

# Diseño de un proceso industrial para la fabricación de distintos yogures.

Documento:

Project Charter

Autor:

Gerard Tarrío Riaño

Tutor:

Jose Manuel Lis Arias

Titulación:

Grado en Ingeniería Química

Convocatoria:

Otoño, 2021-2022

**TRABAJO DE FINAL DE ESTUDIOS**

## Índice

Índice de tablas:.....	5
Índice de figuras: .....	8
Objeto:.....	11
Alcance: .....	11
Requerimientos: .....	12
Justificación: .....	12
Calendario: .....	13
Introducción del yogur: .....	13
Química de la leche: .....	14
Propiedades organolépticas del yogur:.....	15
Acidificación: .....	16
Obtención de la textura adecuada: .....	16
Propiedades físicas y químico-físicas de la leche: .....	16
Sustancias que puede llevar el yogur: .....	17
Tipos de yogur: .....	18
Microorganismos contenidos en el yogur:.....	20
Simbiosis de las bacterias del yogur:.....	21
Crecimiento bacteriano:.....	22
Fermentación láctica homofermentativa:.....	23
Microbiota termodúrica: .....	23
Tratamientos térmicos para la leche:.....	25
Principales tratamientos térmicos utilizados en la industria láctea: .....	25
Sedimentos de la leche:.....	28
Descripción del proceso: .....	28
Etapa de la recepción, inspección y control de la leche:.....	28
Almacenamiento de la leche: .....	30
Acondicionamiento de la leche: .....	30
Especificaciones para la estandarización de la leche: .....	31
Homogeneización:.....	32
Pasteurización: .....	33

Separación y estandarización de la nata: .....	35
Procedimiento a partir del depósito de almacenamiento: .....	37
Tratamiento higiénico y de conservación para la nata: .....	41
Tratamiento para la esterilización:.....	42
Funcionamiento de la producción de la leche UHT:.....	43
Inoculación: .....	47
Obtención de los cultivos iniciadores:.....	49
Forma comercial en la que se presentan los cultivos iniciadores: .....	49
Cultivos seleccionados:.....	58
Incubación o fermentación: .....	60
Formación del gel: .....	61
Lugar de fermentación según el tipo de yogur: .....	61
Refrigeración del yogur firme (coagulado) en el envase:.....	62
Refrigeración del yogur batido en masa: .....	63
Yogur pasteurizado (yogur de larga duración): .....	64
Yogur congelado o concentrado: .....	64
Mezclado: .....	65
Envasado, etiquetado y almacenamiento: .....	65
Aditivos alimentarios permitidos según la FAO: .....	74
Balance de materia y de energía: .....	81
Fruta como materia prima para los yogures: .....	111
Procesado de la fruta para uso del yogur:.....	111
Procesado de un yogur de frutas: .....	112
Preparación del almíbar de fruta: .....	115
Envasado de preparaciones de frutas: .....	115
Reología y textura del yogur:.....	116
Propiedades reológicas del yogur: .....	116
Maquinaria: .....	117
Maquinaria seleccionada para el proceso de elaboración de yogures: .....	120
Despulpadora de frutas: .....	120
Trituradora de frutas: .....	120
Lavadora de frutas: .....	121
Cinta transportadora de frutas:.....	122
Evaporador de efecto múltiple:.....	122

Tanque de recepción de la leche:.....	124
Fermentador :.....	124
Tanque de cultivo bacteriológico: .....	126
Tanque fermentador: .....	126
Tanque de mezcla y almacenamiento vertical de doble capa: .....	127
Tanque mezclador: .....	128
Agitador: .....	129
Tanque para pesaje y recepción de la leche: .....	131
Camión cisterna para la leche: .....	132
Pasteurizador:.....	133
Esterilizador tubular UHT: .....	135
Esterilizador de placas UHT: .....	137
Esterilizador UHT tipo placa: .....	138
Unidad de estandarización: .....	139
Intercambiador de calor de placas: .....	140
Tanque de almacenamiento con aislante térmico:.....	141
Homogeneizador de alta presión: .....	142
Mezclador:.....	142
Bombas: .....	143
Desgasificador ( desaireador):.....	151
Tuberías: .....	151
Higienizadora-desnatadoras:.....	152
Unidad para la recepción de la leche cruda: .....	154
Centrífuga clarificadora: .....	155
Depósito de almacenamiento de la nata: .....	156
Depósito de maduración/cristalización de crema (nata): .....	156
Tanques cisterna para la distribución: .....	157
Caudalímetro:.....	158
Filtros:.....	159
Sistema de limpieza CIP vertical:.....	159
Equipos para el proceso de envasado: .....	160
Conclusiones:.....	163
Bibliografía:.....	164

