas de asiento y mariposas, ya sean controladas manual o neumáticamente (Bylund, 1995).

### - Válvulas de asiento

El cuerpo de la válvula tiene un asiento para el tapón de cierre en el extremo del vástago; este puede ser accionado de forma manual o con un actuador neumático. Esta válvula puede servir para cerrar el paso del flujo, también es posible desviar el flujo, pero es necesario utilizar una configuración distinta. Las válvulas de asiento pueden ser de 2 y 3 salidas, tal como se muestra en la Figura 24 (Bardiani, 2016).



**Figura 24: Válvulas de asiento Bardiani**

FUENTE: Bardiani (2016)

### - Válvulas mariposa

Tal como detalla Bardiani (2016), esta válvula cumple la función de apertura y cierre; si se desea obtener una configuración de desvío se debe usar por lo menos 2 válvulas mariposas a lo largo del sistema, suelen usarse en productos de alta viscosidad como yogures. Las válvulas mariposas se muestra en la Figura 25.



**Figura 25: Válvulas mariposa automática**

FUENTE: Bardiani (2016)

Esta válvula está conformada por dos partes iguales, unidas ambas por el medio entre ellas se encuentra un anillo de sello. Cuando la válvula está abierta, la resistencia que ofrece es mínima; sin embargo, cuando la válvula está cerrada, el anillo del medio ayuda a mantener cerrado y asilada la línea.

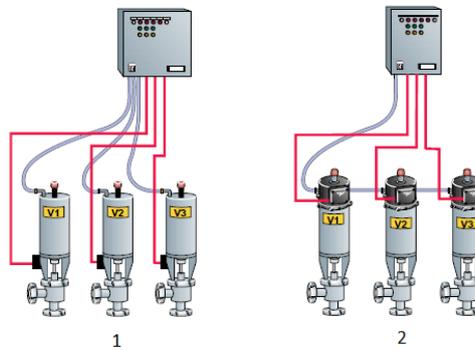
Según Bardiani (2016), las válvulas mariposas pueden ser accionadas de forma manual y de forma automática. Estas poseen distintas funciones, las cuales se aplican dependiendo de la necesidad del proceso:

- Cierre por resorte / apertura por aire
- Cierre por aire / apertura por resorte
- Apertura por aire / cierre por aire

**- Indicación y control de la posición:**

De acuerdo a Bylund (1995), dependiendo del nivel de control con el que se quiera equipar la línea de procesamiento, se puede adaptar a las válvulas distintos dispositivos que faciliten su operatividad. Estos equipamientos suelen ser actuadores e indicadores de posición; el actuador es el dispositivo responsable de generar la apertura o cierre de la válvula; responde de forma neumática, es decir que deberá estar conectado a una red de aire comprimido y dependiendo del paso o no de aire comprimido, se abrirá o cerrará la válvula.

Para que llegue el aire comprimido al actuador es necesario una válvula solenoide que regule el flujo de aire y esta responde a una señal eléctrica. En la Figura 26, se muestra la instalación que debe tener una válvula con actuador.



**Figura 26: Válvulas con actuador**

FUENTE: Bylund (1995)

La primera instalación muestra un panel central que tiene en su interior válvulas solenoides (una para cada actuador); de él salen las mangueras de aire comprimido y cables eléctricos hasta cada actuador, el cable servirá para encender una luz de confirmación de apertura o cierre en cada válvula de asiento.

La segunda instalación muestra un panel central sin solenoides, de este solo sale la manguera de aire comprimido. Las válvulas de asiento en este caso cuentan con un cabezal de control que tiene en su interior solenoides (de ser necesario estos servirán para accionar de forma manual la apertura o cierre de las válvulas); a su vez se aprecia que también llega energía eléctrica que servirá para la confirmación visual con luz de apertura o cierre en cada válvula de asiento.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN**

El presente Trabajo de Suficiencia Profesional se ejecutó en las instalaciones del Consorcio de Productores Lácteos de la ciudad de Huancayo, en el departamento de Junín, Perú.

#### **3.2. MATERIAS PRIMAS, PROGRAMAS Y EQUIPOS**

##### **3.2.1. MATERIA PRIMA**

Leche fresca obtenida en los centros ganaderos de los integrantes del Consorcio de Productores de Lácteos de la ciudad de Huancayo.

##### **3.2.2. PROGRAMAS Y TABLAS DE DIMENSIONAMIENTO, EQUIPOS, MATERIALES, MEDIOS DE CULTIVO Y REACTIVOS**

###### **a. PROGRAMAS DE DISEÑO**

- Software Alfa Laval CAS (*Computer-Aided Selling*)
- AutoCAD
- AutoCAD 3D

###### **b. EQUIPOS**

- Computadora (Yoga, Lenovo, Japón)
- Sistema de recepción de leche fresca
- Tina de recepción de leche con celdas de carga (TQ001, SPA, Perú)
- Bomba centrífuga de recepción (GM-1A, CSF Inox, Italia)

- Intercambiador de calor de placas (CLIP3 – RM, Alfa Laval; Dinamarca)
- Tanque de almacenamiento isotérmico (TQ002, SPA, Perú)
- Sistema de pasteurización:
- Tanque de balanza (TQ003, SPA, Perú)
- Bomba centrífuga del sistema de pasteurización (GM-1A, CSF Inox, Italia)
- Válvula moduladora manual de flujo (BBZM, Bardiani, Italia)
- Intercambiador de calor de placas (M3FG, Alfa Laval, Dinamarca)
- Centrífuga clarificadora de leche fresca, con sistema de estandarización manual integrado (CN 10 T-0-F0, Andritz, Italia)
- Homogenizador 2 etapas (FBF 3011, FBF, Italia)
- Tuberías de retención (TBR001, SPA, Perú)
- Válvulas manuales y de desvío (VVF, Bardiani, Italia)
- Sistema de agua caliente y modulación de vapor (TRVP001, Spirax Sarco, Inglaterra)
- Tuberías, uniones y accesorios (TBR002, SPA, Perú).
- RTD, termómetros analógicos (RTD-850, Abb, Suiza)
- Controladores y tablero de funcionamiento (TBC001, SPA, Perú)
- Tanque de almacenamiento de leche fresca pasteurizada con chaqueta (TQ003, SPA, Perú)
- Sistema de envasado (CB-3B, Tianjin Fly, China)
- Equipos de Laboratorio:
  - Stomacher y bolsas estériles. (STOMACHER 400, Abatec, México)
  - Balanza digital. (MS-TS, Mettler Toledo, España)
  - Agitador Vortex (LV 1000, Lhs, Perú)
  - Estufa de Incubación a  $30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . (LHI, Labtron, China)

**c. MATERIALES Y REACTIVOS**

- Leche fresca
- Pipetas graduadas estériles y/o micropipetas
- Probeta estéril
- Tubos de ensayo estériles
- Mechero

- Diluyente agua peptonada tamponada estéril
- Placas Petrifilm 3M<sup>®</sup>, para recuento de aerobios mesófilos y coliformes

### 3.2.3. MÉTODO DE DISEÑO DE LA LÍNEA PROCESADORA DE LECHE FRESCA PASTEURIZADA

Hay muchos aspectos a considerar cuando se diseña una línea de pasteurización de leche fresca; estas líneas pueden variar y ser muy complejas, lo que impone exigencias importantes sobre la planificación; sin embargo, este trabajo se realizó siguiendo la metodología de lineamiento de procesamiento de la empresa Soluciones en Proyectos de Alimentos (SPA); la misma que se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3: Metodología de diseño de la empresa Soluciones en Proyectos de Alimentos**

| Etapa | Nombre                                  |
|-------|---|
| 1     | Diseño del plano P&ID                   |
| 2     | Dimensionamiento y selección de equipos |
| 3     | Diseño del plano 3D                     |
| 4     | Montaje y Arranque de línea             |
| 5     | Análisis microbiológicos                |
| 6     | Análisis de Grasa y Homogenizado        |
| 7     | Evaluación Sensorial                    |

FUENTE: SPA (2018)

#### a. DISEÑO DE PLANO P&ID

Mediante la elaboración del plano P&ID; conocido como *diagrama de detalles de tuberías e instrumentación*, se buscó visualizar el flujo que seguiría la leche a través de cada uno de los equipos que conforman la línea productiva; en este punto se listaron todos los equipos de procesamiento, instrumentación, válvulas y accesorios críticos que se deberían considerarse para el correcto funcionamiento de la línea productiva.

El diseño del plano P&ID tomó como referencia la Norma ANSI/ISA-5.1 (ANSI/ISA, 2009).

## **b. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS**

Con el detalle de los equipos obtenidos en el plano P&ID, se procedió a dimensionar cada equipo; para esto se consideraron los siguientes puntos:

- La capacidad de la línea productiva a la que trabajarán los equipos.
- La caída de presión que representa cada equipo al sistema.
- Para los equipos de transferencia de calor; se deben conocer los parámetros de temperatura a los que se quieren llegar.
- Para los equipos específicos como separadores centrífugos y de homogenización; se debe considerar, parámetros de presión de entrada, salida y caudal.
- El costo de cada uno de los equipos será el último factor que se tomará en cuenta para la decisión de selección.

El dimensionamiento de los equipos se realizó de acuerdo con el flujo productivo, ya que se deseaba conseguir una correcta integración y una operación continua. La selección de un equipo guarda estrecha relación con la selección de los demás.

## **c. DISEÑO DE PLANO 3D**

Una vez dimensionado cada uno de los equipos, se obtuvieron las medidas técnicas a través del programa de diseño AutoCAD 3D; posteriormente, se cargó cada una de las especificaciones y se realizó la simulación de la línea productiva.

El objetivo del plano P&ID fue corroborar el tamaño necesario para el correcto montaje de la línea productiva, adicionalmente, este sirve para que el equipo de soldado pueda tener una guía para el montaje y posterior arranque de la línea.

## **d. MONTAJE Y ARRANQUE DE LÍNEA PRODUCTIVA**

El montaje de una línea productiva comprende la instalación e interconexión de los equipos que conforman la misma. Basado en el plano 3D, se realizó la instalación y anclaje de cada equipo. Se revisaron los tipos de soldaduras que son necesarios incluir en este montaje y se detallaron las principales recomendaciones para un correcto ensamblado.

Para el arranque y puesta en marcha de la línea productiva, se describieron las principales actividades para el correcto funcionamiento individual de cada equipo, así como las consideraciones que se deben tomar para el correcto funcionamiento integrado.

**e. EVALUACIONES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LA LECHE FRESCA PASTEURIZADA**

Para que el Consorcio de Productores de Junín diera la conformidad de la línea productiva, y se pudiera dar por concluido el trabajo de la empresa contratada, se acordó que la leche procesada pasaría por 03 evaluaciones de calidad.

- **Análisis microbiológicos:** Para este punto, se evaluó la leche fresca pasteurizada teniendo en consideración las especificaciones sanitarias expuestas en la Tabla 4. Con esto se esperaba corroborar el correcto funcionamiento del sistema de pasteurización de placas y el efectivo tratamiento térmico aplicado sobre la leche; se evaluó el comportamiento de la leche en el Día 1 y Día 10 de producción.

**Tabla 4: Evaluaciones microbiológicas para la leche pasteurizada**

| Agente Microbiano  | Unidad | Categoría | Clase | n | c | Limite por ml   |                 |
|--------------------|--------|-----------|-------|---|---|-----------------|-----------------|
|                    |        |           |       |   |   | m               | M               |
| Aerobios mesófilos | UFC/ml | 3         | 3     | 5 | 1 | $2 \times 10^4$ | $5 \times 10^4$ |
| Coliformes         | UFC/ml | 5         | 3     | 5 | 2 | 1               | 10              |

FUENTE: MINAGRI (2017)

- **Análisis de grasa y homogenizado:** En esta etapa se buscó corroborar el correcto funcionamiento de la centrífuga descremadora de línea; la misma se programó para que la leche fresca se logre estandarizar a un contenido graso de 3.2 por ciento, se evaluó el contenido graso inicial y del producto terminado.

Para corroborar el funcionamiento del homogenizador se realizó una evaluación visual de la leche al término de su tiempo de vida útil (10 días); se estimó no encontrar un desfase en el producto terminado.

- **Evaluación sensorial:** Las pruebas sensoriales del tipo discriminativas son las evaluaciones más utilizadas para detectar diferencias significativas entre distintos productos; entre estas, se encuentra las del tipo triangulo, la misma se utiliza cuando se desea evaluar más de un atributo en un determinado producto.

Para corroborar el correcto funcionamiento de la línea productiva se realizó una prueba sensorial con panelistas entrenados de la empresa; donde se evaluó un patrón de leche fresca recién procesada versus la leche con 10 días de procesamiento.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

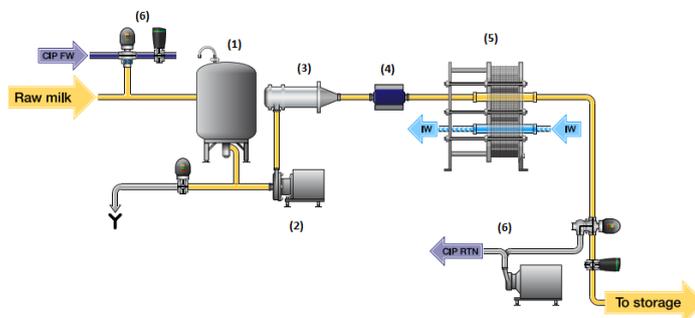
Según Soluciones en Proyectos de Alimentos (SPA), para realizar la integración, diseño y montaje de cualquier línea productiva de alimentos se deberán considerar tres lineamientos, antes de proceder con la propuesta hacia el cliente (SPA, 2018):

- Nivel de automatización que el cliente solicita.
- Tiempo de entrega del proyecto.
- Presupuesto asignado para el proyecto.

### 4.1. ZONA DE RECEPCIÓN DE LECHE FRESCA

Para la zona de recepción de leche fresca, en consideración el presupuesto asignado por el cliente, se asignó un nivel de automatización medio; el mismo contemplaba una integración completa entre todos los equipos, interconectados con tuberías fijas y accionados a través de un tablero de control; sin embargo, no se contempló la instalación de un sistema de limpieza automatizado.

Según SPA (2018), una línea completa de recepción de leche fresca debe considerar los equipos que se mostrados en la Figura 27.



**Figura 27: Zona de recepción de leche fresca automática**

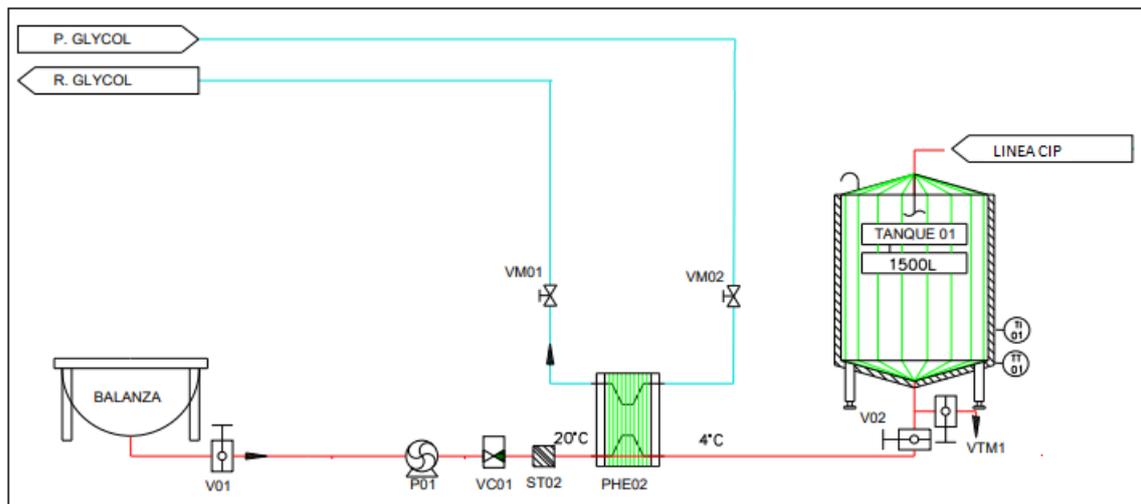
(1) balanza, (2) bomba centrífuga, (3) filtro, (4) flujómetro (5) intercambiador de calor, (6) línea de limpieza CIP.

FUENTE: SPA (2018)

En la figura 27, se muestra una zona de recepción automatizada en donde se necesita que la leche llegue a las instalaciones a una temperatura de 4°C. Para el diseño de este trabajo, se debió incorporar un equipo que permita disminuir la temperatura de 20°C hasta los 4°C; adicional a ello, por falta de presupuesto no se consideró el equipo de medición de flujo, ni el sistema de limpieza automático CIP (*Cleaning in Place*).

#### 4.2. DISEÑO Y PLANO P&ID DE LA ZONA DE RECEPCIÓN DE LECHE FRESCA

El plano P&ID, de la zona de recepción se muestra en la Figura 28, y el detalle de cada uno de los equipos y accesorios que conformaron esta zona se muestran en la Tabla 5. Los equipos que conformaron esta línea fueron necesarios para poder procesar leche fresca que se recibe a 20°C y luego se lleva a 4°C, antes de su pasteurización. Para el detalle de instrumentación se evaluaron equipos analógicos y digitales, ya que se consideran relevantes dentro de un sistema semiautomático. Adicionalmente, se sopesó añadir un equipo de intercambiador de calor dentro del diseño; ya que, de acuerdo a González (s.f.), el intercambiador de calor de placas es el equipo adecuado para generar un intercambio de calor inmediato en un sistema continuo.



**Figura 28: P&ID Zona de recepción de leche fresca**

FUENTE: SPA (2018)

**Tabla 5: Listado de equipos que conforman la zona de recepción de leche fresca**

| Numeración | Codificación | Equipo   |
|------------|--------------|--|
| a          | -            | Balanza  |
| b          | V01          | Válvula mariposa   |
| c          | P01          | Bomba centrífuga   |
| d          | VC01         | Válvula Check  |
| e          | ST02         | Filtro Mellizo   |
| f          | PHE02        | Intercambiador de calor zona de recepción                    |
| g          | V02          | Juego de válvulas mariposas (Entrada de tanque de recepción) |
| h          | -            | Tanque 01 - Zona de Recepción de Leche Fresca                |
| i          | TI01         | Sensor RTD   |
|            | TT01         | Termómetro analógico   |
| i          | VM01         | Válvula mariposa flujo de entrada de Glycol                  |
| j          | VM02         | Válvula mariposa flujo de salida de Glycol                   |

FUENTE: SPA (2018)

#### 4.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En el primer paso de este proceso, la leche fresca llegaría a la fábrica en recipientes de leche de 20 kg; a medida que llegaran serían depositados en la balanza; la misma que poseía una capacidad de carga de 300 kg; una vez que la leche sea pesada, sería enviada a la tina intermedia.

Para el segundo paso; la leche sería impulsada desde la tina intermedia por la bomba centrífuga P01, a través del sistema de filtros mellizos ST02, en donde se separarían las partículas de gran tamaño de la leche.

Para el tercer paso, una vez que la leche fuera filtrada, seguiría avanzando por la tubería hasta llegar al intercambiador de calor PHE02, en donde se daría el intercambio de calor entre leche fresca y el agua con glycol; la leche bajaría su temperatura desde los 20°C hasta una temperatura de 4°C.

El último paso, consistía en enviar la leche fresca fría, hasta el tanque de almacenamiento isotérmico; en donde sería acopiada hasta que se haya enfriado todo lo recepcionado.

