

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PROTOTIPO OPTIMIZADOR
DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS A PEQUEÑA ESCALA Y SU VALIDACIÓN
EN EL PROCESAMIENTO DEL QUESO”**

TESIS

PRESENTADA POR:

**PERCY GUTIERREZ TURPO
JESUS ALBERTO QUISPE FLORES**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

PROMOCIÓN: 2010 – I

PUNO – PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PROTOTIPO OPTIMIZADOR DE
TRATAMIENTOS TÉRMICOS A PEQUEÑA ESCALA Y SU VALIDACIÓN EN EL
PROCESAMIENTO DEL QUESO”

TESIS

PRESENTADA POR:

PERCY GUTIERREZ TURPO

JESUS ALBERTO QUISPE FLORES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 28 DE DICIEMBRE DEL 2017



APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

:

.....
Ing. M.Sc. Pablo, PARI HUARCAYA

PRIMER MIEMBRO

:

.....
Ing. M.Sc. F. Víctor, CHOQUEHUANCA CACERES

SEGUNDO MIEMBRO

:

.....
Dr. Ulises, ALVARADO MAMANI

DIRECTOR

:

.....
Ing. Saire Roenfi, GUERRA LIMA

ASESOR

:

.....
Ing. M.Sc José Manuel, PRIETO

PUNO – PERU
2017

Área : Ingeniería y tecnología

Tema : Desarrollo de procesos y productos agroindustriales sostenibles y eficientes

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a Dios, a la memoria de mi padre Teodoro Gutiérrez, por sus bendiciones que derraman y su tenacidad de vida que Dios les concede. Dedico con todo mi corazón las letras y páginas de este trabajo de grado a mi amada madre Lucia que después de haberme dado la vida luchó contra el mundo entero a ser hombre de bien, y fue la que estuvo conmigo siempre en mis tropiezos y en mis triunfos, por su confianza en mí y con la seguridad de que sería capaz de lograr lo que me propusiera, pero más que nada por su amor incondicional y sincero, a mis hermanos Florencio, Lucila, Valeria y Sonia los que me brindaron su gran apoyo y compañía, a mi compañera de vida Carianni a mi linda y pequeña hija Luciana Alessia a quien dedico este logro, a todos mis amigos y familiares que los conozco desde la infancia por separar de su tiempo para compartir sus experiencias además de momentos de esparcimiento.

GUTIÉRREZ TURPO; Percy

Con mucho Amor a mi esposa Maritza Lizeth Quea Juanito y a mi amado hijo Jhoshua Eduardo Quispe Quea por brindarme las fuerzas para poder terminar esta Tesis, también a mi Madre Agripina Flores Flores que ha sabido formarme con buenos hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles. A mi Padre Edgar Hermógenes Quispe Figueroa que a pesar de la distancia me apoyaste económicamente para culminar mi carrera, a mis hermanos Nelva, Alexis, Richard, Rosa por brindarme el apoyo moral económico para salir adelante.

QUISPE FLORES; Jesús Alberto

AGRADECIMIENTO

A nuestro Creador, que derrama sus bendiciones en la vida de cada uno de nosotros y nos acompaña en el trayecto de nuestras vidas.

Nuestro más sincero agradecimiento y reconocimiento a los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno; en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por haber contribuido en nuestra formación profesional universitaria a través de sus enseñanzas y consejos.

A nuestro asesor de tesis Ing. M.Sc. José Manuel, PRIETO, por su invaluable ayuda en todo momento.

A los miembros del jurado, Ing. M.Sc. Pablo, PARI HUARCAYA, Ing. M.Sc. F. Víctor, CHOQUEHUANCA CACERES, Dr. Ulises, ALVARADO MAMANI y Director de Tesis Ing. Saire Roenfi, GUERRA LIMA, por sus consejos y su orientación en la realización del trabajo de investigación.

Al Ing. Percy Cuaquira de la empresa “FACOMET” por su apoyo incondicional en el ensamblaje y comprensión en todo momento y al personal en general

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| ÍNDICE DE FIGURAS | |
| ÍNDICE DE TABLAS | |
| ÍNDICE DE ACRÓNIMOS | |
| RESUMEN | 15 |
| ABSTRACT | 16 |
| I. INTRODUCCIÓN | 17 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 19 |
| 2.1. PROTOTIPO | 19 |
| 2.1.1. DEFINICIÓN | 19 |
| 2.1.2. DISEÑO DEL PROTOTIPO | 19 |
| 2.1.3. PASOS DEL PROCESO DE DISEÑO | 20 |
| 2.1.4. MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO OPTIMIZADOR DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS | 21 |
| 2.1.4.1. ACERO INOXIDABLE | 21 |
| 2.1.4.2. TIPOS DE ACERO INOXIDABLE | 21 |
| 2.1.5. ACEROS INOXIDABLES UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA | 22 |
| 2.2. SOLDADURAS | 23 |
| 2.3. RECIPIENTES ENCHAQUETADOS A PRESIÓN PARA PROCESOS TÉRMICOS | 24 |
| 2.3.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS | 24 |
| 2.3.2. RECIPIENTES ENCHAQUETADOS | 24 |
| 2.3.3. RECIPIENTES ENCHAQUETADOS CON AGITACIÓN MECÁNICA | 24 |
| 2.3.4. COMPONENTES PRINCIPALES DEL EQUIPO | 25 |
| 2.3.4.1. PEDESTAL | 26 |
| 2.3.4.2. RECIPIENTE A PRESIÓN O TINA | 26 |

| | |
|--|----|
| 2.3.4.3. FONDOS O TAPAS | 26 |
| 2.3.4.4. APOYOS | 26 |
| 2.3.4.5. MOTOR | 26 |
| 2.3.4.6. MOTORREDUCTOR | 27 |
| 2.4. INSTRUMENTOS A UTILIZAR | 27 |
| 2.4.1. SENSOR DE TEMPERATURA | 27 |
| 2.4.2. MANÓMETRO DE PRESIÓN | 27 |
| 2.4.3. VÁLVULA DE DESFOGUE | 27 |
| 2.5. SISTEMAS DE AGITACIÓN | 28 |
| 2.5.1. AGITADO | 28 |
| 2.5.1.1. TIPOS DE AGITADORES | 29 |
| 2.5.2. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA EL AGITADOR | 30 |
| 2.5.3. FACTORES DE COMPARACIÓN | 30 |
| 2.5.3.1. CONSUMO ENERGÉTICO | 30 |
| 2.5.3.2. GRADO DE AGITACIÓN | 31 |
| 2.5.3.3. VELOCIDAD DE AGITACIÓN | 31 |
| 2.6. CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROCESAMIENTO DE QUESO A PEQUEÑA ESCALA | 31 |
| 2.7. QUESO | 33 |
| 2.7.1. CLASIFICACIÓN DE LOS QUESOS SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICO- QUÍMICAS | 33 |
| 2.7.2. TRATAMIENTO TÉRMICO DE LA LECHE | 41 |
| 2.7.2.1. TERMIZACIÓN | 42 |
| 2.7.2.2. PASTEURIZACIÓN | 42 |
| 2.8. FOSFATASA ALCALINA EN LA LECHE | 44 |
| 2.8.1. ACTIVIDAD DE LA FOSFATASA ALCALINA | 44 |
| 2.8.2. IMPORTANCIA DE LA PASTEURIZACIÓN DE LA LECHE | 45 |
| 2.8.3. MICROORGANISMOS AFECTADOS POR LA PASTEURIZACIÓN | 46 |
| 2.8.4. FACTORES LIMITANTES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO | 47 |

| | |
|--|----|
| 2.8.5. EQUIPOS PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS | 48 |
| 2.8.6. CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LECHE DESTINADA A PROCESAMIENTO | 49 |
| 2.8.7. CINÉTICA DE DETERIORO DE LOS ALIMENTOS | 49 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 51 |
| 3.1. MATERIALES | 51 |
| 3.1.1. LUGAR DE EJECUCIÓN | 51 |
| 3.1.2. MATERIA PRIMA | 51 |
| 3.1.3. MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO | 51 |
| 3.1.4. EQUIPOS | 52 |
| 3.1.5. HERRAMIENTAS | 52 |
| 3.1.6. MATERIALES PARA LA AUTOMATIZACIÓN | 53 |
| 3.1.7. SOFTWARE EMPLEADO | 54 |
| 3.2. METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN | 54 |
| 3.2.1. METODOLOGÍA Y CÁLCULO MATEMÁTICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO | 54 |
| 3.2.1.1. VOLUMEN DEL TANQUE O RECIPIENTE | 54 |
| 3.2.1.2. VOLUMEN TOTAL DEL TANQUE | 55 |
| 3.2.2. CÁLCULO DE LA ALTURA DEL TANQUE | 56 |
| 3.2.2.1. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DEL TANQUE | 56 |
| 3.2.2.2. CÁLCULO DEL RADIO DE LA TINA | 56 |
| 3.2.2.3 ALTURA DEL TANQUE | 56 |
| 3.2.3. CÁLCULO PARA EL SISTEMA DE AGITACIÓN | 56 |
| 3.2.3.1. CÁLCULO PARA AGITADOR TIPO REJILLA DE ALAS PLANAS INCLINADAS | 57 |
| 3.2.3.2. LONGITUD DEL BRAZO | 57 |
| 3.2.3.3. ESPESOR DEL AGITADOR | 57 |
| 3.2.3.4. DIÁMETRO DEL RODETE | 57 |
| 3.2.3.5. DISTANCIA ENTRE EL FONDO DEL TANQUE Y RODETE | 58 |

| | |
|---|----|
| 3.2.3.6. ALTO DE LA PALETA | 58 |
| 3.2.3.7. DISTANCIA ENTRE REJILLAS | 58 |
| 3.2.3.8. CÁLCULO PARA DIMENSIONAR LA LIRA | 59 |
| 3.2.3.9. ESPESOR DE LA LIRA | 59 |
| 3.2.4. DIÁMETRO DE LA LIRA | 59 |
| 3.2.4.1. ALTO DE LA PALETA | 60 |
| 3.2.5. DISTANCIA ENTRE EL FONDO DEL TANQUE Y LA LIRA | 60 |
| 3.2.5.1. ALTURA TOTAL DE LA LIRA | 60 |
| 3.2.5.2. DISTANCIA ENTRE FONDO DEL TANQUE Y LA LIRA | 60 |
| 3.2.5.3. DISTANCIA ENTRE HILO E HILO | 60 |
| 3.2.5.4. LA DISTANCIA ENTRE HILO E HILO LA PODEMOS ESTABLECER MEDIANTE EL USO DE LA SIGUIENTE EXPRESIÓN | 61 |
| 3.2.6. CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL AGITADOR | 61 |
| 3.2.6.1 CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS | 61 |
| 3.2.6.2. CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL AGITADOR | 63 |
| 3.2.6.3. SELECCIÓN DEL MOTORREDUCTOR | 63 |
| 3.2.7. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA | 64 |
| 3.2.7.1. BALANCE DE MASA | 64 |
| 3.2.7.2. CÁLCULO DE LA MASA DE LA LECHE | 65 |
| 3.2.7.3 CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL QUESO | 65 |
| 3.2.7.4. CÁLCULO DE LA MASA DE ALIMENTACIÓN | 65 |
| 3.2.7.5. CÁLCULO DE LA FRACCIÓN MOLAR DE LA ALIMENTACIÓN | 65 |
| 3.2.7.6. BALANCE DE MASA GLOBAL | 66 |
| 3.2.7.7. BALANCE PARCIAL DEL EXTRATO SECO (CUAJADA) | 66 |
| 3.2.7.8. BALANCE PARCIAL DEL AGUA | 66 |
| 3.2.7.9. CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CONCENTRACIÓN | 66 |
| 3.2.8. DISEÑO DEL SISTEMA TÉRMICO | 66 |
| 3.2.8.1. CONSIDERACIONES DEL DISEÑO | 66 |
| 3.2.8.2. BALANCE TÉRMICO | 68 |
| 3.2.8.3. CÁLCULO DEL FLUJO DE CALOR DEL METAL | 68 |
| 3.2.8.4. CÁLCULO DE LA GRADIENTE DE LA TEMPERATURA | 69 |
| 3.2.8.5. CÁLCULO DEL ÁREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR | 69 |
| 3.2.8.6. CÁLCULO DEL COEFICIENTE GLOBÁL DE TRANSFERENCIA DE CALOR | 69 |

| | |
|--|----|
| 3.2.9. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO | 70 |
| 3.3. METODOLOGÍA PARA LA VALIDACIÓN | 70 |
| 3.3.1. MÉTODO EXPERIMENTAL | 70 |
| 3.3.2. MATERIA PRIMA | 70 |
| 3.4. PROCESO TRATAMIENTO TÉRMICO | 71 |
| 3.4.1. DESCRIPCIÓN | 71 |
| 3.4.2. METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN DEL QUESO TIPO PARIÁ | 72 |
| 3.4.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO | 73 |
| a. Recepción | 73 |
| b. Filtrado | 73 |
| c. Pasteurización | 74 |
| d. Enfriado | 74 |
| e. Inoculación del cuajo | 74 |
| f. Coagulado | 74 |
| g. Corte | 74 |
| h. Batido | 74 |
| i. 1° Desuerado | 74 |
| j. Lavado | 74 |
| k. Batido | 74 |
| l. 2° Desuerado | 74 |
| m. Salado | 75 |
| n. Pre-prensado | 75 |
| o. Corte | 75 |
| p. Moldeo | 75 |
| q. Pre-prensado | 75 |
| r. Prensado | 75 |
| s. Desmolde | 75 |
| t. Oreó | 75 |
| u. Almacenamiento | 75 |

| | |
|--|-----|
| 3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL | 75 |
| 3.5.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO | 76 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 78 |
| 4.1. CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO | 78 |
| 4.1.1. DIMENSIONES DEL TANQUE CONTENEDOR | 78 |
| 4.1.2. DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO | 80 |
| 4.2. VALIDACIÓN DEL EQUIPO | 81 |
| 4.2.1. RESULTADOS DE LAS CURVAS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS | 85 |
| CONCLUSIONES | 98 |
| RECOMENDACIONES | 99 |
| BIBLIOGRAFÍA | 100 |
| ANEXOS | 107 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 : Tipos y clasificación de los aceros inoxidables | 21 |
| Figura 2: Recipiente enchaquetados Parámetros para identificación de incógnitas. | 25 |
| Figura 3: Tipos de agitadores. | 30 |
| Figura 4: Agitador con un eje vertical y paletas planas | 31 |
| Figura 5: Diagrama de flujo para la elaboración del queso tipo paria | 34 |
| Figura 6: Curvas de temperatura de la inactivación de fosfatasas y lipasas de la leche | 45 |
| Figura 7. Característica de la Potencia frente al Reynolds | 62 |
| Figura 8. Transferencia de calor en recipientes con agitación | 67 |
| Figura 9. Proceso de Calentamiento | 68 |
| Figura 10. Coeficientes de Transferencia de Calor | 69 |
| Figura 11. Diagrama simplificado del proceso de tratamientos térmicos y diseño experimental para la evaluación del equipo | 71 |
| Figura 12. Diagrama de flujo para la elaboración del queso tipo paria | 72 |
| Figura 13. Tanque contenedor del equipo | 79 |
| Figura 14. Tratamiento 1 comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo de pasteurización a una temperatura de 66°C por 5 minutos a 90 RPM de agitación | 85 |
| Figura 15. Comparación colorimétrica de la fosfatasa en leche entera y pasteurizada | 85 |
| Figura 16. Tratamiento 1 comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo de pasteurización a una temperatura de 66°C por 5 minutos a 45 RPM de agitación | 86 |
| Figura 17. Comparación colorimétrica de la fosfatasa en leche entera y pasteurizada | 86 |
| Figura 18. Tratamiento 1 comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo de pasteurización a una temperatura de 66°C por 5 minutos a 15 RPM de agitación | 87 |
| Figura 19. Coloración prueba de fosfatasa alcalina. (66°C por 5 min a 15 RPM) | 87 |
| Figura 20. Tratamiento 2 comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo de pasteurización a una temperatura de 65°C por 10 minutos a 90 RPM de agitación | 88 |
| Figura 21. Comparación calorimétrica de la prueba de fosfatasa alcalina de leche sin pasteurizar y pasteurizada (65°C por 10 min a 90 RPM) | 88 |
| Figura 22. Tratamiento 2 comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo de pasteurización a una temperatura de 65°C por 5 minutos a 45 RPM de agitación | 89 |
| Figura 23. Prueba fosfatasa alcalina. (65°C por 10 min a 45 RPM) | 89 |
| Figura 24. Tratamiento 2 comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo de pasteurización a una temperatura de 66°C por 5 minutos a 15 RPM de agitación. | 90 |

| | |
|--|----|
| Figura 25. Prueba de fosfatasa alcalina de leche. (65°C por 10 min a 15 RPM) | 90 |
| Figura 26. Tratamiento 3 comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo de pasteurización a una temperatura de 63°C por 30 minutos a 90 RPM de agitación | 91 |
| Figura 27. Comparación calorimétrica de la prueba de fosfatasa alcalina de leche sin pasteurizar y pasteurizada. (63°C por 30 min a 90 RPM). | 91 |
| Figura 28. Tratamiento 3 comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo de pasteurización a una temperatura de 63°C por 30 minutos a 45 RPM de agitación. | 92 |
| Figura 29. Prueba de fosfatasa alcalina de leche. (63°C por 30 min a 45 RPM). | 92 |
| Figura 30. Tratamiento 3 comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo de pasteurización a una temperatura de 63°C por 30 minutos a 15 RPM de agitación. | 93 |
| Figura 31. Prueba de fosfatasa alcalina de leche. (65°C por 10 min a 15 RPM). | 93 |
| Figura 32. Efectos principales de la fosfatasa alcalina en l aleche pasteurizada | 96 |
| Figura 33. Superficie de respuesta. | 97 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Propiedades de los Aceros Inoxidables | 22 |
| Tabla 2. Propiedades de los aceros inoxidables | 23 |
| Tabla 3: Clasificación según su consistencia | 33 |
| Tabla 4: Clasificación según su contenido de grasa. | 34 |
| Tabla 5. Materiales para la automatización | 53 |
| Tabla 6: Materiales para la evaluación | 54 |
| Tabla 7. Datos iniciales del tanque | 55 |
| Tabla 8. Datos para el cálculo de número de Reynolds | 63 |
| Tabla 9. Niveles y valores de los factores en estudio para la Evaluación | 77 |
| Tabla 10. Tabla de tratamientos | 77 |
| Tabla 11. Dimensiones y capacidad del tanque | 78 |
| Tabla 12. Hoja técnica de diseño | 79 |
| Tabla 13. Parámetros físicos del equipo | 80 |
| Tabla 14. Resultados de la evaluación del tratamiento térmico de la leche evaluado en el equipo optimizador. Obtenidos en la Planta Piloto de EPIA – FCA. (2017) | 81 |
| Tabla 15. Inactivación de fosfatasa alcalina en leches de vaca sometida a diferentes tratamientos térmicos | 83 |
| Tabla 16. Tiempo operacional del tratamiento térmico | 84 |
| Tabla 17. ANOVA asociado a los resultados experimentales obtenidos en el proceso de tratamientos. | 94 |
| Tabla 18. Efectos estimados para Fosfatasa (eff) | 95 |
| Tabla 19. Optimizar Respuesta Meta: maximizar Fosfatasa | 96 |

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

| | |
|-----------------|-----------------------------|
| % | Porcentaje |
| °C | Grados centígrados |
| °D | Grados dornic |
| μL | Micro litro |
| μmol | Micro mol |
| <i>Abs</i> | Absorbancia |
| AGE | Ácido Gálico Equivalente |
| cm ³ | Centímetro cubico |
| gr | Gramos |
| h | Horas |
| Kcal | Kilocalorías |
| kg | Kilogramo |
| L | Litro |
| mg | Miligramos |
| min. | Minutos |
| mL | Mililitros |
| N | Normalidad |
| ppm | Partes por millón |
| rpm | Revoluciones por minuto |
| t | Tiempo |
| T | Temperatura |
| TBARs | Ácido Tiobarbitúrico |
| TE | Trolox Equivalente |
| ΔAbs | Variación de la absorbancia |

RESUMEN

El trabajo de investigación tuvo como objetivo general: diseñar, construir y validar un equipo prototipo optimizador de tratamientos térmicos durante el procesamiento del queso a nivel de laboratorio, La primera etapa, consistió en construir y ensamblar el equipo, esta operación se llevó a cabo en la Empresa Industrial “FACOMET”, en la ciudad de Juliaca y la segunda etapa fue la validación del equipo con la obtención de la leche pasteurizada, comprobada mediante la prueba de fosfatasa alcalina (método tiras reactivas colorimétricas), que se realizó en la Universidad Nacional del Altiplano Puno en la Planta Piloto de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial. El equipo está constituido por un tanque enchaquetado de forma cilíndrica y base cónica con un diámetro interno de 0.45 m y una altura de 0.30 m recubierto con una chaqueta de calentamiento de 0.03 m de espesor; En la parte superior (tapa cilíndrica) lleva el sistema de agitación automatizada mediante un motoreductor de 3/8 Hp, el material utilizado en la construcción del equipo es de acero inoxidable de grado alimentario AISI 304, así mismo cuenta con los equipos auxiliares: sensores de temperatura, (en la chaqueta, termo tanque, y tina cilíndrica), válvulas, tuberías, llaves de paso, generador de calor y manómetro. La automatización del equipo está dispuesta en un tablero de control donde se visualizan: las temperaturas de entrada y salida, control de apagado y prendido de la bomba, control del variador y la frecuencia del sistema de agitación. La transferencia de calor del equipo es por sistemas de convección forzada y de tipo turbulencia. Los factores de estudio fueron: Tratamiento 1 = 66 °C por 5 min, Tratamiento 2 = 65 °C por 10 min, Tratamiento 3 = 63°C por 30 min y con velocidad de agitación de 90, 45 y 15 RPM respectivamente. Así mismo los resultados en relación al Tiempo-Temperatura de pasteurización fueron los siguientes: Tratamiento 1 =14.46 min, Tratamiento 2 = 12.59 min, Tratamiento 3 = 11.58 min y el tiempo de enfriamiento de la leche hasta descender a los 38 °C fueron: Tratamiento 1 = 9.16 min, Tratamiento 2 = 8.27 min, Tratamiento 3 = 8.3 min, donde empieza la inoculación y la coagulación enzimática. Los mejores indicadores para la óptima relación Tiempo-Temperatura de tratamientos térmicos mediante la prueba de fosfatasa alcalina fueron: 65 °C en 10 min y a una velocidad de agitación de 45 RPM siendo valores altamente significativos.

Palabra clave: Tratamiento térmico, queso tipo paria, pasteurización, fosfatasa alcalina.

ABSTRACT

The main objective of the research work was to design, build and validate a prototype equipment that optimizes thermal treatments during the processing of cheese at the laboratory level. The first stage consisted of constructing and assembling the equipment, this operation was carried out in the Industrial Company "FACOMET", in the city of Juliaca and the second stage was the validation of the equipment with the obtaining of the pasteurized milk, proven by the alkaline phosphatase test (colorimetric test strip method), which was carried out at the National University of the Puno Altiplano in the Pilot Plant of the Professional School of Agroindustrial Engineering. The equipment is constituted by a tank with a cylindrical shape and conical base with an internal diameter of 0.45 m and a height of 0.30 m covered with a heating jacket of 0.03 m thickness; In the upper part (cylindrical lid) carries the automated agitation system by means of a 3/8 Hp motor reducer, the material used in the construction of the equipment is AISI 304 food grade stainless steel, likewise it has the auxiliary equipment: sensors of temperature, (in the jacket, thermostat, and cylindrical tub), valves, pipes, stopcocks, heat generator, manometer. The automation of the equipment is arranged in a control panel where they are visualized: the temperatures of entrance and exit, control of turn off and on of the pump, control of the variator and the frequency of the system of agitation. The heat transfer of the equipment is by forced convection and turbulence type systems. The study factors were: (Treatment 1 = 66 ° C for 5 min, Treatment 2 = 65 ° C for 10 min, Treatment 3 = 63 ° C for 30 min) and agitation speed (90, 45 and 15 RPM) respectively . Likewise the results in relation to the Time-Temperature of pasteurization were the following: Treatment 1 = 14.46 min, Treatment 2 = 12.59 min, Treatment 3 = 11.58 min and the cooling time of the milk until descending to 38 ° C were: Treatment 1 = 9.16 min, Treatment 2 = 8.27 min, Treatment 3 = 8.3 min, where inoculation and enzymatic coagulation begins. The best indicators for the optimal Time-Temperature relation of thermal treatments by the alkaline phosphatase test were: 65 ° C in 10 min and at a stirring speed of 45 RPM being highly significant values.

Keyword: Heat treatment, pariah type cheese, pasteurization, alkaline phosphatase.

I. INTRODUCCIÓN

La Región Puno está considerada dentro de los primeros lugares de producción ganadera bovina por poseer condiciones favorables para la producción lechera y debido a que en estos últimos años se ha incrementado el consumo de leche y productos lácteos principalmente el queso.

En la actualidad en el departamento de Puno se viene desarrollando en producción lechera, obteniéndose altos volúmenes de leche, 55 662 TM/año (Ministerio de Agricultura 2015) del cual el 70% va destinada a la transformación del queso, que en un 90% son de tipo paria, que es bastante consumido por la población de Puno y como también por otras regiones del país. Sin embargo, es un alimento perecible que se ve afectado por el deterioro principalmente microbiológico, dado que no se realiza controles rigurosos desde la materia prima y su tratamiento térmico para el procesamiento del producto (proyecto Tecno Leché, 2017).

La necesidad de realizar el presente Proyecto de Investigación, nace a raíz de que en la industria láctea, hay múltiples debilidades principalmente en el procesamiento de queso, el proyecto busca brindar una alternativa de solución a las necesidades de los pequeños procesadores de queso que no posee un adecuado sistema de tratamiento térmico de leche entera, por lo tanto planteamos; la construcción de un equipo de tratamientos térmicos automatizado y de fácil manejo operacional.

Las industrias alimenticias tienen cada vez mayores exigencias y retos, en cuanto a la salubridad, ahorro de energía, conservación de recursos valiosos, mejoramiento en la productividad y en la calidad del producto.

La técnica del tratamiento térmico implementada en esta investigación se efectuó la pasteurización lenta: 66, 60 y 63°C por 5,10 y 30 min respectivamente con velocidad de agitación de: 90, 45 y 15 RPM. El equipo pasteurizador consta de tres etapas principales; calentamiento, agitación y enfriamiento. Las temperaturas en las diferentes etapas del proceso de pasteurización son registradas por los sensores de temperatura, las termocuplas T1, T2, T3 para luego ser enviadas a la unidad central de control PLC, donde se procesan y determina las acciones a tomarse para lograr las condiciones de funcionamiento deseado.

El presente trabajo de investigación consta de 4 etapas:

En la primera etapa se detalla el marco teórico en el cual se describen algunos conceptos tales como que son los tratamientos térmicos (pasteurización), en que consiste

los tratamientos térmicos en la industria láctea, estudio de alternativas para selección del recipiente de tratamientos térmicos y el fundamento teórico de recipientes enchaquetados con agitación automática.

En la segunda etapa se realizó el estudio de alternativas para la selección de materiales y con este análisis empieza el criterio de diseño del recipiente, diseño de la estructura para el motoreductor, tanque, área de transferencia de calor, cálculo término del tanque, cálculo de la fuerza ejercida en el tanque, diseño de la estructura de la mesa y el diseño del agitador.

En la tercera etapa se realizó la construcción, simulación y validación de elementos del prototipo optimizador de tratamientos térmicos como el tanque, agitador y la estructura cumpliendo con los indicadores de estudio como el tiempo, temperatura y la velocidad de agitación.

En la cuarta etapa se realizó la validación de equipo y se hizo el análisis de resultados de todos los tratamientos térmicos mediante la prueba de fosfatasa alcalina con lo cual se determinó los parámetros más óptimos de tiempo, temperatura y velocidad de agitación para el procesamiento del queso.

Por lo tanto el objetivo general fue: Diseñar, construir y validar un equipo prototipo optimizador de tratamientos térmicos durante el procesamiento del queso.

Como objetivos específicos, fueron:

- ✓ Construir y caracterizar el equipo prototipo optimizador de tratamientos térmicos para su utilización en el procesamiento del queso.
- ✓ Determinar los parámetros más óptimos de tratamiento térmico para el procesamiento del queso tipo paria.
- ✓ Validar los tratamientos térmicos (pasteurización) mediante la prueba de fosfatasa alcalina en el quipo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. PROTOTIPO

2.1.1. DEFINICIÓN

Un Prototipo es un objeto que sirve como referencia para futuros modelos en una misma cadena de producción. Un Prototipo es el primer dispositivo que se fabrica y del que se toman las ideas más relevantes para la construcción de otros diseños y representa todas las ideas en cuanto a diseño, soporte y tecnología que se les puedan ocurrir a sus creadores. Por lo general un prototipo no sale a la venta a menos que sea menos que sea un terminal orientado para que otros desarrolladores de tecnología trabajen con él para insertar nuevas funciones o especificaciones a este para que funcione de una manera más eficiente (Marin , 2008).

Un prototipo es como una misión de demostración, de prueba. Es más, la mayoría de los prototipos que se crean son utilizados con este objetivo y luego, una vez que se han mostrado y que los expertos o usuarios den su visto bueno se suelta su producción en serie. La puesta en práctica de la prueba y error, porque el prototipo permite justamente probarlo y advertir fallas antes de su fabricación masiva (Mott, 2009).

2.1.2. DISEÑO DEL PROTOTIPO

El diseño se define como el proceso previo de configuración mental, "prefiguración", en la búsqueda de una solución en cualquier campo. Utilizado habitualmente en el contexto de la industria, ingeniería, arquitectura, comunicación y otras disciplinas creativas. El acto de diseñar como prefiguración es el proceso previo en la búsqueda de una solución o conjunto de las mismas. Plasmar el pensamiento de la solución o las alternativas mediante esbozos, dibujos, bocetos o esquemas trazados en cualquiera de los soportes, durante o posteriores a un proceso de observación de alternativas de investigación. El acto intuitivo de diseñar podría llamarse creatividad como acto de creación o innovación si el objeto no existe o se modifica algo existente (Mott, 2009).

2.1.3. PASOS DEL PROCESO DE DISEÑO

El diseño Preliminar se realiza de la siguiente manera (Norton, 2009).

Planteamiento inicial de la necesidad.

- Revisión del estado del arte del problema.
- Recolección de datos cuantitativos y cualitativos.
- Definición del problema.
- Diseño Básico.
- División en subsistemas

Planteamiento de alternativas de solución de subsistemas.

- Selección de alternativas de solución.
- Integración de subsistemas.
- Diseño de detalle.
- Selección de elementos comerciales.
- Síntesis y análisis de piezas manufacturadas.
- Integración de elementos y subsistemas.
- Planos de ensamble y de taller

Prototipos & Pruebas

- Prototipos: virtuales (CAD 3D, CAE, CAM) y reales.
- Pruebas estáticas y dinámicas.
- Retroalimentación.
- Diseño definitivo.
- Planos definitivos: detalle, taller, ensamble y explosión.
- Diseño de detalles estéticos y especificación de acabados.
- Construcción de la pieza en serie.

Comunicación

- Memorias de cálculo y planos.
- Manuales de instalación, operación y mantenimiento.
- Patente y registro comercial.
- Catálogos comerciales.

2.1.4. MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO OPTIMIZADOR DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS

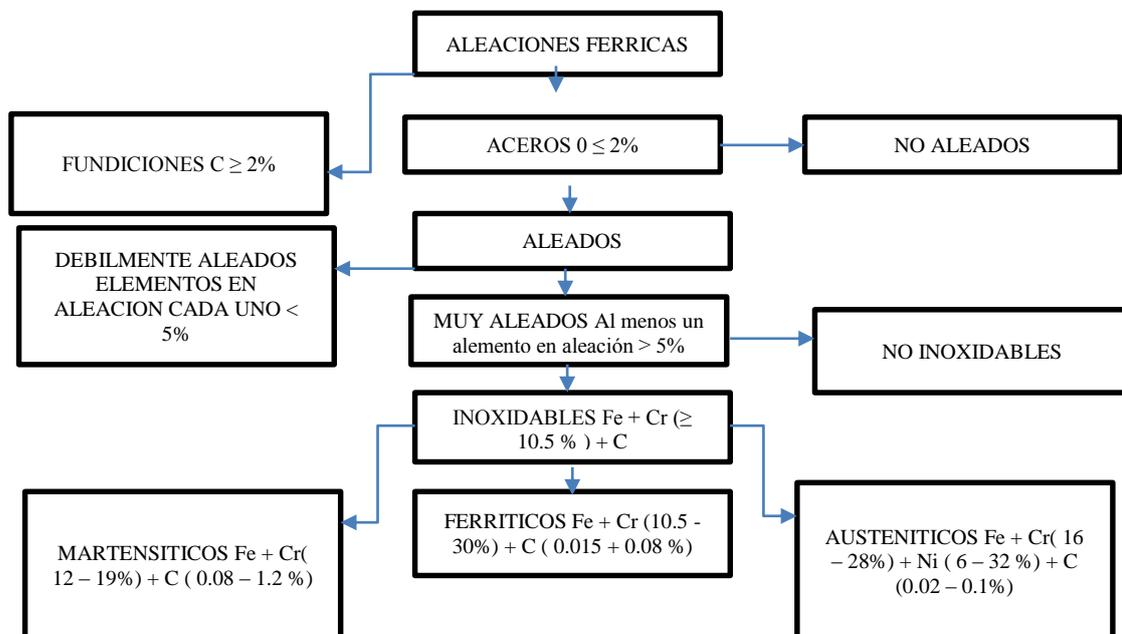
2.1.4.1. ACERO INOXIDABLE

El acero inoxidable es una aleación que contiene cromo y níquel y se llama acero 18-8. También contiene otras sustancias, tales como molibdeno o titanio. El cromo da la calidad de inoxidable, por el óxido de cromo que se forma durante el proceso de “pasivación” pero endurece tanto el metal que no puede ser trabajado y soldado. El molibdeno se agrega debido a que produce pequeñas partículas en el proceso de fabricación, dando al metal una textura cerrada y una superficie suave, y mejorando la calidad de inoxidable. El titanio tiene un efecto similar, pero es superior al molibdeno (Ospina López, 2007).

2.1.4.2. TIPOS DE ACERO INOXIDABLE

Los principales elementos después del hierro son el cromo, carbono y níquel. El porcentaje de dichos elementos y su variación cambia la porción de las fases presentes, lo cual da lugar a los diferentes aceros inoxidables como austeníticos, ferríticos, martensíticos y dúplex (Kalpakjian et al. 2002).

Figura 1 : Tipos y clasificación de los aceros inoxidables



Fuente: Mott, (2009).

Tabla 1: Propiedades de los Aceros Inoxidables

| Especificaciones para el moldeo en acero | | | Composición química nominal | | | | | | Propiedades mecánicas mínimas | | Tratamiento térmico |
|--|------|--------------------------------------|-----------------------------|------|------|------|------|-----|-------------------------------|---------------------|---------------------|
| AISI | ASTM | Otras designaciones similares | C Max. | Mn | Si | Cr | Ni | Mo | Limite Rotura PSI | Limite Elástico PSI | |
| 304L | A744 | SAE 60304L | 0.03 | 0.75 | 1.25 | 19.5 | 9.0 | - | 70 | 30 | Temple en solución |
| | A351 | AMS 5371 | | | | | | | | | |
| | CF3 | | | | | | | | | | |
| 316L | A744 | SAE 60316L | 0.03 | 0.75 | 1.25 | 19.5 | 10.0 | 2.4 | 70 | 30 | Temple en solución |
| | A351 | | | | | | | | | | |
| | CF3M | | | | | | | | | | |
| 304 | A744 | MIL-S-867A Clase I | 0.08 | 0.75 | 1.25 | 19.5 | 9.0 | - | 70 | 30 | Temple en solución |
| | A351 | MIL-S-17509 Clasel | | | | | | | | | |
| | CF8 | III MIL-S-23193A Comp. A SAE60304 | | | | | | | | | |

Fuente: Mott, (2009)

2.1.5. ACEROS INOXIDABLES UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

El acero inoxidable caracteriza el alto nivel de resistencia a la corrosión que ofrecen las aleaciones en este grupo. Para ser clasificada como acero inoxidable, la aleación debe tener al menos 10% de contenido de cromo. La AISI (American Iron and Steel Institute), designa casi todos los aceros inoxidables por sus series 200, 300 y 400 (Mott, 2009).

Los tres grupos principales de aceros inoxidables son el austeníticos, el ferroso y el martensítico. Los aceros austeníticos se encuentran dentro de las series AISI 200 y 300. Son grados de uso general cuya resistencia es moderada. En su mayor parte no son susceptibles al tratamiento térmico y sus propiedades finales se determinan por el grado en que se trabaja, el temple resultante se indica como ¼ de dureza, ½ de dureza, ¾ de dureza y totalmente duro. Estas aleaciones amagnéticas por lo general se emplean en equipos para procesar alimentos (Mott, 2009).

Tabla 2. Propiedades de los aceros inoxidables

| Designación del material Numero AISI | Condición | Resistencia a la tracción Mpa. | Resistencia a punto sedente Mpa. | Densidad (elongación porcentual) Pulg. |
|---|-----------------|--------------------------------------|--|---|
| Aceros austeniticos | | | | |
| 201 | Recocidos | 793 | 379 | 55 |
| | ¼ duro | 862 | 517 | 20 |
| | 3/2 duro | 1030 | 758 | 10 |
| | ¾ duro | 1210 | 931 | 5 |
| | Totalmente duro | 1280 | 966 | 4 |
| 301 | Recocido | 758 | 276 | 60 |
| | | 862 | 517 | 25 |
| | ½ duro | 1030 | 758 | 15 |
| | 3/2 duro | 1210 | 931 | 12 |
| | ¾ duro | 1280 | 966 | 8 |
| | Totalmente duro | | | |

Fuente: Mott,(2009)

2.2. SOLDADURAS

La soldadura es un proceso de fijación en donde se realiza la unión de dos o más piezas de un material (generalmente metales o termoplásticos), usualmente logrado a través de la coalescencia(fusión), en la cual las piezas son soldadas fundiendo, se puede agregar un material de aporte (metal o plástico), que, al fundirse, forma un charco de material fundido entre las piezas a soldar (el baño de soldadura) y, al enfriarse, se convierte en una unión fija a la que se le denomina cordón (Hernández, 2006).

El metal de relleno puede tener el mismo punto de fusión que los metales, (como en la soldadura de arco ò con gas) o puede tener un punto de fusión inferior o arriba de 427° C como en la soldadura fuerte. Según esta definición, la soldadura es distinta de la unión mecánica a la ubicación adhesiva. El límite de 982° C distingue a la soldadura fuerte de la soldadura suave, la cual no se analiza (Howard, 2005).

2.3. RECIPIENTES ENCHAQUETADOS A PRESIÓN PARA PROCESOS TÉRMICOS

2.3.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Esta investigación se centraliza en la dispersión de calor que existe entre dos cuerpos, en este caso la chaqueta de acero inoxidable y el vapor, por este motivo se analizara el tipo de transferencia de calor que existe en este sistema. La transferencia de calor está relacionada con la razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos llamados fuente y receptor. Cuando se vaporiza una libra de agua o se condensa una libra de vapor, el cambio de energía en los dos procesos es idéntico.

El calentamiento consiste en hacer circular el vapor a cierta presión por la cámara de calefacción, en cuyo caso el vapor es suministrado por una caldera. Esta es denominada marmita de vapor, usualmente la marmita tiene forma semiesférica y puede estar provista de agitador mecánico, es una marmita abierta, el producto es calentado a presión atmosférica (Donald, 1999).

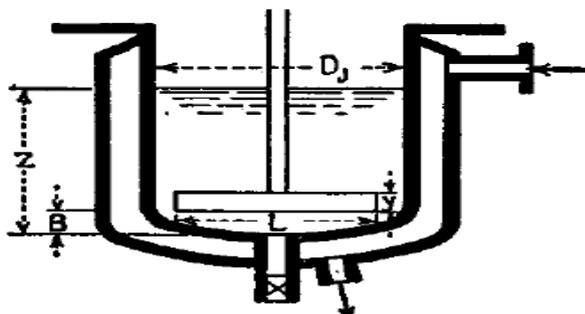
2.3.2. RECIPIENTES ENCHAQUETADOS

Un recipiente enchaquetado puede adaptarse para operaciones de régimen constante cuando la entrada y salida de materiales sea constante. Ya que los recipientes enchaquetados son fundamentalmente aparatos para procesar lotes, la diferencia de temperatura durante el proceso de calentamiento o enfriamiento no es constante (Donald, 1999).

2.3.3. RECIPIENTES ENCHAQUETADOS CON AGITACIÓN MECÁNICA

En la Figura 2 se muestra un recipiente enchaquetado estándar, consiste de un recipiente y su chaqueta, los medios apropiados para circular el líquido dentro de la chaqueta y un agitador de aspas planas (Donald, 1999).

Figura 2: Recipiente enchaquetados Parámetros para identificación de incógnitas.



Fuente: Yunus A., (2011)

Las dimensiones esenciales para el cálculo son, altura de la porción húmeda del recipiente z , diámetro del recipiente D_j , longitud de la paleta del agitador L , y la altura desde el fondo de la paleta hasta el fondo del recipiente B'' . (Donald, 1999).

$$R_{rj} = \frac{L^2 N_p}{u} \dots \dots \dots \text{Ecuación [1]}$$

Donde:

- L : longitud en pies de la paleta,
- N : número de revoluciones por hora,
- p : densidad promedio,
- u : viscosidad del líquido.

Los estudios hechos por White y colaboradores indican que los requerimientos de potencia pueden determinarse como una función del número de Reynolds modificado (Donald, 1999).

2.3.4. COMPONENTES PRINCIPALES DEL EQUIPO

El recipiente o tina está compuesta de cuatro partes principales:

- Pedestal
- Tina o recipiente
- Motoreductor (automatizado)
- Tablero de control (PLC)

2.3.4.1. PEDESTAL

- Base que sostiene el equipo
- Plataforma de acero inoxidable.

2.3.4.2. RECIPIENTE A PRESIÓN O TINA

Considera como un recipiente a presión cualquier vasija cerrada que sea capaz de almacenar un fluido a presión atmosférica, ya sea presión interna o vacío, independiente de su forma y dimensiones (Erazo, 2012).

El recipiente o tina, está conformada por una estructura construida en su totalidad en acero inoxidable AISI 304, en la parte inferior posee una chaqueta que le permite realizar una transferencia térmica de forma indirecta. La chaqueta tiene una entrada de agua y una salida para realizar procesos de recirculación. El equipo cuenta con un sistema de agitación (opcional) conformado por una motorreductor y una serie de aspas posicionadas de forma escalonada para realizar un barrido completo al momento de realizar el proceso de agitación (Erazo, 2012).

2.3.4.3. FONDOS O TAPAS

Los fondos son las tapas que cierran, generalmente, son abovedados o hemiesferoidales, que también pueden ser cónicos o planos, los que son de reducida utilización. Son las envolturas mecánicas que forman propiamente el recipiente y están conformados por la parte cilíndrica y los fondos (Borda & Gamarra, 2002).

2.3.4.4. APOYOS

Es la carga del recipiente más su propio peso, respecto a las condiciones de estabilidad de instalación y operación, mantienen una distancia al suelo por medio de unos apoyos que transmiten su carga al suelo (Borda & Gamarra, 2002).

2.3.4.5. MOTOR

Es un dispositivo para convertir la energía eléctrica en trabajo mecánico por medio de un movimiento rotatorio. Por lo general todo motor eléctrico está formado por tres partes principales (Guerra & Pinedo, 2006).

- Carcasa
- Estator (llamado inductor en los motores de corriente continua)
- Rotor (llamado inducido en los motores de corriente continua)

2.3.4.6. MOTORREDUCTOR

Los motoredutores son elementos mecánicos muy adecuados para el accionamiento de todo tipo de máquinas y aparatos de uso industrial, que se necesitan reducir su velocidad de una forma eficiente, constante y segura (Erazo, 2012). Con las siguientes características:

- Alta eficiencia de la transmisión de potencia del motor.
- Alta regularidad en cuanto a potencia y par transmitidos.
- Elemento seguro en todos los aspectos, muy protegido.

2.4. INSTRUMENTOS A UTILIZAR

2.4.1. SENSOR DE TEMPERATURA

La temperatura, junto con el flujo, es la variable que con mayor frecuencia se mide en la industria de proceso. La razón simple es que casi todos los fenómenos físicos se ven afectados por estas, la temperatura se utiliza frecuentemente para inferir otras variables del proceso; dos ejemplos más comunes son las columnas de destilación y los reactores químicos. En los reactores químicos la temperatura se utiliza como un indicador de la extensión de la conversión o reacción (Carranza, 2005).

2.4.2. MANÓMETRO DE PRESIÓN

El manómetro es un instrumento utilizado para la medición de la presión en los fluidos, generalmente determinando la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local. Hay que tener en cuenta que la mayoría de los manómetros miden la diferencia entre la presión del fluido y la presión atmosférica local, entonces hay que sumar esta última al valor indicado por el manómetro para hallar la presión absoluta. Cuando se obtiene una medida negativa en el manómetro es debida a un vacío parcial (Erazo, 2012).

2.4.3. VÁLVULA DE DESFOGUE

La presente invención se refiere a mejoras a válvula de desfogue accionada por presión moduladora, para operar un válvula de principal, con una entrada y una salida,

una cámara de cabezal en el cuerpo de válvula principal, un pistón montado recíprocamente en el cuerpo de válvula principal y que es móvil, que responde a la presión de la cámara de cabezal, entre una posición abierta, que proporciona comunicación de fluido entre la entrada y la salida y una posición cerrada que bloquea la comunicación de fluido entre la entrada y la salida (Erazo, 2012).

2.5. SISTEMAS DE AGITACIÓN

La agitación o mezclado es una de las operaciones unitarias más antigua y más ampliamente utilizada, si bien la comprensión de la materia es limitada. Aunque la efectividad y consumo de energía de la operación depende de principios básicos de la mecánica de fluidos, los modelos de flujo que se desarrollan en un tanque son tan complejos que la aplicación rigurosa de los principios básicos resulta prácticamente imposible (ITESCAM, 2006).

2.5.1. AGITADO

Los agitadores son dispositivos impulsados por un rodete que se utilizan para homogenizar, emulsionar una solución que se encuentra en un recipiente. Es importante indicar que el tipo de agitador se debe elegir de acuerdo a la viscosidad del fluido a homogenizar.

La agitación se refiere a forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente. Los objetivos de la agitación pueden ser:

- Mezcla de dos líquidos miscibles (Ej: alcohol y agua).
- Disolución de sólidos en líquido (Ej.: azúcar y agua).
- Mejorar la transferencia de calor (en calentamiento o enfriamiento).
- Dispersión de un gas en un líquido (oxígeno en caldo de fermentación).
- Dispersión de partículas finas en un líquido.
- Dispersión de dos fases no miscibles (grasa en la leche).

Generalmente el equipo consiste en un recipiente cilíndrico (cerrado o abierto), y un agitador mecánico, montado en un eje y accionado por un motor eléctrico. Las proporciones del tanque varían ampliamente, dependiendo de la naturaleza del problema de agitación. El fondo del tanque debe ser redondeado, con el fin de eliminar los bordes rectos o regiones en las cuales no penetrarían las corrientes del fluido. La altura del

líquido, es aproximadamente igual al diámetro del tanque. Sobre un eje suspendido desde la parte superior, va montado un agitador. El eje está accionado por un motor, conectado a veces, directamente al mismo, pero con mayor frecuencia, a través de una caja de engranajes reductores (Pérez, 2006).

El agitador crea un cierto tipo de flujo dentro del sistema, dando lugar a que el líquido circule por todo el recipiente y vuelva de vez en cuando al agitador. El mezclado y/o agitación de líquidos miscibles o de sólidos en se efectúa con el objeto de lograr una distribución uniforme de los componentes entre sí por medio del flujo. Dicho flujo es producido por medios mecánicos generalmente cuando se mezclan líquidos miscibles o sólidos en líquidos se puede lograr un mezclado íntimo, pero con líquidos inmiscibles y materiales muy viscosos o pastosos el grado de mezclado logrado es menor (Borda, 2002).

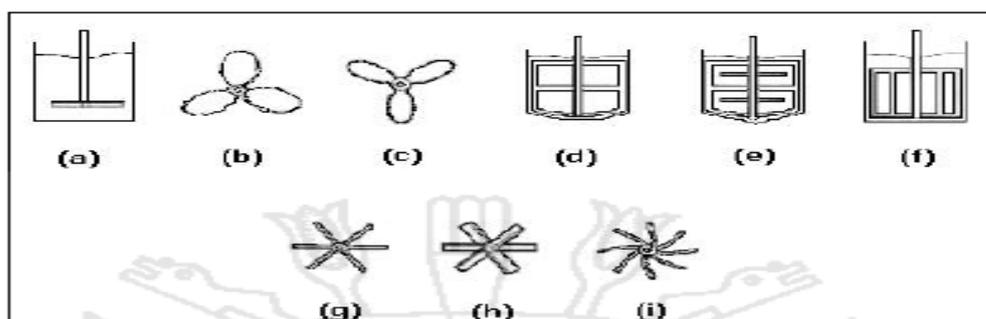
La eficiencia del proceso de mezclado depende de una efectiva utilización de la energía que se emplea para generar el flujo de componentes. Para lograr proporcionar un suministro de energía adecuado hay que considerar las propiedades físicas de los componentes, el diseño del agitador que transmite la energía y la configuración del tanque de mezclado.

Los materiales a ser mezclados pueden ser líquidos de muy baja viscosidad hasta pastas altamente viscosas. Esencialmente existen dos tipos de sistemas de mezclado (Borda & Gamarra, 2002).

2.5.1.1. TIPOS DE AGITADORES

Los agitadores se dividen en dos clases. Los que generan corrientes paralelas al eje del agitador, son llamados agitadores de flujo axial. Los que dan origen a corrientes en dirección tangencial o radial, son llamados agitadores de flujo radial. En la figura 3 se indican los tipos de agitadores que se puede encontrar en el mercado y su utilización de acuerdo a su necesidad. La agitación se refiere a forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente. Algunos impulsores típicos (a) de paleta, (b) propela marina, (c) propela marina dentada de ancla, (d) y (e) de paletas contrarrotatorias, (f) de compuerta, (g) turbina recta, (h) turbina inclinada, e (i) turbina curva.

Figura 3: Tipos de agitadores.



Fuente: Borda & Gamarra, (2002)

Los agitadores se dividen en dos clases: los que generan corrientes paralelas al eje del agitador y los que dan origen a corrientes en dirección tangencial o radial. Los primeros se llaman agitadores de flujo axial y los segundos agitadores de flujo radial. (Pérez, 2006). “Los tres tipos principales de agitadores son, de hélice, de paletas, y de turbina” (Singh y Heldman, 2014).

2.5.2. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA EL AGITADOR

El mercado ofrece una gama muy amplia de alternativas cuando se trata de diseñar un sistema de agitación. Para esta selección se debe enfocar principalmente en las propiedades reológicas (como se mueve el fluido). Según Linkindustrial, (2011) menciona que los parámetros principales para evaluar la mejor alternativa son:

- Consumo energético.
- Grado de agitación.
- Velocidad de rotación.
- Costo.

2.5.3. FACTORES DE COMPARACIÓN

2.5.3.1. CONSUMO ENERGÉTICO

El consumo energético se relaciona con la energía del motor que se emplea en el movimiento de toda la masa del fluido y turbulencias locales (Linkindustrial, 2011).

2.5.3.2. GRADO DE AGITACIÓN

En los casos en que la agitación es el parámetro significativo, es útil definir como grado de agitación un número comprendido entre 0 y 10 proporcional a la relación entre el caudal del impulsor y la sección de tanque (Linkindustrial, 2011).

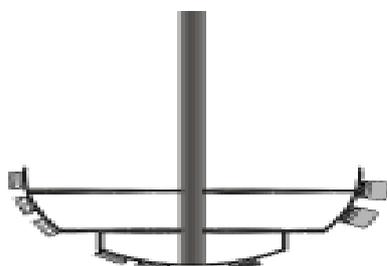
2.5.3.3. VELOCIDAD DE AGITACIÓN

La velocidad de rotación del agitador influye significativamente sobre la mezcla, ya que es la velocidad de agitación que imparte a una partícula para recorrer todo el diámetro de la misma” (Euromix, 2015).

- Agitadores de paletas tipo ancla

Se observa en la figura 4 un agitador de paletas tipo ancla con raspadores para ser utilizado en una marmita semiesférica para trabajar a bajas revoluciones, pero torques altos (Chacaguasay & Picho, 2015).

Figura 4: Agitador con un eje vertical y paletas planas



Fuente: Chacaguasay & Picho, (2015).

2.6. CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROCESAMIENTO DE QUESO A PEQUEÑA ESCALA

Las unidades de procesamiento de pequeña escala son aquellas que manejan entre 500 y 5000 litros. Las lecherías muy pequeñas o micro lecherías son aquellas que manejan menos de 500 litros diarios. En la base de la pirámide no debemos olvidar las "tecnologías familiares" que son importantes para la seguridad alimentaria de los hogares y para el procesamiento tradicional. Estas definiciones son importantes ya que lo que puede ser de pequeña escala en un país, podría ser de mediana escala en otro, dependiendo del nivel

de desarrollo. Además, esto tiene gran influencia en la elección de la tecnología disponible.

Los parcelas pequeños son establecimientos cuya actividad principal es la crianza de vacunos, expresado en vacas totales es inferior a 20 cabezas, disponen de alguna instalación de ordeño y cuya actividad está sustentada en el trabajo del productor y su familia. Aplicando estos criterios al CNA 2002 se hallaron 1955 unidades productivas, el 27% por debajo de 20 VT llamados “microparcels” y el 73 % entre 21 y 100 VT, según la (FAO, 2009).

2.6.1. LECHE PARA QUESERÍA

Para la elaboración de quesos hay que utilizar leche de muy buena calidad tanto desde el punto de vista de su composición y flora microbiana como en relación a su aptitud para la coagulación y fermentación. Si no se cumplen estos requisitos, se presentan muchos problemas en la fabricación y aparecen diversos defectos en el queso. La leche fresca debe tener una acidez promedio de 16 a 18°D que debe estar expresado en gramos de ácido láctico, con un pH comprendido entre 6.6 a 6.8 pero este puede variar según la alimentación y periodo de lactancia del ganado vacuno, la densidad oscila de 1.028 a 1.032, la grasa debe estar en promedio de 3%, el contenido de agua varia de 79 a 90 % (Oria, 1991; Valdivia, 1992; Revilla, 1996; Dubach, 1998).

La leche para la fabricación de quesos está determinada principalmente por tres factores (Inda, 2000):

- El contenido de proteínas coagulables (caseínas).
- El contenido de materia grasa.
- La calidad sanitaria y microbiológica de la leche.

El principal factor es el contenido de caseínas, las proteínas coagulables mediante la acción del cuajo y la acidez, ya que la proteína presente en el queso es la que retiene prácticamente toda la humedad del queso.

La leche de vaca contiene 3.0% a 3.4% de proteínas en casi todos los países de América Latina, dependiendo de muchos factores tales como la raza, genética, alimentación, manejo, estado de salud y estacionalidad climática.

2.7. QUESO

El queso como un producto fresco o madurado, solido o semisólido que se obtiene mediante:

1) coagulación de la leche pasteurizada, Entera, descremada, parcialmente descremada, crema, crema de suero, suero de mantequilla o una combinación de cualquiera de estos, por la acción del cuajo u otros coagulantes apropiados y escurriendo parcialmente el suero que se produce de dicha coagulación.

2) Técnicas de elaboración que comprenden la coagulación de la leche y/o de materiales que fueron obtenidos de leche y que dan un producto final que posee las mismas características físicas, químicas y organolépticas que el producto definido. (NTP 202.195, 2016).

De acuerdo al *Codex Alimentarius* de la FAO/OMS (2008), el queso es el producto solido o semisólido, madurado o fresco, obtenido por coagulación (total o parcial) de la leche cruda o pasteurizada (entera, semidescremada y descremada) por medio del cuajo o de otros agentes coagulantes adecuados, con un escurrido parcial del lactosuero. Mediante este proceso se logra preservar el valor nutritivo de la mayoría de los componentes de la leche, incluidas las grasas, proteínas y otros constituyentes menores, generando un sabor especial y una consistencia solida o semisólida en el producto obtenido en el que el valor de la relación suero proteínas/caseínas que no supera al de la leche (Scott *et al.*, 1998; Eck, 2000; Velez-Ruiz, 2009).

2.7.1. CLASIFICACIÓN DE LOS QUESOS SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICO- QUÍMICAS

- Según su consistencia y contenido de humedad.

Tabla 3: Clasificación según su consistencia

| Clasificación según su consistencia | Humedad (%) |
|-------------------------------------|------------------|
| Duro | < 36 |
| Semiduro | $36 \leq a < 46$ |
| Blando | $46 \leq a < 55$ |
| Muy blando. | ≥ 55 |

Fuente: NTP 202.195 (2016).