#### 4.3. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS DE LA ZONA DE RECEPCIÓN DE LECHE FRESCA

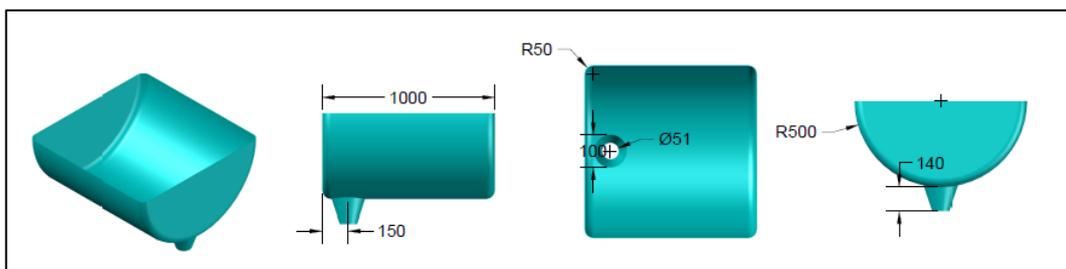
Según SPA (2018), para el dimensionamiento de equipos en un sistema continuo se deberá determinar que equipos generan resistencia al paso del fluido que se desea procesar, este valor debe ser expresado como caída de presión; al final la sumatoria de estos valores facilitará la determinación de la caída de presión total del sistema; valor fundamental para la selección de la bomba centrífuga que impulsará el sistema.

Para la selección de los equipos que conformaron la línea productiva se consideró que la velocidad máxima a la que se puede desplazar la leche al interior de una tubería es de 1.8 m/s (SPA, 2018); este valor guarda relación directa con el diámetro de tubería con el que se trabajó y con el resto de los equipos que participaron en la producción de la leche.

##### a. BALANZA

La balanza fue elaborada conforme al diseño de Soluciones de Alimentos (SPA, 2018), la que constó de dos partes:

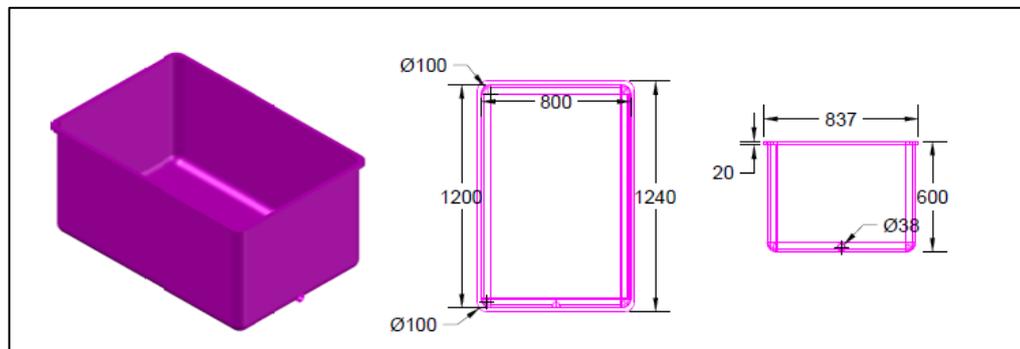
La parte superior fue de forma semi cilíndrica, elaborada a partir de acero de inoxidable 316; totalmente sanitaria, con soldaduras pulidas; en su base contó con celdas de carga que servirían para conseguir el correcto pesaje de la leche; se contempló que la capacidad máxima de carga sea fuera 300 kg. La Figura 29 muestra su diseño.



**Figura 29: Balanza de zona de recepción**

FUENTE: SPA (2018)

La segunda parte constó de una tina en donde caería la leche, para posteriormente ser enviada al proceso; las dimensiones de esta tina intermedia se presentan en la Figura 30.



**Figura 30: Tina de almacenaje intermedio**

FUENTE: SPA (2018)

Según Ramírez (2014), el diseño de la tina de pesaje debe considerar el volumen total que se desea procesar en cada lote, la misma debe ser sanitaria, con esquinas redondeadas con la finalidad de evitar puntos muertos de limpieza, así mismo, se debe considerar que la altura en el diseño permita un correcto trabajo y manipulación por parte de los operarios.

## **b. FILTROS MELLIZOS**

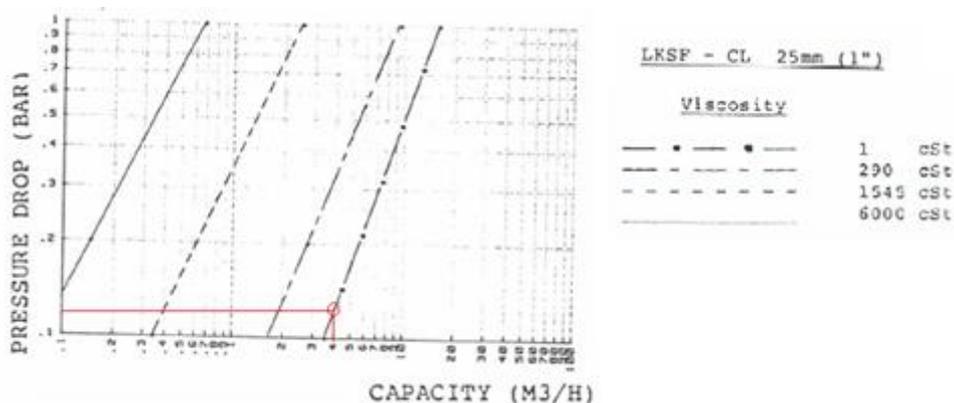
Para la selección de filtros mellizos (Figura 31), se tuvieron en consideración los siguientes puntos:



**Figura 31: Filtros mellizos Alfa Laval**

FUENTE: SPA (2018)

- **Producto con el que se trabajará (Viscosidad):** Según Bylund (1995), el producto que con el que se trabajará será leche fresca, la misma que presenta una viscosidad entre 1.7 a 2 centipoises. Para dimensionamiento de los filtros es importante considerar el valor de la velocidad cinemática, expresada en centistoke. Para la selección de este equipo se asumió la recomendación del fabricante y trabajó con un valor de 1 cSt para el valor de la leche; este dato es fundamental para poder calcular la caída de presión en las curvas del equipo.
- **Malla o luz de malla adecuada para el procesamiento:** De acuerdo con Alfa Laval (1990), para la operación de filtrado de leche fresca, se debe considerar una malla entre los 150 - 200 micras; esto asegura el correcto filtrado de partículas como pelos, excremento y residuos de gran tamaño que pueden estar mezclados con la leche durante la operación del ordeño; para el dimensionamiento de los filtros de acero inoxidable se debe considerar ingresar a las tablas de caídas de presión; considerando este valor se procederá ingresar a las tablas de caída de presión del fabricante, para la selección correcta del equipo.
- **Diámetro de tubería con la que se trabajará:** Para calcular el diámetro de tubería que tendrá el filtro, es importante considerar la relación entre el caudal de la leche y el tamaño de la malla, basándose siempre en las curvas de caída de presión del fabricante de filtro (Anexo 1). Se debe escoger el filtro que presente menor caída de presión, menor caudal para una malla de que se encuentre entre 150 - 200 micras (SPA, 2018). En la Figura 32 se muestra la curva que tiene el mejor comportamiento.



**Figura 32: Curvas de caída de presión filtros LKSF**

FUENTE: Alfa Laval (1990)

De la Figura 32; se puede mencionar que el mejor comportamiento se obtiene cuando se trabaja con un filtro de 177 micras, a un flujo de 4 m<sup>3</sup>/h. En una tubería de 1 mm (1"); es importante evaluar a qué velocidad ira la leche al interior de la tubería, recordando que no debe superar la velocidad de 1.8 m/s.

Utilizando el programa de determinación de flujo presión de Tetra Pak, en la Figura 33 se muestra la velocidad que tendrá la leche en una tubería de 25 mm (1") a un flujo de 4 m<sup>3</sup>/h. Se determinó que la velocidad al interior de la tubería sería de 2.8 m/s; velocidad a la que no se puede procesar la leche fresca.

| <b>Tetra Pak</b>  |          |       |  |
|---|----------|-------|--|
| <b>Pressure Drop calculation - Piping Sanitary Equipment - ISO/SMS - Metric</b> |          |       |  |
| Project Name  | Ms Dairy |       |  |
| Customer  | MD Food  |       |  |
| Location  | DK       |       |  |
| Project Number  | 321-654  |       |  |
| Drawing No.   |          |       |  |
| Circuit   |          |       |  |
| Fluid   |          |       |  |
| Notes   |          |       |  |
| Flow  | 4        | m3/h  |  |
| Nom. Pipe Size  | 25       | mm    |  |
| Temperature   | 20       | °C    |  |
| Viscosity   | 1        | cSt   |  |
| Density   | 1050     | kg/m3 |  |
| Reynolds No, pipe   | 62876    | -     |  |
| Fluid Speed, pipe   | 2.8      | m/s   |  |

**Figura 33: Cálculo de la velocidad de un flujo de 4 m<sup>3</sup>/h en tubería de 25 mm**

FUENTE: Alfa Laval (1990)

En el Figura 34 se muestra un nuevo cálculo considerando una tubería de 38 mm o 1.5" y flujo similar de 4 m<sup>3</sup>/h; con estos parámetros se obtuvo que la leche en el interior de la tubería iría a una velocidad de 1.1 m/s; con lo que la leche no sufrirá daño con su desplazamiento al interior de la tubería.

| Tetra Pak   |          |                   |
|---|----------|-------------------|
| Pressure Drop calculation - Piping<br>Sanitary Equipment - ISO/SMS - Metric |          |                   |
| Project Name  | Ms Dairy |                   |
| Customer  | MD Food  |                   |
| Location  | DK       |                   |
| Project Number  | 321-654  |                   |
| Drawing No.   |          |                   |
| Circuit   |          |                   |
| Fluid   |          |                   |
| Notes   |          |                   |
| Flow  | 4        | m <sup>3</sup> /h |
| Nom. Pipe Size  | 38       | mm                |
| Temperature   | 20       | °C                |
| Viscosity   | 1        | cSt               |
| Density   | 1050     | kg/m <sup>3</sup> |
| Reynolds No, pipe   | 39851    | -                 |
| Fluid Speed, pipe   | 1.1      | m/s               |

**Figura 34: Cálculo de la velocidad de un flujo de 4 m<sup>3</sup>/h en tubería de 38 mm**

FUENTE: Alfa Laval (1990)

El filtro mellizo para esta línea de procesamiento sería de 25 mm; sin embargo, la tubería de procesamiento para esta zona de recepción será de 38 mm, por lo que antes del ingreso al filtro se deberá utilizar una reducción de tubería para poder realizar una correcta instalación. La caída de presión que se debió considerar para este filtro fue de 0.13 bar.

### c. INTERCAMBIADOR DE CALOR – 1 ETAPA

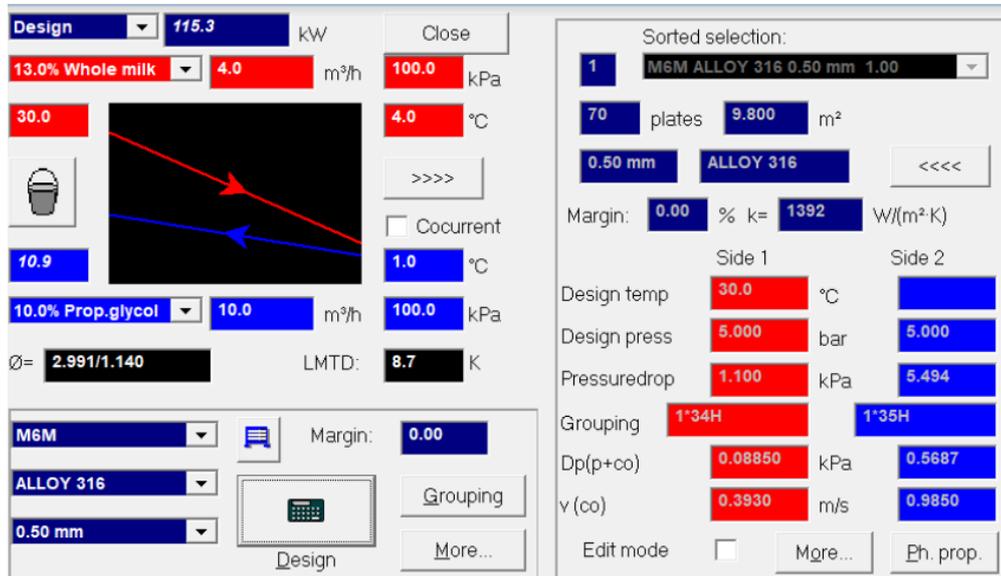
Según Soluciones en Proyecto de Alimentos (SPA, 2018), para el correcto dimensionamiento del intercambiador de calor se deben considerar los parámetros mostrados en la Tabla 6.

**Tabla 6: Parámetros para considerar para dimensionar un intercambiador de calor de placas**

| Patrón                             | Valor         | Unidad            |
|------------------------------------|---------------|-------------------|
| Temperatura de entrada de la Leche | 30            | °C                |
| Temperatura de salida de la leche  | 4             | °C                |
| Caudal de trabajo                  | 4             | m <sup>3</sup> /h |
| Producto por enfriar               | Leche         |                   |
| Banco de Frio                      | Agua + Glicol |                   |
| Temperatura de entrada del Chiller | 1             | °C                |

FUENTE: SPA (2018)

Utilizando el programa de diseño y configuración CAS de Alfa Laval, se introdujeron los valores reportados en la Tabla 6, lo que sirvió para poder seleccionar un intercambiador de calor que cumpliera con los requisitos del proceso; los resultados se muestran en la Figura 35.



**Figura 35: Configuración del intercambiador de calor zona de recepción**

FUENTE: SPA (2018)

El equipo seleccionado fue un intercambiador de calor del tipo M6M, con una configuración interna de 70 placas; donde el flujo de agua + glicol que se necesita enviar al intercambiador de calor era de 10 m³/h; y la caída de presión a obtenerse del paso de la leche en este sistema era de 1.1 kPa = 0.011 bar.

Según Varona *et al.* (2007), un intercambiador de calor que presente baja caída de presión y un flujo elevado, es ideal debido a que será necesario una bomba de menor capacidad para impulsar todo el sistema. En los cálculos de selección, se escogió un equipo con caída de presión de 0.22 a 1.3 bar; ya que para el diseño se dimensionó un equipo con una caída de presión de 0.011 bar, lo que aseguraría un correcto espaciamiento entre placas y una bomba de capacidad moderada.

#### d. TANQUE DE RECEPCIÓN DE LECHE FRESCA

Para SPA (2018), para el diseño de un tanque de recepción de leche fresca debe considerar los siguientes parámetros y equipos de instrumentación:

- Material de diseño; Acero inoxidable 316L
- Capacidad de almacenaje 1500 litros
- Agitador
- Sistema de aislamiento térmico (chaqueta con aislante)
- Sensor RTD, termómetro analógico
- Válvula de muestreo
- Válvula de seguridad - purga de aire
- Sensor de nivel

El diseño y configuración del tanque guarda relación directa con el espacio en la zona de trabajo, la instalación de implementos y accesorios adicionales para la operación desentenderá exclusivamente del presupuesto asignado por el cliente (SPA, 2018). Por ello, Para este proyecto, todos los componentes antes descritos fueron considerados.

Según Bylund (1995), uno de los factores más importantes es determinar el tamaño del tanque, esto permitirá determinar la caída de presión que debe superar la bomba centrífuga del sistema. El tamaño del tanque se muestra en la Figura 36.



**Figura 36: Tanque de almacenamiento zona de recepción**

FUENTE: SPA (2018)

En la Figura 36, se puede apreciar que la altura del tanque era de 2 metros, eso quiere decir que la caída de presión que se debía superar para este punto fue de 0.2 bar.

### e. TUBERÍAS, VÁLVULAS Y ACCESORIOS

Para calcular la caída de presión que genera las tuberías, válvulas y accesorios se ingresaron las cantidades contempladas en el diseño trabajado, para este fin se consideraron los datos expuestos en la Figura 37.

| Notes                   |       |                   |
|-------------------------|-------|-------------------|
| Flow                    | 4     | m <sup>3</sup> /h |
| Nom. Pipe Size          | 38    | mm                |
| Temperature             | 20    | °C                |
| Viscosity               | 1     | cSt               |
| Density                 | 1050  | kg/m <sup>3</sup> |
| Reynolds No, pipe       | 39851 | -                 |
| Fluid Speed, pipe       | 1.1   | m/s               |
| FITTINGS                |       | Quant. kPa        |
| Str. Pipe Length, m     | 10    | 4.83              |
| Tank Outlet             |       |                   |
| 90° Bend                | 10    | 2.18              |
| 45° Bend                |       |                   |
| Tee (Side outlet)       |       |                   |
| Tee (Side inlet)        |       |                   |
| SRC 21 (Out High)       |       |                   |
| SRC 21 (Out Low)        |       |                   |
| SRC 20 (Out Low)        |       |                   |
| SRC 20 ( In Low)        |       |                   |
| LKB Butterfly valve     | 4     | 1.55              |
| SMP Lo/Hi or Hi/Lo      |       |                   |
| SMP Lo/Lo or Hi/Hi      |       |                   |
| LKC 2 Check Valve       |       |                   |
| Sharp edge Pipe reducer | 1     | 0.17              |
| LKVF Strainer 2 mm      |       |                   |

**Figura 37: Caída de presión de tuberías y accesorios**

FUENTE: SPA (2018)

El resultado expresó que la caída de presión para estos componentes era de 8 kPa; equivalentes a 0.08 bar.

### f. BOMBA CENTRÍFUGA

Para el cálculo de la bomba centrífuga fue necesario determinar la caída de presión de todo el sistema y el caudal del medio. En la Tabla 7 se muestra la caída de presión de toda la zona de recepción.

**Tabla 7: Caída de presión de todos los componentes en la zona de recepción**

| <b>Equipo</b>                             | <b>bar</b>  |
|---|-------------|
| Filtro Mellizo                            | 0.15        |
| Intercambiador de calor zona de recepción | 0.01        |
| Tanque (2 m)                              | 0.50        |
| Tuberías, válvulas y accesorios           | 0.08        |
| <b>TOTAL</b>                              | <b>0.74</b> |

FUENTE: SPA (2018)

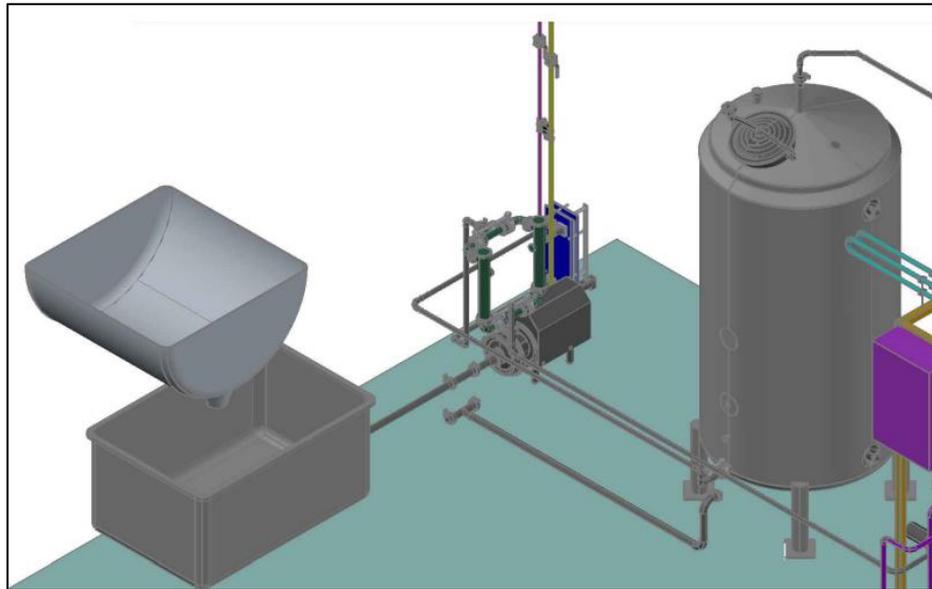
A partir de la Tabla 7, se determinó que la bomba requerida para la zona de recepción debía poder superar una presión de 0.741 bar y un caudal 4 m<sup>3</sup>/h. Con estas características se procedió a entrar al programa de diseño y seleccionar de bombas de Alfa Laval. La Bomba PUMP GM-2/104 0.6 kW 60 HZ termina siendo la bomba que calzó mejor con los parámetros del proceso. Las curvas de eficiencia de esta se muestran en el Anexo 2.