- Según las características del proceso, se clasifica en:
 - a. Fresco
 - b. Semi – madurado
 - c. Madurado
 - d. Madurado por mohos

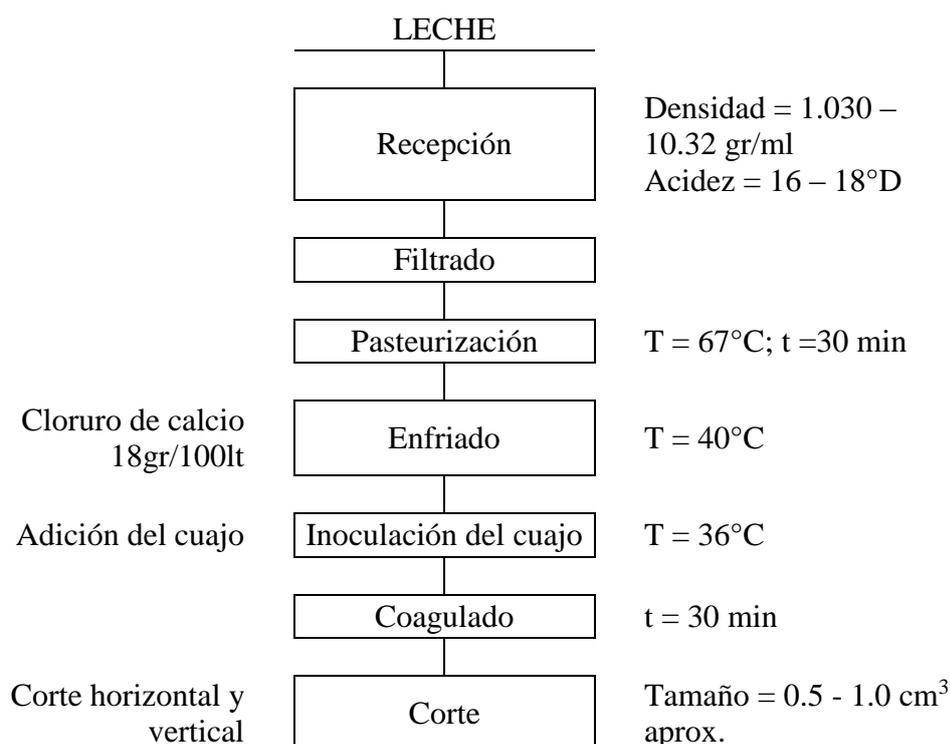
Según su contenido de grasa en extracto seco

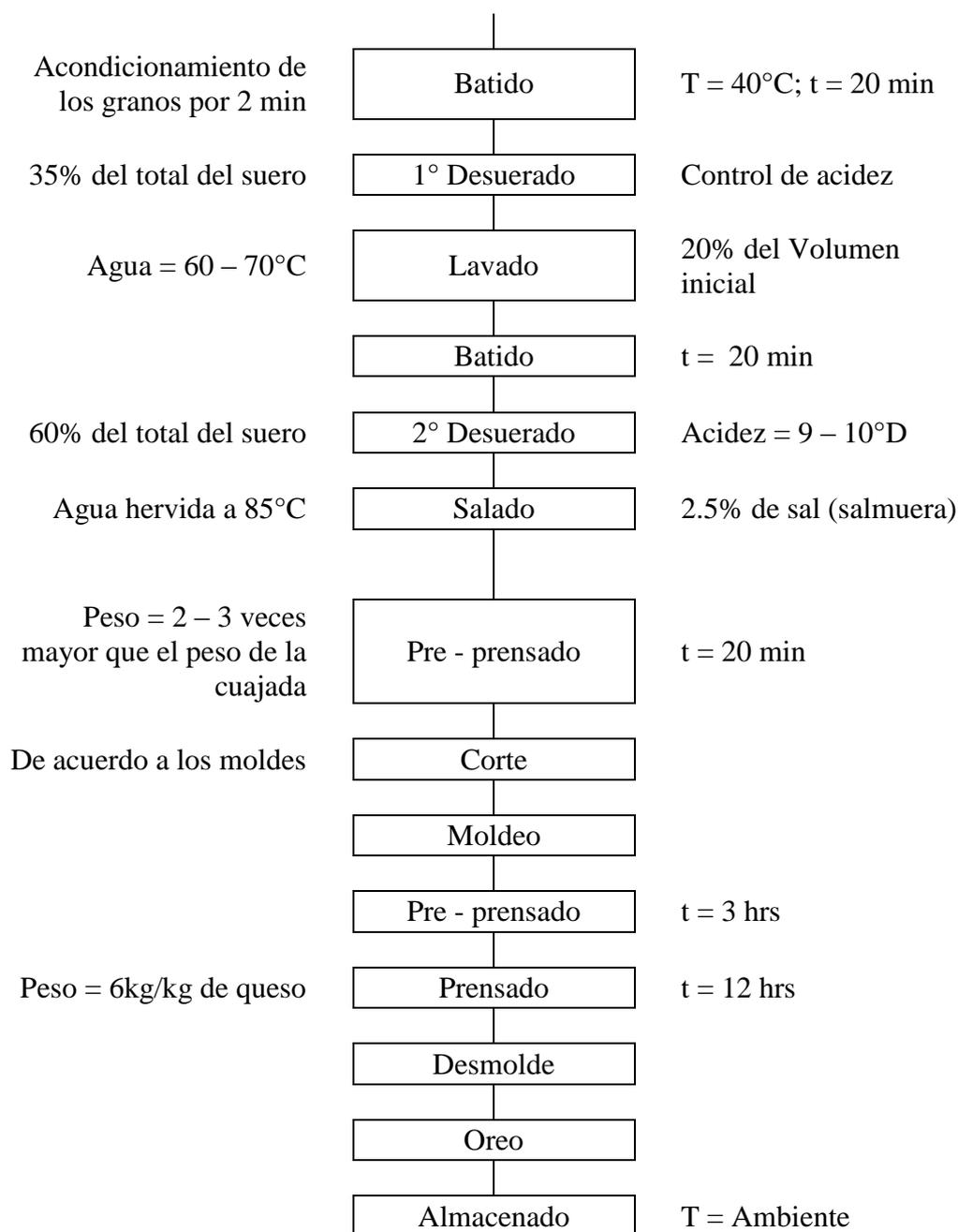
Tabla 4: Clasificación según su contenido de grasa.

| Clasificación según su contenido de grasa | Materia grasa en extracto seco (GES), % m/m |
|---|---|
| Extragraso | ≥ 60 |
| Graso | $45 \leq a < 60$ |
| Semigrasa | $25 \leq a < 45$ |
| Semidescremado | $10 \leq a < 25$ |

Fuente: NTP 202.195 (2016).

Figura 5: Diagrama de flujo para la elaboración del queso tipo paria





Fuente: Erazo, (2012)

a) Recepción

La leche empleada en la elaboración de quesos debe ser de buena calidad, tanto de vista químico como microbiológico, incluso los niveles de higiene exigidos para la leche de consumo directo, deben ser exigidos para la leche destinada a la elaboración de quesos. La leche debe tener acidez requerida y debe estar libre de impurezas, siendo necesaria su filtración para eliminar cuerpos extraños en la misma, es importante aplicar en la leche una serie de pruebas y procedimientos para comprobar el estado de

conservación de la leche que ingresa a proceso e involucran la determinación de pH, la acidez titulable y la estabilidad frente al alcohol (Madrid, 2010).

b) Filtración

Los tratamientos térmico, se hace un conjunto de operaciones a las que se somete la leche, previamente a la elaboración del queso y básicamente destinadas a la limpieza física, microbiana. Normalización o estandarización y conservación. La primera operación consiste en la limpieza de los contaminantes físicos (pelos y otras partículas sólidas), y se realiza utilizando los métodos de tamización, filtración por centrifugación (Dubach, 1998).

c) Tratamiento térmico

El objetivo del tratamiento térmico es destruir microorganismos patógenos y sus esporas e inactiva enzimas. La desventaja de someter a alta temperatura es la disminución de la calidad en apariencia, textura y valor nutritivo de la leche (Singh y Heldman, 2009).

La leche utilizada en el proceso de elaboración de quesos debe ser de buena calidad. La validez de la leche como materia prima para la elaboración de quesos viene determinada por su tratamiento en la granja. Además de los niveles normales de higiene requeridos, la leche debe estar libre de antibióticos, que destruirían los cultivos utilizados en la maduración de los quesos. La leche calostrual y la leche de animales enfermos no debe ser entregada a las queserías (Alfa Laval, 2006).

d) Enfriamiento

El objetivo de esta etapa es acondicionar la leche (temperatura, corrección de calcio que permita mejorar el rendimiento, la actividad y formación del cuajo. Con la pasteurización la leche se pierde algunas de sus propiedades coagulantes; pierde entre 8 y 30% de calcio soluble, dando coágulos más débiles y difíciles de desuerar, provocando pérdida por los tratamientos mecánicos a aplicar. El uso de cloruro de calcio restituye parte de este calcio, pudiéndose agregar en esta etapa el CaCl_2 en una proporción no mayor del 0,02% en relación a la leche que entro a proceso, con la adición del cloruro de calcio facilitaremos la coagulación, mejora el rendimiento y definitiva la calidad final del queso (Zambrano, 2010).

El cloruro de calcio (CaCl_2), tiene como función darle mayor firmeza mecánica a la cuajada. Esto es particularmente importante cuando se trata de la leche pasteurizada, porque durante la pasteurización, se da un proceso normal de descalcificación parcial de

las caseínas. La ausencia de cloruro de calcio hace que muchas veces la cuajada tenga poca firmeza mecánica y entonces al cortarla se generan cantidades innecesarias de polvo o finos de cuajada, que se depositan en el fondo de la tina de quesería y se van con el lactosuero, en lugar de contribuir al rendimiento del queso (Inda, 2000).

Si la leche utilizada es de pobre aptitud para la fabricación el coagulo formado será blando. Ello da lugar a grandes pérdidas de fino (partículas de caseína), así como la grasa, además una sinéresis inadecuada durante el proceso. Con el objetivo de mejorar la calidad de la leche para la elaboración de queso es suficiente con la adición de 5 – 20 gramos de cloruro de calcio por cada 100 kilos de leche. Una adición excesiva de cloruro de calcio puede hacer que el coagulo sea tan duro que se dificulte su corte. Cuando se produce queso con un bajo contenido de grasa, el fosfato disódico, en una proporción de 10 - 20 g/kg, puede a veces ser añadido a la leche antes del cloruro cálcico (Alfa Laval, 2006).

e) Adición de aditivos

Se adicionan dos aditivos:

1. **Cloruro de calcio**, con el objetivo de favorecer y conseguir una mejor coagulación, reestableciendo el equilibrio del calcio iónico que se perdió después del tratamiento térmico.
2. **Nitrato de Potasio**, con el fin de contribuir en la conservación del producto, ya que actúa como Inhibidor de microorganismos patógenos.

f) Coagulación

Es la solidificación de la leche debido a la precipitación de la caseína, la cual encierra la mayor parte de la grasa y una gran cantidad de agua. La coagulación es la conversión de la leche líquida en un gel, que consiste en precipitar las micelas de caseína lo cual se produce por la rotura del equilibrio coloidal donde se encuentran las partículas de fosfocaseinato cálcico, de ahí la formación de un gel tridimensional llamada cuajada (Dubach, 1998).

La coagulación de la leche se puede hacer de dos formas: coagulación acida y coagulación enzimática, en el presente trabajo solo se describirá la coagulación enzimática.

Coagulación Enzimática

Es la práctica más común en la elaboración de quesos, las enzimas que se utilizan para cuajar la leche son la pepsina, la enzima microbiana aislada del hongo *Mucor miehei*, la quimosina y otras que se obtienen de plantas (Santos, 2007).

Los principales factores que intervienen en la coagulación por la quimosina (cuajo) son:

- Cantidad de Cuajo
- Temperatura (máxima 40 - 42 °C)
- PH (óptimo: 5.5)
- Contenido de Calcio

La actividad del cuajo depende de su concentración dado que es una enzima, su actividad se mide por la “fuerza del cuajo” que la cantidad de leche en gramos o mililitros a 35 °C que 1 gramo o ml de cuajo coagula en 40 minutos, esta fuerza del cuajo depende mucho del sustrato (leche).

La temperatura de coagulación de la leche se elige en función de la madurez y del contenido de grasa de la misma, así como del tipo de queso a elaborar. Para los quesos blandos se utiliza temperaturas bajas entre 28-30 °C mientras que en los quesos duros temperaturas altas de 32-35 °C. El pH óptimo no coincide con el óptimo de coagulación enzimático de la leche, La cuajada que se obtiene a un pH óptimo (5.5) es flexible, elástica, compacta, impermeable, contráctil y contiene poca agua. Debido a su carácter compacto, tolera la acción de fuerzas mecánicas que facilitan la contracción del coagulo y la salida del suero; sin esta acción el gel no desuera por su impermeabilidad.

El ion calcio es otro de los factores que intervienen en la coagulación de la leche. La presencia de calcio permite la formación de la red tridimensional de las caseínas después de la acción del cuajo. Por lo tanto, la relación de caseína y calcio determina la capacidad de coagulación de una leche. El calcio tiene un papel importante en la formación de la red tridimensional favoreciendo el endurecimiento de la cuajada, mejora el proceso de desuerado y facilita la retención de la grasa. El cloruro cálcico (CaCl_2) aumenta contenido iónico y favorece la coagulación.

g) Corte

“El corte se realiza con la finalidad de favorecer la eliminación de suero, utilizando liras horizontales y verticales, el corte se hace” (Dubach, 1998).

El corte de la cuajada inicial favorece la sinéresis. Durante el corte debe evitarse la ruptura del coagulo y la correspondiente perdida de materia grasa y una deficiente sinéresis (Varnam & Sutherland, 1994).

h) Batido

La agitación debe realizarse con delicadeza para impedir la ruptura de la cuajada y para que los granos conserven su integridad. El rendimiento quesero depende de ello (Dubach, 1998).

La agitación o batido de la cuajada, manteniendo la temperatura entre 38 – 40°C, favorece a la sinéresis y la eliminación del suero (Zambrano, 2010).

i) Desuerado

Consiste en la separación del suero posterior al proceso de corte de la cuajada, en una proporción de 35% en relación a la cantidad inicial de la leche, generalmente se realizan dos a tres desuerados dependiendo del tipo de queso con una previa agitación de la cuajada, además puede someterse a una cocción de los granos de la cuajada para dar un prensado adecuado. En algunos tipos de quesos generalmente el salado se realiza en la tina de trabajado (Ártica, 2014).

j) Lavado

El lavado de la cuajada se realiza con agua caliente con el propósito de sacar el suero, cargado de lactosa y de ácido láctico, del interior de aquellos y reemplazarlo con agua. De esta manera diluyendo la lactosa se detiene la acidificación de la cuajada e ingresa agua para conservar una consistencia blanda o semidura en el futuro queso. Si no se hiciera esta operación sería casi imposible obtener quesos blandos sin exceso de acidez, pues guardar mucho tiempo suero dentro de los granos de cuajada, la lactosa sería transformada con el tiempo en ácido láctico y el exceso de este puede producir grietas en el interior del queso (Vélez, 2009).

k) Salado

El salado se realiza con el objeto de obstaculizar la proliferación de microorganismos con lo que aumenta el periodo de conservación. Además, que favorece completar el desuerado y contribuye en mejorar el sabor deseado de la cuajada y finalmente del queso. Si la sal esta, se debe colar el agua antes de echarla a la paila (Dubach, 1998).

l) Pre – prensado

Se realiza con la finalidad de eliminar casi la totalidad del suero de la cuajada y hacerla más compacta, aplicando presión y posteriormente facilitar la recolección de la cuajada en moldeo (Dubach, 1998).

m) Moldeo

El moldeo permite que los coágulos se unan y formen una masa continua, determinado así la textura del queso y la forma definitiva (Zambrano, 2010).

El prensado da a los quesos su forma final, una superficie firme y un contenido en humedad correcto. Los quesos pueden prensarse por periodos de tiempo más o menos largos, en prensas horizontales o verticales los parámetros del prensado tales como la presión, tiempo, pH y temperatura, deben mantenerse de forma constante en los valores específicos para obtener un resultado final correcto (Alfa Laval, 2006).

n) Prensado

Según el tipo de queso que se quiera hacer, el prensado previo será más o menos intenso. Así en el caso de quesos blandos (Camembert, por ejemplo) no se aplica presión alguna, dejando que el peso del propio queso en el molde actué de prensa.

Si el prensado se realiza con los granos bañados en suero de manera que no quede sitio para el aire, los granos se fundirán entre sí y cuando la maduración se formen gases, estos quedaran atrapados en la masa según (Madrid, 2010).

ñ) Oreo

El oreo se realiza en ambientes adecuados para cada tipo de queso a temperaturas, humedad relativa y luz apropiada, con la finalidad de que el queso tenga la disposición de formar la costra y no provoque exudación en el envase esto si el queso será empacado.

q) Envasado

El envasado no es una operación propiamente de procesado, sin embargo, influye considerablemente sobre la clase e intensidad de las proliferaciones microbianas, se puede utilizar diferentes tipos de envases de acuerdo a la necesidad o la exigencia de las normas técnicas para alimentos, esto con la finalidad de proporcionarle protección al producto. Deben tenerse en cuenta que los envases solo, pueden retener nunca mejorar la calidad del producto envasado (Madrid, 2010).

2.7.2. TRATAMIENTO TÉRMICO DE LA LECHE

La leche comercializada debe ser previamente tratada con el fin de destruir los gérmenes presentes, siendo la acción del calor el método más recomendado y extendido en la industria alimentaria, aumentando la vida útil de los alimentos. Por ello, la acción germicida del calor es una medida de conservación de los alimentos, siendo motivo de control y de estudio (Gonzales, 2013).

Los tratamientos térmicos también provocan problemas en los productos lácteos (mantequilla, crema y queso), ya que para fabricar ciertas estructuras y componentes de la leche no deben de cambiar o, por lo menos, muy levemente, para no afectar sabor, rendimiento, calidad (Santos, 2007).

Los tratamientos térmicos aplicados los productos lácteos persiguen muchos objetivos:

- Destrucción de microorganismos para mejorar la calidad higiénica y prolongar FLC (fecha límite de consumo) de los productos.
- Inactivar algunos enzimas para mejorar la estabilidad de los productos durante su almacenamiento.
- Modificar la estructura de ciertas moléculas tales como las proteínas para influir con la textura del producto acabado, e incluso en el rendimiento de las operaciones tecnológicas realizadas anteriormente. Por ejemplo, se puede buscar un desnaturalizante de ciertas proteínas para mejorar la textura y el rendimiento en la tecnología quesera.
- Generar productos de la reacción de Maillard para ciertas aplicaciones (por ejemplo, chocolatería).

De manera general, todo tratamiento térmico deberá tener en cuenta la conservación de las cualidades organolépticas y nutricionales de los productos (Jeantet, Roignant, & Brule, 2005).

El tratamiento térmico es destruir microorganismos patógenos y sus esporas e inactivar enzimas. La desventaja de someter a altas temperatura es la disminución de la calidad en apariencia, textura y valor nutritivo de la leche (Singh & Heldman, 2014).

2.7.2.1. TERMIZACIÓN

La termización es el calentamiento de la leche cruda durante 15 segundos como mínimo, a una temperatura comprendida entre 57 a 68°C de forma que la leche después de dicho tratamiento, reaccione positivamente a la prueba de la fosfatasa. Se ha visto que, si la leche debe esperar mucho tiempo, antes de procesado como leches de consumo directo (leches pasteurizadas o esterilizadas envasadas) u otros derivados lácteos, no basta con mantenerla refrigerada entre 3 y 6°C, sino que se recurre a un tratamiento térmico más suave, como es la termización, que reduce considerablemente el número total de microorganismos. Es condición indispensable que la leche sea enfriada inmediatamente a 3 a 4°C. Se ha comprobado que la termización tiene un efecto benéfico cuando se destina a la elaboración de quesos. Efectivamente mediante este calentamiento suave muchas de las esporas pasan a su fase vegetativa, pudiendo ser destruidas posteriormente con más facilidad en el proceso normal de pasteurización (López, 2004).

2.7.2.2. PASTEURIZACIÓN

Para destruir los microorganismos y, sobre todo los que son patógenos para el hombre y sin modificar las propiedades de la leche, se ideó el proceso de pasteurización. Este proceso tiene como propósito disminuir, mediante calor, casi toda la flora microbiana y la totalidad de la flora patógena, alterando lo menos posible la estructura física de la leche, su equilibrio químico y la sustancia con actividad biológica, por ejemplo, enzimas y vitaminas (Santos, 2007).

La pasteurización tiene por finalidad la destrucción de las formas vegetativas, incluyendo ciertos patógenos (*salmonella*, *brucella*, *listeria*, etc.), y la reducción de la flora vana. Se aplican tres combinaciones tiempo-temperatura: pasteurización baja (62-65°C/30 min.), pasteurización alta (71-72°C/15-40 s) y pasteurización flash (85-90°C/1-2s). La actividad residual de los enzimas de la leche es un buen indicador de la naturaleza del tratamiento térmico. Así como un tratamiento de pasteurización debe inactivar la fosfatasa alcalina, pero preservar la peroxidasa (leche considerada “alta calidad”) (Jeantet, Roignant, & Brule, 2005).

La leche pasteurizada es una leche de consumo de vida útil corta, pues solo mantiene las condiciones aptas para el consumo durante un periodo de 3 a 6 días en condiciones de refrigeración. La leche pasteurizada es aquella sometida a un tratamiento térmico que asegure la destrucción de los microorganismos patógenos no esporulados

(que no forman esporas) y reduzca la microbiota banal sin modificación de la naturaleza fisicoquímica de la leche y sus características nutritivas y sensoriales (Gonzales, 2013).

La pasteurización consiste en calentar la leche a cierta temperatura a un cierto tiempo. Algunas fábricas de quesos pasteurizan la leche en la propia tina (63°C durante 30 minutos), y otras en un pasteurizador a placas (72°C durante 15 a 20 segundos). Con este proceso, no estamos asegurando que no pueda existir una recontaminación. Por tal motivo, debemos aplicar siempre las buenas prácticas de higiene, las cuales involucran todas aquellas prevenciones para evitar las posteriores fuentes de contaminación (Castañeda *et al.*, 2010).

Describen dos métodos de pasteurización los que son:

a) PASTEURIZACIÓN BAJA: Se define legalmente como un tratamiento térmico de tal intensidad que inactive la fosfatasa alcalina de la leche.

Puede llevarse a cabo calentando 30 minutos a 63°C o 15 segundos a 72 °C. Se destruyen casi todos los microorganismos patógenos presentes en la leche y la mayoría, pero no todas las formas vegetativas microbianas (Castañeda *et al.*, 2010).

b) PASTEURIZACIÓN ALTA: Implica un tratamiento térmico tal que inactive la lactoperoxidasa, para lo que basta un calentamiento de 20 segundos a 85°C, pero a veces se emplean tratamientos mayores de hasta de 100°C. Se destruyen casi todas las formas microbianas vegetativas, pero no así las esporas; se inactiva la mayoría de los enzimas, con excepción de la proteínasa de la leche y algunas lipasas y proteinasas bacterianas.

El patógeno más resistente a la temperatura es el de la tuberculosis, por lo que el tratamiento se diseña para destruir este microorganismo ya que, si este es destruido, se asegura también la destrucción de los demás, puesto que son más débiles. Posteriormente se detectó que *coxiella burnetii* (una bacteria patógena intracelular causante de la fiebre q) era el microorganismo más termorresistente de la leche (Castañeda *et al.*, 2010).

2.8. FOSFATASA ALCALINA EN LA LECHE

La fosfatasa alcalina es una enzima presente en la leche cruda y progresivamente inactivada por calentamiento a temperaturas superiores a 60°C. Las temperaturas normales de pasteurización baja y alta de la leche la inactivan, por ello debe estar ausente en una leche correctamente pasteurizada. La ausencia de esta enzima termolábil a la salida de la leche del pasteurizador permite asegurar que la pasteurización ha sido efectuada a una temperatura suficientemente alta para asegurar la destrucción de los gérmenes patógenos, normalmente destruidos por la pasteurización (Verdini, 2018).

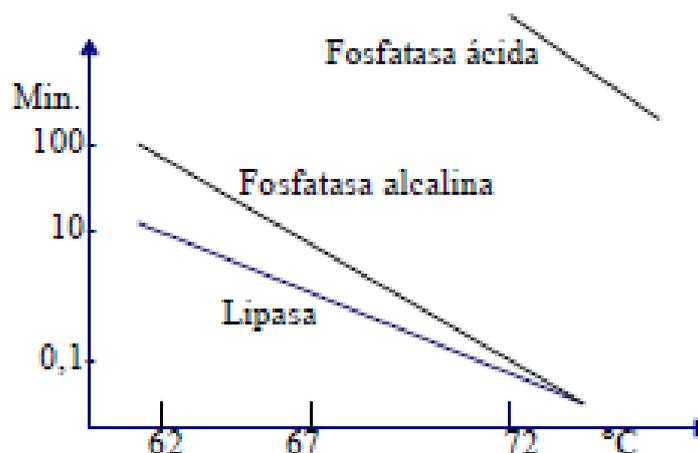
Fosfatasa ácida y fosfatasa alcalina: (se ha sugerido su origen microsomal, se reactiva y diferentes microorganismos la producen) En forma de complejo lipoprotéico se distribuye entre la fase lipídica y acuosa. Estas fosfatasas hidrolizan los ésteres fosfóricos y para poner en evidencia su existencia a nivel del laboratorio se pone la leche en presencia de un sustrato que puede ser glicerol fosfato sódico o fenilfosfato disódico.

2.8.1. ACTIVIDAD DE LA FOSFATASA ALCALINA

Mediante el control de inactivación de la fosfatasa alcalina, que está presente en la fase acuosa y en la superficie de los glóbulos grasos, se puede saber si la pasteurización fue suficiente ya que esta enzima tiene una sensibilidad al calor muy próxima a la de las bacterias patógenas citadas.

Su inactivación se comprueba por una reacción de hidrólisis de fenolfosfato, si hay liberación de fenol se obtiene, con un reactivo orgánico, una reacción coloreada. La Figura 6, reproduce las curvas de temperatura de la inactivación de fosfatasas y lipasas de la leche (Romero & Lagarriga, 2004).

Figura 6: Curvas de temperatura de la inactivación de fosfatasas y lipasas de la leche



Fuente: Revilla, (1996)

Mediante el control de inactivación de la fosfatasa alcalina, que está presente en la fase acuosa y en la superficie de los glóbulos grasos, se puede saber si la pasteurización fue suficiente ya que esta enzima tiene una sensibilidad al calor muy próxima a la de las bacterias patógenas citadas. Su inactivación se comprueba por una reacción de hidrólisis de fenolfosfato, si hay liberación de fenol se obtiene, con un reactivo orgánico, una reacción coloreada. La Figura 4, reproduce las curvas de temperatura de la inactivación de las fosfatasas y lipasas de la leche (Romero & Lagarriga, 2004).

2.8.2. IMPORTANCIA DE LA PASTEURIZACIÓN DE LA LECHE

La leche es un producto biológico obtenido de animales y por lo tanto, tiene altas probabilidades de contaminación ya que al salir de la glándula mamaria éste producto entra en contacto con microorganismos, por tal razón resulta de vital importancia la implementación de un proceso de pasteurización adecuado, en caso contrario la leche mal pasteurizada implicaría riesgos para la salud del consumidor, debido a que el producto en estas condiciones puede estar contaminado (Begazo Chara, 2014).

En caso de poseer una alta contaminación generada por la mala manipulación, exposición al medio ambiente por mucho tiempo o por provenir de animales enfermos, la leche por su grado de contaminación puede producir enfermedades tales como tuberculosis, brucelosis y listeriosis u otras enfermedades especialmente gastrointestinales.

La contaminación de la leche en el exterior de la glándula mamaria a pesar que la leche es un medio muy nutritivo para muchos microorganismos, también puede contener sustancias inhibidoras para algunos microorganismos, tal es el caso de las leches que se producen en el trópico y que inhiben en el crecimiento de los microorganismos. (Begazo Chara, 2014).

Los objetivos principales que se persiguen al aplicar un tratamiento térmico a un alimento son (Begazo Chara, 2014).

- a. destruir los microorganismos que puedan afectar a la salud del consumidor.
- b. destruir los microorganismos que puedan alterar el alimento.
- c. la inactivación enzimática.
- d. optimizar la retención de factores de calidad a un costo mínimo.

El tratamiento térmico de un alimento depende de la termorresistencia de los microorganismos y enzimas presentes en el alimento, de la carga microbiana inicial que contenga el alimento antes de su procesado, del pH del alimento, de su estado físico y de las cinéticas de inactivación de factores de calidad (color, vitaminas, etc.).

Bajo el título de tratamientos térmicos se suelen englobar todos los procedimientos que tienen entre sus fines la destrucción de los microorganismos capaces de alterar el producto o que pueden suponer un riesgo para el consumidor durante su vida útil. Cabe destacar dentro de éstos, la pasteurización y la esterilización.

8.8.3. MICROORGANISMOS AFECTADOS POR LA PASTEURIZACIÓN

Entre las especies de microorganismos cuyas poblaciones se reducen considerablemente con la pasteurización de la leche están las siguientes (Vamam & Sutherland, 1994):

- *Brucella abortus*.
- *Campylobacter jejuni*.
- *Escherichia coli*.
- *Coxiella burnetii*.
- *Escherichia coli (0157:H7)*.
- *Listeria monocytogenes*.
- *Mycobacterium tuberculosis*.
- *Mycobacterium bovis*.