Para el cálculo del flujo del CIP, es importante que la velocidad promedio del líquido de limpieza se encuentre en el rango de 1.5 – 2.5 m/s en todo el sistema y que la presión de limpieza sea mayor que la caída de total del sistema Según Bylund (1995). De esta curva de la bomba centrífuga, se concluyó que a un flujo de 4 m<sup>3</sup>/h, la bomba podría entregar al sistema una presión de 13 metros de agua (1.3 bar), presión suficiente para generar un correcto funcionamiento del sistema; además, poder conseguir un correcto flujo de limpieza CIP para estos componentes.

#### **4.4. PLANO 3D DE LA ZONA DE RECEPCIÓN DE LECHE FRESCA**

Una vez concluida la selección de equipos, el siguiente paso fue solicitar las fichas técnicas y planos mecánicos de cada uno de los componentes; una vez que se contó con esta información se procedió a realizar el posicionamiento de todos los equipos; lo cual serviría para que el proceso de interconexión y soldado se pueda realizar de la mejor manera.

En la Figura 38, se muestra los planos 3D y distribución de los equipos que conformaron la zona de recepción de leche fresca; todos se encuentran a escala real de trabajo y montaje.



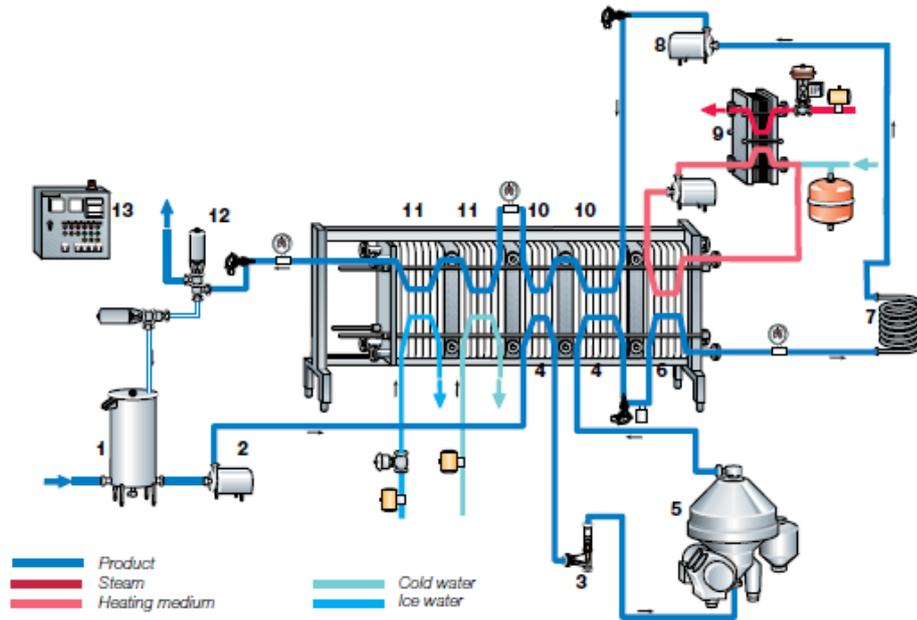
**Figura 38: Plano 3D de la zona de recepción**

FUENTE: SPA (2018)

De acuerdo a SPA (2018), los planos 3D terminan siendo una parte fundamental del proceso de montaje y ensamblaje de la línea, debido a que son los planos utilizados por los soldadores, y ayudan a cuantificar la cantidad de tubería de acero inoxidable que se debe adquirir para la interconexión.

#### **4.5. ZONA DE PASTEURIZACIÓN DE LECHE FRESCA**

El diseño de una línea de pasteurización de leche fresca automática debe considerar los equipos que se muestran en la Figura 39, siempre que se cuenten con los recursos para esta implementación (SPA, 2018). En caso no se cuente con el presupuesto, el sistema puede soportar ligeras modificaciones. En este proyecto, se consideró un nivel de automatización menor, en donde se cambió el controlador de flujo digital por uno manual, se incorporó a la línea de trabajo un homogenizador, no se consideró la bomba de refuerzo y se modificó la válvula de desvío colocando la misma a la salida de la tubería de retención.



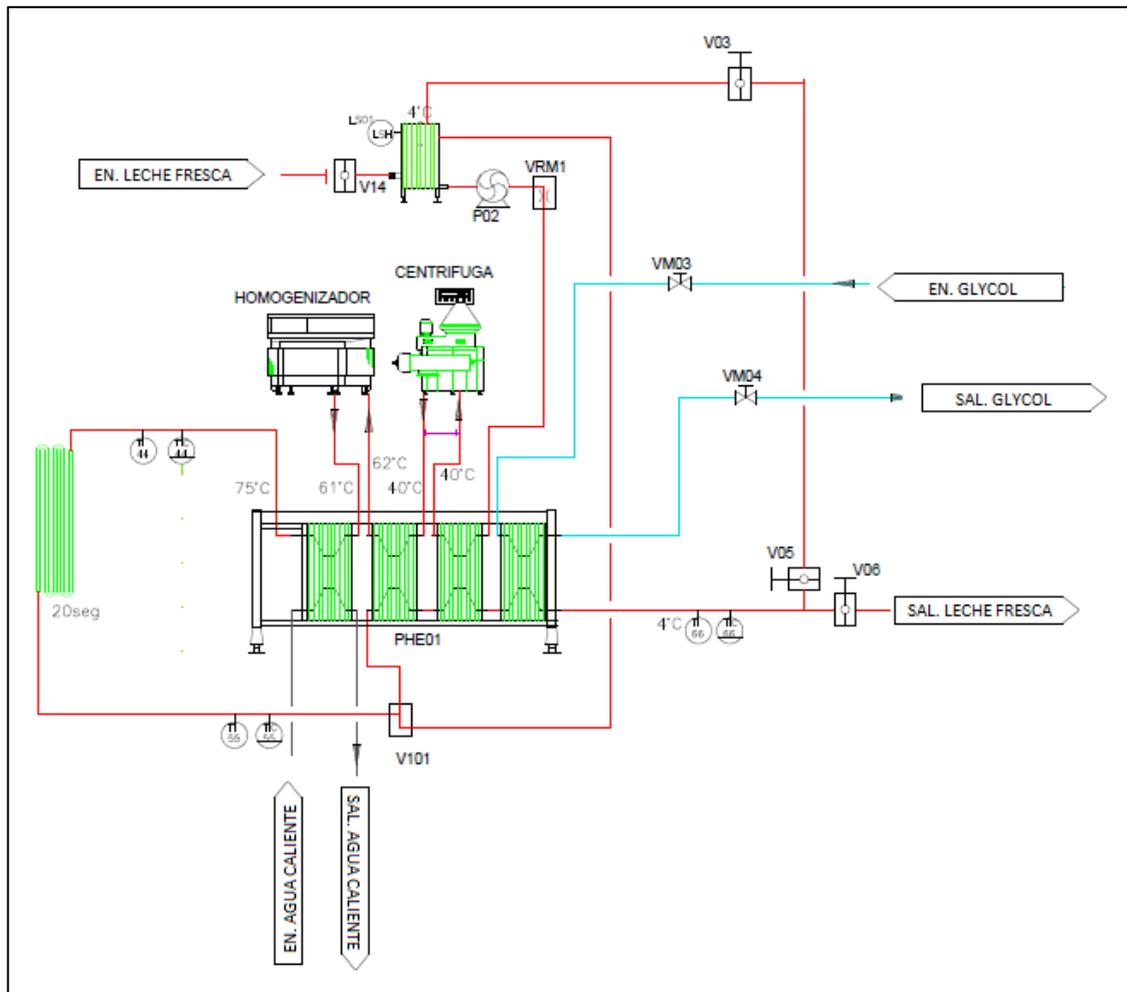
**Figura 39: Sistema automático de pasteurización de leche fresca**

(1) Tanque de Balanza, (2) Bomba de alimentación, (3) Control de Flujo, (4) Zona de regeneración, (5) Separador Centrífugo, (6) Zona de Calentamiento, (7) Tubería de retención, (8) Bomba de refuerzo, (9) Sistema de Agua Caliente, (10) Zona de regeneración, (11) Zona de Enfriamiento, (12) Salida del Sistema Zona de desvío.

FUENTE: SPA (2018)

#### 4.5.1. DISEÑO Y PLANO P&ID DE LA ZONA DE PASTEURIZACIÓN DE LA ZONA DE LECHE FRESCA

En la Figura 40, se muestra el P&ID, de la zona de pasteurización de leche fresca; la cual empezaba en el tanque de recepción que almacena la leche a 4°C. En la Tabla 8, se muestra el detalle de cada uno de los componentes que conformaron la línea de pasteurización de leche fresca.



**Figura 40: P&ID Zona de pasteurización de leche fresca**

FUENTE: SPA (2018)

**Tabla 8: Listado de equipos que conforman la zona de pasteurización de leche fresca**

| Numeración | Codificación | Equipo                           |
|------------|--------------|----------------------------------|
| a          | V14          | Válvula Mariposa Neumática       |
| b          | LSH          | Sensor de Nivel                  |
| c          | -            | Tanque de Balanza                |
| d          | P02          | Bomba Centrífuga                 |
| e          | VRM1         | Válvula reguladora de flujo      |
| f          | PHE01        | Intercambiador de calor 4 etapas |
| g          | -            | Centrífuga                       |
| h          | -            | Homogenizador                    |

«continuación»

|   |       |  |
|---|-------|--|
| i | TIC44 | Termómetro analógico entrada Holding           |
| j | TI44  | Sensor RTD, entrada Holding                    |
| k | TI55  | Sensor RTD, salida Holding                     |
| l | TIC55 | Termómetro analógico salida Holding            |
| m | V101  | Válvula de asiento (Desvió)                    |
| n | TI66  | Sensor RTD, salida de pasteurización           |
| o | TIC66 | Termómetro analógico, salida de pasteurización |
| p | VM03  | Válvula mariposa, entrada de Glycol.           |
| q | VM04  | Válvula mariposa, salida de Glycol.            |

---

FUENTE: SPA (2018)

#### a. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La leche se encuentra almacenada en tanque de recepción, para iniciar el proceso se deben conectar las tuberías para que la leche pueda llegar al tanque de balanza. Conectado el sistema, se da inicio al proceso; en la primera etapa el sensor de nivel LSH, no detectará la presencia de leche en el tanque de balanza, por lo que activará la bomba P01, se abrirá la válvula mariposa V14 y se empezará a cargar de leche hasta que detecte presencia de en su interior; en ese momento se apaga y cierra las válvulas y bombas activadas.

Con el tanque de balanza lleno, se activará la bomba P02, enviando la leche a 4°C a través de intercambiador de calor de 4 etapas; en la primera etapa la leche se precalentará hasta llegar a 40°C para que pueda pasar por el separador centrífugo; en donde se realizará la limpieza de la leche y la estandarización del nivel de grasa. La leche que sale del separador centrífugo, volverá a entrar al intercambiador de calor, en donde se seguirá calentando hasta llegar a los 60°C; temperatura correcta para que se pueda dar el proceso de homogenizado; a la salida, la leche volverá a entrar por tercera vez al intercambiador de calor, se calentará hasta la temperatura de pasteurización e ingresará al holding o tubería de retención a una temperatura de 75°C por un tiempo de 20 segundos; a la salida del *holding*, la temperatura debe mantenerse constante; el sensor RTD TI55, detectará la temperatura a la salida del *holding*, la misma debe ser igual a 75°C en caso la temperatura sea menor, se activará la

válvula V101 y regresará al tanque de balanza; en caso la temperatura se mantenga en 75°C volverá a ingresar al intercambiador de calor en donde se enfriará hasta llegar a los 4°C y será enviada al tanque de almacenamiento de leche fresca pasteurizada.

#### 4.5.2. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS DE LA ZONA DE PASTEURIZACIÓN DE LA ZONA DE LECHE FRESCA

De acuerdo a SPA (2018), para realizar el correcto dimensionamiento y selección de equipos que conforman la unidad de pasteurización se debe considerar que la línea deberá asegurar que la leche vaya a una velocidad menor a 1.8 m/s. De acuerdo con el requerimiento del cliente, la línea debía tener un flujo de 1000 l/h; con este fin se evaluó diámetro de tubería a utilizar, en la Figura 41 se muestra los cálculos realizados para una tubería de 1” y el flujo solicitado por el cliente.

| <b>Tetra Pak</b>  |          |                   |
|---|----------|-------------------|
| <b>Pressure Drop calculation - Piping<br/>Sanitary Equipment - ISO/SMS - Metric</b> |          |                   |
| Project Name  | Ms Dairy |                   |
| Customer  | MD Food  |                   |
| Location  | DK       |                   |
| Project Number  | 321-654  |                   |
| Drawing No.   |          |                   |
| Circuit   |          |                   |
| Fluid   |          |                   |
| Notes   |          |                   |
| Flow  | 1        | m <sup>3</sup> /h |
| Nom. Pipe Size  | 25       | mm                |
| Temperature   | 4        | °C                |
| Viscosity   | 1        | cSt               |
| Density   | 1050     | kg/m <sup>3</sup> |
| Reynolds No, pipe   | 15719    | -                 |
| Fluid Speed, pipe   | 0.7      | m/s               |

**Figura 41: Cálculo de la velocidad de un flujo de 1 m<sup>3</sup>/h en tubería de 25 mm**

FUENTE: SPA (2018)

De la Figura 41, se obtuvo que la velocidad al interior de la tubería sería de 0.7 m/s, por lo que la tubería de 1” será ideal para la construcción del pasteurizador.

### **a. VÁLVULA MARIPOSA NEUMÁTICA**

Según Bardiani (2016), las válvulas mariposas con actuadores neumáticos, son ideales para controlar procesos de apertura y cerrado de flujos en un sistema; su sistema de funcionamiento se basa en el aire comprimido; al recibir cierta presión de aire en su sistema se puede conseguir la apertura de esta.

Para el sistema de pasteurización se utilizó material 316 (acero inoxidable) y empaquetaduras EPDM de la marca Bardiani; para su correcto funcionamiento se aseguró que el aire comprimido llegara a la válvula con una presión de entre 6 a 8 bar; siendo el tamaño de esta de 1” , dicha válvula se muestra en la Figura 42.

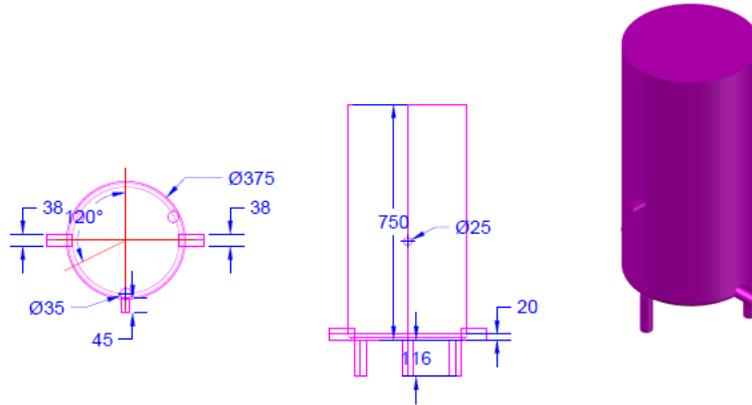


**Figura 42: Válvula mariposa neumática**

FUENTE: Bardiani (2016)

### **b. TANQUE BALANZA**

Según Ramírez (2014), el tanque de balanza es necesario para que se pueda dar el correcto funcionamiento del sistema de pasteurización la idea de este tanque es que se pueda contar con un abastecimiento continuo de leche, a una presión controlada y que se pueda mantener un sistema cerrado. En la Figura 43, se muestra los planos del tanque de balanza del pasteurizador diseñado por la empresa Soluciones en Proyectos de Alimentos.



**Figura 43: Dimensiones del tanque de balanza del pasteurizador**

FUENTE: SPA (2018)

El tanque fue equipado con el sensor de nivel de LSH de la marca Alfa Laval (Figura 44), el cual comanda el accionamiento de la bomba P01 y la apertura de la válvula V14. Este fue elaborado a partir de acero inoxidable 316 y cumple la función de enviar una señal eléctrica al panel de control para generar respuestas. En el Anexo 3, se muestran las especificaciones técnicas del componente.



**Figura 44: Sensor de nivel Alfa Laval**

FUENTE: SPA (2018)

### c. **INTERCAMBIADOR DE CALOR DE 4 ETAPAS**

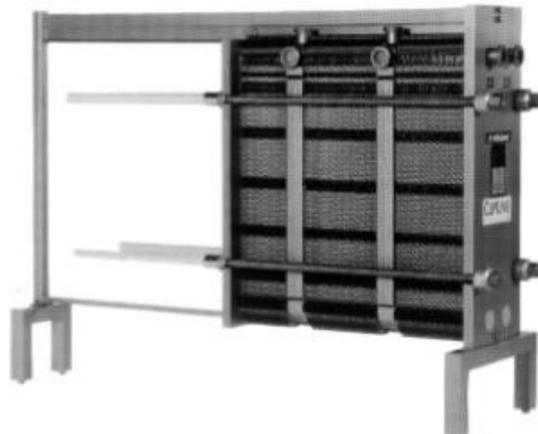
Según Soluciones en Proyectos de Alimentos (SPA, 2018), el diseño del intercambiador de calor se debe realizar para cada una de las etapas o zonas que se requieran; para el cálculo de cada una de ellas, se debe considerar las temperaturas que se desean obtener para la leche; el flujo al que ingresará la leche, como resultado se obtuvo que el flujo del fluido de servicio que pasaría a contracorriente.

Para este trabajo, los cálculos para el dimensionamiento fueron realizados en el programa de configuración CAS, las variables ingresadas se muestran en la Tabla 9; luego de la configuración, el programa arrojó que el equipo que cumplía los requerimientos de proceso fue el intercambiador de placas de Alfa Laval M3FG, el equipo que cuenta con 4 etapas que generan distinto cambio energético (Figura 45).

**Tabla 9: Configuración del intercambiador de calor de 4 Etapas**

| Etapa | Área                 | Flujo (kg/s) | Fluido           | Temperatura (°C) | Dp kPa |
|-------|----------------------|--------------|------------------|------------------|--------|
| 1     | 0.87 m <sup>2</sup>  | 0.28         | 13% Leche Entera | 62 -> 75         | 7.5    |
|       |                      | 0.54         | Agua Caliente    | 70 <- 76         | 27     |
| 2     | 1.16 m <sup>2</sup>  | 0.28         | 13% Leche Entera | 35 -> 62         | 4      |
|       |                      | 0.28         | 13% Leche Entera | 45 <- 75         | 4.8    |
| 3     | 1.74 m <sup>2</sup>  | 0.28         | 13% Leche Entera | 4 -> 35          | 2.3    |
|       |                      | 0.28         | 13% Leche Entera | 15 <- 45         | 2.4    |
| 4     | 1.392 m <sup>2</sup> | 0.33         | Agua Helada      | 2 -> 10          | 32.3   |
|       |                      | 0.28         | 13% Leche Entera | 4 <- 15          | 28     |

FUENTE: SPA (2018)



**Figura 45: Intercambiador de calor de 4 etapas Alfa Laval M3FG**

FUENTE: SPA (2018)

- **Primera etapa (Sección 3):** En esta etapa se da un calentamiento de la leche fresca desde los 4°C hasta los 34.7°C; la caída de presión en esta sección es de 2.291 kPa que viene a ser 0.03 bar. La leche necesita este precalentamiento poder ser clarificada y estandarizada en el separador centrífugo.

- **Segunda etapa (Sección 2):** En esta etapa se da el segundo calentamiento de la leche llevando la misma desde los 35°C; hasta los 63.6°C; la caída de presión en esta sección es de 4.204 kPa (0.04 bar). La leche necesita llegar a esta temperatura para poder ser homogenizada.
- **Tercera etapa (Sección 1):** En esta etapa se da el calentamiento final llevando la leche, hasta una temperatura de 75° C temperatura necesaria para conseguir el efecto de pasteurización de esta, una vez que le leche llega a esta temperatura es enviada al holding o tubería de retención. La caída de presión de esta sección es de 7.439 kPa, equivalente a 0.07 bar. La leche al salir del *holding* regresará al intercambiador de calor por la sección 2 y 3, y se confrontará en flujo contra corriente contra la leche que recién ingresa al equipo
- **Cuarta etapa (Sección 4):** En este punto la leche se enfría desde los 15°C hasta llegar a los 4° C (temperatura de almacenaje).

#### d. SEPARADOR CENTRÍFUGO

El proceso de separación de grasa y posterior estandarización se da a través de un separador centrífugo, para esta línea productiva el separador centrífugo debe cumplir con las siguientes características (SPA, 2018):

- Capacidad de Flujo para obtener leche descremada 1000 litros/hora.
- Juego de válvulas para descremado total y posterior estandarizado de la leche.
- Conexiones a tubería de 25 mm o 1”.
- 220 V; 60 Hz.

Dentro del portafolio de proveedores con que contaba la empresa Soluciones en Proyectos de Alimentos, solo existía una empresa capaz de cubrir los requerimientos de flujo y nivel de desnatado; esta empresa fue Andritz Separation; dentro de su catálogo de productos el único que calzaba para la operación a este flujo y con la capacidad de poder obtener una estandarización correcta era el modelo CN 10 T-0-F-0 (Figura 46).



**Figura 46: Separador Centrífugo Andritz**

FUENTE: SPA (2018)

Para el correcto funcionamiento de la centrífuga fue importante considerar la presión de alimentación que necesitaba el equipo, estos datos se reportan en la Tabla 10.

**Tabla 10: Especificación técnica separador centrífugo Andritz**

| Parámetro                 | Rango       |
|---------------------------|-------------|
| Presión de alimentación   | 1 - 1.5 bar |
| Presión de descarga       | 2.5 - 3 bar |
| Potencia                  | 1.8 kW      |
| Potencia sistema auxiliar | 0.2 kW      |

FUENTE: SPA (2018)

Como se puede apreciar en la Tabla 10; el equipo necesitaba una presión de alimentación entre 1 - 1.5 bar para que pueda trabajar de forma correcta; así mismo otorga a la salida del equipo un incremento en la presión del sistema de 1 a 1.5 bar. En la Tabla 10, se muestran también los requerimientos de potencia eléctrica que son necesarios suministrar al equipo.

El equipo tendría la capacidad de separar y estandarizar de forma continua la grasa de la leche; esto vendría configurado de fábrica; y siempre que el equipo trabaje a presiones constantes, se podrá configurar que cantidad de grasa se vuelve incorporar al medio.

## e. **HOMOGENIZADOR**

Para SPA (2018), es importante considerar las siguientes características antes de seleccionar el homogenizador:

- Capacidad del sistema 1000 litros/hora (capacidad fija de procesamiento)
- Dos etapas de homogenización 200 y 50 bar
- 220 V, 60 Hz

Teniendo en consideración estos parámetros se buscó distintas opciones de mercado, encontrándose dos opción, una de la empresa GEA y otra de la empresa FBF; por un tema de presupuesto se decidió trabajar con la opción más económica y se seleccionó la alternativa de la empresa FBF. El Modelo seleccionado fue la Serie Buffalo tipo FBF3011, sus principales características técnicas se muestran en la Tabla 11.

**Tabla 11: Especificación técnica del homogenizador FBF**

| Parámetro                               | Valor                   |
|---|-------------------------|
| Adecuado para procesar                  | Leche Entera            |
| Viscosidad                              | <500 cPs                |
| Temperatura máxima de tratamiento       | < 90°C                  |
| Dim. Máx. de las partículas de producto | 500 micron              |
| Capacidad                               | Fija 1000 l/h           |
| Tipo de Homogenizado                    | Doble estadio           |
| Presión 1 estadio                       | Ajustable hasta 200 bar |
| Presión 2 estadio                       | Ajustable hasta 50 bar  |
| Presión de Homogenización Total         | 200 bar                 |
| Contrapresión                           | Hasta 10 bar            |
| Presión de alimentación                 | Min 2.5 bar             |
| Motor Principal                         | 11 kW, 4 polos, IP55    |
| Voltaje y frecuencia                    | 220 Vac, 60 Hz, 3 Ph    |
| Circuitos Auxiliares                    | 24 V. 50 Hz             |

FUENTE: SPA (2018)

De la información presentada destacó que al equipo tiene que entrar una presión mínima de 2.5 bar; ya que la presión de salida del equipo llega hasta los 10 bar; sin embargo, se estuvo

considerando colocar una válvula de contrapresión que permita regular la presión de salida del homogenizador a 5 bar.

**f. HOLDING (TUBERÍA DE RETENCIÓN)**

Bylund (1995) lo definen como indispensable para asegurar que el tratamiento térmico se efectuó, la idea es que la leche pueda fluir a través de un tramo de tubería por un tiempo determinado; por esto es necesario calcular el tamaño de esta tubería de retención. Para este fin se utilizó un programa de diseño de la empresa Tetra Pak (Figura 47).

**Tetra Pak Ltd**

**Holding Cell Calculation**

|                |             |       |                            |                |
|----------------|-------------|-------|----------------------------|----------------|
| Description    | Description | Close | Revision date              | 2001-11-01     |
| Project Name   | Project     | Help  | Original date of issue     | 1997-07-08     |
| Customer       | Customer    | Color | Document type - Item no.   | 9061-999-99-99 |
| Location       | Project     |       | Revision                   | 1              |
| Project Number | Project No  |       | Issued/Checked by          | KeS            |
|                |             |       | Original issued/Checked by | BLL/ÁM         |

Capacity:  L/h  US Gallon/min

|                               | Max.    | Min.     | CIP                     |
|-------------------------------|---------|----------|-------------------------|
| Capacity                      | 1,000   | 1,000    | 3,000 L/h               |
| Product Specific Gravity      | 1,000.0 | 1,000.0  | 978.0 kg/m <sup>3</sup> |
| Product Viscosity             | 1.0     | 1.0      | 1.0 cP                  |
| Holding time                  | 20.0    | 20.0 sec |                         |
| Holding time with corrections | 24.0    | 24.0 sec |                         |

Pipe Outer Diameter: 25.0 mm Number of 90° bends: 12  
 Pipe Inner diameter: 22.6 mm

Thermal corrections

Pasteurisation/ Sterilization temperature: 75 °C Set to 20°C if no thermal corr.

Steam Injection:  Only for Steam Injection 70

Thermal expansion: 0.09 %  
 Added steam condensate: %

Flow corrections

Turbulent/Laminar Flow:  Fastest particle calculated as  $V/V_{max} = k_1 k_2 \cdot \text{LOG}(\text{Reynolds}) + k_3$   
 Fastest particle velocity 1.2 to 2 x average velocity depending on Reynolds

Laminar Flow:  Fastest particle velocity 2 x avg. velocity. For USA & CANADA only

Turbulent Flow:  Fastest particle velocity 1.2 x average particle velocity.

Manual correction:  Fastest particle velocity relation with average particle velocity. Value below.

|                                   |         |                   |
|-----------------------------------|---------|-------------------|
| Steam correction                  | None    | Manual Correction |
| Flow correction                   | 1.200   | min max           |
| Total Correction                  | 1.200   |                   |
| Volume total hold.tube at 75°C    | 6.67 L  |                   |
| Length total holding tube at 75°C | 16.62 m |                   |
| Length total holding tube at 20°C | 16.60 m |                   |
| Volume total holding tube at 20°C | 6.66 L  |                   |
| Volume straight hold.tube at 20°C | 6.38 L  |                   |
| Length straight hold.tube at 20°C | 15.90 m |                   |
| Thermal expansion                 | 16 mm   |                   |

|   | Max.   | Min.   | CIP       |
|---|--------|--------|-----------|
| Flow velocity   | 0.69   | 0.69   | 2.08 m/s  |
| Reynolds number   | 15,649 | 15,649 | 45,915    |
| Pressure drop   | 0.57   | 0.57   | 4.44 m/c  |
| Pressure drops are based on straight pipes, no bends or valves etc. | 5.59   | 5.59   | 43.52 kPa |
|   | 0.06   | 0.06   | 0.44 bar  |

**Figura 47: Cálculo del Holding, sistema de pasteurización**

FUENTE: SPA (2018)

Los parámetros para una correcta pasteurización deben asegurar temperaturas entre los 72 - 75°C por un tiempo de 15 a 20 segundos (Bylund, 1995). Estos valores que se han considerado para proceso de intercambio de calor y posterior cálculo de *holding*. La información ingresada al programa fue: flujo de trabajo 1 000 litros/hora, viscosidad (para la leche fue 1 cP), tiempo de retención requerido de 20 segundos, diámetro de tubería de 25 mm o 1"; temperatura de pasteurización a 75°C, tipo de flujo (turbulento para este diseño); al ingresar estos datos se obtuvo que se requería de un total de 16 metros de tubería. De este cálculo también se obtuvo que la caída de presión en este sistema de tuberías era de 5.59 kPa (0.06 bar); se destacó que la caída de presión en flujo CIP era de 43.52 kPa (4 bar), este dato fue fundamental para hacer el correcto dimensionamiento de la bomba.

#### **g. VÁLVULA DE ASIENTO (VÁLVULA DE DESVÍO)**

La válvula de desvío es una válvula fundamental en el proceso de pasteurización su objetivo es modificar la dirección del flujo de leche que se encuentra en el sistema, siempre que la leche no cumpla con los parámetros de tratamiento térmico necesarios para su comercialización (Bardiani, 2016). Para esta investigación, el dispositivo fue fabricado a partir de acero inoxidable 316, contaba con empaquetaduras EPDM y con actuador mecánico activado con aire comprimido; al interior de la válvula se ubica un pistón que al paso del aire comprimido se moverá y sellará un canal y con esto desviará el flujo del líquido. La configuración del equipo es del tipo 3LL y los flujos que se pueden obtener se muestran en la Figura 48.



**Figura 48: Válvula de asiento**

FUENTE: Bardiani (2016)

## **h. BOMBA CENTRÍFUGA DEL PASTEURIZADOR**

Para SPA (2018), una vez que se han calculado y dimensionado todos los equipos importantes del sistema de pasteurización, se puede empezar al cálculo de la bomba centrífuga del sistema; siendo importante que se contemplen los siguientes puntos para el correcto dimensionamiento de este equipo:

- Caudal de procesamiento
- Caídas de presión de todos los equipos con flujo de procesamiento.
- Caudal de para el proceso CIP
- Caídas de presión de todos los equipos con flujo de CIP

En la Tabla 12, se muestra los caudales tanto para el procesamiento como para el CIP.

**Tabla 12: Flujo de procesamiento y limpieza CIP**

| Proceso      | Flujo<br>(litros/hora) |
|--------------|------------------------|
| Producción   | 1.000                  |
| Limpieza CIP | 2.500                  |

FUENTE: SPA (2018)

El cálculo del flujo del CIP es un factor fundamental en el proceso de dimensionamiento de la bomba de trabajo ya que, para asegurar una correcta limpieza en el interior de los equipos y tuberías se debe considerar que la velocidad promedio del líquido de limpieza se encuentre en el rango de 1.5 - 2.5 m/s (Bylund, 1995). Como se observa en la Figura 49, la velocidad obtenida al interior de la tubería (flujo de 2 500 litros/hora) fue de 1.7 m/s, con lo que se estaría cumpliendo el rango recomendado para obtener un proceso de limpieza correcto.

| Tetra Pak   |          |                   |
|---|----------|-------------------|
| Pressure Drop calculation - Piping<br>Sanitary Equipment - ISO/SMS - Metric |          |                   |
| Project Name  | Ms Dairy |                   |
| Customer  | MD Food  |                   |
| Location  | DK       |                   |
| Project Number  | 321-654  |                   |
| Drawing No.   |          |                   |
| Circuit   |          |                   |
| Fluid   |          |                   |
| Notes   |          |                   |
| Flow  | 2.5      | m <sup>3</sup> /h |
| Nom. Pipe Size  | 25       | mm                |
| Temperature   | 4        | °C                |
| Viscosity   | 1        | cSt               |
| Density   | 1050     | kg/m <sup>3</sup> |
| Reynolds No, pipe   | 39298    | -                 |
| Fluid Speed, pipe   | 1.7      | m/s               |

**Figura 49: Cálculo de la velocidad al interior de la tubería de 25 mm a un flujo de 2.5 m<sup>3</sup>/h**

FUENTE: SPA (2018)

Una vez que se calculó el flujo de procesamiento para ambos procesos, se determinó la presión a la que bomba debía trabajar para cubrir ambas necesidades, tanto de procesamiento como de CIP. En la Tabla 13, se muestra las caídas de presión obtenidas para cada uno de los tramos que conforman la línea de pasteurización hasta la entrada del homogenizador.

**Tabla 13: Caída de presión en el sistema hasta llegar al homogenizador**

| Equipo   | Presión   |      |
|--|-----------|------|
|  | bar       | kPa  |
| Bomba Centrífuga                                     | 1.7       |      |
| 10 metros de Tubería                                 | -0.07     | 6.75 |
| 1era etapa del Intercambiador de Calor<br>Centrífuga | -0.02     | 2.29 |
| 2da etapa del Intercambiador de Calor                | -0.04     | 4.2  |
| 10 metros de Tubería                                 | -0.07     | 6.75 |
| <b>TOTAL</b>   | <b>-3</b> |      |
| <b>PRESIÓN DE HOMOGENIZACIÓN</b>                     | <b>3</b>  |      |
| <b>DELTA</b>   | <b>0</b>  |      |

FUENTE: SPA (2018)

Para calcular este valor, se debe partir del hecho de que el proceso se daría a un flujo de 1000 litros/hora. El equipo crítico que determinaría la presión de trabajo de la bomba, será el homogenizador; ya que la presión de entrada a su sistema era de 3 bar, lo que quería decir que la bomba debía tener la capacidad de superar todos los equipos y llegar a él con esa presión; sin embargo, como era un sistema cerrado habría equipos que daría mayor presión al sistema, entre esos equipos se encontraba el separador centrífugo que entregará al flujo una presión positiva de 1.5 bar.

Haciendo el cálculo se obtuvo que la presión de trabajo que debería tener la bomba para el correcto procesamiento era de 1.8 bar.

En la Tabla 14 se muestra el cálculo de la caída de presión para el CIP, a diferencia del cálculo del flujo en procesamiento, aquí no se consideró el separador centrífugo ni el homogenizador; debido a que en el separador centrífugo la limpieza es manual y el homogenizador se limpiaría de forma apagada, por lo que no generaría contrapresión en la línea y no sería necesario llegar a él con una presión elevada. Para cálculos de la caída de presión de este proceso se consideró un flujo de 2 500 l/h.

**Tabla 14: Cálculo de la caída de presión del sistema considerando el proceso CIP**

| Equipo                  | Presión      |     |
|-------------------------|--------------|-----|
|                         | bar          | kPa |
| Bomba Centrífuga        |              |     |
| 20 m de tubería         | -0.74        | 74  |
| Intercambiador de Calor | -3           |     |
| Tubería de Retención    | -0.44        | 44  |
| <b>TOTAL</b>            | <b>-4.18</b> |     |

FUENTE: SPA (2018)

Como se puede ver en la Tabla 14, para realizar un correcto CIP la presión que debe dar la bomba debe ser superior a 4.18 bar; para esta línea se trabajaría con una presión de 4 bar. En la Tabla 15, se muestra el resumen de los valores necesarios considerar para seleccionar una correcta bomba centrífuga.

**Tabla 15: Resumen del flujo y caída de presión en el sistema de pasteurizado**

| Flujo        | Litros /hora | Presión (bar) |
|--------------|--------------|---------------|
| Proceso      | 1 000        | 1.8           |
| Limpieza CIP | 2 500        | 4             |

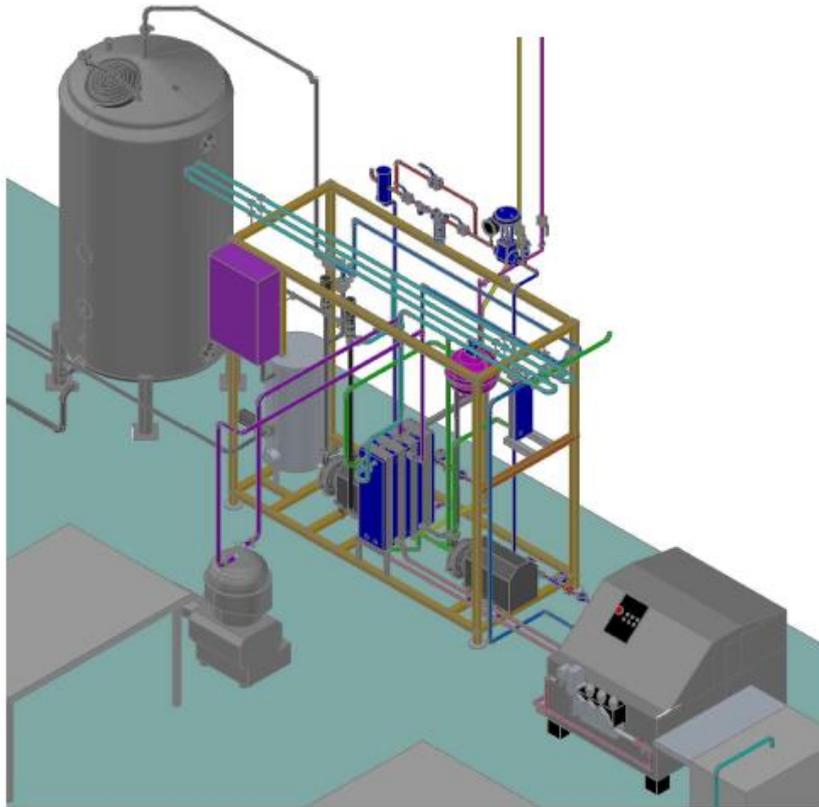
FUENTE: SPA (2018)

Con los datos que se muestran en la Tabla 15, se ingresó al programa de dimensionamiento y selección de bombas de Alfa Laval, y la alternativa que mejor se acomodaba a ambas necesidades fue la bomba centrífuga PUMP SOLIDC-2/ 1604.0 kW 60HZ. En el Anexo 4, se puede encontrar la especificación técnica de la bomba centrífuga para estas condiciones (presión de 4.3 bar).