- *Salmonella entérica serotypes.*
- *Streptococcus pyogenes*
- *Yersinia enterocolitica.*

2.8.4. FACTORES LIMITANTES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

Un tratamiento térmico fuerte de la leche es deseable desde el punto de vista microbiológico. Sin embargo, ello supone aumentar el riesgo de aparición de defectos de sabor, valor nutritivo y apariencia. Las proteínas presentes en la leche son desnaturalizadas a altas temperaturas. Esto significa que las propiedades para la elaboración de queso a partir de la leche son dañadas de forma drástica por un tratamiento térmico intensivo. La elección de la combinación tiempo/temperatura debe ser optimizada para conseguir un efecto adecuado tanto desde el punto de vista microbiológico como desde el punto de vista de la calidad. La leche es un vehículo frecuente de gérmenes que al consumirse pueden causar enfermedades infecciosas. Por lo tanto, la leche que se consume debe encontrarse adecuadamente pasteurizada ya que con esta precaución hay menos riesgo de enfermedad (Ruiz, 2018).

En muchos lugares del mundo, los sistemas de inocuidad de los alimentos necesitan desesperadamente un proceso de mejora. Una mayor inocuidad de los alimentos presenta numerosos beneficios: menos sufrimiento humano como consecuencia de las enfermedades transmitidas por los alimentos, reducción del costo de la salud pública, menos obstáculos al comercio mundial, menos pérdidas de la productividad de la mano de obra y mayor seguridad alimentaria global. La inocuidad de los alimentos podría incluirse realmente entre los temas más importantes de nuestro tiempo. En la actualidad se sabe mejor que nunca cómo controlar la inocuidad y la calidad de los alimentos. Sabemos cómo cosechar y elaborar los alimentos en condiciones adecuadas. Se han mejorado los sistemas de inspección alimentaria y la tecnología de análisis, y contamos con procedimientos muy avanzados de análisis de riesgos. Me atrevo a decir que, al menos en los países desarrollados, la mayor parte de los alimentos que consumimos no han sido nunca tan inocuos como en la actualidad, pero aun así varios millones de personas sufren cada año enfermedades transmitidas por los alimentos, llegando incluso a morir en algunos casos. Es una realidad inaceptable, ya que la mayor parte de estas enfermedades pueden prevenirse. La amenaza a la salud pública como consecuencia de

los patógenos microbianos se presenta en los países tanto desarrollados como en desarrollo, y afecta sobre todo a los niños, mujeres embarazadas, pobres y ancianos. Los riesgos químicos son otra fuente importante de enfermedades (FAO, 2013).

2.8.5. EQUIPOS PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Los pasteurizadores se utilizan para el tratamiento térmico de alimentos ya envasados. Funcionan a presión atmosférica, por lo tanto, solo pueden alcanzar temperaturas inferiores a 100°C. Según el modo de transmisión de calor, se distingue entre pasteurizadores de baño de agua, de vapor y de duchas de agua caliente. En estos equipos, las etapas de calentamiento-mantenimiento-enfriamiento pueden realizarse de manera continua o intermitente. (Casp & Abril, 2003)

Los equipos más sencillos son los calderines que consisten en baños de agua caliente, donde se sumergen los recipientes llenos y cerrados y se les mantiene el tiempo deseado. Lo más frecuente es mantener el agua en ebullición. Cuando se opera a temperaturas más bajas 75-90°C es necesario un regulador automático de temperatura.

Para producciones grandes se utilizan pasteurizadores continuos por inmersión o duchas de agua caliente, consistentes en un túnel por el que los envases son llevados por un sistema transportador a lo largo de las diferentes zonas funcionales de la instalación. Para aplicar tratamientos térmicos a temperaturas superiores a 100°C a alimentos envasados, es necesario hacerlo bajo una presión que permita el aumento de la temperatura. Esto se consigue en autoclaves, cuyas paredes gruesas y cierres son capaces de soportar las presiones de trabajo requeridas. Se utilizan para la esterilización de alimentos envasados de baja acidez para lo que se aplican temperaturas superiores a 115°C. Existen los que trabajan por cargas y en continuos.

La operación con cualquier sistema de esterilización debe asegurar la homogeneidad del tratamiento térmico aplicado al lote de envases que se encuentre en su interior. Esta homogeneidad se conseguirá cuando los factores de que depende la temperatura en el centro térmico del alimento envasado se mantengan constantes en cualquiera de las posiciones dentro del recinto (Casp y Abril, 2003).

En el mercado se encuentran un gran número de autoclaves, de tecnologías muy diferentes. Para sistematizar el análisis de estas máquinas se han ordenado por el tipo de calefacción que usan, ya que ésta condiciona en gran medida sus características constructivas, su operación y los productos para los que pueden utilizarse (Hoyo, 2013).

Los equipos que funcionan con vapor de agua saturado constan fundamentalmente de una entrada de vapor con un sistema de distribución del mismo en el interior de la autoclave que asegure la buena homogeneidad de la temperatura, unos sistemas de purga que consigan evacuar todo el aire existente en el equipo antes de la puesta a presión, un sistema de desagüe para eliminar los condensados y el agua de enfriamiento.

2.8.6. CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LECHE DESTINADA A PROCESAMIENTO

Las destrucciones de los microorganismos por el calor intervienen factores como el tipo de sustrato, la edad del microorganismo, pH, etc. No obstante, los microorganismos mueren siguiendo un orden y es posible predecir su destrucción mediante la obtención de una serie de curvas de supervivencia. El orden de muerte es casi el mismo para todos los microorganismos unicelulares y se considera que es de naturaleza logarítmica (del Rosario & Calderón, 2000).

2.8.7. CINÉTICA DE DETERIORO DE LOS ALIMENTOS

Todo cuerpo vivo nace, se desarrolla, se degrada y muere, los alimentos por su naturaleza biológica no escapan a esta regla general, su descomposición es pues un fenómeno natural. Los tejidos vivos son resistentes a la acción degradativa de los microorganismos, pero una vez muertos son consumidos por fuerzas biológicas de uno u otro tipo. Desde el momento en el que el alimento se cosecha, se recoge o se sacrifica, comienza a pasar por una serie de etapas de descomposición progresiva. Según el alimento esta descomposición puede ser muy lenta o puede ser tan rápida que vuelve prácticamente inutilizable a un alimento en pocas horas (Casp & Abril, 1999).

La descomposición de la biomasa una vez muerta, es un proceso espontáneo impulsado por diferentes fuerzas biológicas que conducen a la degradación de los constituyentes iniciales, a la desorganización de los tejidos, a la aparición de sustancias indeseables o tóxicas, producto del catabolismo de microorganismos o de las propias enzimas de la biomasa y a la proliferación de los microorganismos.

El deterioro de los alimentos son procesos degradativos, alteración de la consistencia, olor y sabor, desintegración biológica y putrefacción que sufren los alimentos desde que se recolecta, o se sacrifica (Alcazar, 2003).

Los deterioros de los alimentos presentan carácter diferente dependiendo del tipo de cambios que intervengan: cambios no microbianos internos o externos o cambios producidos por microorganismos (Casp & Abril, 1999).

- Cambios bioquímicos no microbianos: Pueden ser perceptibles o no por los sentidos del consumidor. En los alimentos se producen cambios de naturaleza bioquímica que el consumidor no puede percibir visualmente, olfativamente, etc., y que solo pueden detectarse por mediciones en laboratorio. Los cambios que pueden ser percibidos sensorialmente por el consumidor incluyen la decoloración y cambios en el sabor, aroma y consistencia. La decoloración se pone de manifiesto por oscurecimientos no deseables. El sabor y el aroma o palatabilidad, pueden llegar a desaparecer completamente, ya que las temperaturas elevadas favorecen la desaparición de sustancias volátiles y componentes aromáticos del producto. La descomposición de las proteínas y el enranciamiento de las grasas son a su vez la causa de la aparición de olores y sabores extraños.
- Los microorganismos: Varios tipos de microorganismos, producen cambios indeseables más graves en los alimentos percederos. Se producen perdidas substanciales de nutrientes y considerables cambios en las características externas. Los microorganismos representan el agente más temible de alteración de los alimentos, el más activo, debido a su elevadísima velocidad de reproducción en condiciones adecuadas.
- Están dotados de una carga enzimática notablemente desarrollada, de forma que se puede decir, que no existe en los alimentos compuesto que no sea atacado y degradado por al menos una especie microbiana.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en:

La construcción y ensamble del equipo se llevó a cabo en la Empresa Industrial “Maquinarias FACOMET S.A.” Construcción de Maquinas Agroindustriales, ubicado en La Av. Ferial N° 1200 en la ciudad de Juliaca, Provincia de San Román. Las pruebas preliminares de funcionamiento y ajuste del equipo se realizaron en la misma Empresa.

La validación del equipo y las pruebas de Fosfatasa Alcalina, se realizó en la Universidad Nacional del Altiplano Puno en la planta piloto de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la facultad de Ciencias Agrarias.

3.1.2. MATERIA PRIMA

Para estudiar el funcionamiento del equipo se utilizaron las siguientes muestras:

- Agua pura (destilada) como fluido para la circulación y calentamiento en la chaqueta.
- Leche fresca entera de vaca (cruda).

3.1.3. MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

- Plancha de acero inoxidable de 2.5 mm de espesor (AISI 304 acabado 2B).
- Plancha de acero inoxidable de 2.0 mm de espesor (AISI 304 L).
- Tubo 2” x 1.5m -304-2B.
- Codos de 30 ° y 90°, de acero inoxidable de 2” x 1.5m -304-2B.
- Pistola Aerográfica.
- Soldadura inox-mic.
- Varilla de tubo cuadrado de 1 x1.2 x 304.
- Tubos de acero inoxidable de ½.
- Cojinetes para deslizamiento.
- Motor de 1/2 HP, Monofásico.
- Motor eléctrico cervotor 100v para agitador, trifásico.
- Celenoide.

- Pirómetro digital con rango de 0 – 400°C Autonics TZN4S.
- Termocupla Tipo J TZN4S; para control de T°.
- Termocupla Tipo J Estronger.
- Manómetro de ½” dial DP1SPSJ de 0 a 100 *psi*. WIKA.
- Regulador de presión.
- Quemador.
- Válvulas clam de servicio.
- Tuercas, Pernos, Tornillos de acero Inoxidable y galvanizado.
- Caja de Tablero de control.
- Acoples, Contactores magnéticos, Interruptores y Pulsadores.
- Acoples para tablero.
- Varillas para soldaduras cellector.
- Silicona de alta temperatura.
- Electrodo de soldadura.
- Manguera de presión, gas.
- Abrazaderas de acero inoxidable.
- Cable AWG N°14.
- Cable doble lindado N°12.
- Solución de OXINOL para limpieza.

3.1.4. EQUIPOS

- Soldadura Eléctrica FERR-1800 TURBO.
- Soldadura Autógena.
- Soldadura TIG INVERTING VRD 130.
- Torno.
- Roladora de planchas.
- Esmeril eléctrico BOSCH GSM 175.
- Taladro INDURA T13 1050.
- Amperímetro BNTEK DT 8308.

3.1.5. HERRAMIENTAS

- Caja de argón.
- Alicates, desarmadores varios.
- Juego de brocas.

- Pulidor de acero.
- Doblador de tubos.
- Otras herramientas utilizadas.

3.1.6. MATERIALES PARA LA AUTOMATIZACIÓN

La automatización del equipo se realizó en las mismas instalaciones de la Empresa Industrial “FACOMET” y se utilizaron los materiales que se muestran en la tabla 5:

Tabla 5. Materiales para la automatización

| Material | Unidad de medida | Características | Función |
|----------------------------|------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| Microcontroladores | | | |
| Variador de velocidad | Unidad | IRF830 | Control del giro |
| Diodo | Unidad | 1N4007 | Circuito de velocidad. |
| Manómetro | Unidad | | Regulador de presión |
| Borneras | Unidad | | Circuito. |
| Pantalla LCD | Unidad | | Para visualizar en la pantalla |
| Termocupla | Unidad | Tipo PT100 | Temperatura. |
| Resistencia de potencia | Unidad | 1W 222Ω | Circuito de temperatura. |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6: Materiales para la evaluación

| Material | Unidad de medida | Características | Función |
|--|-------------------------|--|---|
| Equipo prototipo optimizador de tratamientos térmicos. | Unidad | Automatizado: Control de temperatura y velocidad de Agitación. | Ejecución del proceso. |
| Recipientes | Unidad | Mangueras, Valdés | Proceso de calentamiento y enfriamiento de la leche |
| Leche fresca entera | lt. | 180 lt. De leche del distrito de Ayaviri. | Pasteurización y proceso de queso |
| Tiras reactivas de fosfatasa alcalina | Kit | Tiras reactivas phosphatesmo MI | Prueba de fosfatasa alcalina. |

Fuente: Elaboración propia

3.1.7. SOFTWARE EMPLEADO

- Microsoft Excel® 2016 Trial versión.
- Arduino IDE® 1.6
- Visual Studio® 2015 Community Edition.

3.2. METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN

3.2.1. METODOLOGÍA Y CÁLCULO MATEMÁTICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO

3.2.1.1. VOLUMEN DEL TANQUE O RECIPIENTE

El Tanque debe ser diseñado para soportar varias fuerzas creadas por el movimiento de las paletas y por el peso mismo de la mezcla que crea una presión en todas las direcciones, además al ser utilizado en la industria alimenticia se fabricará con acero inoxidable AISI 304.

En la tabla 7 se aprecia los datos iniciales del tanque con los cuales se va a realizar los distintos cálculos de ingeniería.

Tabla 7. Datos iniciales del tanque

| Ítem. | Valores |
|------------------------------|----------------|
| Volumen de diseño | 36 litros |
| Forma | Semiesférica |
| Temperatura de diseño | 80° C |
| Fluido | Leche |

Nota: Estos parámetros deben ser respetados para el diseño

El volumen es una magnitud escalar definida como el espacio ocupado por un cuerpo.

Se propone un volumen y este se multiplica por el factor de seguridad que es de 0.15

$$X = V * 0.15 \dots \dots \dots \text{Ecuacion [1]}$$

Donde:

V: Volumen asumido (L)

G: 0,15: Factor de Seguridad

X: volumen en litros (L)

3.2.1.2. VOLUMEN TOTAL DEL TANQUE

Se determinará el Volumen total del tanque mediante la siguiente expresión.

$$V = v + x \dots \dots \dots \text{ecuacion [2]}$$

Donde:

V: Volumen total (L)

v: volumen propuesto (L)

X: volumen en litros (L)

3.2.2. CÁLCULO DE LA ALTURA DEL TANQUE

3.2.2.1. CÁLCULO DEL DIÁMETRO DEL TANQUE

El diámetro es una línea recta que pasa por el centro y une dos puntos opuestos de una circunferencia, una superficie esférica o una curva cerrada:

3.2.2.2. CÁLCULO DEL RADIO DE LA TINA

El radio de una circunferencia es cualquier segmento que va desde su centro a cualquier punto de dicha circunferencia. El radio es la mitad del diámetro. Se propone un diámetro de tanque.

$$r = \frac{\emptyset}{2} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuacion [3]}$$

Donde:

r : radio de la marmita (m)

\emptyset i: diámetro interno de la marmita (m)

3.2.2.3 ALTURA DEL TANQUE

La altura del cilindro es la distancia entre las bases del tanque, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$h = \frac{v}{\pi r^2} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuacion [4]}$$

Donde:

h : altura del equipo (m)

V: volumen (L)

r : radio del equipo (m²)

π : constante

3.2.3. CÁLCULO PARA EL SISTEMA DE AGITACIÓN

La agitación se refiere a forzar un fluido por medios mecánicos para que adquiera un movimiento circulatorio en el interior de un recipiente.

3.2.3.1. CÁLCULO PARA AGITADOR TIPO REJILLA DE ALAS PLANAS INCLINADAS

Los agitadores son dispositivos mecánicos que sirven para agitar fluidos con la ayuda de un motor y estos se dividen en dos clases: los que generan corriente paralelo al eje agitador (flujo axial) y los que dan origen a corrientes en dirección tangencial o radial (flujo radial).

Dentro del sistema de agitación el rodete crea un modelo de flujo en el sistema, dando lugar a que el líquido circule a través del tanque y eventualmente torne al rodete.

3.2.3.2. LONGITUD DEL BRAZO

Dentro del sistema de agitación el rodete crea un modelo de flujo en el sistema, dando lugar a que el líquido circule a través del tanque y nuevamente retorne al rodete. La longitud del brazo del agitador está dada por la siguiente ecuación:

$$L_B = \frac{5}{8} * \phi_1 \quad \dots \dots \dots \text{Ecuacion [5]}$$

Donde:

- LB: longitud del brazo (m)
- Øi: Diámetro interno de la marmita (m)

3.2.3.3. ESPESOR DEL AGITADOR

No existe una relación fija para el espesor del rodete generalmente varía desde un sexto a un décimo de la longitud del brazo. Sin embargo, la relación más estimada por Geankoplis. J, Pp127, es:

$$E_r = \frac{1}{10} * L_B \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación [6]}$$

Donde:

- Er: espesor del rodete (m)
- LB: longitud del brazo (m)

3.2.3.4. DIÁMETRO DEL RODETE

Para el diámetro del rodete se emplea la siguiente ecuación:

$$\phi_r = \frac{3}{4} * \phi_1 \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación [7]}$$

Donde

Ør: diámetro del rodete (m)

Øi: diámetro interno de la marmita (m)

3.2.3.5. DISTANCIA ENTRE EL FONDO DEL TANQUE Y RODETE

Para que exista una buena mezcla debe existir un espacio adecuado entre el fondo del tanque y el rodete para que todas las corrientes provocadas por la agitación puedan homogenizar completamente el líquido en el proceso. Para ello generalmente se tiene la siguiente ecuación:

$$x = h - L_B \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación [8]}$$

Donde:

X: Distancia entre el fondo del tanque y rodete (m)

LB: Longitud del brazo (m)

h: altura del líquido (m)

3.2.3.6. ALTO DE LA PALETA

Para determinar el alto de la paleta se emplea a menudo la siguiente expresión:

$$A_p = \frac{1}{5} * L_B \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación [9]}$$

Donde:

AP: Alto de la paleta (m)

LB: Longitud del brazo (m)

3.2.3.7. DISTANCIA ENTRE REJILLAS

La distancia se calcula mediante la siguiente expresión:

$$X_p = \frac{L_B}{4} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación [10]}$$

Donde:

Xp: Distancia entre rejillas (m)

4: Es el número de palas planas que tiene el agitador

LB: Longitud del brazo del rodete (m)

3.2.3.8. CÁLCULO PARA DIMENSIONAR LA LIRA

Es un instrumento que se utiliza para cortar la cuajada. Una buena lira debe tener el marco de acero Inoxidable al igual que los hilos; pero una alternativa provisoria, es usar como hilo, la tanza de pesca, estos hilos hacen un excelente trabajo y tienen una larga duración.

3.2.3.9. ESPESOR DE LA LIRA

LB: Se propone el valor de la longitud del brazo de la lira (m). Se calcula el espesor de la lira mediante la siguiente ecuación:

$$E_L = \frac{1}{10} * L_{BL} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación [11]}$$

Donde:

EL: espesor de la lira (m)

LBL: longitud del brazo de la lira (m)

3.2.4. DIÁMETRO DE LA LIRA

Para cortar el cuajo, es necesario que el diámetro de la lira ($\emptyset L$) posea casi el mismo diámetro de la olla, pero con una mínima diferencia, para que no roce la pared ni el fondo de la olla. Con el fin de que se realice el corte a todo el cuajo, incluso aquellas que están pegadas a la pared de la olla, sin que quede ni un solo espacio sin ser cortado, por lo que la distancia entre la lira y la marmita es de 0,04 m, es decir, 0,02 m de cada lado. Por lo tanto, el diámetro de la lira, lo determinamos por la siguiente expresión.

$$\emptyset_L = \emptyset_1 - 0.04 \text{ m} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación [12]}$$

Donde:

$\emptyset L$: Diámetro de la lira (m)

$\emptyset i$: Diámetro interno de la marmita (m)

3.2.4.1. ALTO DE LA PALETA

El alto de la paleta se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$A_{PL} = \frac{1}{5} * L_{BL} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación [13]}$$

Donde:

APL: Alto de la paleta (m)

LBL: Longitud del brazo (m)

3.2.5. DISTANCIA ENTRE EL FONDO DEL TANQUE Y LA LIRA

3.2.5.1. ALTURA TOTAL DE LA LIRA

La altura total de la lira, lo podemos determinar mediante la siguiente formula:

$$h_{TL} = (L_{BL} + A_P)m \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación [14]}$$

Donde:

LBL: Longitud del brazo de la lira (m)

APL: Alto de la paleta de la lira (m)

3.2.5.2. DISTANCIA ENTRE FONDO DEL TANQUE Y LA LIRA

Por lo tanto la ecuación para la distancia entre el fondo del tanque y la lira es:

$$X = (h_1 - h_{TL})m \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación [15]}$$

Donde:

Hi: altura interna de la marmita (m)

HTL: altura total de la lira (m).

3.2.5.3. DISTANCIA ENTRE HILO E HILO

Las tinas rectangulares y algunas cilíndricas, aceptan el lirado con liras verticales y horizontales, por lo que el trabajo del lirado es más correcto y uniforme. Por lo tanto los hilos de la lira estarán dispuestos de forma horizontal, hasta la mitad del diámetro de

la lira, y la otra mitad se encontrara ubicada de forma vertical, para que se realice el corte en ambas direcciones.

Primero debe calcularse:

$$r_L = \frac{\varnothing_L}{2} \dots \dots \dots \text{Ecuación [16]}$$

Donde:

RL: radio de la lira (m)

∅L: diámetro de la lira (m)

3.2.5.4. LA DISTANCIA ENTRE HILO E HILO LA PODEMOS ESTABLECER MEDIANTE EL USO DE LA SIGUIENTE EXPRESIÓN

La cantidad de número de hilos se debe colocar de acuerdo al tamaño del trozo de la cuajada que se quiera tener.

$$X_H = \frac{m_{LB}}{\# \text{ de hilos dispuestos de forma horizontal}} \dots \dots \dots \text{Ecuación [17]}$$

$$X_V = \frac{r_L}{\# \text{ de hilos dispuestos de forma vertical}} \dots \dots \dots \text{Ecuación [18]}$$

Donde:

XH: distancia entre hilo e hilo dispuestos de forma horizontal (m).

XV: distancia entre hilo e hilo dispuesto de forma vertical (m).

∅m: mitad del diámetro de la lira (m).

3.2.6. CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL AGITADOR

El cálculo de la potencia consumida se hace a través de números a dimensionales, relacionando por medio de gráficos el número de Reynolds y el Número de Potencia. Estas graficas dependerán de las características geométricas del agitador.

3.2.6.1 CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS

El número de Reynolds relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión a dimensional, que interviene en numerosos problemas de dinámica de fluidos. Aplicando la ecuación dada de Mc Cabe- Smith, Pp 275, se tiene:

$$NR_e = \frac{\phi r^2 * N * \rho}{u} \dots \dots \dots \text{Ecuación [19]}$$

Donde:

ϕr^2 = diámetro del rodete (m²)

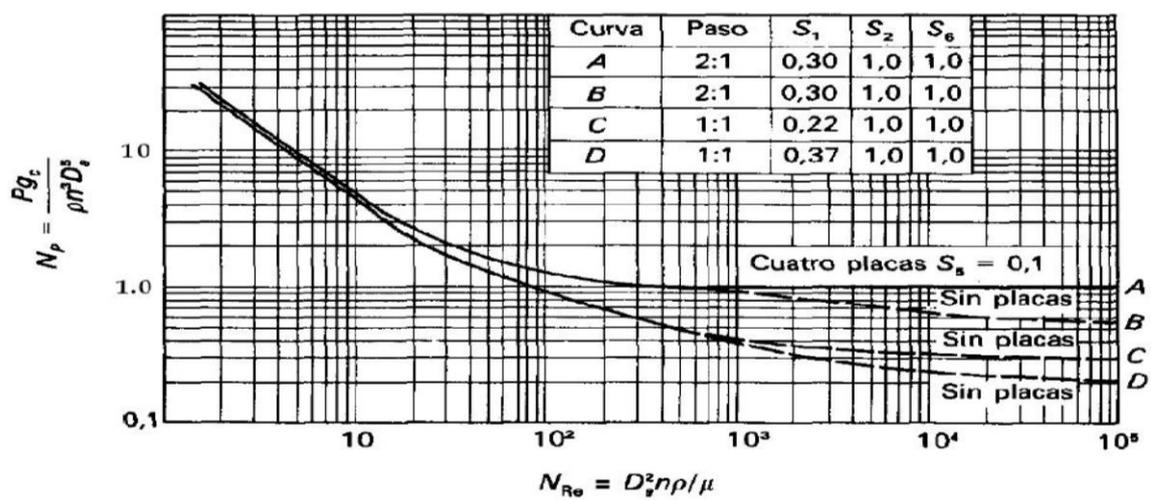
N: Velocidad rotacional (rps)

ρ : densidad del fluido (Kg/m³)

u : viscosidad del fluido (Kg/ms)

El consumo de la potencia se relaciona con la densidad del fluido ρ , su viscosidad u, la velocidad de rotación N, el diámetro del rodete ϕr , por medio de graficas de número de potencia Np en función de N Reynolds. Mediante la grafica 1.5.4.2.-1, se calcula el número de potencia Np en función del número del Reynolds NRe.

Figura 7. Característica de la Potencia frente al Reynolds



Fuente: Pérez, (2006).

Npo: obtenida de la gráfica 1.5.4.2.-1, se pasa a calcular la Potencia del motor, mediante la siguiente ecuación de Mc Cabe- Smith, Pp 273.

$$P = \frac{N_{PO}}{g_c} (\rho * N^3 * \phi r^3) \dots \dots \dots \text{Ecuación [20]}$$

Donde:

NPO: Numero de potencia obtenida

g_c : Factor gravitacional de conservación (kgm. m/N.s²)

N: Velocidad rotacional (rps)

ρ : densidad del fluido (Kg/m³)

μ : Viscosidad del fluido (Kg/ms).

$$P = \left(\frac{N_{PO}}{g_c}\right)(\rho * N^3 * \phi r^3)$$

Por factor de seguridad se utiliza el 10%.

3.2.6.2. CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL AGITADOR

Para el cálculo de la potencia del agitador es necesario primero calcular el número de Reynolds modificado con la ecuación 2. En la tabla 13 se encuentran los parámetros con sus respectivos valores con los cuales se podrá proceder con el cálculo del número de Reynolds.

Tabla 8. Datos para el cálculo de número de Reynolds

| Item | Valores |
|----------------------|-----------------------|
| RPM (N) | 44 rev/min |
| Viscosidad (μ) | 0.081 kg/m.s |
| Longitud (L) | 0.590 m |
| Densidad (ρ) | 930 kg/m ³ |

Nota: Los parámetros de viscosidad y densidad son muy importantes para el cálculo de potencia para mezclar la leche.