Para el proceso en donde el caudal es menor, se utilizaría un variador de frecuencia para disminuir los Hz hasta 39. La nueva curva de funcionamiento a estos Hz se muestra en el Anexo 5; a esa variación la bomba presenta una presión de 1.4 bar, por lo que la bomba seleccionada sería más que suficiente para cubrir el proceso de pasteurizado.

#### **4.5.3. PLANO 3D DE LA ZONA DE PASTEURIZACIÓN DE LA ZONA DE LECHE FRESCA**

En la Figura 50 se muestra los planos 3D y distribución de los equipos que conforman la línea de pasteurización; todos se encuentran a escala real de trabajo y montaje y servirán como guía para el proceso de montaje.



**Figura 50: Plano 3D de la zona de pasteurización**

FUENTE: SPA (2018)

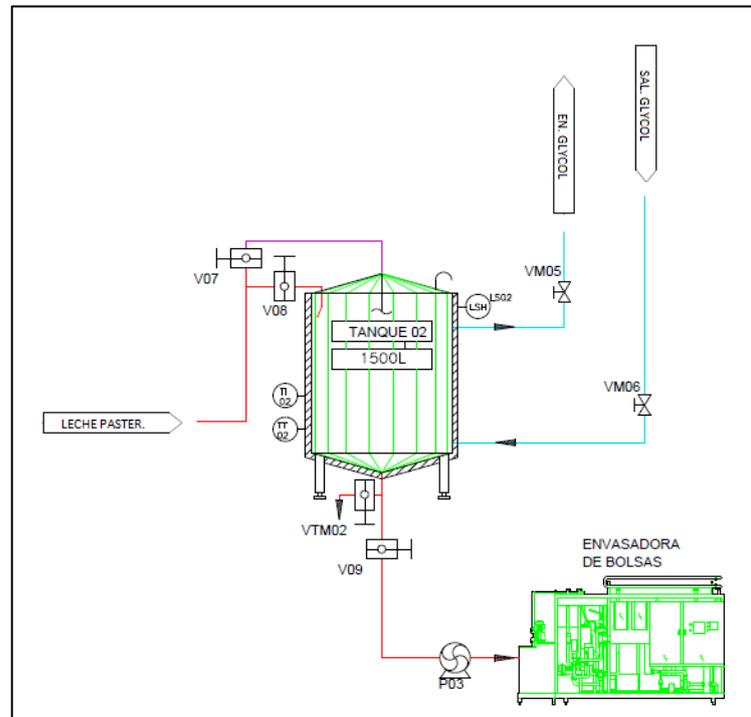
#### **4.6. ZONA DE ENVASADO**

Según SPA (2018), el proceso de envasado es una de las etapas más importantes en el proceso productivo ya que será el lugar en donde se almacenará la leche luego del tratamiento térmico. El mismo deberá presentar los siguientes equipamientos:

- Tanque de acero inoxidable de almacenamiento con chaqueta de recirculación de líquido de refrigeración.
- Sensores de nivel.
- Sistema automático de limpieza.
- Controles de temperatura.
- Válvulas de ingreso y de muestreo.
- Envasadora.

#### 4.6.1. DISEÑO Y PLANO 3D DE LA ZONA DE ENVASADO

En la Figura 51 se muestra el flujo de procesamiento de la línea de envasado; además, en la Tabla 16 se listan los equipos la conforman.



**Figura 51: P&ID Zona de envasado de leche fresca pasteurizada**

FUENTE: SPA (2018)

**Tabla 16: Listado de equipos que conforman la zona de envasado de leche fresca pasteurizada**

| Numeración | Codificación<br>P&Id | Equipo   |
|------------|----------------------|--|
| a          | V07                  | Válvula mariposa   |
| b          | V08                  | Válvula mariposa   |
| c          | LS02                 | Sensor de Nivel  |
| d          | TI02                 | Termómetro analógico   |
| e          | TT02                 | Sensor RTD   |
| f          |                      | Tanque 02 - Zona de Envasado de Leche Fresca Pasteurizada    |
| g          | V02                  | Juego de válvulas mariposas (Entrada de tanque de recepción) |
| h          | -                    | Tanque 01 - Zona de Recepción de Leche Fresca                |

«continuación»

|   |       |                              |
|---|-------|------------------------------|
| i | VTM02 | Válvula mariposa             |
|   | V09   | Válvula mariposa             |
| i | P03   | Bomba centrífuga de envasado |
| j | -     | Envasadora de Bolsas         |

---

FUENTE: SPA (2018)

#### **a. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO**

Una vez que la leche fresca ha sido pasteurizada y enfriada, sería enviada a su respectivo tanque de almacenamiento, en donde aguardará a ser envasada para el proceso de envasado la bomba P03 se activará y alimentará a la envasadora de bolsas.

### **4.6.2. DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS DE LA ZONA DE ENVASADO**

#### **a. TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE LECHE FRESCA PASTEURIZADA**

Para el diseño del tanque de almacenamiento de leche fresca pasteurizada (Figura 52), se tomó en consideración los siguientes parámetros:

- Material de diseño; Acero inoxidable 316 l
- Capacidad de almacenaje 1500 litros.
- Agitador
- Sistema de aislamiento térmico (con chaqueta de frío glicol recirculante)
- Sensor RTD, termómetro analógico.
- Válvula de muestreo
- Válvula de seguridad – purga de aire
- Sensor de nivel



**Figura 52: Tanque de almacenamiento zona de envasado**

FUENTE: SPA (2018)

**b. ENVASADORA DE BOLSAS**

El equipo de envasado seleccionado fue el modelo CB-3B de la marca Tianjin Fly (Figura 53), las principales características de la máquina se muestran en la Tabla 17.



**Figura 53: Máquina envasadora de leche fresca**

FUENTE: SPA (2018)

**Tabla 17: Especificación técnica de la máquina envasadora de leche**

| Variable             | Descripción          |
|----------------------|----------------------|
| Velocidad de llenado | 1800 litros/hora     |
| Capacidad de envases | 100 - 1000 ml        |
| Ancho de bobina      | Máx. 380 mm          |
| Poder                | 440 V, 50 Hz, 1 kW   |
| Peso                 | 350 kg               |
| Medida               | 1050 x 850 x 1850 mm |

FUENTE: SPA (2018)

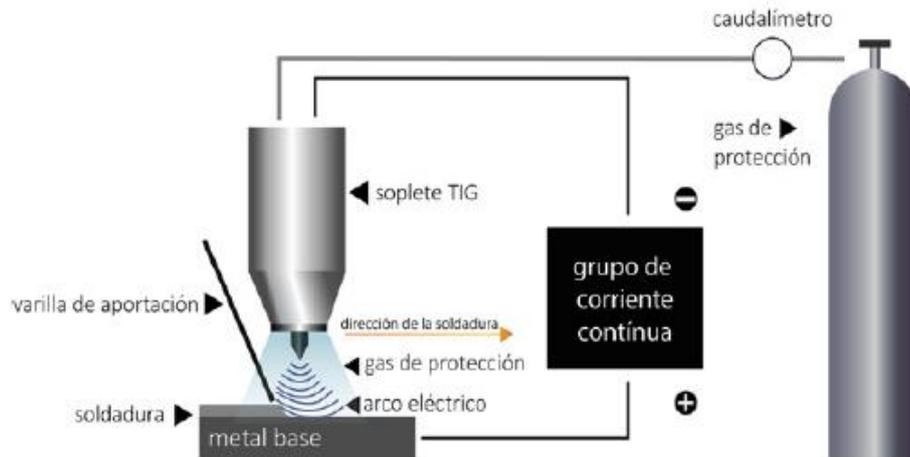
Como se puede apreciar, la máquina tiene una velocidad de envasado de 1800 bolsas/hora para envases de 100 ml; para el formato de 1000 ml la máquina tendrá una velocidad de 1000 bolsas/hora; por lo que es lo suficientemente rápida para estar alienada a la línea de producción y realizar el proceso de envasado sin mayores inconvenientes.

#### **4.7. MONTAJE Y ARRANQUE DE LA LÍNEA PRODUCTIVA**

##### **4.7.1. SOLDADURA TIG**

Para el montaje de la línea productiva se utilizó la soldadura TIG, este procedimiento es utilizado especialmente para la soldadura del acero inoxidable y fue empleado en el montaje de la línea productiva de leche fresca.

En este procedimiento se empleó un arco eléctrico que se da con un electrodo de tungsteno, adicional a este se utiliza un gas inerte que servirá de protección para la unión o soldadura, contra la atmósfera, evitando de esta manera que se formen oxidaciones y costras que podrían generar contaminación en la leche durante su procesamiento. En la Figura 54, se muestra el esquema y el proceso de soldado TIG completo (Laufgang, 2003).

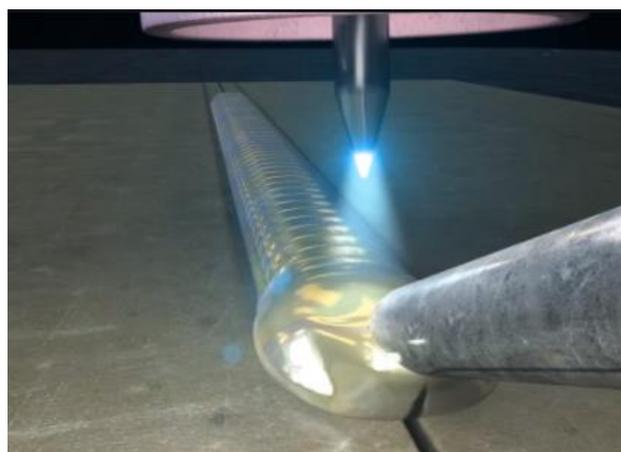


**Figura 54: Esquema de proceso de soldadura TIG**

FUENTE: SPA (2018)

La principal diferencia entre la soldadura TIG versus la soldadura MIG/MAG, es que el electrodo no se consume a diferencia de la soldadura MIG en donde la varilla del electrodo si genera aporte al proceso de soldado, esto permite al soldado TIG, obtener mayor penetración y capacidad de fundición (Laufgang, 2003).

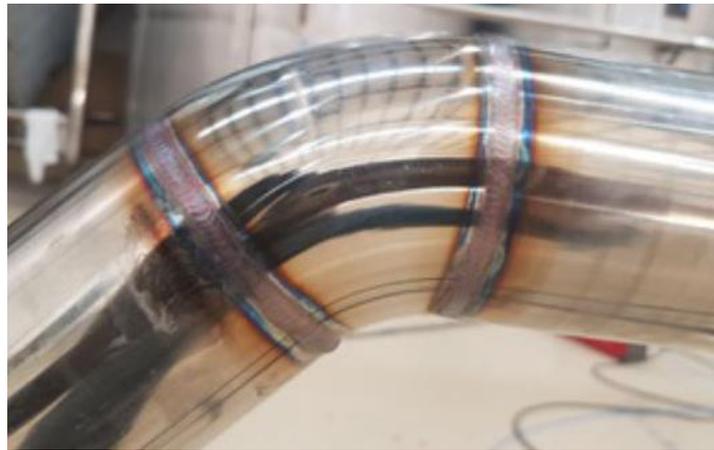
El objetivo de la soldadura TIG fue obtener una soldadura uniforme tal como se muestra en la Figura 55, en donde se aprecia cómo se va generando la unión entre extremos de tubería a través de la incorporación de un fragmento de una barra de acero inoxidable.



**Figura 55: Recubrimiento con varilla de acero inoxidable**

FUENTE: SPA (2018)

En la Figura 56 se muestra un ejemplo de las soldaduras que fueron empleadas en el montaje de las tuberías de acero inoxidable, cómo se puede apreciar, luego de las soldaduras se observa un halo de soldadura producto del sobrecalentamiento de la zona; el mismo será removido implementando ácido fosfórico que ayudará a la formación de cromo y a brillantamiento de la superficie de acero inoxidable.



**Figura 56: Soldadura externa de tubería de 1.5”**

FUENTE: SPA (2018)

Uno de los puntos críticos en la revisión del correcto proceso de soldado fue el revisar el interior de las tuberías, ya que se debe asegurar que luego del proceso de soldado no se generen costras en el interior de las mismas; estas se dan debido al mal flujo de gas de protección. Para el caso del montaje de la planta de leche fresca se empleó Argón como gas de protección de recubrimiento, evitando así una mala soldadura interna como la mostrada en la Figura 57.



**Figura 57: Costra de soldadura interna formada por mala soldadura del acero**

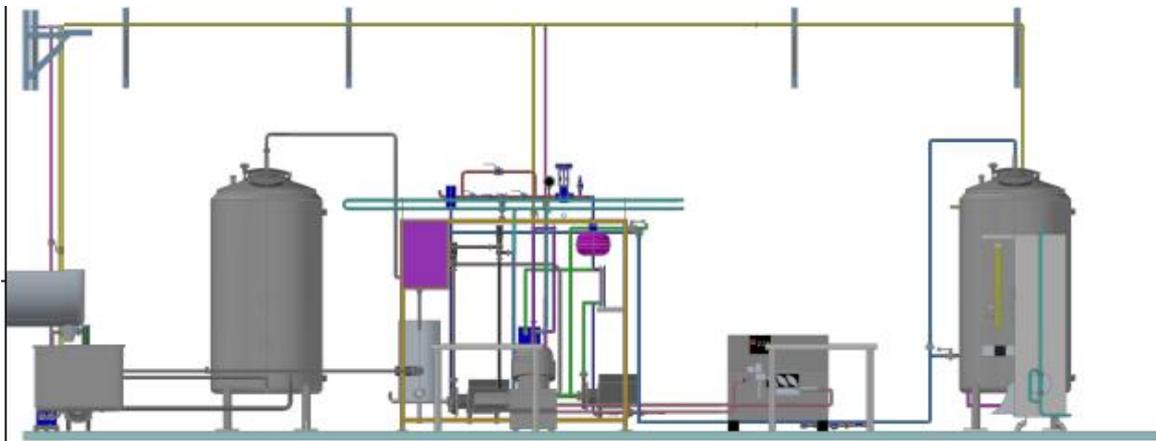
FUENTE: SPA (2018)

#### 4.7.2. MONTAJE DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LECHE FRESCA

Una vez elaborado el plano 3D, de la línea de producción y definiendo el tipo de soldadura que se emplearse, se procedió con el montaje de la línea productiva, en la Figura 50, se muestra el plano 3D de la línea completa.

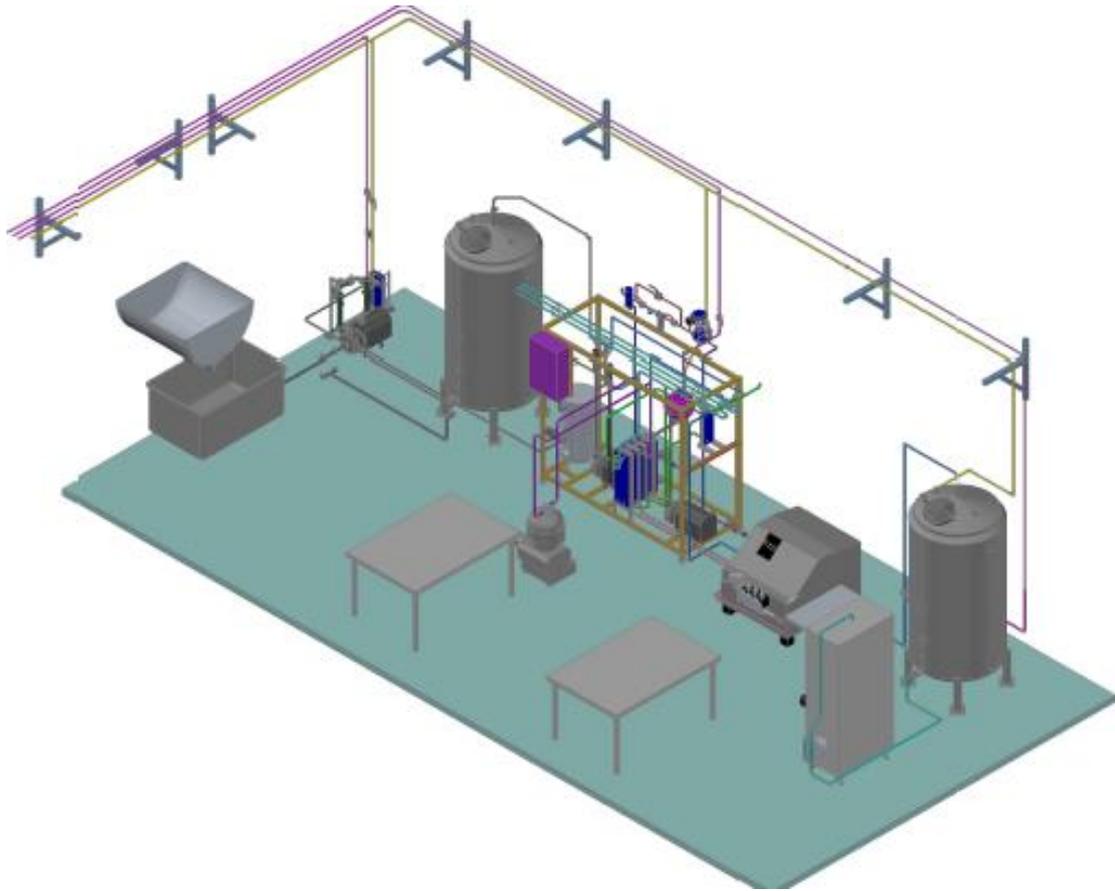
Para el montaje de todos los componentes y equipos que conforman la línea productiva, se utilizaron componentes sanitarios con certificación 3A y FDA.; las cuales eran fabricadas en acero inoxidable 304 y 316, materiales resistentes a la corrosión. La estructura del pasteurizador y estructuras de soporte fueron fabricados bajo la norma ISO2037, para uso alimentario (rugosidad certificada); los empaques empleados en las llaves, uniones con *clamp* y demás fueron del tipo EPDM (certificados por la normativa europea FDA).

En las Figuras 58, 59 y 60 se puede apreciar la vista frontal, diagonal superior y superior del plano 3D de la línea completa de producción de leche fresca.



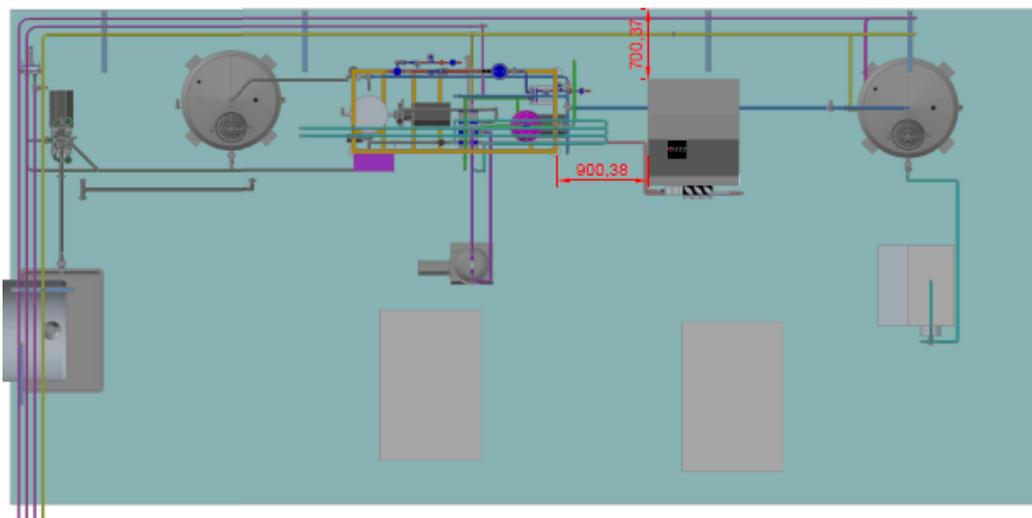
**Figura 58: Vista frontal plano 3D de la línea de producción de leche fresca**

FUENTE: SPA (2018)



**Figura 59: Vista superior diagonal plano 3D de la línea de producción de leche fresca**

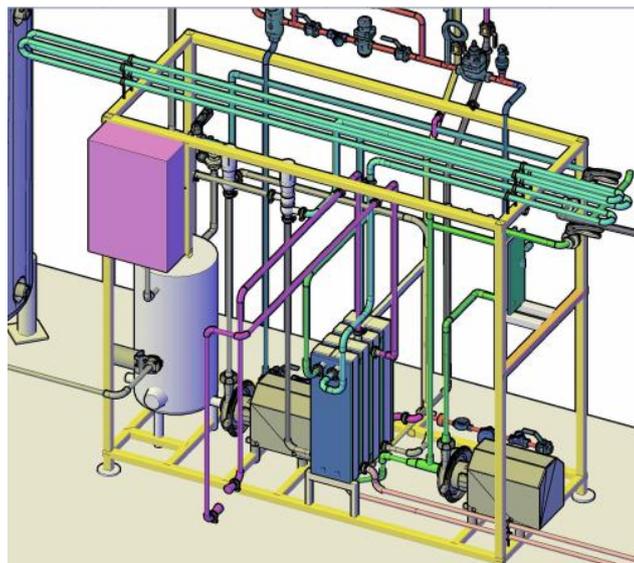
FUENTE: SPA (2018)



**Figura 60: Vista superior del plano 3D de la línea de producción de leche fresca**

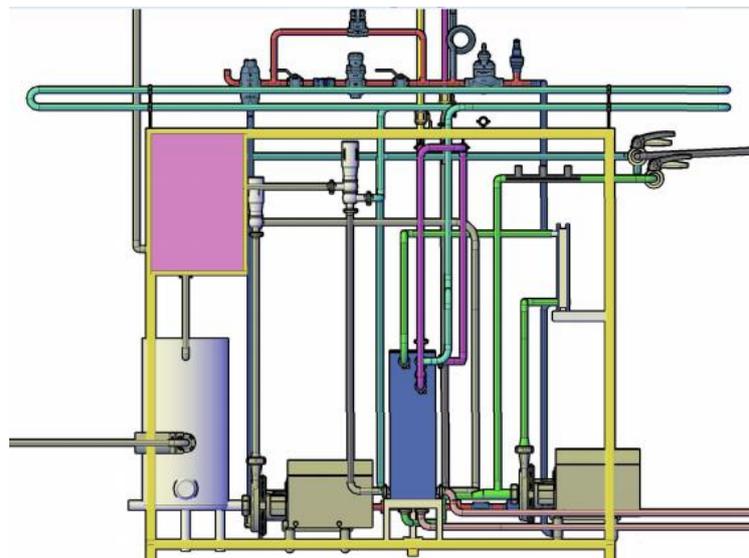
FUENTE: SPA (2018)

Las Figuras 61, 62 y 63 muestran el plano 3D del pasteurizador de leche fresca, el montaje de este equipo fue complejo. La secuencia de tuberías respondió al plano P&ID, previamente detallado en el punto 4.2.1., ya que esta depende exclusivamente de la secuencia de entradas y salidas que tendrá el intercambiador de calor. Las entradas y conexiones del intercambiador se muestran en el Anexo 6.



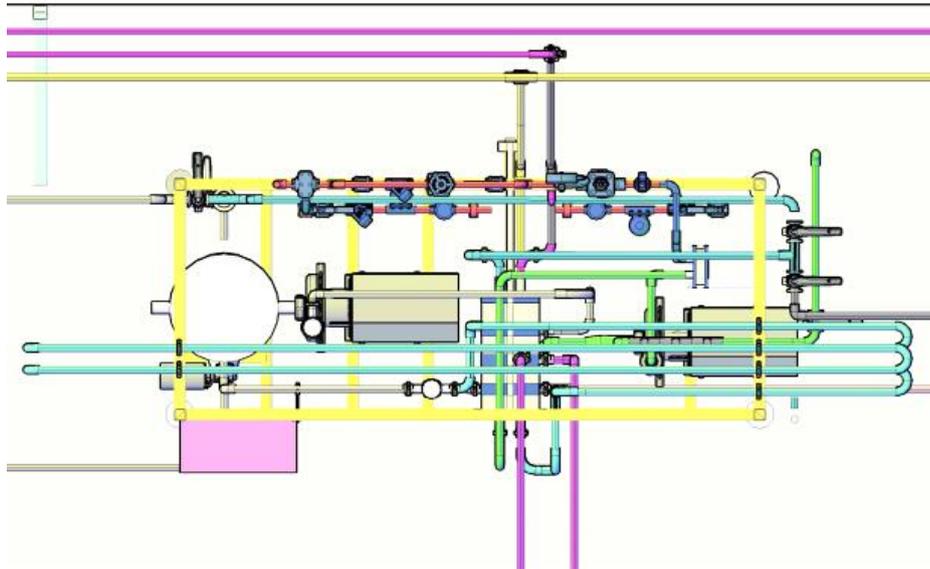
**Figura 61: Vista diagonal superior del pasteurizador de leche fresca**

FUENTE: SPA (2018)



**Figura 62: Vista frontal del pasteurizador de leche fresca**

FUENTE: SPA (2018)



**Figura 63: Vista frontal del pasteurizador de leche fresca**

FUENTE: SPA (2018)

En las siguientes figuras, se muestra la secuencia de pasos que seguidos para el montaje de la línea productiva de leche fresca con apoyo del equipo de soldadores de la empresa Soluciones en Proyectos de Alimentos (SPA), todos los equipos fueron llevados a la ciudad de Huancayo y fueron presentados e interconectados *in situ*.

La ejecución del montaje demoró 30 días y el arranque y puesta en marcha 15 días adicionales. Las Figuras 64, 65, 66, 67 y 68, muestran detalles de la primera entrega de los equipos al cliente y primera presentación.



**Figura 64: Colocación de la estructura del pasteurizador, tanques de almacenamiento, homogenizador y llenadora**

FUENTE: SPA (2018)



**Figura 65: Montaje del Intercambiador de calor, tanque de balanza y *holding* o tubería de retención**

FUENTE: SPA (2018)



**Figura 66: Tina de pesado, bomba de recepción, intercambiador de calor, filtros mellizos y tanque de recepción**

FUENTE: SPA (2018)



**Figura 67: Vista frontal del pasteurizador de leche fresca, separador centrífugo y homogenizador**

FUENTE: SPA (2018)



**Figura 68: Vista lateral del sistema de pasteurizador hasta la zona de envasado**

FUENTE: SPA (2018)

Concluido el montaje de la línea productiva, se pudo corroborar que la interconexión de equipos coincidió en un 95% con los planos 3D elaborados, este cálculo se hizo a partir de la cantidad de materiales (tuberías y accesorios) que fueron adquiridos a partir de los planos iniciales, así mismo tras el montaje se pudo corroborar el programa de temperaturas y flujo

de trabajo, la siguiente etapa del proceso de validación consiste en evaluar la calidad del producto obtenido.

Según SPA (2018), los ajustes adicionales y configuraciones de trabajo para optimizar el proceso productivo se pueden realizar una vez que se compruebe la calidad de la leche obtenida, así mismo se debe someter al equipo a su capacidad máxima de producción con la finalidad de corroborar la correcta interconexión. Estas pruebas fueron realizadas cuando la línea productiva se encontró en actividad; en las pruebas de arranque se corroboró que el flujo de procesamiento oscilaba entre los 950 a 980 litros/hora, valores aceptados por el cliente al momento de la entrega de la línea de producción.

#### **4.8. EVALUACIONES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS**

Una vez realizado el montaje y arranque de la línea de leche fresca pasteurizada, se procedió a realizar las evaluaciones fisicoquímicas y microbiológicas al primer lote de producción de leche; en búsqueda de corroborar el correcto funcionamiento de la línea productiva.

##### **4.8.1. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS**

La Organización mundial de la salud y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (OMS/FAO, 2007), menciona que para obtener un buen proceso de pasteurización se debe tratar la leche a 72°C por 15 segundos o a 63°C durante 30 minutos; donde un efecto de 72° C durante 20 segundos dificulta la formación de crema. En este proyecto se plantearon los últimos parámetros; ya que, no se planteaba utilizar la leche para elaboración de derivados lácteos, pero se busca obtener un efectivo tratamiento térmico sobre la leche.

La pasteurización elimina la mayor cantidad de microorganismos de la leche, pero no la vuelve estéril, ciertas esporas y bacterias pueden ser difíciles de eliminar por pasteurización; por lo tanto, la leche pasteurizada debe ser conservada bajo condiciones de refrigeración (menor a 4°C) a lo largo de la distribución y almacenamiento (Roginski, 2005).

Los microorganismos coliformes crecen en la leche, sobre los 20°C, y atacan proteínas y lactosa, como resultado de esto se forma gas y el sabor de la leche varía. La pasteurización

baja 72°C por 15 segundos, mata a los coliformes prácticamente al mismo grado como el *Mycobacterium tuberculosis*. Si los coliformes están ausentes en la leche pasteurizada, el producto ha sido calentado eficientemente (Walstra, 1999).

En la Tabla 18 se muestra los resultados obtenidos del método ISO 4833 e ISO 4831 para el recuento de mesófilos y coliformes totales, respectivamente.

**Tabla 18: Recuento microbiológico de la leche fresca y pasteurizada**

| Microorganismo | Unidad | Leche fresca    | Leche fresca pasteurizada |
|----------------|--------|-----------------|---------------------------|
| Mesófilos      | UFC/ml | $6 \times 10^5$ | $3 \times 10^4$           |
| Coliformes     | UFC/ml | $1 \times 10^2$ | 7                         |

FUENTE: SPA (2018)

En la Tabla 18 se puede observar el efecto del tratamiento térmico sobre leche fresca, y cómo este influyó sobre la cantidad de microorganismo presentes en esta. Como se puede observar en la Tabla 18, luego del tratamiento térmico los mesófilos se redujeron de un valor  $6 \times 10^5$  a un valor de  $3 \times 10^4$ ; al igual que los coliformes pasaron de un valor 100 a uno de 7. Ambos resultados cumplen lo establecido por el D.S. 007-2017-MINAGRI (MINAGRI, 2017).

#### 4.8.2. ANÁLISIS DE GRASA Y HOMOGENIZADO

Para corroborar el correcto proceso de funcionamiento de la separadora centrífuga, se analizó mediante el método de Gerber el contenido graso de la leche antes y después del proceso de pasteurización, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 19.

**Tabla 19: Porcentaje de grasa en la leche antes y después del centrifugado**

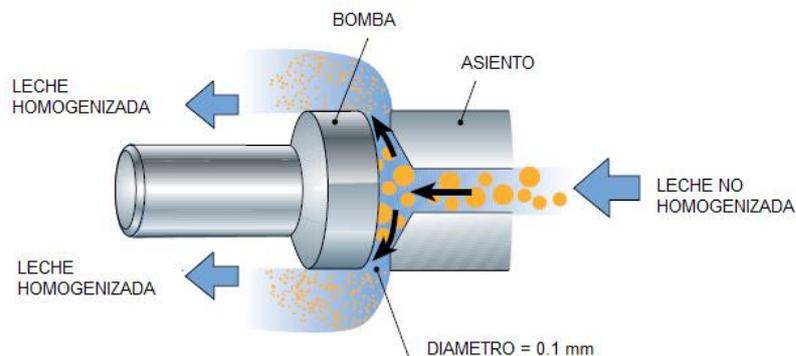
| Tipo de Leche             | Grasa (%) |
|---------------------------|-----------|
| Leche Fresca              | 3.3       |
| Leche Fresca Pasteurizada | 0.7       |

FUENTE: SPA (2018)

En esta prueba se evaluó la máxima capacidad de descremado que pudo generar el separador centrífugo, los resultados presentados en la Tabla 19 muestran que se pudo descremar leche

con un contenido de grasa inicial de 3.3 hasta un valor de 0.7%. Según la norma técnica peruana esta leche se podría comercializar como parcialmente descremada pasteurizada, en donde el rango de comercialización de esta debe oscilar entre los 0.5 - 3%.

Para realizar un proceso de estandarización en línea, se debe configurar las válvulas de salida del separador centrífugo a fin de poder obtener el nivel de grasa que se requiera comercializar (Figura 69).



**Figura 69: Partición de los glóbulos de grasa durante el proceso de homogenización**

FUENTE: SPA (2018)

Para evaluar la homogenización de la leche se dejó en estabilidad la misma por un lapso de 10 días (tiempo de vida útil validado-microbiológica y sensorialmente); al término de este tiempo no se logró detectar separación de fases, corroborando así que el proceso de homogenización fue el adecuado.

Es importante considerar el estado inicial de la leche que se desee procesar, el estado físico y la cantidad de grasa inicial tendrá un efecto importante en la leche resultante. La temperatura es un factor importante, si se quiere procesar leche fría, el proceso de dispersión es incompleta. La temperatura correcta para que se efectúe un correcto proceso de homogenización es 60 a 70°C y la presión total de trabajo debe ser 10 - 25 MPa (100 – 250 bar) dependiendo del producto (Bylund, 1995).

### 4.8.3. EVALUACIÓN SENSORIAL DE LA LECHE

Simon & Hansen (2001) exponen que la pasteurización no altera el sabor de la leche. Por su parte, Potter (1999) menciona el tratamiento térmico no produce “sabor a cocido”; ni afecta el valor nutritivo de la leche; aunque sí puede alteran la composición de algunas vitaminas.

Una vez que se sometió la leche a las pruebas microbiológicas y de determinación de grasa, se procedió a evaluar sensorialmente la misma mediante un panel entrenado, conformado por 5 personas del comité de aprobación de la línea de productiva. En la Tabla 20 se detallan los principales atributos evaluados, esta evaluación se realizó sobre leche al día de 10 de su producción, y tuvo como objetivo corroborar el tiempo de vida de este de material versus leche fresca recién procesada.

**Tabla 20: Atributos para considerar en la evaluación sensorial de la leche fresca**

| Atributo | Día 0   | Día 10   |
|----------|---|----------|
| Color    | Color blanco viscoso, opaco, mate.  | Conforme |
| Olor     | Poco intenso, ligeramente dulce, característico a leche o derivado lácteo.      | Conforme |
| Sabor    | Suave, delicado y ligeramente azucarado   | Conforme |
| Textura  | Buena consistencia, correcto balance en boca de la cantidad de sólidos y grasa. | Conforme |

FUENTE: SPA (2018)

Como se muestra en la Tabla 20, al evaluar la sensorialmente la muestra de leche fresca tras 10 días de producción se corroboró que la calidad organoléptica del material era similar a un lote recién producido, con este punto resuelto se procedió a la entrega de la línea productiva de leche fresca.

### 4.9. APLICACIÓN DE LAS COMPETENCIAS PROFESIONALES

El presente Trabajo de Suficiencia Profesional se encuentra enmarcado dentro de las actividades realizadas por Bruno Alejandro Ratto Vergaray como Bachiller en Ciencias –

Industrias Alimentarias en la empresa Soluciones en Proyectos de Alimentos (SPA) desempeñando el cargo de *Key Account Manager*, a cargo de la función de liderar las ventas de proyectos, maquinarias y servicios a las principales empresas del sector industrial y alimentario.

La comercialización de maquinaria, repuestos y proyectos de ingeniería en el sector de alimentos requiere que la persona tenga una visión general de diversas líneas productivas, conozca distintos procesos de capacidades variables; así mismo, requiere conocer todos los lineamientos para la ejecución de proyectos de ingeniería que le permita sostener reuniones y propuestas de alto impacto. Estas funciones fueron desempeñadas apropiadamente, ya que, se puso práctica los conocimientos adquiridos durante los años de estudio, tal como se muestra en la Tabla 21

**Tabla 21: Cursos y conocimientos adquiridos y aplicados en el desempeño laboral**

| Cursos                                   | Conocimientos adquiridos puestos en práctica      |
|--|---|
| Tecnología de Alimentos I                | Conservación y procesamiento de alimentos         |
| Tecnología de Alimentos II               | Procesos fermentativos                            |
| Tecnología de Alimentos III              | Extracción de Aceites y grasas                    |
| Análisis de Alimentos                    | Metodologías de análisis de alimentos             |
| Tecnología de Leches                     | Propiedades de la leche                           |
| Industrias Lácteas                       | Procesamiento de derivados lácteos                |
| Envases y Embalajes de Alimentos         | Envase y vida en anaquel de alimentos             |
| Maquinaria para la Industria Alimentaria | Principios de funcionamiento                      |
| Evaluación Sensorial de Alimentos        | Pruebas de evaluación sensorial                   |
| Ingeniería de la Producción              | Elaboración de Proyectos                          |
| Proyectos Agroindustriales               | Elaboración de Proyectos y propuestas económicas. |

Así mismo, en el presente Trabajo de Suficiencia Profesional se puso en práctica el diseño de una línea de producción de leche fresca pasteurizada, aplicando conocimientos específicos de tratamiento térmico, manejo de productos lácteos, conocimientos básicos de

maquinarias para la industria alimentaria que guardan relación directa con los cursos mostrados en la Tabla 22.

**Tabla 22: Cursos y conocimientos adquiridos y aplicados en el diseño de una línea de producción de leche fresca pasteurizada**

| Cursos                                   | Conocimientos adquiridos puestos en práctica           |
|--|--|
| Tecnología de Alimentos I                | Conservación y tratamiento térmico                     |
| Tecnología de Leches                     | Propiedades de la leche                                |
| Industrias Lácteas                       | Procesamiento de derivados lácteos                     |
| Maquinaria para la Industria Alimentaria | Dimensionamiento de maquinarias                        |
| Evaluación Sensorial de Alimentos        | Pruebas de evaluación sensorial                        |
| Ingeniería de la Producción              | Elaboración de proyectos y estudios de prefactibilidad |
| Proyectos Agroindustriales               | Elaboración de proyectos y propuestas económicas       |

Finalmente, el desarrollo de habilidades blandas y capacidades técnicas, como trabajo en equipo, redacción de trabajos, exposiciones y participación en eventos científicos, permitió un correcto desempeño dentro de la empresa logrando conseguir buenos resultados y concretando una excelente relación con los clientes internos y externos.