Fuente: (Chacaguasay & Picho, 2015)

El dato de la viscosidad es tomado de la leche entera que utilizan en la producción de aderezos $\mu = 0.081$ kg/m. s. (Mrclab, 2012, pág. 1). Al reemplazar los valores se tiene:

$$R_{ej} = \frac{L^2 N_P}{\mu} \dots\dots\dots \text{Ecuación [22]}$$

3.2.6.3. SELECCIÓN DEL MOTORREDUCTOR

Para la selección del motorreductor necesitamos los siguientes datos:

$P = 1,37$ KW = 1,84 HP (Potencia de Salida)

$N = 180$ RPM (Velocidad de salida)

Aplicación: Agitación de líquidos (Anexo 27)

Clase II: Carga Uniforme (Anexo 26)

Eficiencia del motor (η) = 0,94 – 0,96

P_{motor} = Potencia de motorreductor (Kw)

F.S. = 1,25 (Factor de Servicio) (Anexo 28)

Horas diarias de operación = 24 horas

Posición de montaje = Vertical

$$\rho_{motor} = \frac{p}{n} \dots \dots \dots \text{Ecuación [23]}$$

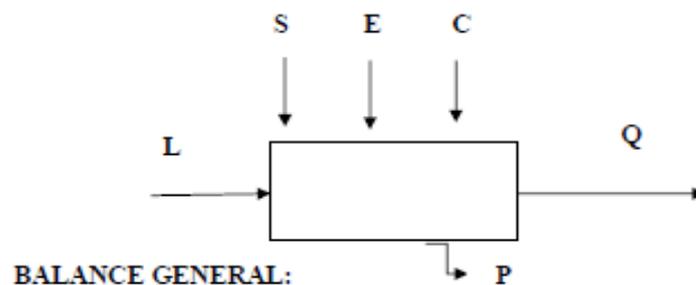
Hallando P_{motor} :

Tomamos como $\eta = 0,94$, reemplazando en la fórmula:

3.2.7. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

3.2.7.1. BALANCE DE MASA

Se basa en la ley de conservación de la materia, que establece que la masa de un sistema cerrado, permanece siempre. La masa que entra en un sistema debe, por lo tanto, salir del sistema o acumularse dentro de él, es decir:



Entrada = Salida + Acumulación

$$L + E + C = Q \dots \dots \dots \text{Ecuación [21]}$$

Donde:

L: Leche

E: Enzima (cuajo)

C: Cloruro de calcio

S: Sal

Q: Queso

P: Cantidad de suero y pequeñas cuajadas que se pierde

3.2.7.2. CÁLCULO DE LA MASA DE LA LECHE

$$\rho = \frac{m_L}{v} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación [22]}$$

Donde:

ρ : Densidad de la leche (g/L)

V: volumen de la leche (L)

m_L : masa de la leche (g)

3.2.7.3 CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL QUESO

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación [23]}$$

Donde:

ρ : Densidad del queso (g/L)

V: volumen de la leche (L)

m: masa del queso (g)

3.2.7.4. CÁLCULO DE LA MASA DE ALIMENTACIÓN

$$m_f = \Sigma Kg(m_{\text{Leche}} + m_{\text{cacl2}} + m_{\text{cuajo}} + m_{\text{sal}}) \dots \dots \dots \text{Ecuación [24]}$$

3.2.7.5. CÁLCULO DE LA FRACCIÓN MOLAR DE LA ALIMENTACIÓN

$$X_f = \frac{m_L}{m_F} \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación [25]}$$

La fracción molar de la leche en la alimentación es de 0,99 es decir 99%. Sin embargo, es importante indicar que por su naturaleza, la leche contiene 87% agua. Por lo tanto, la fracción del agua y extracto seco (cuajada) es 99% y será:

3.2.7.6. BALANCE DE MASA GLOBAL

$$L + E + C + S = Q + P \dots\dots\dots \text{Ecuación [26]}$$

$$Q = 66885 + 1.3 + 1.3 + 113.75 - 53401$$

$$Q = 13600 \text{ g}$$

3.2.7.7. BALANCE PARCIAL DEL EXTRATO SECO (CUAJADA)

$$LX_L + CX_C + EX_E + SX_S = QX_Q + PX_P \dots\dots\dots \text{Ecuación [27]}$$

$$X_Q = \frac{LX_L + CX_C + EX_E + SX_S}{Q} \dots\dots\dots \text{Ecuación [28]}$$

3.2.7.8. BALANCE PARCIAL DEL AGUA

$$LX_L + CX_C + EX_E + SX_S = QX_Q + PX_P \dots\dots\dots \text{Ecuación [29]}$$

$$LX_L = QX_Q + PX_P$$

$$X_Q = \frac{LX_L - PX_P}{Q} \dots\dots\dots \text{Ecuación [30]}$$

3.2.7.9. CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CONCENTRACIÓN

$$Q = \frac{m_Q}{t} \dots\dots\dots \text{Ecuación [31]}$$

Donde:

m_Q : masa del queso (g).

t : tiempo que se tarda en realizar el queso (h).

3.2.8. DISEÑO DEL SISTEMA TÉRMICO

3.2.8.1. CONSIDERACIONES DEL DISEÑO

Las superficies de transmisión de calor, que puede estar en forma de encamisados para calentamiento, o bien por serpentines tubulares sumergidos en el líquido, se utilizan con frecuencia en tanques agitados.

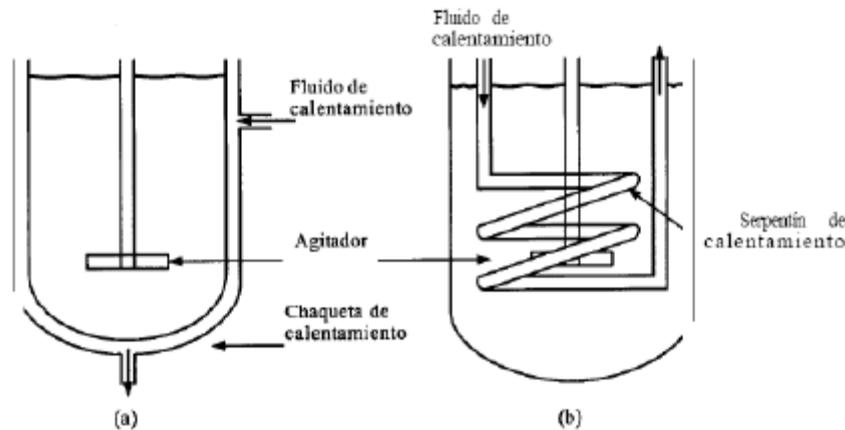
El diseño del Sistema Térmico que se utilizó es el de Transmisión de Calor por Chaquetas de calentamiento.

Los parámetros de operación para realizar el diseño del sistema térmico son los siguientes:

- Consideremos un tanque agitado que contiene “m” Kg de un líquido de calor específico “ C_p ”.
- Está provisto de una superficie de transmisión de calor de área “A”.
- Calentada mediante un medio de temperatura constante tal como agua caliente que suba la temperatura “ T_s ”.
- Temperatura de diseño = 80 °C (agua caliente dentro de la chaqueta).
- Temperatura de ingreso del fluido “ T_1 ”, hasta su calentamiento a una temperatura “ T_2 ”.

En la figura 8. Se muestra un recipiente con chaqueta de calentamiento. Cuando se trata de un calentamiento, puede emplearse vapor de agua, que se condensa en el interior de la chaqueta.

Figura 8. Transferencia de calor en recipientes con agitación



- a) Recipiente con chaqueta de calentamiento b) Recipiente con serpentines de calentamiento.

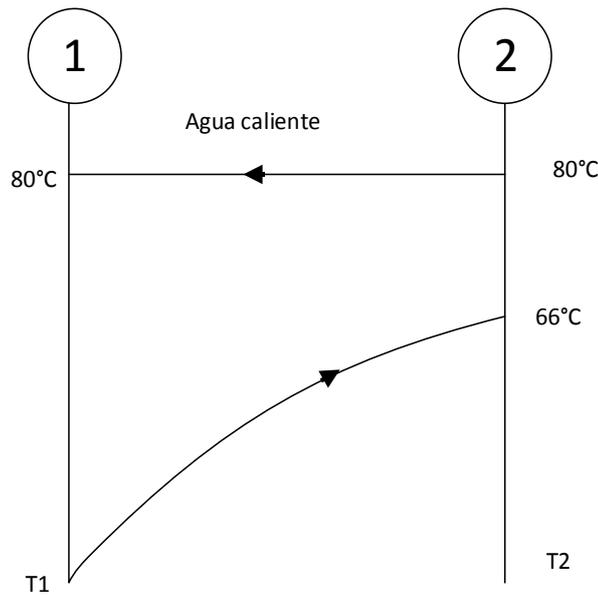
Para hallar la altura del enchaquetado, necesitamos utilizar el valor del volumen de operación de 36 m³ que se va a llenar el recipiente, esto es la altura del tanque o recipiente con los datos de la ecuación 4.

$h = 0.30$ m; altura de la chaqueta

Área de transferencia=A

$$A = \pi Dh + 0.32 * \pi * D^2 \dots \dots \dots \text{Ecuación [31]}$$

Figura 9. Proceso de Calentamiento



En la siguiente figura 9. Se observa cómo será el proceso de calentamiento en el enchaquetado del tanque.

3.2.8.2. BALANCE TÉRMICO

La ecuación general del balance de energía se expresa de la siguiente forma:

$$Q_{\text{ganado}} = Q_{\text{perdido}}$$

$$Q = Q_{\text{H}_2\text{O}} + Q_{\text{Metal}}$$

Donde:

QM: Flujo de calor del metal (Kcal/h)

QH20: Flujo de calor del caldero (Kcal/h)

Q: Flujo de calor necesario para calentar la leche (Kcal/h)

3.2.8.3. CÁLCULO DEL FLUJO DE CALOR DEL METAL

$$Q_M = K * A * \Delta T \dots \dots \dots \text{Ecuación [33]}$$

Donde:

K: Coeficiente de transmisión térmica del material (w/m² °C)

A: área de transferencia de calor (m²)

ΔT: Cálculo de la gradiente de temperatura (°C)

3.2.8.4. CÁLCULO DE LA GRADIENTE DE LA TEMPERATURA

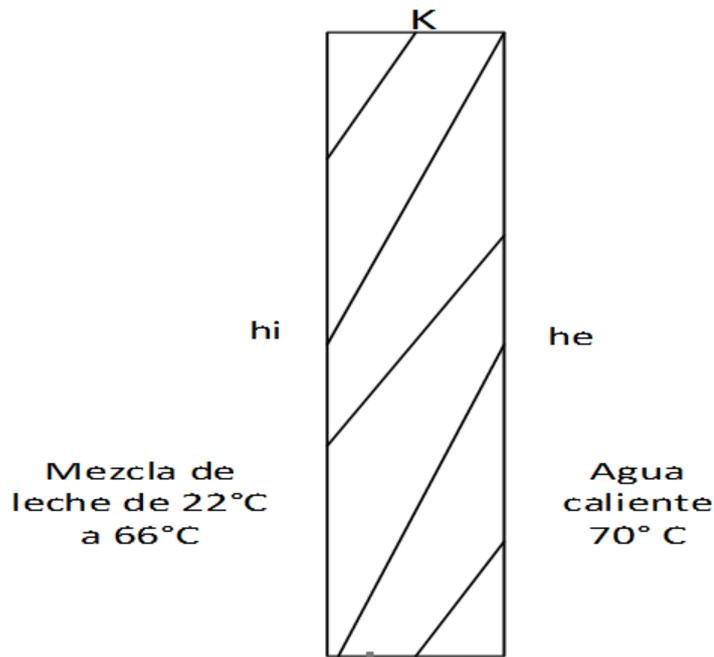
$$\Delta T = T_p - T_F \dots \dots \dots \text{Ecuación [34]}$$

Donde:

TP: Temperatura de pasteurización (°C)

TF: Temperatura de alimentación (leche) (°C)

Figura 10. Coeficientes de Transferencia de Calor



3.2.8.5. CÁLCULO DEL ÁREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR

$$A = 2 * \pi * r * h \dots \dots \dots \text{Ecuación [35]}$$

Donde:

r: radio de la marmita (m)

h: altura de la marmita (m)

3.2.8.6. CÁLCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

$$Q = A * U * \Delta T \dots \dots \dots \text{Ecuación [36]}$$

Donde:

A: área de transferencia de calor (m²)

Q: Flujo de calor (Kcal/h)

ΔT : Diferencia de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

U: Coeficiente global de transferencia de calor ($\text{J}/\text{m}^2\text{S } ^{\circ}\text{C}$)

$$U = \frac{Q}{A * \Delta T}$$

3.2.9. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE CALENTAMIENTO

El tiempo de calentamiento para un área de transferencia de $0,50 \text{ m}^2$ estará entre 13 minutos a 20 min.

Con la siguiente fórmula calcularemos el tiempo θ_c :

$$\theta_c = \frac{V\rho C_p}{UA} \ln\left(\frac{T_{s2}-T_1}{T_{s1}-T_2}\right) \dots \dots \dots \text{Ecuación [37]}$$

3.3. METODOLOGÍA PARA LA VALIDACIÓN

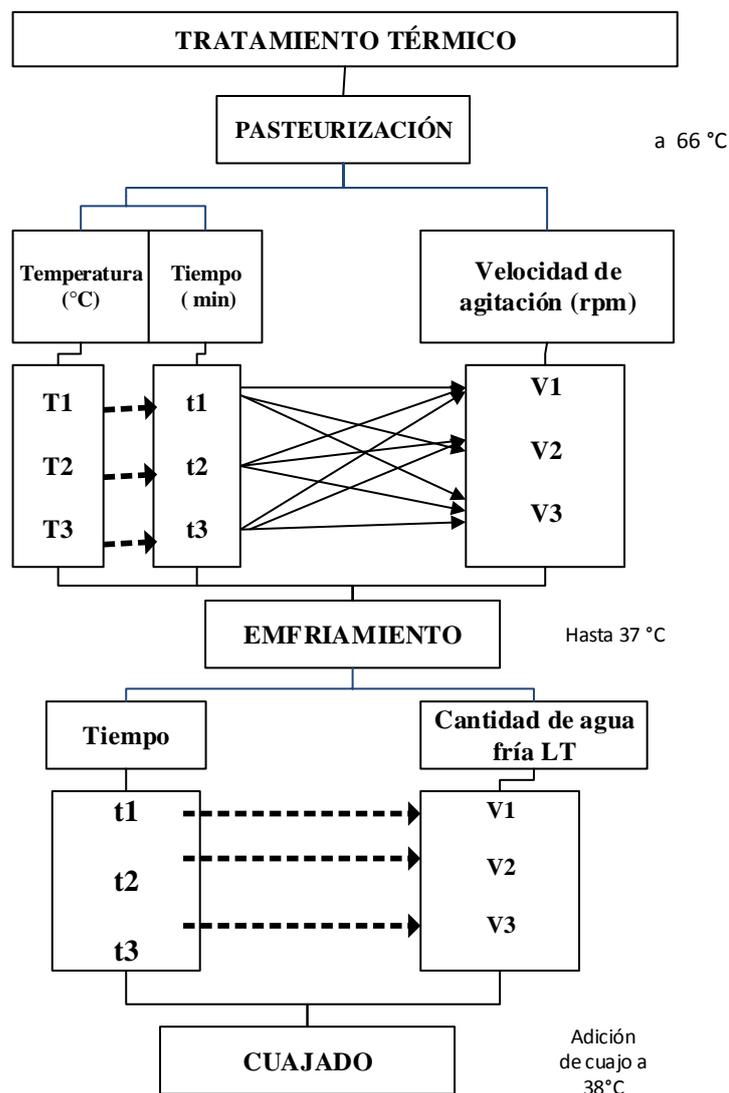
3.3.1. MÉTODO EXPERIMENTAL

En la Figura 14, se presenta el diagrama de flujo normal para la elaboración de queso. Desde la recepción de la materia prima (leche), hasta el proceso de y la obtención de queso tipo paria.

3.3.2. MATERIA PRIMA

Se utilizó (Leche cruda fresca) de la especie vacuno rasa brows swiss: proveniente del distrito de Ayaviri, provincia de Melgar y departamento de Puno. La materia prima fue transportada en cajones acondicionados hasta la ciudad de Puno y finalmente abierta en la planta piloto de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial para su procesamiento de acuerdo a los requerimientos de este proyecto.

Figura 11. Diagrama simplificado del proceso de tratamientos térmicos y diseño experimental para la evaluación del equipo



Fuente: elaboración propia

3.4. PROCESO TRATAMIENTO TÉRMICO

3.4.1. DESCRIPCIÓN

a) RECEPCIÓN: El recojo de la leche se hace del establo del INIA, de forma higiénica hacia la planta piloto de procesamiento de Lácteos, en porongos, realizando un control de calidad: % acidez, densidad y pH.

b) FILTRADO: Al decepcionar la leche, se filtra con el fin de eliminar impurezas físicas como: pelos, pajas, etc.

c) TRATAMIENTO TÉRMICO: La leche es sometida a tratamiento térmico para la destrucción de microorganismos patógenos e inactivar parte de las enzimas. Para este estudio se dio tratamientos diferentes: calentamiento a 39°C/s, termización a 63°C/15seg., pasteurización a 65°C/30min.

d) ENFRIADO: Se realizó el enfriado utilizando agua fría, hasta obtener temperaturas de 39 °C lista para la adición de aditivos y el cuajo.

e) ADICIÓN DE ADITIVOS: Se adiciono: Cloruro de calcio 1.5 %, con el objetivo de conseguir una mejor coagulación, reestableciendo el equilibrio del calcio que se perdió después del tratamiento térmico, y el Nitrato de Potasio 0.005%, con la finalidad de contribuir en la conservación del producto, evitando el hinchamiento del queso.

f) ADICIÓN DEL CUAJO: Se adiciono el cuajo “HANSEN” que contiene mayor

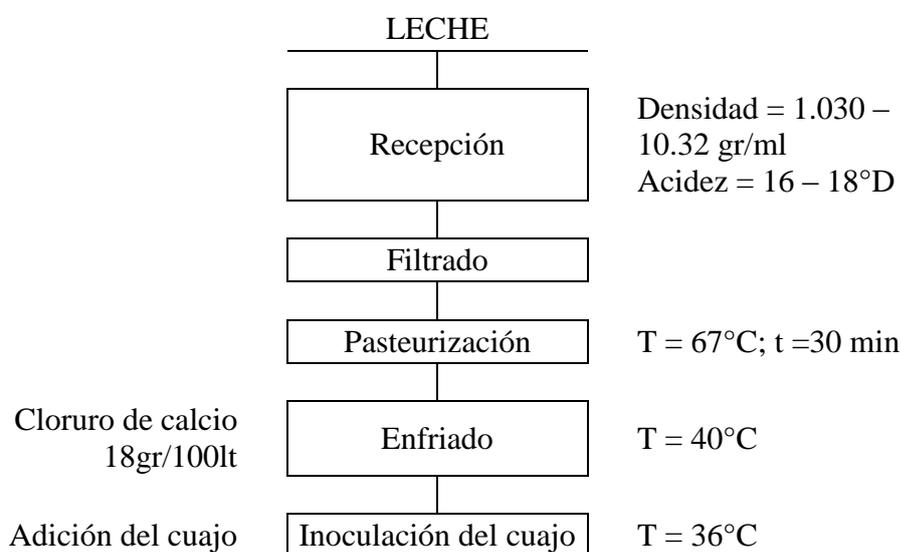
a). después de aplicar el tratamiento térmico (termización y pasteurización), la calidad microbiológica mediante el conteo de ufc/ml de coliformes y aerobios mesófilos en la leche que fue destinada para la elaboración del queso tipo paria.

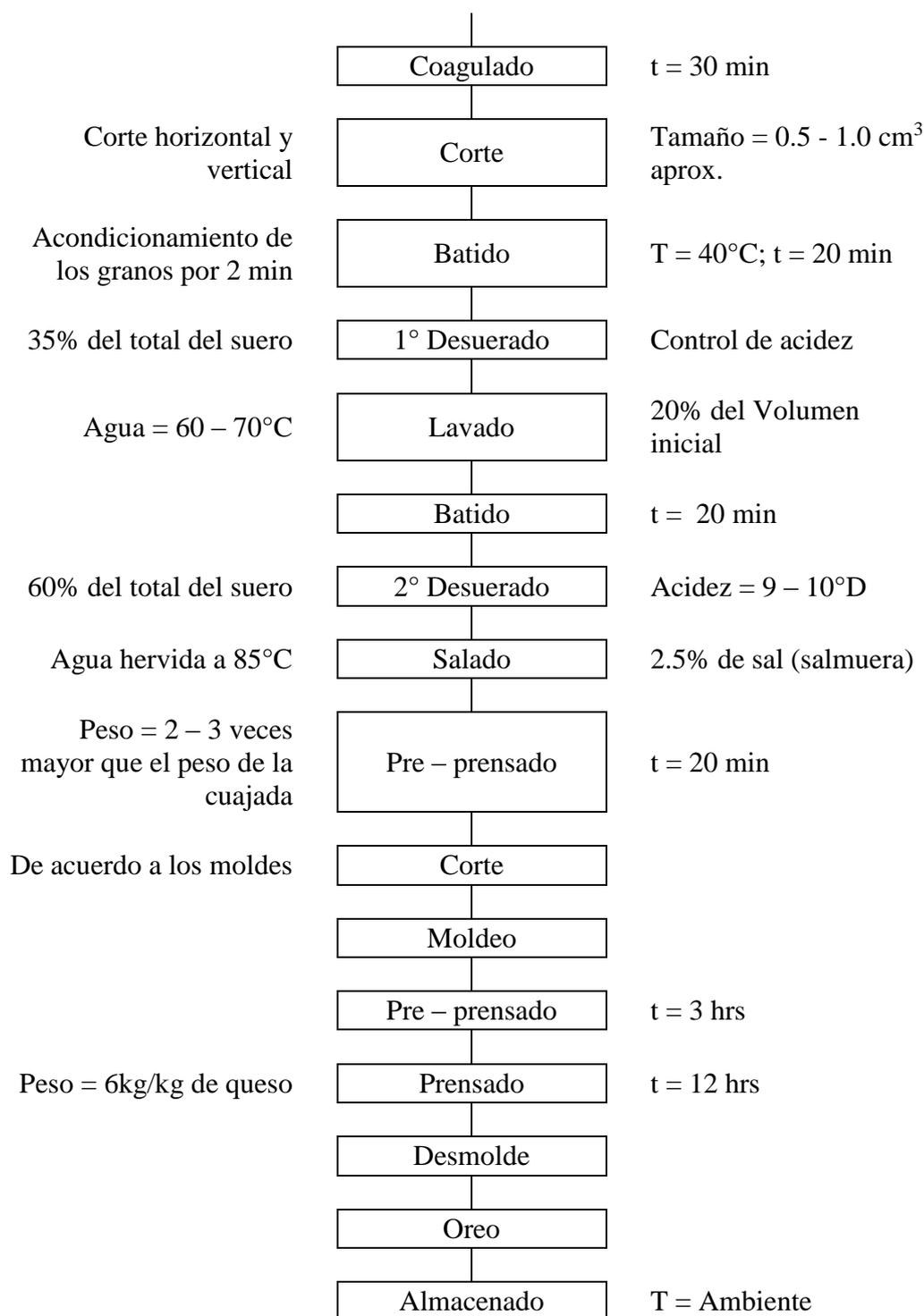
b). se evaluó la cinética de deterioro del queso tipo paria envasado al vacío evaluando a intervalos de 3 días observando y analizando los cambios en la acidez, pH, características fisicoquímicas y microbiológicas, exponiendo el producto a distintas temperaturas de almacenamiento, y

c). Evaluación sensorial para determinar la aceptabilidad de los quesos tipo paria envasados al vacío durante el periodo de almacenamiento.

3.4.2. METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN DEL QUESO TIPO PARIÁ

Figura 12. Diagrama de flujo para la elaboración del queso tipo paria





3.4.2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

- a. **Recepción.** Se realizó el recojo de la leche hacia la planta, realizando un control de calidad tales como: % acidez, densidad. Previa homogeneización de la leche.
- b. **Filtrado.** Se filtró con el fin de eliminar impurezas físicas como: pelos, pajas entre otros.

- c. **Pasteurización.** La leche fue sometida a tratamiento térmico para la destrucción de microorganismos patógenos e inactivar parte de las enzimas. En este caso a una temperatura de 67°C/30 min (Ccopa, 2008).
- d. **Enfriado.** Se enfrió utilizando agua fría, hasta obtener una temperatura de 40°C para agregar cloruro de calcio (18gr/100Lt) con la finalidad de mejorar la firmeza de la coagulación, restableciendo así el equilibrio de los minerales que se perdieron en la pasteurización.
- e. **Inoculación del cuajo.** A una temperatura de 34 – 36°C se le adiciono cuajo (Chr. Hansen A/S), con el fin de coagular la leche, donde el cuajo descompone a la caseína y facilita la unión con el calcio formando una estructura de gel entre el calcio, la caseína, la grasa, el agua y así obtener la cuajada, se revuelve constantemente durante 2 min para que la mezcla sea homogénea.
- f. **Coagulado.** Se dejó reposar durante 30 min aproximadamente, hasta que el cuajo actuó y se obtuvo una consistencia adecuada para luego realizar el corte y posterior desuerado.
- g. **Corte.** Seguidamente se realizó el corte utilizando liras, haciendo cortes horizontales y verticales (0.5 – 1.0 cm³ aproximadamente) para favorecer la expulsión del suero del interior de la cuajada, durante 5 min aproximadamente y luego se dejó en reposo 3 min aproximadamente para que maduren los granos y/o adquieran consistencia adecuada.
- h. **Batido.** El batido se hizo lentamente durante 5 min aproximadamente luego se aceleró gradualmente hasta completar a un tiempo de 20 min, hasta llegar a un punto de arroz, esto para eliminar la mayor cantidad de suero posible.
- i. **1° Desuerado.** Se realizó extrayendo el 10 % aproximadamente del total del suero, esto para evitar cambios bruscos de temperatura de la masa y así regular la acidificación de los granos de la cuajada.
- j. **Lavado.** El lavo la cuajada, se hizo con el fin de controlar la acidificación para lo cual se le adiciono 20 % (del volumen total inicial) de agua estéril a una temperatura de 60 – 70°C.
Se hizo un lavado con el fin de extraer el suero acido del centro de los granos de masa y regular la acidez.
- k. **Batido.** Se batió constantemente para mantener la temperatura a 38 – 40°C y no producir cambios bruscos en los granos de la cuajada.
- l. **2° Desuerado.** Se realizó extrayendo 60% aproximadamente del total del suero.

- m. Salado.** El salado se realizó con la preparación de salmuera (2.5% de sal) que fue esterilizado a 85°C por 10 – 15 min. con el fin de eliminar bacterias patógenas, la salmuera se le adiciono previo colado muy lentamente por las paredes de la tina para no producir cambios bruscos de temperatura. Se mantuvo a 42°C para no resecar la cuajada.
- n. Pre-prensado.** Se realizó con la finalidad de eliminar el suero de la cuajada y hacerla más compacta, por un tiempo aproximado de 20 min. Con un peso de 2 – 3 veces mayor que el peso de la cuajada.
- o. Corte.** Se hizo cortes para facilitar el moldeo.
- p. Moldeo.** Se utilizó moldes de plástico, llenándolo de la cuajada, cubriéndolo enseguida con la tapa para que le dé una mejor forma.
- q. Pre-prensado.** Se realizó un pre prensado para sacar la mayor cantidad de suero durante 3 horas y así compactar los granos de cuajada.
- r. Prensado.** Se realizó para retirar la mayor cantidad de suero. Se incrementa gradualmente la presión. Después del pre-prensado se procede al volteo y luego se deja prensando hasta obtener una pasta solida con bajo contenido de humedad. Se considera un tiempo de 12 horas y un peso de 6kg/kg de queso.
- s. Desmolde.** Finalizado la operación de prensado se quita el molde.
- t. Oreo.** El oreo se realizó durante 5 horas aproximadamente, con la finalidad de secar la humedad superficial.
- u. Almacenamiento.** El almacenamiento del queso tipo paria se almaceno a temperatura ambiente que varía de 11 – 18°C.

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental se desarrolló, teniendo en cuenta, los factores de estudio (Temperatura y tiempo de proceso y velocidad de giro del agitador), sobre la variable de respuesta (inactivación de fosfatasa alcalina, mejores parámetros de tratamiento térmico) de los datos obtenidos se utilizó estadística descriptiva, realizando cálculos de coeficiente de determinación, error estándar. También se realizó el “ANOVA” para observar el efecto significativo de los factores en estudio, para ello se empleó el programa estadístico STATGRAPHICS CENTURIÓN XV.II.msi.

3.5.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El presente Trabajo de Investigación, es de tipo análisis descriptivo, porque se presenta todos los resultados del estudio; debido al tratamiento matemático planteado que permite un validamiento cuantitativo de los resultados. Este método se aplica con el propósito de establecer las conclusiones y generalizar los resultados de la investigación.

La evaluación del proceso de tratamiento térmico se llevó a cabo mediante un Diseño Central Compuesto Rotable (DCCR); para evaluar la influencia de la temperatura, tiempo y la velocidad de agitación sobre la leche en el equipo construido.

Con relación al aspecto descriptivo, se hace referencia a las características y bondades del equipo optimizador de tratamientos térmicos (que simplifica el proceso de elaboración del queso), ello gracias a que se establecieron propuestas bien definidas para cumplir con los objetivos que nos planteamos.

El DCCR tiene tres grupos característicos de tratamientos, que se denominan: tratamientos factoriales, tratamientos estrella y tratamiento central. El número de tratamientos es igual a $2^p + 2p + c$. Donde: 2^p es el número de tratamientos básicos de la parte factorial, $2p$ corresponde a los tratamientos de la parte axial o estrella y C constituye el tratamiento central que se repite un número determinado de veces dependiendo del número de factores o réplicas del centro del diseño.

Para definir el nivel de significancia de cada uno de los coeficientes del modelo matemático del segundo orden se armó la tabla ANOVA, la cual nos permitió evaluar qué coeficientes del modelo matemático tienen influencia en la ganancia de sólidos solubles, según la F_c , observándose para un nivel de significancia del 95% y 7 grados de libertad.

Tabla 9. Niveles y valores de los factores en estudio para la Evaluación

| FACTORES DE ESTUDIO | | |
|---------------------|-----------------------|--------------------|
| TEMPERATURA (°C) | TIEMPO (<i>min</i>) | AGITACIÓN (RMP) |
| 66 | 5 | 15,45,90 |
| 65 | 10 | 15,45,90 |
| 63 | 30 | 15,45,90 |

Fuente: Elaboración propia.

Siendo:

15 RPM: Nivel bajo; 45 RPM: Nivel medio; 90 RPM: Nivel alto

Tabla 10. Tabla de tratamientos

| Tratamientos | Temperatura (°C) | Tiempo de pasteurización (min) | Velocidad de Giro (RPM) |
|--------------|---------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| 1 | 66 | 5 | 90 |
| 2 | 66 | 5 | 45 |
| 3 | 66 | 5 | 15 |
| 4 | 65 | 10 | 90 |
| 5 | 65 | 10 | 45 |
| 6 | 65 | 10 | 15 |
| 7 | 63 | 30 | 90 |
| 8 | 63 | 30 | 45 |
| 9 | 63 | 30 | 15 |

Fuente: Elaboración propia

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

4.1.1. DIMENSIONES DEL TANQUE CONTENEDOR

En la tabla 11 se muestra los resultados obtenidos de los cálculos realizados para determinar las dimensiones del tanque contenedor (capacidad, altura y diámetro).

Tabla 11. Dimensiones y capacidad del tanque

| Variable | Cálculo |
|---|---------|
| Capacidad, <i>lt.</i> | 36 |
| Altura, <i>m</i> | 0.30 |
| Diámetro, <i>m</i> | 0.45 |
| Capacidad de volumen de agua en la chaqueta y en tubería (agua). <i>lt.</i> | 8 |
| Espesor de la chaqueta, <i>cm</i> | 0.03 |
| Velocidad de agitador, rpm | 15-90 |
| Potencia del motor, HP | 3/8 |
| Material (<i>acero Inox.AISI 304</i>) | |

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia en la Tabla 11 que el equipo optimizador presenta las dimensiones establecidas, cuyo capacidad total de almacenamiento de 36 lt, el diámetro interno del recipiente enchaquetado es de 0.45 m; la altura del recipiente es de 0.30 m. Cuenta con un agitador de 0.08 m de diámetro; puesto que Brennan citado por Borda y Gamarra (2002), indica que el diámetro de los agitadores debe ser de 30 – 50% del diámetro del tanque de agitación. Para el presente equipo se consideró la potencia del motor del agitador es de 3/8 HP, peso de la tina 46 Kg respectivamente.

Figura 13. Tanque contenedor del equipo



Fuente: Elaboración propia

En la Fig. 13 se aprecia la forma que presente el equipo, conjuntamente con los accesorios que contiene el equipo (llaves de paso, tuberías, sistema de agitación, motorreductor).

Tabla 12. Hoja técnica de diseño

| INFORMACIÓN | DESCRIPCIÓN | INDICADOR | UNIDAD |
|---------------------------|----------------------|-----------|--------|
| Requerimiento de Servicio | Energía GLP | 220 | VCA |
| | Flujo de calor | 644,98 | Kcal/h |
| Tina contenedor | Tipo Circunferencial | 304 | ASTM |
| | Acero Inoxidable | | |
| Accesorios | Volumen | 36 | lt. |
| | Motor Agitador | 160 | Rpm |
| | Potencia | 1/3 | Hp. |
| | Motorreductor | 70 | Rpm |
| | Presión de diseño | 4 | Bar |
| | Tubería | 1/2 | Pulg. |
| | Motor impulsión | 1 | Hp. |
| | Potencia | | |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12 se aprecia a las características de construcción del prototipo con la hoja de diseño del equipo, así mismo la información técnica del tina contenedor, accesorios y los requerimientos de servicio; la energía que utiliza es el GLP de 220 voltios, flujo de calor 644.98 Kcal/ h, la tina es de tipo circunferencial de acero inoxidable AISI 304 de grado alimentario de Vol. máx. 36 lt, lleva un sistema de agitación con motor

reductor de 160 rpm con una potencia de 1/3 Hp. la presión de diseño máx es de 4 bar y el sistema de tuberías es de acero inoxidable 1/2" pulg de diámetro, el sistema de impulsión es con motor de 1/2 Hp de potencia que impulsa la circulación del agua en todo el sistema para calentamiento y enfriamiento de la leche.

4.1.2. DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO

Se muestra los resultados obtenidos de los cálculos realizados para determinar los parámetros físicos del equipo reactor

Tabla 13. Parámetros físicos del equipo

| INFORMACIÓN | DESCRIPCIÓN | INDICADOR | UNIDAD |
|---|---------------------------|-----------|--------|
| Dimensiones de la tina | -Tipo Circunferencial | | |
| | -Acero Inoxidable | 304 | ASTM |
| | -Volumen | 36 | L |
| | -Diámetro | 0,22 | m |
| | -Altura | 0,30 | m |
| Dimensiones del sistema de Agitación Tipo Rejilla de Pala plana inclinada | -Espesor de la camisa | 0,03 | m |
| | -Longitud del Brazo | 0,35 | m |
| | -Espesor del Rodete | 0,03 | m |
| | -Diámetro del rodete | 0,43 | m |
| | -Alto de la Paleta | 0,10 | m |
| Dimensiones de la Lira | -Distancia entre rejillas | 0,08 | m |
| | -Angulo de la Paleta | 45° | |
| | -Longitud del Brazo | 0,39 | m |
| | -Espesor | 0,03 | m |
| | -Diámetro | 0,52 | m |
| <u>Distancia entre Hilos:</u> | -Alto de la Paleta | 0,08 | m |
| | · Horizontal | 0,0238 | m |
| | · Vertical | 0,0249 | m |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13, se aprecia la información de las características físicas mecánicas del dimensionamiento de manera integral del equipo optimizador; que consta de varias partes como: termocuplas, manómetro, y válvula de desfogue y pasó, en ello se produce el agitado necesario para un proceso de calentamiento y pasteurización. Además, consta de un sistema de automatización por microcontroladores, que mantienen controladas las variables del proceso (temperatura y velocidad de agitación) lo más cerca posible del punto de control.

Se automatizó el equipo mediante el uso de microcontroladores, ya que estos están diseñados para la aplicación de control de máquinas como lo menciona (Paralax 2003).

Se eligió este tipo de automatización por las características de proceso y por ser el un equipo construido para su uso a nivel de laboratorio.

4.2. VALIDACIÓN DEL EQUIPO

En el siguiente cuadro se muestran los resultados obtenidos de la evaluación:

Tabla 14. Resultados de la evaluación del tratamiento térmico de la leche evaluado en el equipo optimizador. Obtenidos en la Planta Piloto de EPIA – FCA. (2017)

| VARIABLES CONTROLADAS | | VARIABLES DE RESPUESTA | | |
|-----------------------|--------------------------------------|-------------------------------|---|---|
| Temperatura °C | Tiempo de pasteurización (min) | Velocidad de Giro (RPM) | Nivel de significancia de la fosfatasa | Tiempo total operacional del proceso de tratamientos térmicos (min) |
| 66 | 5 | 90 | 3 | 28.4 |
| 66 | 5 | 45 | 2 | 27.6 |
| 66 | 5 | 15 | 2 | 27.3 |
| 65 | 10 | 90 | 3 | 30.6 |
| 65 | 10 | 45 | 3 | 32.19 |
| 65 | 10 | 15 | 2 | 30.9 |
| 63 | 30 | 90 | 3 | 48.52 |
| 63 | 30 | 45 | 2 | 47.52 |
| 63 | 30 | 15 | 2 | 53.2 |

Fuente: Elaboración propia

En el Tabla 14 se presenta el resumen los resultados de los tratamientos térmicos de las variables de respuesta (variación de: nivel de significancia de la fosfatasa, tiempo total operacional de tratamientos térmicos), características que son influenciadas por los factores en estudio, se muestran también los niveles de significancia de la fosfatasa donde el valor 3 indica una coloración blanca, valor 2, significa color blanco amarillento, valor 1 significa color amarillo.

El valor 3 indica que la pasteurización se realizó eficientemente, el valor 2 indica que hay presencia parcial de la enzima fosfatasa y valor 1 indica que la pasteurización no se desarrolló eficientemente hay presencia de fosfatasa Alcalina.

La fosfatasa es una enzima presente en la leche cruda que se encuentra activa hasta que se realice un proceso de calentamiento con temperaturas superiores a 60°C (Acosta, 2012). La prueba de Fosfatasa Alcalina es eficaz para decidir sobre la efectividad de un proceso de pasteurización (Sarh, 2003).

La manera de asegurarse que una pasteurización fue práctica es mediante una prueba de Fosfatasa Alcalina, si existe presencia de la enzima en la leche el proceso fue inefectivo, en una correcta pasteurización, se tendría la inhibición de la actividad de la Fosfatasa Alcalina en la leche (Bárcena, García, Padilla, Martínez y Díez, 2014).

La enzima es conocida por su presencia en algunos órganos de animales, como intestino, riñón, entre otros y produce crecimiento en algunas fases en los animales (Bárcena, García, Padilla, Martínez y Díez, 2014). Esta enzima sirve como control de calidad de la pasteurización de la leche, ya que se inactiva al momento de entrar a un proceso de calentamiento, en temperaturas óptimas de 72 °C a 76°C (Bárcena et al., 2014).

El Phosphatesmo, son tiras reactivas para la detección específica de Fosfatasa Alcalina en leche. En la industria láctea se emplea este método (test) para determinar de forma rápida y simple si el tratamiento de pasteurización de la leche fue debidamente realizado. Para la realización del test se sumerge la tira reactiva por aproximadamente 1 segundo en la leche y agitar, luego se pone a incubar por 1 hora a 36 °C si la zona reactiva se torna amarilla, indica que la enzima Fosfatasa Alcalina no se desactivó completamente y el proceso de pasteurización no ha sido bien concluido (Rankin *et al.*, 2010).

El Test Phosphatesmo sirve para identificar si el proceso de pasteurización de leche se realizó correctamente. Se realiza mediante el uso de tiras reactivas para la determinar de manera específica la fosfatasa alcalina en la leche y es un método usado

actualmente en la mayoría de empresas de la industria láctea. Si la tira cambia de coloración de blanca a amarilla, es un resultado Positivo (+), si no tiene coloración es un resultado Negativo (-), y si existe una coloración amarillenta baja, es un resultado Intermedio (+/-) (Aqua, 2018).

Tabla 15. Inactivación de fosfatasa alcalina en leches de vaca sometida a diferentes tratamientos térmicos

| RPM | 66°C por 5 min | 65°C por 10 min | 63°C por 30 min |
|-----|----------------|-----------------|-----------------|
| 90 | 3 | 3 | 3 |
| 45 | 2 | 3 | 3 |
| 15 | 2 | 2 | 2 |

1=Presencia de la enzima; 3=ausencia de la enzima; 2= reacción colorimétrica débil indicando presencia parcial de la enzima.

En la tabla 15 se aprecia la aplicación de tratamiento térmico con los parámetros de 65 °C por 10 min y 63 por 30 min, a una velocidad de giro de 45 y 90 RPM, indica que hay una mejor eficiencia de la inactivación de la Fosfatasa Alcalina, lo quiere decir que la pasteurización se efectuó correctamente. La velocidad de agitación mayores a 45 RPM hasta un máximo de 90 RPM, son recomendables aplicar al momento de realizar el tratamiento térmico de la leche para su respectivo procesamiento.

Haciendo un análisis comparativo con la Tabla 14, indica que los tiempos empleados en el proceso y el costo operacional que se genera realizar dicho tratamiento térmico, se acepta como el óptimo tratamiento los parámetros de 65°C por 10 min a 45 RPM de agitación.

La ausencia de Fosfatasa Alcalina ha sido universalmente aceptada como la evidencia de una eficiente pasteurización en leche, esta prueba, permite evaluar la aplicación apropiada del tratamiento térmico en dicho proceso. Algunas enzimas nativas de la leche se han convertido en buenos indicadores de la efectividad del tratamiento térmico, debido a que poseen mayor resistencia térmica que la mayoría de patógenos no formadores de esporas que se encuentran en la leche (Fría & García, 2012).

Tabla 16. Tiempo operacional del tratamiento térmico

| Tratami ento | Temperat | | | Calentamie nto (Min) | Pasteurizaci ón(Min) | Tiempo de enfriamiento hasta llegar a 38°C | Tiempo total empleado del tratamientos térmicos (Min) |
|-----------------|----------|---------|-----|---------------------------|-------------------------|---|--|
| | ura(°C) | Θ (Min) | RPM | | | | |
| T1 | 66 | 5 | 90 | 14.2 | 5 | 9.2 | 28.4 |
| T2 | 66 | 5 | 45 | 13.6 | 5 | 9 | 27.6 |
| T3 | 66 | 5 | 15 | 13 | 5 | 9.3 | 27.3 |
| T4 | 65 | 10 | 90 | 12 | 10 | 8.6 | 30.6 |
| T5 | 65 | 10 | 45 | 13.49 | 10 | 8.7 | 32.19 |
| T6 | 65 | 10 | 15 | 12.7 | 10 | 8.2 | 30.9 |
| T7 | 63 | 30 | 90 | 10.22 | 30 | 8.3 | 48.52 |
| T8 | 63 | 30 | 45 | 9.32 | 30 | 8.2 | 47.52 |
| T9 | 63 | 30 | 15 | 15.2 | 30 | 8 | 53.2 |

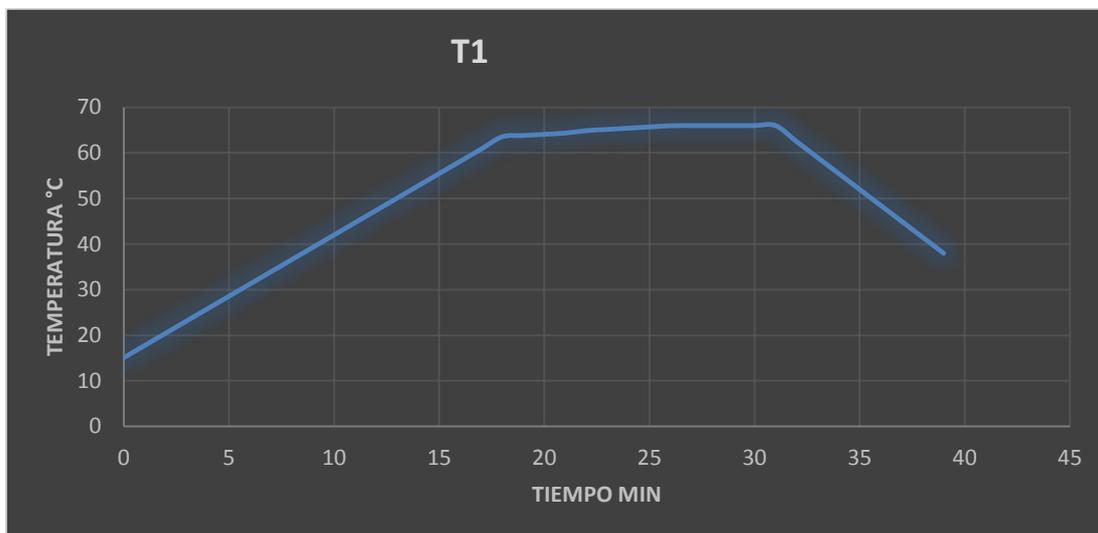
En la tabla 16 se aprecia los tiempos empleados en cada etapa del tratamiento térmico, etapa de calentamiento hasta llegar a temperatura de pasteurización y la etapa de enfriado hasta bajar la temperatura a 38°C donde inicia la etapa de inoculación de cuajo para el procesamiento de queso tipo paria, se muestran también el tiempo total empleado en todo el proceso del tratamiento térmico.

Podemos discutir con lo que señala (López Martínez ,2012), donde indica que el tiempo calentado hasta que alcance a la temperatura de tratamiento en una tina enchaquetada principal inconveniente de estos métodos es el retraso que se produce en alcanzar la temperatura de tratamiento y el tiempo necesario para enfriar por debajo de temperaturas letales.

Los trabajos realizado por Kay & Graham (2012), donde se comparó la rapidez de desaparición de la fosfatasa alcalina y la destrucción microbiana en el curso de la pasteurización, se logró demostrar que la ausencia de la fosfatasa ocurría posterior a la desaparición del Bacilo de Koch (*Mycobacterium tuberculosis*).

4.2.1. RESULTADOS DE LAS CURVAS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Figura 14. Tratamiento 1 comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo de pasteurización a una temperatura de 66°C por 5 minutos a 90 RPM de agitación



Fuente: Elaboración propia.

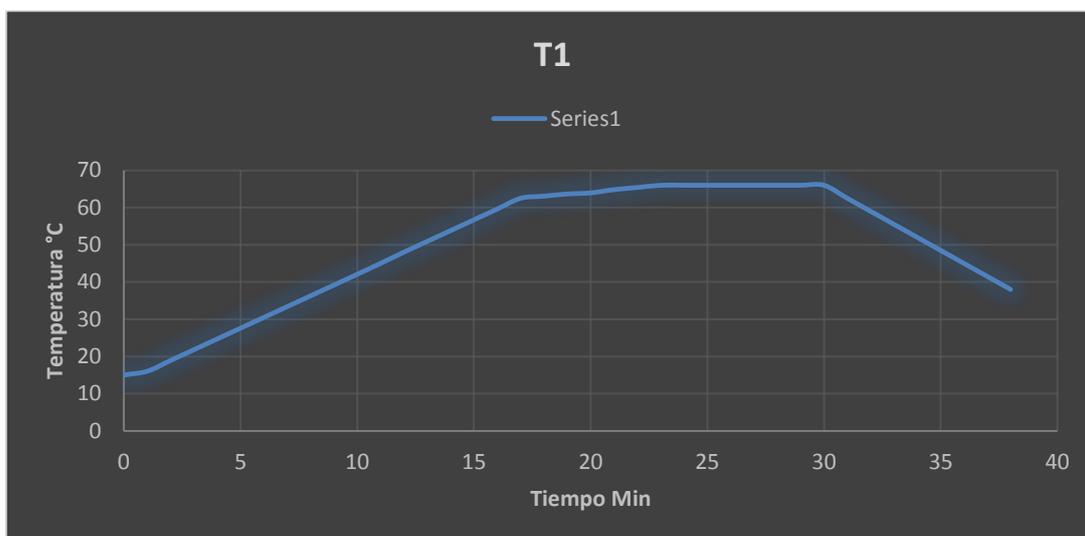
Figura 15. Comparación colorimétrica de la fosfatasa en leche entera y pasteurizada



En la Fig.15 se aprecia los resultados del comportamiento de la Temperatura con respecto al Tiempo y la coloración de las tiras reactivas. Donde se aprecia que a una temperatura empleada a 66°C por 5 min y a 90 RPM de agitación, se muestra que la tira reactiva presenta una coloración blanca respecto al patrón, lo que significa que la pasteurización fue eficiente.

(FAO, 2008; Raynal-Ljutovac *et al.*) Señala en leche de vaca fue inactivada a 64°C, mientras que leche de cabra a los 63 °C., cabe destacar que estas pruebas se realizan por el método colorimétrico y su valoración es cualitativa. La presencia de FA en la leche varía mucho según las diferentes especies, también dentro de cada especie y raza

Figura 16. Tratamiento 1 comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo de pasteurización a una temperatura de 66°C por 5 minutos a 45 RPM de agitación



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Comparación colorimétrica de la fosfatasa en leche entera y pasteurizada



En la Fig.17 se aprecia los resultados del comportamiento de la Temperatura con respecto al Tiempo y la coloración de las tiras reactivas. Donde se aprecia que a una temperatura empleada a 66°C por 5 min y a 45 RPM de agitación, se muestra que la tira reactiva presenta una coloración blanca respecto al patrón, lo que significa que la pasteurización fue eficiente.

La fosfatasa alcalina es una enzima presente en la leche cruda y progresivamente inactivada por calentamiento a temperaturas superiores a 60°C. Las temperaturas normales de pasterización baja y alta de la leche la inactivan. Por ello debe estar ausente en una leche correctamente pasterizada. La ausencia de esta enzima termolábil a la salida de la leche del pasteurizador permite asegurar que la pasterización ha sido efectuada a una temperatura suficientemente alta para asegurar la destrucción de los gérmenes patógenos, normalmente destruidos por la pasterización. Sin embargo, hay que tener en

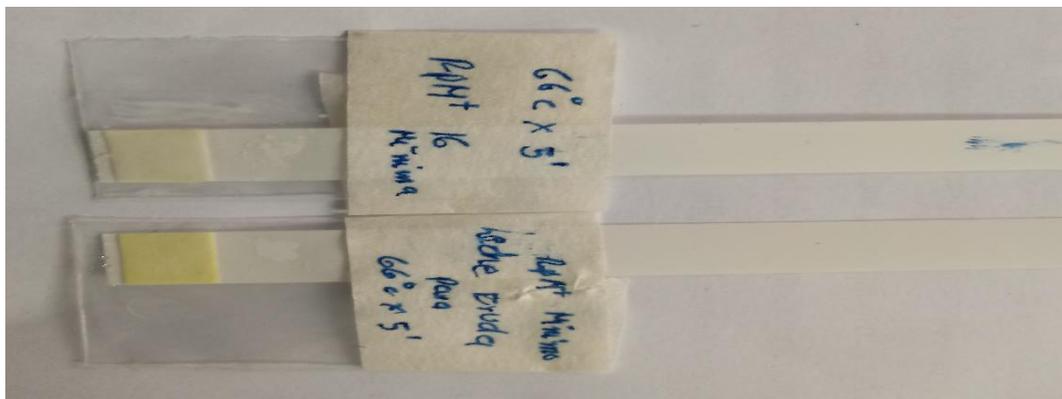
cuenta que esta enzima se inactiva con la pasterización baja (tratamiento LTLT, low temperatura long time) y no con el tratamiento de pasterización alta (HTST, high temperatura short time, min 71.7°C durante 15 seg) que se debe aplicar a la leche pasterizada destinada al consumo humano. (Lorenzen *et al.*2010).

Figura 18. Tratamiento 1 comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo de pasterización a una temperatura de 66°C por 5 minutos a 15 RPM de agitación



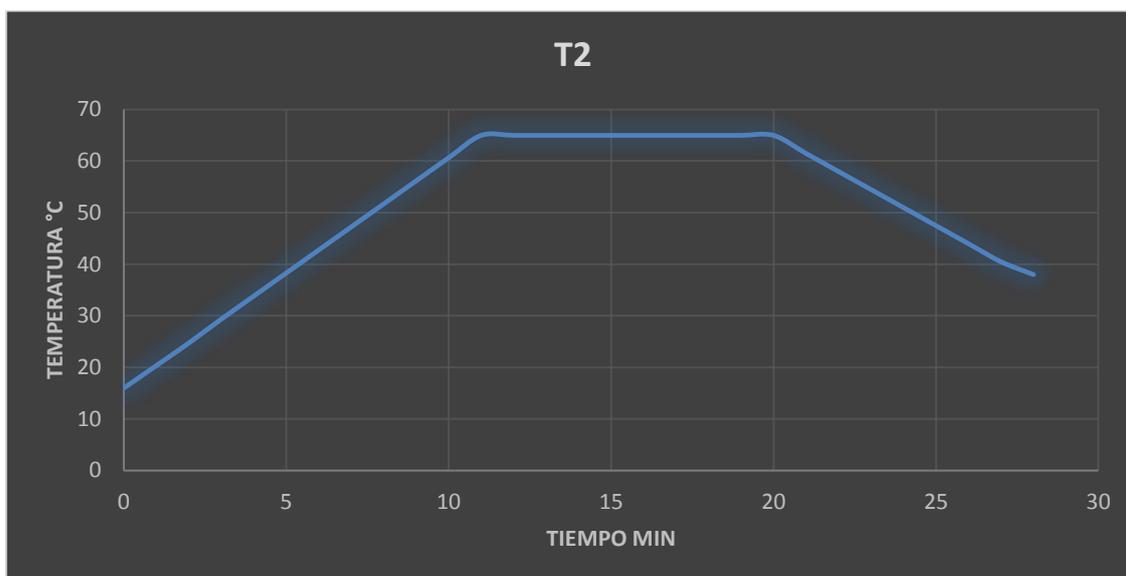
Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Coloración prueba de fosfatasa alcalina. (66°C por 5 min a 15 RPM)



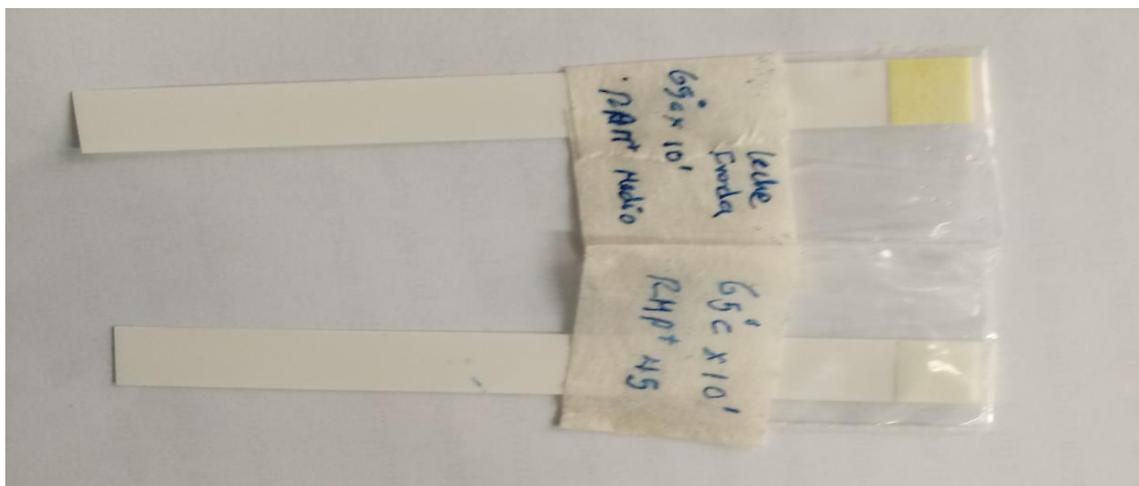
Se aprecia en la Fig.19 los resultados del comportamiento de la Temperatura con respecto al Tiempo y la coloración que muestra las tiras reactivas. Donde se observa que a una temperatura de 66°C por 5 min a 15 RPM de agitación se determina que a menor tiempo de pasterización y a mínima agitación. Presenta leche tratada la coloración blanca amarillenta significa que persiste la Fosfatasa Alcalina y que la pasterización no fue eficiente con los parámetros establecidos.

Figura 20. Tratamiento 2 comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo de pasteurización a una temperatura de 65°C por 10 minutos a 90 RPM de agitación



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Comparación calorimétrica de la prueba de fosfatasa alcalina de leche sin pasteurizar y pasteurizada (65°C por 10 min a 90 RPM)

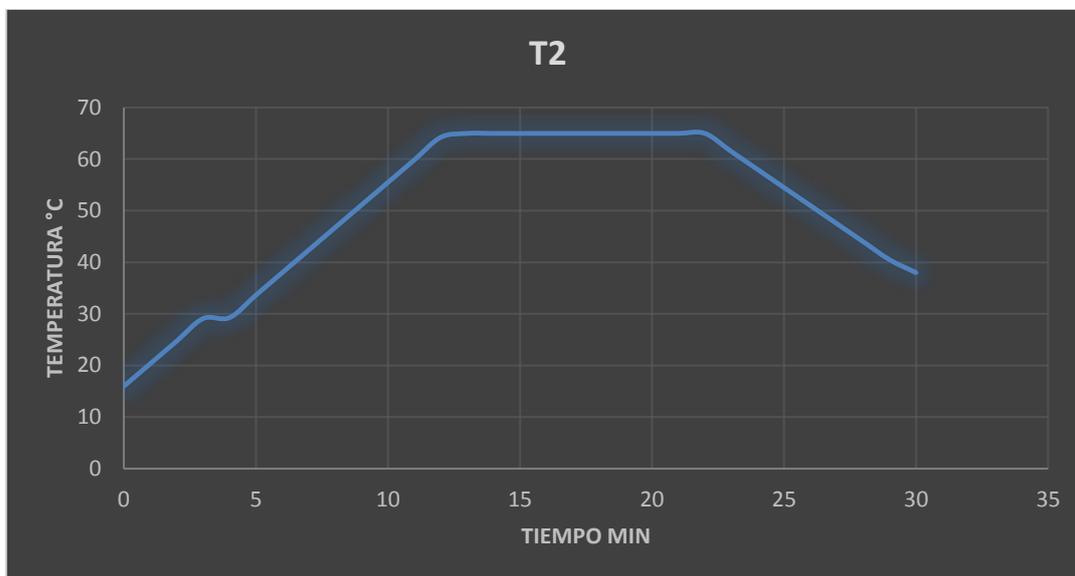


Se aprecia en la Fig.21 los resultados del comportamiento de la Temperatura con respecto al Tiempo, la coloración que muestra las tiras reactivas. Donde se observa que, a una temperatura de 65°C por 10 min a 90 RPM de agitación, se visualiza en la coloración de la tira reactiva es blanca intensa que significa que la pasteurización fue eficiente con los parámetros establecidos.