## V. CONCLUSIONES

1. Con un nivel de aceptación de interconexión del 95%, se pudo asegurar la correcta elaboración de los planos P&ID y 3D para cada una de las zonas que conforman la línea de producción de leche fresca pasteurizada.
2. Se logró el correcto montaje y puesta en marcha de la línea productiva con una capacidad de procesamiento que oscila entre los 950 - 980 litros/hora.
3. Se validó el correcto tratamiento térmico de la leche fresca siguiendo un programa de temperatura de pasteurización de 75°C por 20 segundos. Tras la evaluación microbiológica de la leche fresca pasteurizada; se encontraron valores dentro de la norma técnica peruana.
4. Se validó el correcto funcionamiento del separador centrífugo, en donde se logró obtener leche fresca parcialmente descremada con un porcentaje de grasa de 0.7.
5. Se validó el correcto funcionamiento del homogenizador, al no obtener separación de fases luego de transcurridos los 10 días de vida útil que tiene la leche fresca pasteurizada.
6. Se validó el tiempo de vida de la leche fresca luego que el comité de aprobación del proyecto evaluará sensorialmente la leche procesada luego de 10 días de producción confrontándola con una recién procesada.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Para el proceso de montaje y soldadura se recomienda realizar la inspección visual de la parte interna de la tubería, aquellas zonas donde se presente oxidación y formación de costras deberán ser removidas y reemplazadas. Esta inspección se puede dar utilizando cámaras con fibra, que puedan ingresar a todo el circuito.
- Una vez concluido el proceso de montaje, se deberá realizar un proceso de pasivado o limpieza exhaustiva, utilizando soluciones alcalinas y acidas a altas concentraciones que puedan eliminar el residual de impurezas que se quedan en el interior de la tubería, así mismo se busca con este proceso activar la formación de cromo en el acero inoxidable.
- Para la interconexión de los equipos es fundamental identificar la caída de presión de cada uno de ellos, la idea es poder determinar una presión positiva para que el flujo avance.
- Se debe considerar los requisitos de alimentación del flujo en el proceso para cada uno de los equipos, así como los requisitos energéticos alternos que deben ser suministrados al sistema, como aire comprimido, energía eléctrica y vapor.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Alais, C.H. (1985). Ciencia de la leche: principios de técnica lechera. Barcelona, España: Editorial Reverté. 884 p.
- Alfa Laval. (1990). Filtros de acero inoxidable LKSF. Dinamarca: Alfa Laval.
- American National Standards Institute / International Society of Automation [ANSI/ISA]. (2009). ANSI/ISA-5.1: Instrumentation symbols and identification. Carolina del Norte, Estados Unidos: ISA. Recuperado de [http://kando.prociweb.hu/letoltes/data/3.evfolyam/MAI/F5/ISA\\_5.1-2009.pdf](http://kando.prociweb.hu/letoltes/data/3.evfolyam/MAI/F5/ISA_5.1-2009.pdf)
- Bardiani. (2016). Bardiani valvole (sitio web). Recuperado de <https://www.bardiani.com/sede/bardiani-valvole-spa/>
- Bilurbina, L. & Iribarren, J.I. (2012). Diseño de equipos e instalaciones. Barcelona, España: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de <https://pdfslide.net/documents/disenno-de-equipos-e-instalaciones-luis-bilurbina-alter-jose-ignacio-iribarren.html>
- Bylund, G. (2015). Dairy processing handbook: Tetra Pak Processing Systems. Suecia: Tetra Pak.
- Callejo, A. (2013). Refrigeración de la leche en la granja. Frisona Española, 165: 84-90. Recuperada de <https://www.revistafrisona.com/Portals/0/articulos/n165/A16503.pdf?ver=2013-04-03-151122-857>

- Carvalho, A. (2017). Tendencias para el mercado lácteo mundial en 2020 [diapositivas]. Recuperado de [http://proleche.com/recursos/documentos/congreso2011/15.Tendencias\\_mecado\\_lacteo\\_2020.pdf](http://proleche.com/recursos/documentos/congreso2011/15.Tendencias_mecado_lacteo_2020.pdf)
- Díaz, S.A. & Vega, G.E. (2017). Diseño y construcción de un intercambiador de calor de placas paralelas para el laboratorio de transferencia de calor (Tesis de titulación). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Bocayá.
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2003). Fichas técnicas: procesados de lácteos. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de <https://www.fao.org/3/au170s/au170s.pdf>
- González, M.A. (s.f.). Intercambiadores de calor. Venezuela, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Recuperado de <https://operacionesunitarias1.files.wordpress.com/2011/07/unidad-iv-intercambiadores-de-calor.pdf>
- Guaraca-Pino, E.C. & Guaraca-Sigüencia, L.A. (2019). Implementación de una guía técnica para la pasteurización de leche y evaluación de su efectividad mediante análisis microbiológico en la planta de lácteos “VIGLAC” ubicada en el cantón Tambo (Tesis de grado, Universidad de Cuenca). Recuperada de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/33798>
- Hernández, L.C.; Llerena, R.D.J.; Morris, Y.F. (2013). Implementación de automatización de proceso de producción de leche ultrapasteurizada (Tesis de licenciatura). Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia.
- Instituto Técnico de la Estructura en Acero [ITEA]. (s.f.). Estructuras tubulares. España, ITEA. 105 p. Recuperado de [http://www.webaero.net/ingenieria/estructuras/metalica/bibliografia\\_documentacion/itea/TOMO15.pdf](http://www.webaero.net/ingenieria/estructuras/metalica/bibliografia_documentacion/itea/TOMO15.pdf)
- Jaramillo, M. & Hernández, J. (2015). Estudio de factibilidad para la creación de una planta pasteurizadora de leche en el corregimiento de Palermo, Magdalena (Tesis de licenciatura, Universidad de La Salle). Recuperada de <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1002&context=zootecnia>

- Laufgang, S.G. (2003). Aceros inoxidables. Lima, Perú: Termo Soldex S.A. 40 p. Recuperado de [https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/210719/mod\\_resource/content/1/ACEROS\\_INOXIDABLES%20%281%29.pdf](https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/210719/mod_resource/content/1/ACEROS_INOXIDABLES%20%281%29.pdf)
- Martín, G. (2012). Manual para el diseño de una red hidráulica de climatización (Tesis de licenciatura, Universidad de Sevilla). Recuperada de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/5091/>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MINAGRI]. (21 de junio de 2017). Decreto Supremo N°007-2017. Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de la Leche y Productos Lácteos. Diario Oficial El Peruano. Recuperado de <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decreto/ssupremos/2017/ds07-2017-minagri.pdf>
- Narváez, E.F. & Narváez, V.H. (2005). Diseño y construcción de un prototipo de pasteurización de leche a pequeña escala (Tesis de titulación). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.
- Potter, N. (1999). Ciencia de los alimentos. Zaragoza, España: Acribia. 667 p.
- Ramírez, C.M. (2014). Diseño de una planta piloto para la producción de yogurt (Tesis de titulación, Universidad Central del Ecuador). 144 p. Recuperada de <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-del-peru/tecnologia-del-concreto/t-uce-0017-89-dada/17109545>
- Roginski, H.; Fuquay, J.W.; Fox, P.F. (2003). Encyclopedia of dairy science. Londres, Reino Unido: Academic Press.
- Shah, R.K. & Sekulić, D.P. (1998). Heat exchangers. W.M. En Rohsenow; J.P. Hartnett; Y.I. Cho (Eds.), Handbook of heat transfer (p. 1216 - 1385). Nueva York, Estados Unidos: Mc Graw-Hill.
- Simon, M. & Hansen, A. (2001). Effect of various dairy packaging materials on the shelf life and flavor of pasteurized milk. Journal of Dairy Science, 84(4): 767-773.

- Soluciones en Proyectos de Alimentos [SPA]. (2018). Figuras, tablas, documentos internos y hojas técnicas. Lima, Perú: SPA.
- SPX Flow. (2013). Separación en la industria láctea. Charlotte, Estados Unidos: SPX Corporation. Recuperado de <https://www.spxflow.com/assets/pdf/seital-separation-separation-dairy-101-03-04-2015-es.pdf>
- Varona, B.; Gonzáles, R.; Pérez, R.W.; Pérez, M. (2007). Análisis del intercambiador de calor de placas enfriador de mosto en la cervecería "Tínima". Tecnología Química, 27(3): 61.67.
- Vásquez, M. (2010). Refrigeración de la leche. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de <http://agriorganic.com.ve/pdf/calidad.de.leche/e7.refrigeracion.pdf>
- Virgil, M. (2017). Sistema de refrigeración por compresión. Revista Termodinámica, 1(2): 663. Recuperada de <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/17271/1/refrigeracion.pdf>
- Walstra, P. & Jenness, R. (1984). Dairy chemistry and physics. Nueva York, Estados Unidos: John Wiley & Sons.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1: FICHA TÉCNICA DE FILTROS MELLIZOS



# Technical Bulletin

## Slot Strainer, type LKSF

### 1. Pressure-drop/capacity diagrams with different viscosities

As many slot strainers are used in connection with viscous liquids, many of our customers have expressed a need for pressure-drop/capacity diagrams covering several viscosities.

The enclosed diagrams can be ordered from our Sales Promotion Department.

The measurement have been carried out at our laboratory. An oil (Shell Flona 1500) was used for the test which at a chosen temperature maintains a specified viscosity. The oil was pumped through the various filters, and pressure drop  $\Delta p$  was measured in the usual way.

The following curves apply to:

|                 |          |
|-----------------|----------|
| --- o --- o --- | 1 cSt    |
| -----           | 290 cSt  |
| -----           | 1545 cSt |
| -----           | 6000 cSt |

The curves for intermediate viscosities may be entered through interpolation.

With regard to product data and conversion of centistoke (cSt) to other viscosity units, reference is made to our Pump Guide, and please note the following:

**Dynamic viscosity  $\eta$  (the so-called absolute viscosity)**

$$1 \text{ Poise (P)} = 100 \text{ centipoise (cP)} = 10^{-1} \text{ N s/m}^2 = 10^{-1} \text{ Pa s}$$

**Kinematic viscosity  $\gamma$**

$$1 \text{ Stroke (St)} = 100 \text{ centistoke (cSt)} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

The kinematic viscosity is cSt

$$\gamma = \eta/\rho, \text{ where } \rho \text{ is the relative density of the liquid and } \eta \text{ the dynamic viscosity in cP.}$$

NB: The diagrams apply to the clean, non-cloggedup filter element. Following the introduction of slot strainers, and depending on the degree of pollution, a filter cake will form on the filter element, and pressure-drop  $\Delta p$  will be increased. This is an indication of when the filter must be cleaned (with the "backflush" system, for example).



TB 65148GB

# LKM

LKSP - Cl. 38mm (1.5")

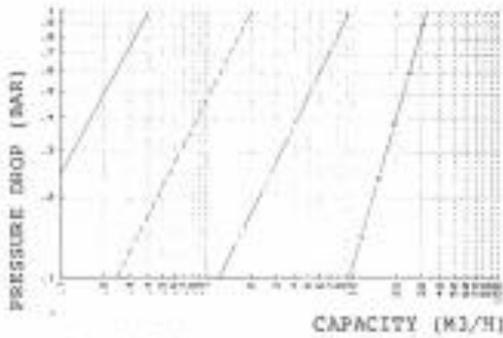


Fig. 1 74

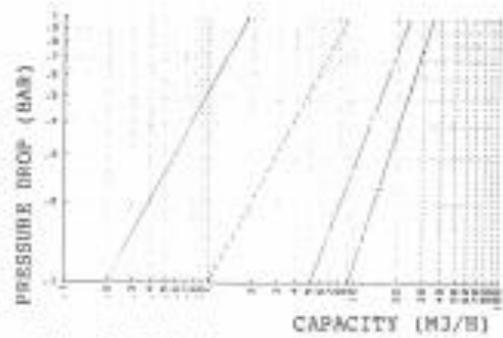


Fig. 5 707 micron

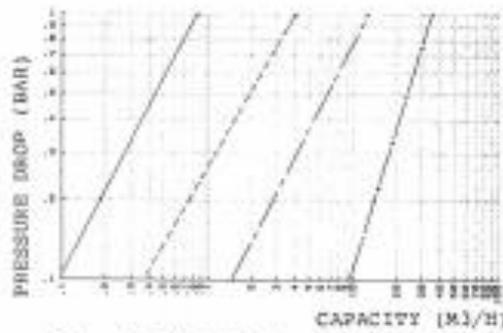


Fig. 2 105 micron

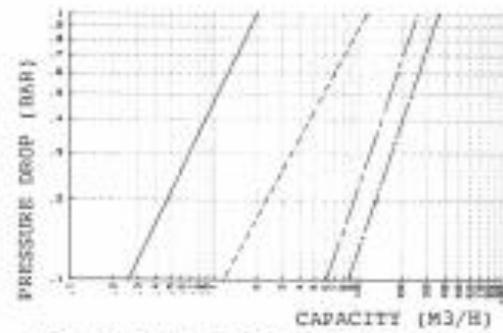


Fig. 6 1000 micron

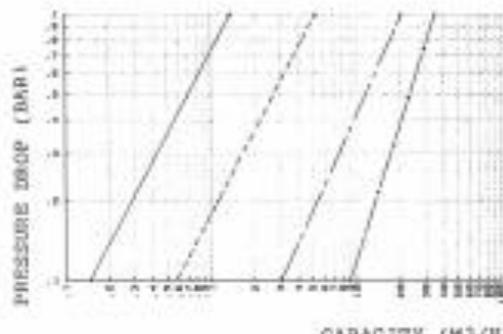


Fig. 3 177 micron

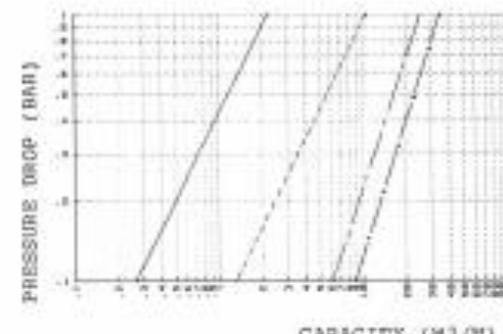


Fig. 7 2000 micron

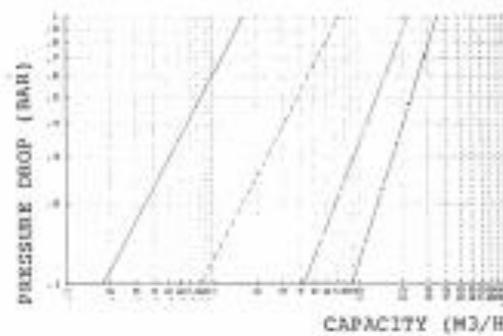


Fig. 4 500 micron

Viscosity

|           |      |     |
|-----------|------|-----|
| — + — + — | 1    | cSt |
| - - - - - | 290  | cSt |
| - . - . - | 1545 | cSt |
| _____     | 6000 | cSt |

## ANEXO 2: FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA CENTRÍFUGA DE LA ZONA DE RECEPCIÓN

### Especificación técnica



#### Bomba centrífuga

|                             |   |         |            |
|-----------------------------|---|---------|------------|
| Ref. Proyecto:              | ac112                                       | Fecha:  | 2021-06-30 |
| Ref. Línea:                 |   | Página: | 1(2)       |
| Modelo:                     | GM-1A                                       |         |            |
| Nº de unidades:             | 1   |         |            |
| Nº de artículo:             | n/a   | Peso:   | 17 kg      |
| Customs statistical number: | 84137091                                    |         |            |
| Código de configuración:    | P(2):PCG1AE8CB86AB2NLA087NYYNNABENNNN       |         |            |
| Nombre:                     | PUMP GM-1A/87 0.6kW 60HZ                    |         |            |
| Descripción:                | 200D SMS SSS C/SIC EPDM BLASTED LEGS/SHROUD |         |            |

#### CONSTRUCCIÓN DE LA BOMBA:

|                             |                                    |
|-----------------------------|------------------------------------|
| Max. Inlet pressure:        | 4 bar                              |
| Product wetted steel parts: | Acid-resistant steel 1.4404 (316L) |
| Impeller material:          | Acid-resistant steel 1.4404 (316L) |

#### Cubierta

|                          |                              |                              |                  |
|--------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|
| Tipo de conexión:        | Union SMS for ISO 2037 tubes | Inlet size:                  | DN/OD-38         |
| Outlet size:             | DN/OD-38                     | Espec. del acabado Interior: | Standard-Blasted |
| Camisa de calentamiento: | No                           | Diámetro del drenaje:        | No drain         |

#### Junta del cierre mecánico

|                            |                   |                                 |        |
|----------------------------|-------------------|---------------------------------|--------|
| Tipo de junta:             | Single shaft seal | Material de la parte rotatoria: | Carbon |
| Material de la parte fija: | Silicon Carbide   | Elastómeros:                    | EPDM   |

#### Rodete

|                    |       |                     |    |
|--------------------|-------|---------------------|----|
| Tamaño del rodete: | 87 mm | Tomillo del rodete: | No |
| Inductor:          | No    | Holgura amplia:     | No |

#### Certificata

|                   |  |                 |    |
|-------------------|--|-----------------|----|
| Performance Test: | Visual inspection and performance test of pump | Surface finish: | No |
|-------------------|--|-----------------|----|

#### Opciones

|          |     |        |     |
|----------|-----|--------|-----|
| Carcasa: | Yes | Patas: | Yes |
|----------|-----|--------|-----|

#### ATEX

|                |    |
|----------------|----|
| Atex approved: | No |
|----------------|----|

#### ESPECIFICACIÓN DEL MOTOR:

|                     |                 |                            |                 |
|---------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|
| Motor vendor:       | ABB             | Tamaño:                    | 0.6 kW          |
| Velocidad:          | Full speed      | Frecuencia:                | 60 Hz           |
| Voltaje:            | 200D            | Características del motor: | Standard        |
| Special Compliance: | No Requirements | Efficiency Level:          | No Requirements |

# Especificación técnica



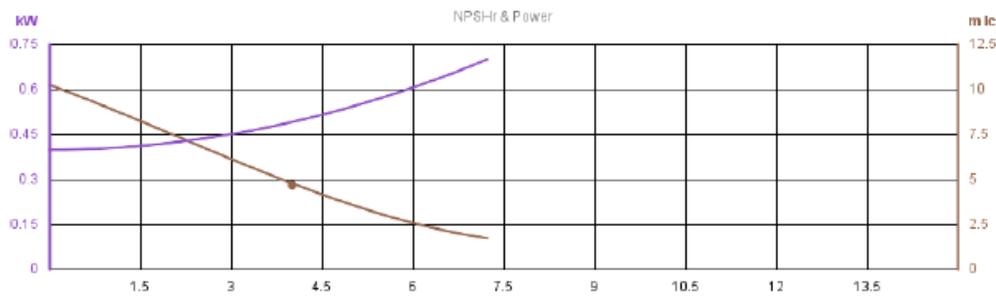
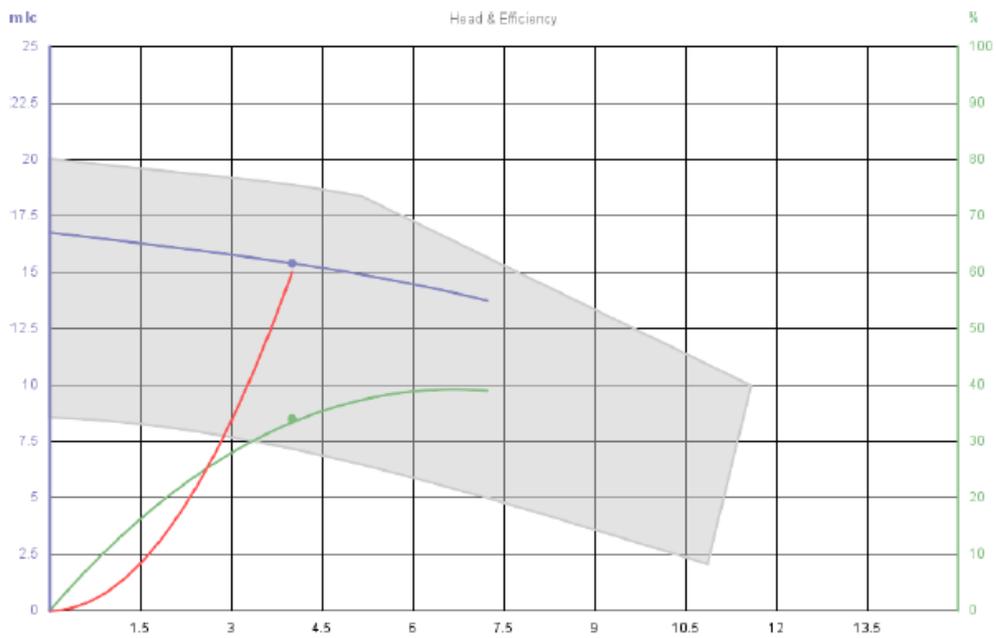
## Curvas de rendimiento basados en Milk 4°C