El resultado de este trabajo coincide con el de de Wit y Hooydonk, (1996) quienes encontraron que la inactivación completa de LPO requiere de 78°C por 15 s. Debido a la elevada estabilidad térmica de la LPO, su ausencia en una leche pasteurizada puede ser

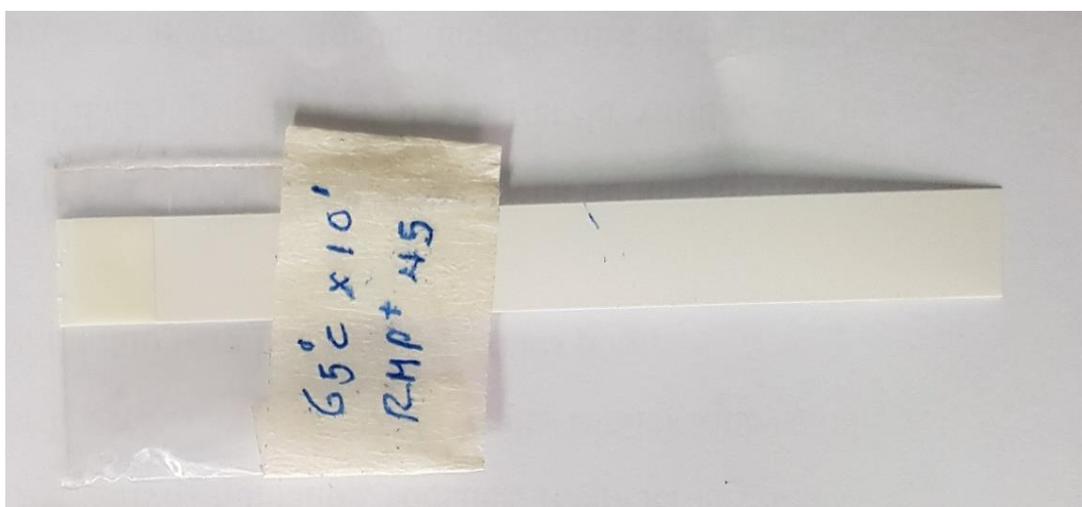
un indicador de un sobrecalentamiento o tratamiento más intenso del convencional, lo que podría ocasionar algún detrimento en la calidad del producto.

Figura 22. Tratamiento 2 comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo de pasteurización a una temperatura de 65°C por 5 minutos a 45 RPM de agitación



Fuente: Elaboración propia.

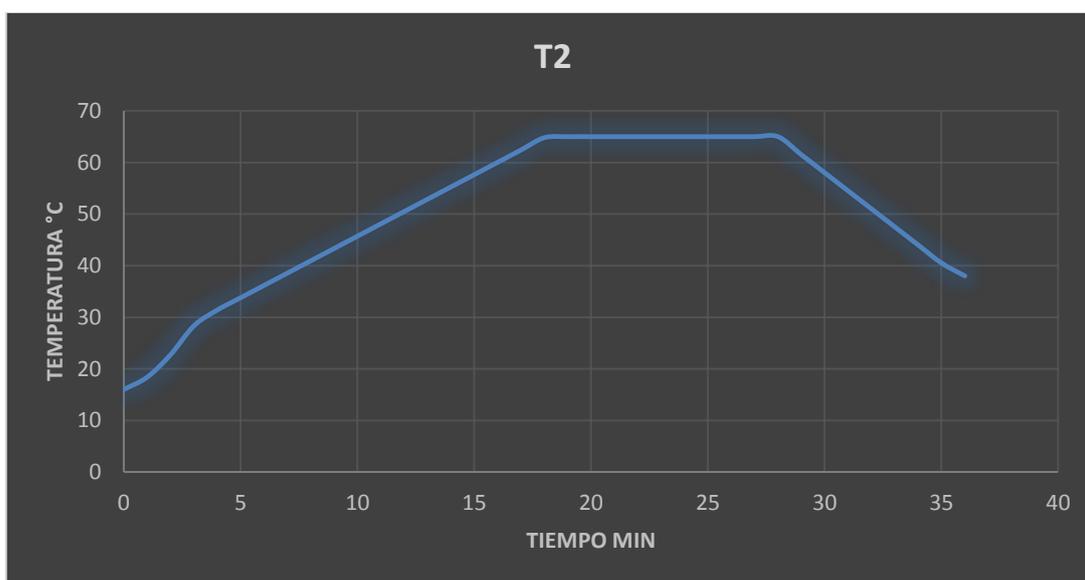
Figura 23. Prueba fosfatasa alcalina. (65°C por 10 min a 45 RPM)



Se aprecia en la Fig.23 los resultados del comportamiento de la Temperatura con respecto al Tiempo, y la coloración que muestra las tiras reactivas. Donde se observa que, a una temperatura de 65°C por 10 min a 45 RPM de agitación, se visualiza en la coloración de la tira reactiva es blanca intensa lo que significa que la pasteurización fue muy eficiente con los parámetros establecidos.

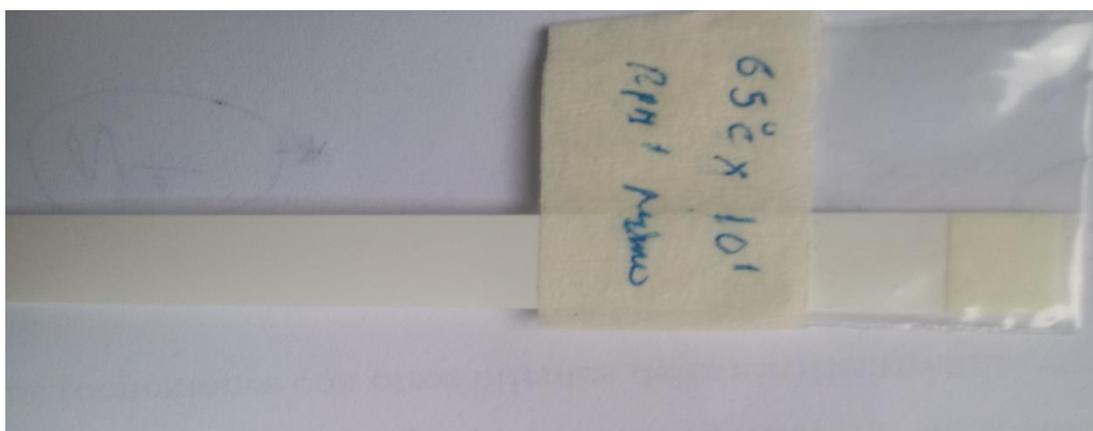
Quienes encontraron que las actividades de la FOSFATASA ALCALINA en leche cruda de vaca y de cabra fueron 774 ± 270 y 67 ± 29 U/L. Confirmando los resultados encontrados en este estudio, Vamvakaki *et al.* (2006) sometieron leche de vaca, cabra y de oveja a tratamientos térmicos a 59°C durante diferentes tiempos, donde se observó que la inactivación de FOSFATASA ALCALINA fue más lenta en la leche de vaca, comparada con la de las otras dos especies.

Figura 24. Tratamiento 2 comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo de pasteurización a una temperatura de 66°C por 5 minutos a 15 RPM de agitación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Prueba de fosfatasa alcalina de leche. (65°C por 10 min a 15 RPM)

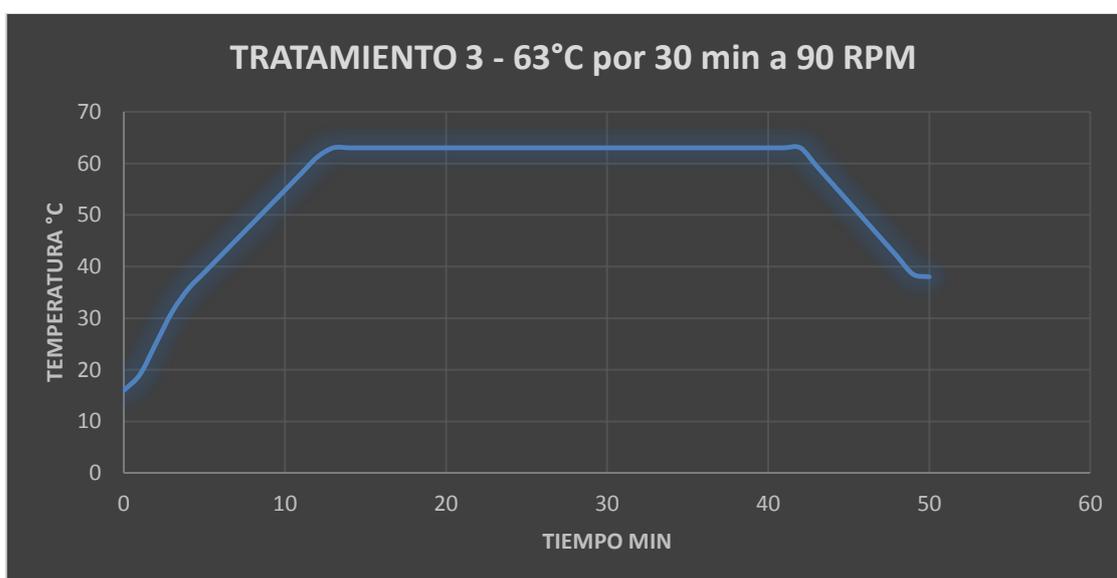


Se aprecia en la Fig.25 los resultados del comportamiento de la Temperatura con respecto al Tiempo, la coloración que muestra las tiras reactivas con la prueba de FOSFATASA ALCALINA. Donde se observa que, a una temperatura empleada de 65°C

por 10 min y a 15 RPM de agitación, se visualiza en la coloración de la tira reactiva es blanca amarillenta lo que significa que la pasteurización no fue bien empleada con los parámetros establecidos.

La validación de la pasteurización según los resultados obtenidos, la prueba de FOSFATASA ALCALINA puede ser usada como parámetro indicador de una correcta pasteurización de la leche ya que se inactiva a las condiciones normales de un tratamiento de pasteurización lenta (63°C, 30 min). (Rankin *et al.*, 2010).

Figura 26. Tratamiento 3 comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo de pasteurización a una temperatura de 63°C por 30 minutos a 90 RPM de agitación



Fuente: Elaboración propia

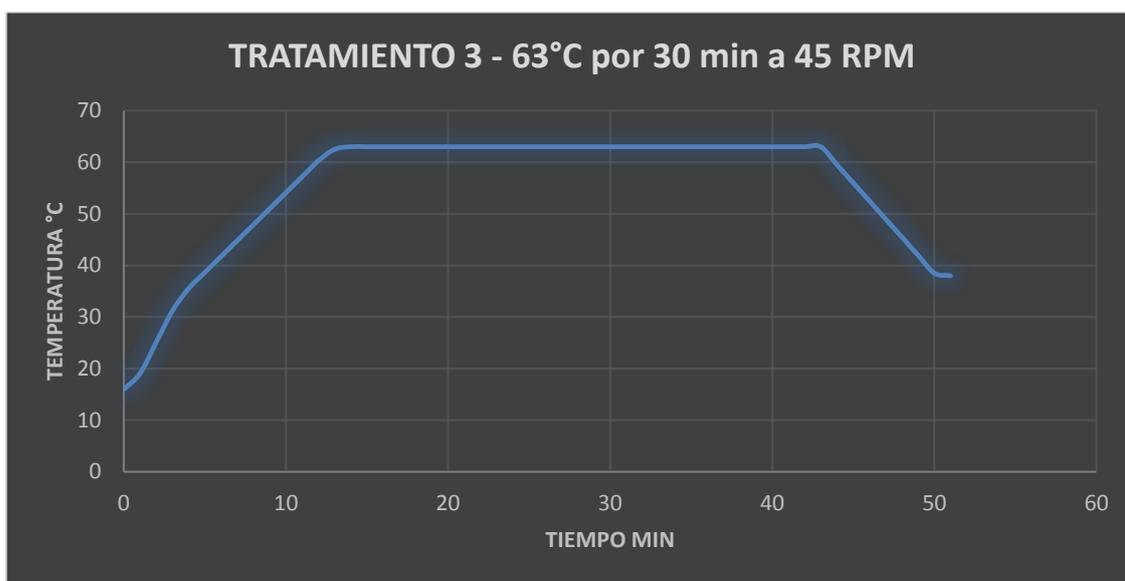
Figura 27. Comparación calorimétrica de la prueba de fosfatasa alcalina de leche sin pasteurizar y pasteurizada. (63°C por 30 min a 90 RPM).



Se aprecia en la Fig.27 los resultados de la combinación de la Temperatura con respecto al Tiempo, con las tiras reactivas colorimétricos. Donde se observa que, a una

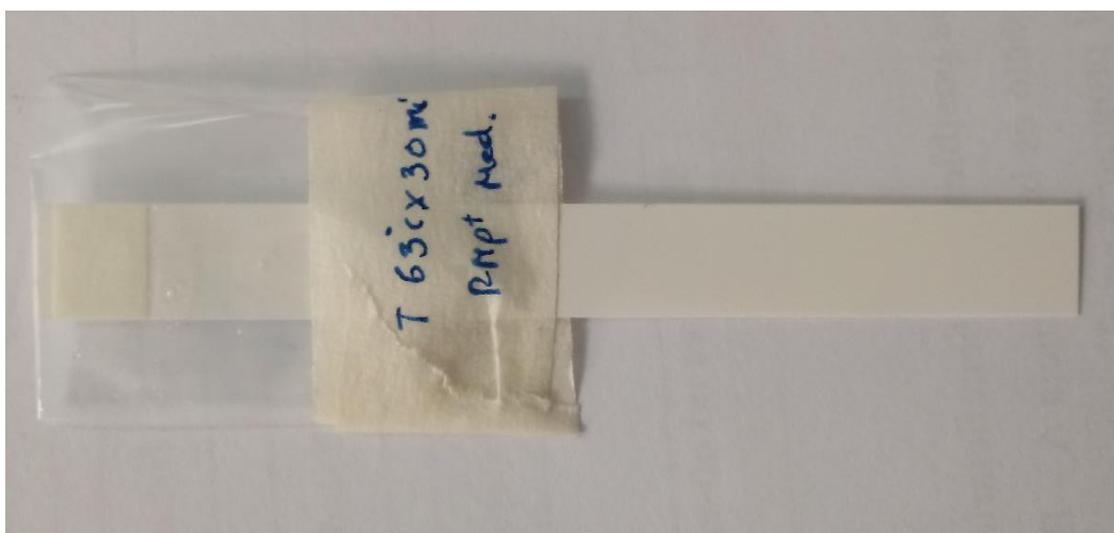
temperatura empleada de 63°C por 30 min y a 90 RPM de agitación, se visualiza en la tira reactiva el color de la prueba, presenta un color de blanco intenso, respecto a la de leche sin pasteurizar que es de color amarillento, lo que significa que la pasteurización fue muy eficiente con los parámetros empleados.

Figura 28. Tratamiento 3 comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo de pasteurización a una temperatura de 63°C por 30 minutos a 45 RPM de agitación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Prueba de fosfatasa alcalina de leche. (63°C por 30 min a 45 RPM).

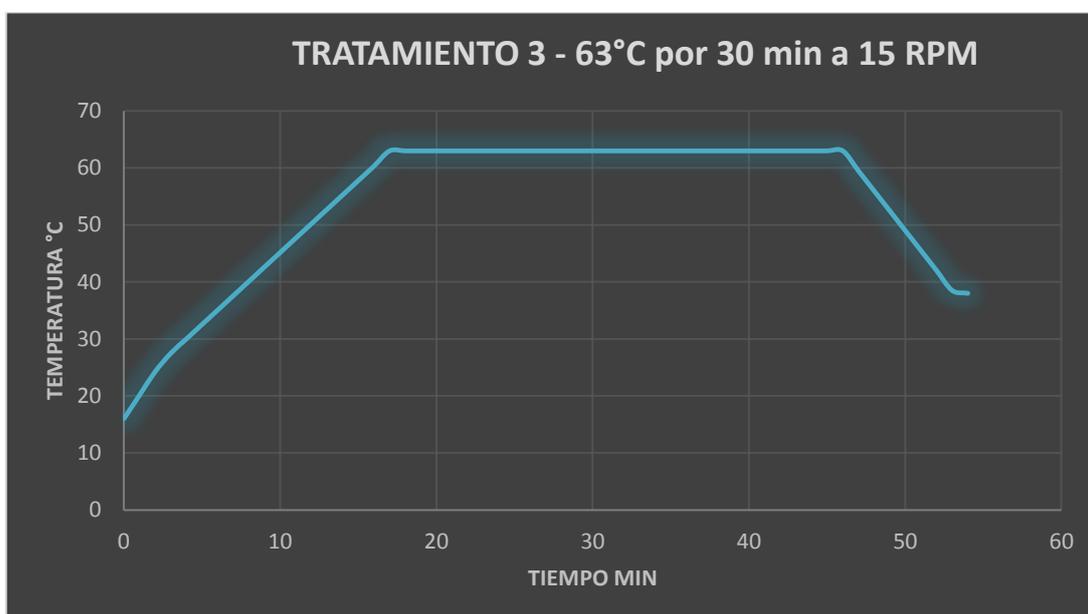


Se aprecia en la Fig.29 estos resultados de la combinación de la Temperatura-Tiempo, la prueba de FOSFATASA ALCALINA. Donde se observa que, a una temperatura de 63°C por 30 min a 45 RPM de agitación, se visualiza en la tira reactiva el

color de la prueba, es de color blanca intensa, lo que significa que la pasteurización fue realizada eficientemente con los parámetros empleados.

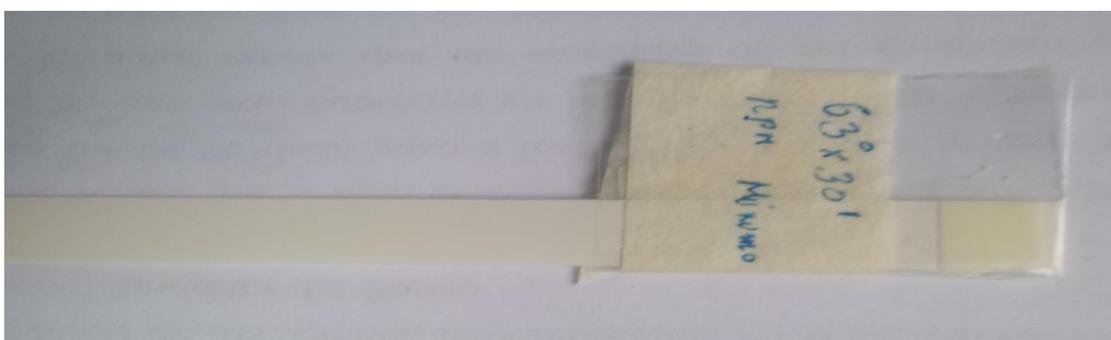
La prueba de la fosfatasa alcalina desarrollada por Kay y Graham está basada en el hecho de que la enzima natural fosfatasa está siempre presente en la leche cruda, pero es destruida a la temperatura necesaria para una pasteurización eficiente. La ausencia de la fosfatasa alcalina es un índice de que la leche ha sido pasteurizada en una forma adecuada, mientras que su presencia denota calentamiento insuficiente o contaminación con la leche cruda.

Figura 30. Tratamiento 3 comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo de pasteurización a una temperatura de 63°C por 30 minutos a 15 RPM de agitación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 31. Prueba de fosfatasa alcalina de leche. (65°C por 10 min a 15 RPM).



En la Fig.29 se aprecia los resultados de la combinación de la Temperatura con respecto al Tiempo, de la prueba de FOSFATASA ALCALINA. Donde se observa que,

a una temperatura de 63°C por 30 min y a 90 RPM de agitación, se visualiza en la tira reactiva la coloración de la prueba, es de color blanca amarillento, lo que significa que la pasteurización no fue eficiente con los parámetros empleados por lo tanto no se recomienda utilizar estos parámetros en la pasteurización de leche.

Tabla 17. ANOVA asociado a los resultados experimentales obtenidos en el proceso de tratamientos.

| <i>Fuente</i> | <i>Suma Cuadrados</i> | <i>de Gl</i> | <i>Cuadrado Medio</i> | <i>Razón-F</i> | <i>Valor-P</i> |
|----------------------|---------------------------|--------------|-----------------------|----------------|----------------|
| A:Temperatura_Tiempo | 0.0 | 1 | 0.0 | 0.00 | 1.0000 |
| B:Agitacion | 1.5 | 1 | 1.5 | 10.13 | 0.0500 |
| AA | 0.222222 | 1 | 0.222222 | 1.50 | 0.3081 |
| AB | 0.0 | 1 | 0.0 | 0.00 | 1.0000 |
| BB | 0.0555556 | 1 | 0.0555556 | 0.38 | 0.5836 |
| Error total | 0.444444 | 3 | 0.148148 | | |
| Total (corr.) | 2.22222 | 8 | | | |

Análisis de varianza de prueba de fosfatasa alcalina y la variación del costo del proceso del tratamiento térmico. En la evaluación del equipo con los resultados obtenidos de la pasteurización de la leche.

R-cuadrada = 80.0 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 46.6667 por ciento

Error estándar del est. = 0.3849

Error absoluto medio = 0.197531

Estadístico Durbin-Watson = 3.5 (P=0.9229)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.777778

En la Tabla 17 ANOVA se aprecia la variabilidad de la Fosfatasa Alcalina en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio, contra un estimado del error experimental. En este caso, 0 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 80.0% de la variabilidad en Fosfatasa Alcalina. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más

adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 46.6667%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 0.3849. El error medio absoluto (MAE) de 0.197531 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo, puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.

Tabla 18. Efectos estimados para Fosfatasa (eff)

| <i>Efecto</i> | <i>Estimado</i> | <i>Error Estd.</i> | <i>V.I.F.</i> |
|----------------------|-----------------|--------------------|---------------|
| Promedio | 2.55556 | 0.286888 | |
| A:Temperatura_Tiempo | 0.0 | 0.31427 | 1.0 |
| B:Agitacion | 1.0 | 0.31427 | 1.0 |
| AA | -0.666667 | 0.544331 | 1.0 |
| AB | 0.0 | 0.3849 | 1.0 |
| BB | 0.333333 | 0.544331 | 1.0 |

Errores estándar basados en el error total con 3 g.l.

La Tabla 18 muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo, se aprecia también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.0 Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más, normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos.

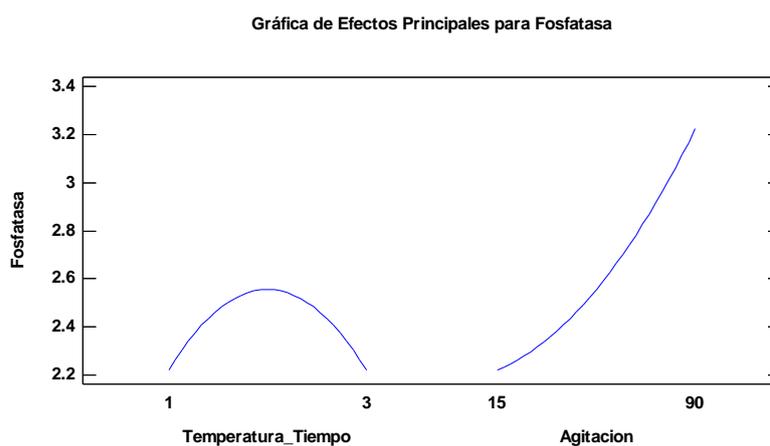
Para graficar los estimados en orden decreciente de importancia, seleccione diagrama de Pareto de la lista de opciones gráficas. Para probar la significancia estadística de los efectos, seleccione Tabla ANOVA de la lista de opciones tabulares. Se puede retirar efectos significativos pulsando el botón secundario del ratón, seleccionando Opciones de Análisis, y pulsando el botón de Excluir.

Tabla 19. Optimizar Respuesta Meta: maximizar Fosfatasa

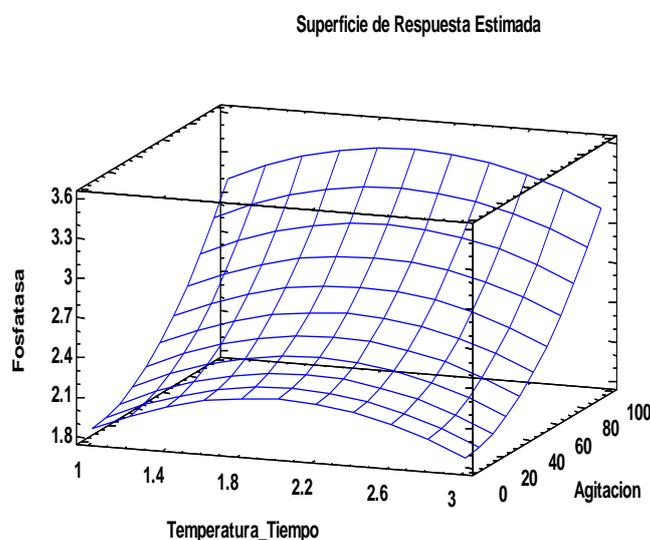
| <i>Factor</i> | <i>Bajo</i> | <i>Alto</i> | <i>Óptimo</i> |
|--------------------|-------------|-------------|---------------|
| Temperatura_Tiempo | 1.0 | 3.0 | 2.0 |
| Agitacion | 15.0 | 90.0 | 90.0 |

Valor óptimo = 3.22222

La Tabla 19 muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Fosfatasa Alcalina sobre la región indicada. Use el cuadro de diálogo de opciones de ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Se puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo del valor.

Figura 32. Efectos principales de la fosfatasa alcalina en l leche pasteurizada

En la Figura 32 se muestran las curvas de los efectos de combinación Tiempo – Temperatura respecto a la velocidad de agitación RPM, donde 1 significa temperatura mínima empleada y 3 temperatura máxima empleada en el tratamiento con respecto a la velocidad de agitación que oscila entre 15 hasta 90 RPM.

Figura 33. Superficie de respuesta.

En la Figura 33 se aprecia los parámetros más óptimos de tratamientos térmicos de la leche, la temperatura empleada en el estudio con respecto al tiempo es significativa con respecto a la velocidad de la agitación se interpreta que para los efectos principales de los factores en estudio: Tiempo (t); y, temperatura (T), agitación (RPM) (resultaron ser altamente significativos ($\alpha=0.01$)). Lo que indica que los factores involucrados influyen de manera directa en la obtención de los resultados más óptimos para la pasteurización de la leche.

CONCLUSIONES

De los resultados del estudio se concluye lo siguiente:

1. Se construyó y automatizó el equipo prototipo optimizador de tratamientos térmicos con sistemas de control automatizado de la velocidad de agitación y temperatura, con las siguientes características: El tanque con chaqueta tiene una capacidad total de 36 litros, para un volumen de operación (leche) de 20 lt; el diámetro interior del tanque es de 0.45 m, el diámetro de la chaqueta es de 3 cm, la altura total del tanque es de 0.30 m, el agitador consta de tres paletas con un diámetro de 0.08m, la velocidad del agitador varía de 15 a 90 RPM y la potencia del motor de agitación es de 3/8 de Hp y el bomba de impulsión es de 1 Hp.
2. Se concluye que la inactivación de la enzima Fosfatasa Alcalina puede usarse como indicador de una correcta pasteurización de la leche de vaca.
3. Los mejores parámetros de tratamientos térmicos mediante la prueba de Fosfatasa Alcalina fueron: 65 °C por 10 *min* y a una velocidad de agitación de 45 RPM siendo valores altamente significativos.

RECOMENDACIONES

1. Realizar pruebas de tratamiento térmicos en otros productos como zumo de fruta, jugos, néctares, etc.
2. Considerar otras variables de estudio para el proceso de tratamientos térmicos, como la presión, caudal y Cp.
3. Realizar estudios pertinentes para la utilización de energías limpias como biogás que remplace a la utilización de GLP.
4. Se recomienda darle mantenimiento continuo al prototipo, como lo es limpieza de la superficie, para que esta siga teniendo la efectividad deseada, también se debe de tener limpieza continua, para evitar que esta sea contaminada por algún residuo que pueda contener las partes que están en contacto con la leche.