Peso Especifico: 1.0  
 Viscosidad: 3 cP

Fecha: 2021-06-30  
 Página: 2(2)

**Toma de datos:**  
 Caudal: 4.0 m³/h  
 Calor: 15.4 m lc  
 Eficiencia: 33.5 %  
 Velocidad: 3420 rpm  
 Potencia: 0.5 kW  
 Máx. potencia: 0.7 kW  
 NPSHr: 4.7 m lc

**Rendimiento en la entrada:**  
 Caudal: 4.0 m³/h  
 Calor: 15.4 m lc  
 NPSHr: 4.7 m lc  
 Potencia: 0.5 kW  
 Velocidad: 3420 rpm  
 Eficiencia: 33.5 %  
 Presión de entrada: 0.0 bar  
 NPSHa: 0.0 m lc



### Legend

- Envelope
- Efficiency
- Power
- Head
- Resistance
- NPSHr

## ANEXO 3: FICHA TÉCNICA DEL SENSOR DE NIVEL ALFA NAVAL



### El interruptor de nivel para uso sanitario

#### Interruptor de nivel

##### Aplicación

El interruptor de nivel Alfa Laval está diseñado para cumplir las exigencias de indicación precisa de niveles en los entornos de producción de los sectores sanitario y farmacéutico. Sus principales características son:

- Piezas bañadas en AISI 316L, acero inoxidable y PEEK
- Diseño compacto e higiénico
- Temperatura de proceso de -40 a 200 °C
- Indicador LED integrado en el alojamiento
- No se ve afectado por la espuma
- Ideal para registrar medios a través del registro de los cambios en la dielectricidad del producto
- Rápida opción de aprendizaje para medios difíciles
- No necesita mantenimiento

##### Principios de funcionamiento

El interruptor de nivel Alfa Laval utiliza un barrido de señal de alta frecuencia que va desde el extremo del sensor hasta el depósito. Los medios actúan como condensadores virtuales que, junto con una bobina en la cabeza del sensor, forman un circuito que crea la señal de punto de conmutación. Esta capacidad virtual dependerá del valor dieléctrico de los medios (en la mayoría de los casos, un valor bien definido).



#### DATOS TÉCNICOS

Repetibilidad y precisión:  $\pm 1$  mm  
Histéresis:  $\pm 1$  mm  
Mide valores con valores dieléctricos:  $>1.5$   
Clase de protección: IP67  
Presión máx. de medios: 40 bares

##### Datos eléctricos

Alimentación eléctrica: 18-36 VCC  
Consumo máx. de energía: 70 mA  
Salida: Salida lógica, PNP o NPN  
Corriente de salida máx.: 50 mA  
Conexión eléctrica: Conexión M12 o prensaestopas M16

Tiempo de respuesta:  $<0,1$  s

##### Gama estándar

El transmisor de nivel de Alfa Laval es ideal para medir en líquidos como el agua y la cerveza, así como en fluidos viscosos y pegajosos como la miel, el yogur y la pasta de dientes. Incluso permite medir medios secos como azúcar o harina. El sistema electrónico integrado emite una señal lógica digital e incorpora una función de compensación automática de espuma, burbujas y condensación, así como medios pegajosos. Debido al alto límite de temperatura, el interruptor de nivel Alfa Laval es apto para procesos de CIP y SIP. Se garantiza una instalación higiénica gracias al uso de adaptadores de soldadura higiénica que ofrecen una conexión totalmente enjuagable en el depósito.

#### DATOS FÍSICOS

##### Materiales

Piezas bañadas: AISI 316L y PEEK  
Alojamiento: AISI 304

##### Temperatura de funcionamiento

Piezas bañadas: -40 a 85 °C (140 °C < 1 hora)  
Con conexión deslizando: -40 a 200 °C  
Alojamiento: -40 a 115 °C.

##### Peso

Sensor: Aprox. 500 g.

##### Conexión del proceso

- Abrazadera DN38 (ISO2852)/abrazadera DN40 (DIN32676)
- FFC (conexión completamente lavable)
- G1/2"
- Conexión deslizando G1/2" de 100 mm
- Conexión deslizando G1/2" de 250 mm
- DN25 (DIN11851)
- DN40 (DIN11851)
- DN50 (DIN11851)

##### Certificado:

3.1 (Opcional) (Declaración de conformidad con normativa FDA para materiales Peek incluida)

## ANEXO 4: ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE LA BOMBA CENTRÍFUGA PARA MÁXIMO FLUJO DE CIP

### Especificación técnica

#### Bomba centrífuga



Ref. Proyecto: ac112  
 Ref. Línea:  
 Modelo: GM-1A  
 Nº de unidades: 1

Fecha: 2021-06-30  
 Página: 1(2)

|                             |   |       |       |
|-----------------------------|---|-------|-------|
| Nº de artículo:             | n/a   | Peso: | 17 kg |
| Customs statistical number: | 84137081                                    |       |       |
| Código de configuración:    | P(2):PCG1AE8C885AB2NLA087NYYNABBNNNN        |       |       |
| Nombre:                     | PUMP GM-1A/87 0.6kW 60HZ                    |       |       |
| Descripción:                | 200D SMS SSS C/SIC EPDM BLASTED LEGS/SHROUD |       |       |

#### CONSTRUCCIÓN DE LA BOMBA:

|                             |                                    |
|-----------------------------|------------------------------------|
| Max Inlet pressure:         | 4 bar                              |
| Product wetted steel parts: | Acid-resistant steel 1.4404 (316L) |
| Impeller material:          | Acid-resistant steel 1.4404 (316L) |

#### Cubierta

|                          |                              |                              |                  |
|--------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|
| Tipo de conexión:        | Union SMS for ISO 2037 tubes | Inlet size:                  | DN/OD-38         |
| Outlet size:             | DN/OD-38                     | Espec. del acabado interior: | Standard-Blasted |
| Camisa de calentamiento: | No                           | Díámetro del drenaje:        | No drain         |

#### Junta del cierre mecánico

|                            |                   |                                 |        |
|----------------------------|-------------------|---------------------------------|--------|
| Tipo de junta:             | Single shaft seal | Material de la parte rotatoria: | carbon |
| Material de la parte fija: | Silicon Carbide   | Elastómeros:                    | EPDM   |

#### Rodete

|                    |       |                     |    |
|--------------------|-------|---------------------|----|
| Tamaño del rodete: | 87 mm | Tomillo del rodete: | No |
| Inductor:          | No    | Holgura amplia:     | No |

#### Certificata

|                   |  |                 |    |
|-------------------|--|-----------------|----|
| Performance Test: | Visual inspection and performance test of pump | Surface finish: | No |
|-------------------|--|-----------------|----|

#### Opciones

|          |     |        |     |
|----------|-----|--------|-----|
| Carcasa: | Yes | Patas: | Yes |
|----------|-----|--------|-----|

#### ATEX

|                |    |
|----------------|----|
| Atex approved: | No |
|----------------|----|

#### ESPECIFICACIÓN DEL MOTOR:

|                     |                 |                            |                 |
|---------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|
| Motor vendor:       | ABB             | Tamaño:                    | 0.6 kW          |
| Velocidad:          | Full speed      | Frecuencia:                | 60 Hz           |
| Voltaje:            | 200D            | Características del motor: | Standard        |
| Special Compliance: | No Requirements | Efficiency Level:          | No Requirements |

# Especificación técnica



## Curvas de rendimiento basados en Milk 4°C

Peso Específico: 1.0  
Viscosidad: 3 cP

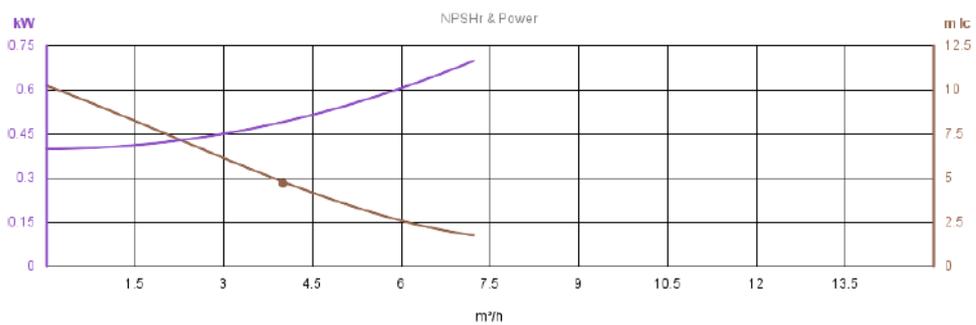
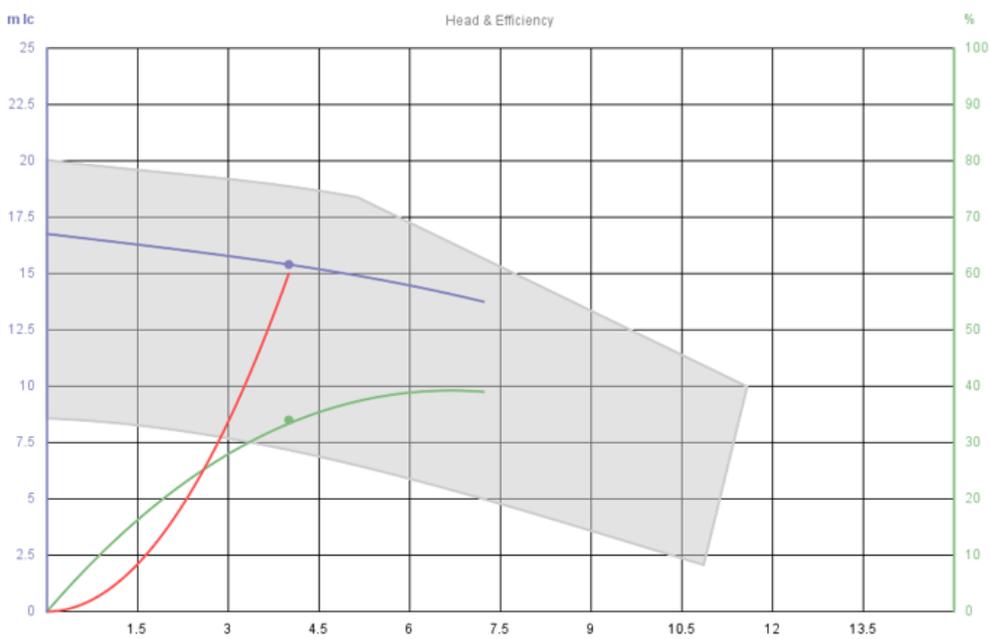
Fecha: 2021-06-30  
Página: 2(2)

### Toma de datos:

Caudal: 4.0 m³/h  
Calor: 15.4 m lc  
Eficiencia: 33.5 %  
Velocidad: 3420 rpm  
Potencia: 0.5 kW  
Máx. potencia: 0.7 kW  
NPSHr: 4.7 m lc

### Rendimiento en la entrada:

Caudal: 4.0 m³/h  
Calor: 15.4 m lc  
NPSHr: 4.7 m lc  
Potencia: 0.5 kW  
Velocidad: 3420 rpm  
Eficiencia: 33.5 %  
Presión de entrada: 0.0 bar  
NPSHa: 0.0 m lc



### Legend

- Envelope
- Efficiency
- Power
- Head
- Resistance
- NPSHr

## ANEXO 5: ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE LA BOMBA CENTRÍFUGA PARA EL FLUJO DE PROCESAMIENTO

### Especificación técnica

#### Bomba centrífuga



Ref. Proyecto: SOLUCIONES EN PROYECTOS DE ALIMENTOS S.A.C. 46013  
 Ref. Línea:  
 Modelo: SolidC-2 Fecha: 2021-06-30  
 Nº de unidades: 1 Página: 1(2)

|                             |   |       |       |
|-----------------------------|---|-------|-------|
| Nº de artículo:             | n/a   | Peso: | 74 kg |
| Customs statistical number: | 84137081  |       |       |
| Código de configuración:    | P(2):PCC02E9CB96GL2NWA1609YYNNAD8NNNN             |       |       |
| Nombre:                     | PUMP SOLIDC-2/160 4.0KW 60HZ                      |       |       |
| Descripción:                | 460Y SMS SSS C/SIC EPDM BLASTED SCREW LEGS/SHROUD |       |       |

#### CONSTRUCCIÓN DE LA BOMBA:

Max Inlet pressure: 4 bar  
 Product wetted steel parts: W. 1.4404 (316L)  
 Impeller material: W. 1.4404 (316L)

#### Cubierta

|                          |                              |                              |                  |
|--------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|
| Tipo de conexión:        | Union SMS for ISO 2037 tubes | Inlet size:                  | DN/OD-63.5       |
| Outlet size:             | DN/OD-38                     | Espec. del acabado Interior: | Standard-Blasted |
| Camisa de calentamiento: | No                           | Diámetro del drenaje:        | No drain         |

#### Junta del cierre mecánico

|                            |                   |                                 |        |
|----------------------------|-------------------|---------------------------------|--------|
| Tipo de junta:             | Single shaft seal | Material de la parte rotatoria: | Carbon |
| Material de la parte fija: | Silicon Carbide   | Elastómeros:                    | EPDM   |

#### Rodete

|                    |        |                     |     |
|--------------------|--------|---------------------|-----|
| Tamaño del rodete: | 160 mm | Tomillo del rodete: | Yes |
| Inductor:          | No     | Holgura amplia:     | No  |

#### Certificata

|                   |  |                 |    |
|-------------------|--|-----------------|----|
| Performance Test: | Visual inspection and performance test of pump | Surface finish: | No |
|-------------------|--|-----------------|----|

#### Opciones

|          |     |        |     |
|----------|-----|--------|-----|
| Carcasa: | Yes | Patas: | Yes |
|----------|-----|--------|-----|

#### ATEX

|                |    |
|----------------|----|
| Atex approved: | No |
|----------------|----|

#### ESPECIFICACIÓN DEL MOTOR:

|                     |                 |                            |                 |
|---------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|
| Motor vendor:       | Weg             | Tamaño:                    | 4.0 kW          |
| Velocidad:          | Full speed      | Frecuencia:                | 60 Hz           |
| Voltaje:            | 460Y            | Características del motor: | Standard        |
| Special Compliance: | No Requirements | Efficiency Level:          | No Requirements |

# Especificación técnica



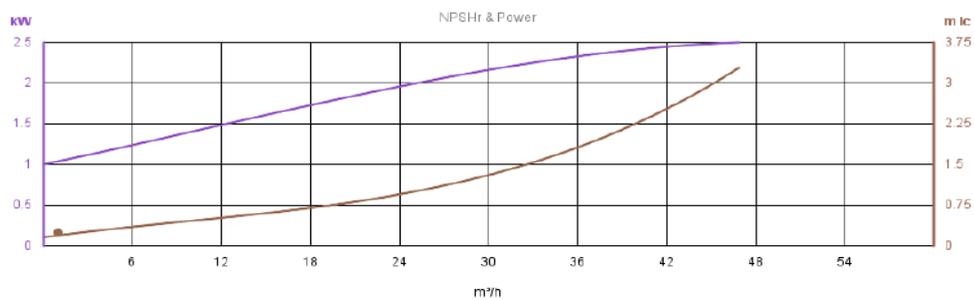
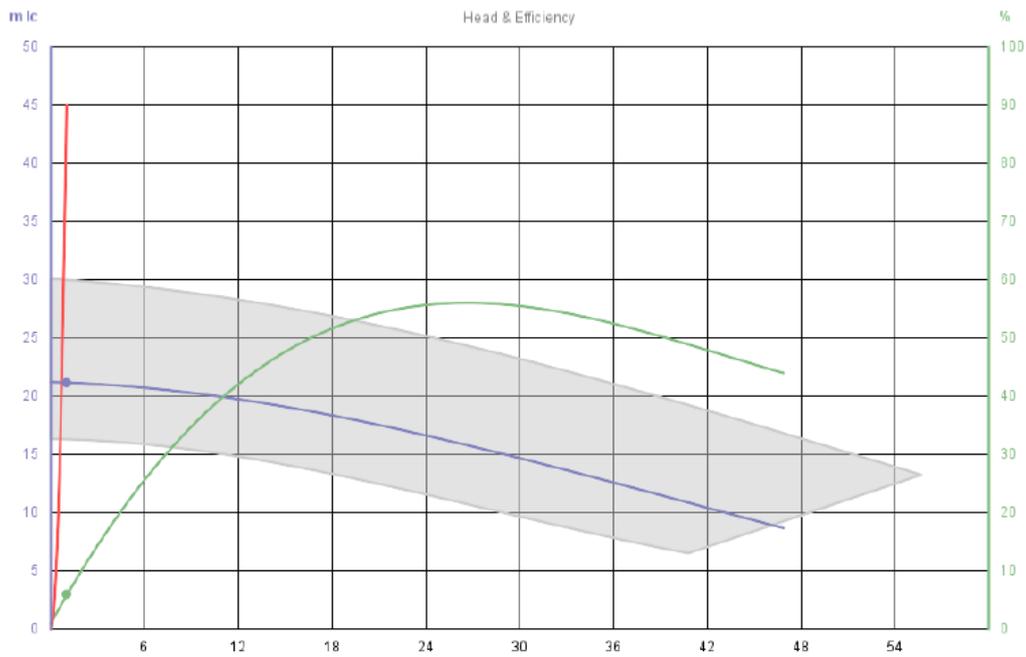
## Curvas de rendimiento basados en Water 5°C

Peso Especifico: 1.0  
 Viscosidad: 1.0 cP

Fecha: 2021-06-30  
 Página: 2(2)

**Toma de datos:**  
 Caudal: 1.0 m³/h  
 Calor: 44.4 m lc  
 Eficiencia: 9.4 %  
 Velocidad: 3480 rpm  
 Potencia: 3.2 kW  
 Máx. potencia: 7.6 kW  
 NPSHr: 0.5 m lc

**Rendimiento en la entrada:**  
 Caudal: 1.0 m³/h  
 Calor: 21.2 m lc  
 NPSHr: 0.2 m lc  
 Potencia: 1.0 kW  
 Velocidad: 2400 rpm  
 Eficiencia: 5.6 %  
 Presión de entrada: 0.0 bar  
 NPSHa: 0.0 m lc



Legend

- Envelope
- Head
- Efficiency
- Resistance
- Power
- NPSHr