BIBLIOGRAFÍA

- A., C. D. (2009). *Termodinamica*. Mexico D.F.: Interamericana Editores S.A.
- Alcazar, J. (2003). *Diccionario tecnico de Industrias Alimentarias*. Peru: 2da Edicion.
- Alfa Laval. (2006). *Manual de Industrias Lacteas*. Madrid - España: Editorial Iragra S.A.
- Aqua. (2018). *Tiras Reactivas Phosphatesmo MI*. . <http://linealab.net/agroindustria-y-alimentos/72tirasreactivas-phosphatesmo-mi.html>).
- Armijos, C. N. (2012). *Diseño y construccion de un Sistema de Calentamiento de Agua Para Curtiduria* Tesis Para Optar el Titulo de Ingeniero Electronico. Ecuador: Escuela Politecnica de Chimborazo del Ecuador, Facultad de Ingenieria Mecanica.
- Artica Malliqui, L. (2014). *Productos Lacteos 1° Edicion*. Huancayo - Peru: www.luisartica.wordpress.com.
- Barcena, J., Garcia, C., Padilla, C., Martinez, E., & Diez, J. (2014). *Caracterizacion cinetica de la Fosfatasa Alcalina* Revista UCO Bioquimica y Biologia Molecular. <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-368-1983.PD> .
- Begazo Chara, D. A. (2014). *Tratamiento para la Conservacion de la Leche Cloruro de Sodio y estandarizacion de Sales - separacion por Sedimentacion*. Arequipa - Peru: Tesis en Industrias Alimentarias UNSA - Arequipa.
- Borda , S. w., & Gamarra, C. W. (2002). *Diseño y Construccion de un Equipo Mejorado para el Desaponificado de Quinua*. Puno: Tesis.
- Buffa, M. B., G., S. Y., & J., T. A. (2004). *Changes in Organic Acid Durin Ripening off Cheeses Made From Raw, Pasteurized or High Pressure- Treated Goats Milk*. Lebensm-wiss.
- Buffa, M. N. (1999). *Aplicacion de las Altas Presiones Hidrostaticas en la Elaboracion de Queso de Cabra*. Bellatera: Universidad Autonoma de Barcelona Unidad de Tecnologia de Alimentos.
- C., C. E. (2015). *Construccion de una Olla Enchaquetada con Sistema de Agitacion*. Pichincha - Quito: Autoria Propia.

- Carranza , R. (2005). *Topicos de Instrumentacion y Control*. Lima: Pontificia Universidad Catolica del Peru, Ciencias e Ingenieria.
- Cary, H. B., & Scott, C. H. (2005). *Modem Welding Technology*. Upper Saddle River. Nueva Jersey: Pearson Education.
- Casp, & Abril, J. (2003). *Procesos de Conservacion de Alimentos*. Madrid - España: Editorial multiprensa.
- Castañeda, R. B., S., I. A., Ipar, J. L., Vasquez, A. M., Contreras, C. B., & Alfonso, R. (2010). *Quesos de America del Sur*. Buenos Aires-Argentina: Albatros Saci.
- Cengel. (2007). *Termodinamica 5ta Edicion*. Mexico: Graw Hill.
- Chacaguasay, E., & Picho, C. (2015). *Direccion Nacional de Mejora Continua y Normativa, Resolucion N° 011-2015 del Pleno del Comex*. Quito: Resolucion N° 011-2015 Comité del Comercio Exterior.
- De Wit, J. N., & Van Hoovdonk. (1996). *Structure, Functions and Applications of lactoperoxidase in natural antimicrobial systems*. Neth Milk Dairy.
- Donald Q., K. (1999). *Procesos de Transferencia de Calor vigesima sexta edicion en español*. Mexico: Editorial McGraw-Hill.
- Dubach, J. (1998). *El abc de la Queseria Rural de los Andes*. Colombia: Mac Cotesu 2da Edicion.
- Eck, A., & Gilis, J. C. (2000). *Wath is a Cheese, Chessemaking: From Science to Qualiti Assurance*. Lvoisier Publising.
- Erazo , S. P., & Vizquete , B. R. (2011). *Diseño y contruccion de una mezcladora industrial para ela elaboracion de vino de frutas con capacidad de 2000 litros*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Erazo, S. (2012). *Diseño y Construccion de una Marmita*. Quito.
- Euromix. (2015). *Conceptos Basicos de Agitacion* .
http://euromix.com.mx/pdf/files/conceptos_basicos.pdf.
- FAO. (2009). *Informe Sobre la Conferencia Electronica de FAO "Acopio y Procesamiento de Leche en Pequeña Escala en Paisés en Desarrollo"*.

- FAO. (2013). *Situacion de la Lecheria en America Latina y el Caribe*. Caribe: Agricultura FAO.
- FAO. (2016). *Poduccion de Alimentos de origen Animal 2da Ed*. Roma: ftp://ftp.fao.org/codex/publications/Booklets/Animal/Animal_Food_Prod_ES.pdf;consulta.
- FAO, & OMS. (2008). *Leche y Productos Lacteos, 2da Edicion Norma General del CODEX para el Queso*. Codex Stand Revision 1999, enmienda 2006.
- Gonzales, M. (2013). *Elaboracion de leches para el consumo*. España: Innovacion y cualificacion S.L.
- Guerra Martinez, C. E., Lopez Llanos, A. F., & Pinedo Carrion, R. (2006). *Diseño y construccion de un reactor continuo tanque agitado (CSTR), a escala experimental controlado por PLC*. Puno: Tesis de Ingenieria Quimica UNA-Puno.
- Guerra, M. C., Lopez, L. A., & Pineda, C. R. (2006). *Diseño y Construccion de un reactor continuo tanque agitado (CSTR), a escala experimental controlado por PLC*. Puno: Tesis.
- Hernandez, R. G. (2006). *Manual del Soldador*. Madrid: ISBN.
- Howard B., C. (2005). *Modern Welding Technology*. Nueva Jersey: Pearson Education.
- I., O. A. (2007). *Soldabilidad en Aceros inoxidable y aceros disimiles, Scientia Technica*. Colombia: Universidad Pereira.
- Ibars, A., & Barbosa, C. G. (2005). *Operaciones Unitarias en la Ingenieria de Alimentos*. España: Mundi-Prensa.
- Inda Cunningham, A. (2000). *Optimizacion del Rendimiento y Aseguramiento de Inocuidad en la Industria de Queseria*.
- ITESCAM. (2006). *Operaciones Unitarias en Ingenieria Quimica*. Mexico: Instituto Tecnologico Superior M.X.
- Jeantet, R. R., & Brule, G. (2005). *Ingenieria de los Procesos Aplicada a la Industria Lactea*. España: Acribia, S.A.
- Jutglar, L., & Galan, M. (2014). *Termotecnica 1ra Edicion*. Mexico D.F.: Alfaomega.

- Kalpakjian, S. S. (2002). *Manufactura Ingenieria y Tecnologia 4ta Edicion*. Mexico: Pearson Educacion.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2002). *Manufactura, Ingenieria y Tecnologia 4ta Edicion*. Mexico: Pearson Educacion.
- L., J. E. (2011). *Diseño y calculo de Recipiente a Presion*. Ecuador.
- Legrand, M. V., & Rodriguez, P. A. (2014). *Ingenieria Termica*. Madrid: Garceta.
- Linkindustrial. (2011). *Linkindustrial Mixing Technology*.
https://www.interempresas.net/FerialVirtual/Catalogos_y_documentos/7932/agitadores_2.pdf.
- Lopez Orozco, M. (2004). *Mejoramiento de vida de Anaquel en queso tradicional ranchero y queso de pasta hilada*. Mexico D.F.: Tesis de Mestria Ciencia y Tecnologia de los Alimentos.
- Lorensen, P., D., M., I. Clawin, R., & K. Knapstein. (2010). *Activities of Alkaline Phosphatase y-glutamyltransferase and lactoperoxidase in cow, sheep and goats milk in relationto heat treatmen*. Small Ruminant.
- M. del Rosario, P. A., & Calderon, V. (2000). *Microbiologia Alimentaria*. Madrid - España: Diaz y Santos S.A.
- Madrid, A. (2004). *Nuevo Manual de Industrias Alimentarias*. Madrid - España: AMV.
- Madrid, A. (2010). *Nuevo Manual de Tecnologia Quesera* . Madrid-España: Editorial Iraga S.A.
- Marin, J. (2008). *Apuntes de Diseño de Maquinas*. Barcelona - España: Gamma.
- Martinez Nelis, F. M. (2010). *Estudio Numerico de la Fluido Dinamica de un Estanque de Agitacion Utilizando el Metodo de las Mallas Deslizantes*. Santiago - Chile: Memoria para optar el Titulo de Ingeniero Civil Mecanico Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Fisicas y Matematicas.
- Mott, R. L. (2009). *Diseño de Elementos de Maquinas 4ta Edicion*. Mexico: Hispanoamerica S.A.
- Norton, R. L. (2009). *Diseño de Maquinaria 4ta Edicion*. Mexico, D.F.: McCraw-Hill: Interameriacana Editores S.A.

- NTP 202 195. (2016). *Leche, Productos Lacteos y sus Caracteristicas*. Norma Tecnica Peruana.
- Oria, R. (1991). *Ciencia y Tecnologia de la Leche*. Zaragoza-España: Editorial Acribia S.A.
- Ospina Lopez, R. (2007). *Soldabilidad en Aceros Inoxidables y Aceros Dimisibles*. Colombia: Universidad Tecnologica de Pereira.
- Parra Coronado, A., & Hernandez Hernandez, J. E. (2011). *COncceptos Basicos de Tranferencia de Calor y Masa Ira Edicion*. Bogota - Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Perez Polo, M. F. (2006). *Procesos Unitarios, Departamento de Fisica Ingenieria de Sistemas y Teoria de la Señal*. España: Escuela Politecnica Superior E.
- Piña, & Sanchez. (2004). *Pefil Competitivo del circuito Horticola en la Parroquia de Independencia del Municipio Federacion del Estado de Falcon*. Venezuela: Agroalimentaria.
- Poggio Ruiz, T. (2018). *Utilizacion de Equipos y Utillaje en la Elaboracion y Tratamiento de Productos Alimentarios*. Malaga - España: ICB, S.L. (Interconsulting Bureau S.L.
- Rankin, S., A. Christiansen, W. L., D. , B., & A. Lopez. (s.f.). *The Application of Alkaline Phosphatase Assays for the Validation of Milk Product Pasteurization*.
- Rebasa, J. A. (2011). *Diseño de un Recipiente a Presion con un Sistema de Agitacion para el procesamiento de Biodisel*. Lima: Universidad de Ingenieria.
- Revilla, A. (1982). *Tecnologia de Leches 2da Edicion* . San Jose-Costa Rica.
- Revilla, A. (1996). *Tecnologia de la Leche*. Costa Rica: 2da Edicion Lica.
- Robert, L. N. (2009). *Diseño de Maquinaria 4ta Edicion*. McCraw-Hill: Interamericana Editores S.A.
- Roberts, D. H., & Greenwood, M. (2000). *Microbiologia Practica de los Alimentos*. España: Acribia S.A.
- Romero del Castillo, S., & Mestres Lagarriga, J. (2004). *Productos Lacteos Tecnologia*. Catalonia - España: Universidad Politecnica de Catalonia.

- Romero Urrutia, S. (2011). *Informe de Experiencia Profesional en la Empresa CONCELAC S.R.L.* Huancayo-Peru.
- Rosado Hoyo, P. (2013). *Tratamientos previos de la leche.* Malaga: IC. Editorial.
- Salan Ballesteros, N. M. (2005). *Tecnología de Procesos y Transformación de Materiales.* Barcelona: UPC.
- Saldo, J., Fernandez, A., Sendra, E., Ruiz, P., Tauscher, B., & Guamis, B. (2003). *High Pressure Treatment Decelerates The Lipolysis in a Caprine Cheese.* : Food Research International.
- Santos, M. A. (2007). *Leche y sus Derivados 2da Edición.* Mexico D.F.: Trillas.
- Sarh. (2003). *Fosfatasa residual, método de prueba.* Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Mexico:
<https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-368-1983.PDF> .
- Schlimme, E., & Buchheim, W. (2002). *Leche y sus Componentes.* Zaragoza - España: Acibia.
- Scott, R., Robinson, R. K., & Wilbey, R. A. (1998). *Cheese Varieties Cheesemaking practice tercer edición.* Nueva York EE.UU.: Kluwer academic/Plenum publisher.
- Singh, P., & Heldman, D. (2009). *Introducción a la Ingeniería de los Alimentos.* Zaragoza, ES.: Editorial Acibia S.A.
- Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2014). *Introduction to food Engineering 5ta Edición.* USA: Elsevier.
- TETRAPACK. (2015). *EUROMIX.* Obtenido de TETRAPACK: [http://euromix.com mx/pdf/files/conceptos_basicos.pdf](http://euromix.com.mx/pdf/files/conceptos_basicos.pdf).
- Valdivia, J. (1992). *Industrias Lacteas.* Lima: Universidad Nacional la Molina FIAL-DTAPA.
- Varnam, A., & Sutherland, J. (1994). *Leche y Productos Lacteos, Tecnología Química y Microbiana.* Zaragoza-España: Editorial Acibia S.A.

- Velez Ruiz, J. F., & Sosa Morales, M. E. (2009). *Rheology and Texture of Cheese; Food Processing and Engineering Topics*. Nueva York - EE.UU.: Nova Science Publishers.
- Verdini, R. (2018). *Bioquímica de los Alimentos Lácteos*.
- Wilinska, A., J., B., V. , I., & M., P. (2007). *Kinetics of Ternal Inactivation of Alkaline phosphatase in bovine and Caprine Milk and Buffer*.
- Yunus, A. C. (2011). *Transferencia de Calor y Masa*. Mexico: Editorial S.A.
- Zambrano Davalos, M. (2010). *Elaboracion de un Queso con la Utilizacion de un Fermento Probiotico*. Quito - Ecuador: Tesis de Pre Grado Escuela Politecnica.

ANEXOS

ANEXO1. Montaje del equipo optimizador de tratamientos térmicos.

Una vez realizado el diseño de la Marmita automatizada y de haber procedido a la construcción de cada uno de sus elementos,

El primer paso para el montaje del equipo, es: Colocar las camisas en la parte exterior de la marmita o recipiente, además incorporar el medidor de presión llamado manómetro, a la pared del equipo.

· **En segundo paso**, se procede a incorporar en la marmita los brazos de soporte, a los costados y en la parte de atrás.

· **El tercer paso**, es adherir un tubo en la parte superior, pero al costado derecho de la marmita como pilote para sostener el regulador de velocidad del agitador.

· **El cuarto paso**, es acoplar el sistema de agitación, es decir el puente del motor, el motor, el eje rotacional, el agitador tipo rejilla de pala plana inclinada y la lira. El agitador tipo rejilla consta de 4 brazos horizontales, montadas sobre un eje vertical, denominadas palas la misma que están inclinadas con un ángulo de 45° , el cual produce corriente radial y axial.

· El siguiente paso es el ajuste de la instalación eléctrica para el arranque del motor.

· Después de haber acoplado los elementos, se procede al ajuste de la tubería, en donde entran a su vez los acoples de válvulas de desfogue o trampa de vapor.

· Por último se conecta la manguera de agua a una tubería de procedente de un termo mediante una unión universal, en la que el equipo está ya listo para ser utilizada y realizar las practicas respectivas.

ANEXO 2. Manejo y Operación de la marmita automatizada.

· Encender el sistema 10 min antes de encender la marmita automatizada para disponer al termotanque de agua caliente hasta 60°C al interior de la chaqueta.

· Colocar el equipo al sistema de energía.

· Abrir y encender la válvula de termotanque. Comprobar que a la entrada de agua estén disponibles correctamente las llaves de paso a la línea principal.

- Cuando se ha cumplido esto, se procede a receptor la leche entera previamente analizada, y que cumple con los principales requisitos de control de calidad que contiene un porcentaje mayor de grasa 38%, lo cual es bueno para la producción del queso. Antes de ser introducida en la marmita la leche (30 L), esta se pasa por un tamiz que a su vez está colocada por encima con un paño de tocuyo limpio y desinfectado, con el fin de retener partículas extrañas.
- Luego se procede a encender el sistema de agitación el cual requiere un servicio eléctrico de 220 V, y regular el aparato de velocidad de la misma. Se debe tener en cuenta, que el regulador de velocidad del agitador, debe ser el adecuado, para la agitación de la leche entre 55-60 Hz.
- Cuando la leche ha alcanzado la temperatura de 66 °C, y la temperatura dentro de la camisa de la marmita es 75°C, se apaga automáticamente todo el sistema detiene en la recirculación de agua caliente en la chaqueta y las tuberías.
- Después se hace pasar agua fría por dentro de la camisa de la marmita, hasta que la leche alcance la temperatura de 38 °C donde se añade el cloruro de calcio 1,3 g, se homogeniza, hasta que alcance la T de 39 °C, donde se añade la sal 113,75g, y se continua homogenizando, una vez alcanzada la temperatura de 39 °C se adiciona el cuajo que es óptimo para el crecimiento de las enzimas y se activa nuevamente el agitador de rejilla para homogenizar la mezcla por unos 3 segundos, después se apaga y retira el agitador, y se deja reposar durante 4 minutos.
- Cerrar la válvula de entrada y salida de agua fría.
- Apagar el equipo.
- Una vez que el cuajo esté listo para cortar, se procede a acoplar la lira en el equipo para ejecutar el corte a la cuajada, que se realizara de forma automática a velocidades de 4-5 Hertz durante 1 min, terminado de cortar el cuajo se procede a apagar el equipo y retirar la lira.
- Realizado el corte se deja reposar durante 5 minutos en donde empieza a salir el suero a la superficie, este se retira con la ayuda de un recipiente.
- Los trozos de cuajada se colocan en moldes de acero inoxidable con drenes dejando escurrir durante 3 min y se realiza el primer volteo al queso.
- Luego envolver los quesos con mallas y colocar en el molde nuevamente y encima un tablón pequeño de madera.
- Llevar a la prensa se tiene máximo de 15 – 20 min.

- Finalizado el prensado se procede a quitar las mallas del queso y colocarlos en una funda.
- Guardarlo en frío.
- Otro aspecto fundamental es estar pendiente de los valores que registra el manómetro ya que, si comienza a elevarse rápidamente, pueden ser modificadas manipulando la llave de tubería de vapor y cerrándola gradualmente.
- El agitador tipo rejilla y la lira son desmontables, ya que cada uno posee su respectivo uso, es decir el agitador tipo rejilla es colocada para agitar la leche, para que se caliente de forma homogénea tanto en la parte superior como en el fondo del recipiente hasta alcanzar la temperatura para pasteurizarse, en tanto que la lira es colocada al momento de que el cuajo ya esté listo para ser cortada con la misma, esta debe realizarse muy despacio a fin de no cortar mal el cuajo.

ANEXOS 3. Mantenimiento

- Una vez realizado las operaciones de trabajo en el equipo, es importante recalcar, que debe realizarse su respectiva limpieza y acondicionamiento, para una nueva operación, por esta razón es necesario lavar el equipo con agua a vapor a presión, ya que esta es una forma más factible en la que pueda ser removida cualquier residuo grasoso y viscoso, y matar cualquier agente microbiano, ya que se trabaja con alimento.
- Se debe considerar en el mantenimiento, es el uso mismo del equipo, debido a que si no se procede a utilizarlo con regularidad algunos elementos pueden resultar susceptibles al daño.
- Es importante siempre chequear la tubería y los acoples, así como la trampa de vapor, verificar su perfecto funcionamiento.

ANEXOS 4. Manejo y Operación del Equipo

- ✓ Se hace el purgamiento del equipo con agua toda la circulación de la chaqueta y los tubos de tubos para su respectivo encendido del quemador automáticamente.
- ✓ Colocar el equipo al sistema de energía.
- ✓ Cuando se ha cumplido esto, se procede a receptor la leche, procedente del distrito de Ayaviri Melgar, previamente analizada, óptimo para el procesamiento del queso y que cumple con los principales requisitos de control de calidad que contiene un porcentaje.

- ✓ Antes de ser introducida en el recipiente la leche (35 L), esta se cuele y pasa por un tamiz que a su vez está colocada por encima con un paño de tocuyo limpio y desinfectado, con el fin de retener partículas extrañas.
- ✓ Luego se procede a encender el sistema de agitación el cual requiere un servicio eléctrico de 220 V, y regular el aparato de velocidad de la misma. Se debe tener en cuenta, que el variador de velocidad del agitador, debe ser el adecuado, para la agitación de la leche entre 55-60 Hz.
- ✓ Cuando la leche ha alcanzado la temperatura de 70 °C, y la presión del agua dentro de la camisa y y las tuberías de circulación es 10,5 PSI, se procede a apagar el quemador en forma automática y por ende se detiene la bomba de agua que da la circulación del agua.
- ✓ Después se hace pasar agua fría por el sistema de chaqueta del recipiente , hasta que la leche alcance la temperatura de 38° °C donde se añade el cloruro de calcio 1,3 g, se homogeniza, hasta que alcance la T° de 39 °C, donde se añade la sal 113,75g, y se continua homogenizando, una vez alcanzada la temperatura de 39°C se adiciona el cuajo que es óptimo para el crecimiento de las enzimas y se activa nuevamente el agitador de rejilla para homogenizar la mezcla por unos 3 segundos, después se apaga y retira el agitador, y se deja reposar durante 4 minutos. Cerrar la válvula de entrada y salida de agua fría. Apagar el equipo.
- ✓ Una vez que el cuajo esté listo para cortar, se procede a acoplar la lira en el equipo para ejecutar el corte a la cuajada, que se realizara de forma automática a velocidades de 4-5 Hertz durante 1 min, terminado de cortar el cuajo se procede a apagar el equipo y retirar la lira.
- ✓ Realizado el corte se deja reposar durante 5 minutos en donde empieza a salir e suero a la superficie, este se retira con la ayuda de un recipiente.
- ✓ Los trozos de cuajada se colocan en moldes de acero inoxidable con drenes dejando escurrir durante 3 min y se realiza el primer volteo al queso.
- ✓ Luego envolver los quesos con mallas y colocar en el molde nuevamente y encima un tablón pequeño de madera.
- ✓ Llevar a la prensa se tiene máximo de 15 – 20 min.
- ✓ Finalizado el prensado se procede a quitar las mallas del queso y colocarlos en una funda.
- ✓ Guardarlo en frio.

- ✓ Otro aspecto fundamental es estar pendiente de los valores que registra el manómetro ya que, si comienza a elevarse rápidamente, pueden ser modificadas manipulando la llave de tubería de vapor y cerrándola gradualmente.
- ✓ El agitador tipo rejilla y la lira son desmontables, ya que cada una posee su respectivo uso, es decir el agitador tipo rejilla es colocada para agitar la leche, para que se caliente de forma homogénea tanto en la parte superior como en el fondo del recipiente hasta alcanzar la temperatura para pasteurizarse, en tanto que la lira es colocada al momento de que el cuajo ya esté listo para ser cortada con la misma, esta debe realizarse muy despacio a fin de no cortar mal el cuajo.

ANEXO 5. Mantenimiento

- ✓ Una vez realizado las operaciones de trabajo en el equipo, es importante recalcar, que debe realizarse su respectiva limpieza y acondicionamiento, para una nueva operación, por esta razón es necesario lavar el equipo con agua caliente a presión, ya que esta es una forma más factible en la que pueda ser removida cualquier residuo grasoso y viscoso, y matar cualquier agente microbiano, ya que se trabaja con alimento.
- ✓ Se debe considerar en el mantenimiento, es el uso mismo del equipo, debido a que si no se procede a utilizarlo con regularidad algunos elementos pueden resultar susceptibles al daño.
- ✓ Es importante siempre chequear la tubería y los acoples, así como del agitador y quemador, verificar su perfecto funcionamiento.

ANEXO 6. Cuadro de valores de tratamientos obtenidos con el sensor de temperatura con respecto al tiempo, temperatura y rpm en el equipo optimizador

| | TRATAMIENTO 1 | TRATAMIENTO 1 | TRATAMIENTO 1 |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Tiempo min | 66°C X 5 MIN X 90 RPM | 66°C X 5 MIN X 45 RPM | 66°C X 5 MIN X 16 RPM |
| 0 | 16 | 16 | 16 |
| 1 | 17.8114 | 16 | 18.1644 |
| 2 | 20.5017 | 18.896 | 20.3288 |
| 3 | 23.192 | 21.792 | 22.4932 |
| 4 | 25.8823 | 24.688 | 24.6576 |
| 5 | 28.5726 | 27.584 | 26.822 |
| 6 | 31.2629 | 30.48 | 27.2894 |
| 7 | 33.9532 | 33.376 | 29.4538 |
| 8 | 36.6435 | 36.272 | 31.6182 |
| 9 | 39.3338 | 39.168 | 33.7826 |
| 10 | 42.0241 | 42.064 | 35.947 |
| 11 | 44.7144 | 45 | 38.1114 |
| 12 | 47.4047 | 48.015 | 40.2758 |
| 13 | 50.095 | 50.911 | 42.4402 |
| 14 | 52.7853 | 53.807 | 44.6046 |
| 15 | 55.4756 | 56.703 | 46.769 |
| 16 | 58.1659 | 59.599 | 48.9334 |
| 17 | 60.8562 | 62.495 | 51.0978 |
| 18 | 63.5465 | 63.0742 | 53.2622 |
| 19 | 63.81553 | 63.6534 | 55.4266 |
| 20 | 64.08456 | 63.943 | 57.591 |
| 21 | 64.35359 | 64.8118 | 59.7554 |
| 22 | 64.89165 | 65.391 | 61.9198 |
| 23 | 65.16068 | 66 | 64.0842 |
| 24 | 65.42971 | 66 | 64.1 |
| 25 | 65.69874 | 66 | 65 |
| 26 | 65.96777 | 66 | 66 |
| 27 | 66 | 66 | 66 |
| 28 | 66 | 66 | 66 |
| 29 | 66 | 66 | 66 |
| 30 | 66 | 66 | 66 |
| 31 | 66 | 62.5 | 62.5 |
| 32 | 62.5 | 59 | 59 |
| 33 | 59 | 55.5 | 55.5 |
| 34 | 55.5 | 52 | 52 |
| 35 | 52 | 48.5 | 48.5 |
| 36 | 48.5 | 45 | 45 |
| 37 | 45 | 41.5 | 41.5 |
| 38 | 41.5 | 38 | 38 |
| 39 | 38 | | |

ANEXO 7. Cuadro de valores de tratamientos obtenidos con el sensor de temperatura con respecto al tiempo, temperatura y rpm en el equipo optimizador

| TRATAMIENTO 2 | TRATAMIENTO 2 | TRATAMIENTO 2 |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| 65°C X 10 MIN X 90 RPM | 65°C X 10 MIN X 45 RPM | 65°C X 10 MIN X 16 RPM |
| 16 | 16 | 16 |
| 20.3692 | 20.3692 | 18.3865 |
| 24.7384 | 24.7384 | 22.7543 |
| 29.3822 | 29.1076 | 28.3456 |
| 33.8514 | 29.2822 | 31.3995 |
| 38.3206 | 33.6514 | 33.786 |
| 42.7898 | 38.0206 | 36.1725 |
| 47.259 | 42.3898 | 38.559 |
| 51.7282 | 46.759 | 40.9455 |
| 56.1974 | 51.1282 | 43.332 |
| 60.6666 | 55.4974 | 45.7185 |
| 65 | 59.8666 | 48.105 |
| 65 | 64.2358 | 50.4915 |
| 65 | 65 | 52.878 |
| 65 | 65 | 55.2645 |
| 65 | 65 | 57.651 |
| 65 | 65 | 60.0375 |
| 65 | 65 | 62.424 |
| 65 | 65 | 64.8105 |
| 65 | 65 | 65 |
| 65 | 65 | 65 |
| 61.5 | 65 | 65 |
| 58 | 65 | 65 |
| 54.5 | 61.5 | 65 |
| 51 | 58 | 65 |
| 47.5 | 54.5 | 65 |
| 44 | 51 | 65 |
| 40.5 | 47.5 | 65 |
| 38 | 44 | 65 |
| | 40.5 | 61.5 |
| | 38 | 58 |
| | | 54.5 |
| | | 51 |
| | | 47.5 |
| | | 44 |
| | | 40.5 |
| | | 38 |



| | | |
|------|------|------|
| 63 | 63 | 63 |
| 63 | 63 | 63 |
| 63 | 63 | 63 |
| 63 | 63 | 63 |
| 59.5 | 63 | 63 |
| 56 | 59.5 | 63 |
| 52.5 | 56 | 63 |
| 49 | 52.5 | 63 |
| 45.5 | 49 | 59.5 |
| 42 | 45.5 | 56 |
| 38.5 | 42 | 52.5 |
| 38 | 38.5 | 49 |
| | 38 | 45.5 |
| | | 42 |
| | | 38.5 |
| | | 38 |

ANEXO 9. Galería de fotografías.

Imagen 01. Proceso de constructivo del equipo de tratamientos térmicos.



Imagen 02. Proceso de constructivo del equipo de tratamientos térmicos (tanque reactor)



Imagen 3. Proceso de constructivo del equipo de tratamientos aplicado la soldadura del (tanque reactor)



Imagen 4. Proceso de constructivo del equipo de tratamientos térmicos.



Imagen 5. Proceso de constructivo del equipo de tratamientos térmicos (tanque reactor) y la colocación del soporte del motorreductor.



Imagen 6. Proceso del acabado del equipo.



Imagen 7. Proceso de la colocación de los accesorios en el equipo



Imagen 8. Motorreductor de marca GGM y olla enchaquetada ya ensamblada



Imagen 9. Partes del sistema de agitación Agitador y tapa de la olla enchaquetada se muestra también la llave de paso sanitaria



Imagen 10. Accesorios adicionales del equipo como el tablero de control, quemador sistema de control electrónico Arduino y sensores de temperatura.





Imagen 11. Galería de fotos: pruebas de validación del equipo con los especialistas en lácteos del proyecto new Zelanda.



Imagen 12. Pruebas de validación del equipo con los especialistas en lácteos del proyecto new Zelanda