## Índice de tablas:

**Tabla 1.** Composiciones medias de diferentes tipos de yogur.

**Tabla 2.** Formula general para el yogur.

**Tabla 3.** Niveles medios de lactulosa que pueden encontrarse en leche tratada térmicamente.

**Tabla 4.** Niveles medios de furosin para leches sometidas a tratamiento térmico.

**Tabla 5.** Niveles medios de HMF para leches sometidas a tratamientos térmicos.

**Tabla 6.** Temperatura de pasteurización de los distintos tipos de nata.

**Tabla 7.** Guía de uso recomendado para los cultivos congelados y liofilizados.

**Tabla 8.** Gama de cultivos de YoFlex<sup>®</sup>.

**Tabla 9.** Propiedades de textura y aroma de los cultivos Yo-Flex<sup>®</sup> recomendados para el yogur batido.

**Tabla 10.** Tiempo de acidificación a pH 4,55 y post-acidificación a 8 °C.

**Tabla 11.** Propiedades de textura y aroma de los cultivos Yo-Flex<sup>®</sup> recomendados para el yogur firme.

**Tabla 12.** Tiempo de acidificación a pH 4,65 y post-acidificación a 8 °C .

**Tabla 13.** Cultivos recomendados para yogur líquido.

**Tabla 14.** Tratamientos térmicos según los parámetros tiempo-temperatura.

**Tabla 15.** Norma general para los aditivos alimentarios (CXS 192-1995).

**Tabla 16.** Reguladores de acidez, gasificantes y los colorantes permitidos según la FAO.

**Tabla 17.** Emulsionantes permitidos según la FAO.

**Tabla 18.** Acentuadores del sabor permitidos según la FAO.

**Tabla 19.** Conservantes permitidos según la FAO.

**Tabla 20.** (continuación de la Tabla 19) Estabilizadores y espesantes permitidos según la FAO.

**Tabla 21.** Estabilizadores y espesantes permitidos según la FAO.

**Tabla 22.** Edulcorantes permitidos según la FAO.

**Tabla 23.** Composición promedia de los productos que intervienen en la elaboración del yogur.

**Tabla 24.** Densidades de la leche desde el primer ordeño tras el parto hasta pasado 10 días después.

**Tabla 25.** Calor específico a distintas temperaturas.

**Tabla 26.** Calores específicos para los derivados lácteos.

**Tabla 27.** Cantidades de calor y temperaturas en la etapa de la recepción y tratamiento de la leche cruda hasta llegar al tanque de almacenamiento isotérmico de doble capa.

**Tabla 28.** Cantidades de calor y temperaturas en la etapa de normalización y estandarización del contenido en grasa y del extracto seco magro de la leche.

**Tabla 29.** Calores específicos de la nata con un contenido en materia grasa del 42% a distintas temperaturas.

**Tabla 30.** Cantidades de calor y temperaturas para las etapas del tratamiento de la nata pasteurizada.

**Tabla 31.** Cantidades de calor y temperaturas para las etapas del tratamiento de la nata esterilizada.

**Tabla 32.** Cantidades de calor y temperaturas para las etapas del tratamiento de la nata UHT.

**Tabla 33.** Cantidades de calor y temperaturas en la etapa de homogeneización de la leche.

**Tabla 34.** Cantidades de calor y temperaturas en la etapa de pasteurización de la leche.

**Tabla 35.** Resumen de los cultivos utilizados para cada yogur y sus características.

**Tabla 36.** Cantidades de calor y temperaturas para el yogur firme a partir de la etapa posterior a la pasteurización.

**Tabla 37.** Cantidades de calor y temperaturas para el yogur batido a partir de la etapa posterior a la pasteurización. A partir de la fermentación existen dos opciones de refrigeración.

**Tabla 38.** Cantidades de calor y temperaturas para el yogur líquido a partir de la etapa posterior a la pasteurización.

**Tabla 39.** Especificaciones técnicas de la trituradora de frutas.

**Tabla 40.** Especificaciones técnicas del evaporador de efecto múltiple.

**Tabla 41.** Especificaciones técnicas del fermentador MFL.

**Tabla 42.** Especificaciones técnicas del tanque de cultivo bacteriológico.

**Tabla 43.** Especificaciones técnicas del tanque fermentador.

**Tabla 44.** Especificaciones técnicas del tanque de almacenamiento de doble capa.

**Tabla 45.** Especificaciones técnicas del tanque mezclador estándar de SIMEI.

**Tabla 46.** Especificaciones técnicas del agitador áncora tipo helicoidal de INOXPA.

**Tabla 47.** Especificaciones técnicas del agitador tipo áncora en “U” con pala de INOXPA.

**Tabla 48.** Especificaciones técnicas del tanque para pasaje y recepción de la leche.

**Tabla 49.** Especificaciones técnicas del pasteurizador HSTS.

**Tabla 50.** Especificaciones técnicas del esterilizador tubular UHT de SIMEI.

**Tabla 51.** Especificaciones técnicas del esterilizador de placas UHT.

**Tabla 52.** Especificaciones técnicas para el esterilizador UHT tipo placa.

**Tabla 53.** Especificaciones técnicas de la unidad de estandarización de TETRA PAK.

**Tabla 54.** Especificaciones técnicas del intercambiador de calor de placas.

**Tabla 55.** Especificaciones técnicas del tanque de almacenamiento con aislante térmico.

**Tabla 56.** Especificaciones técnicas del homogeneizador de alta presión.

**Tabla 57.** Especificaciones técnicas de la mezcladora de corte alto.

**Tabla 58.** Especificaciones técnicas de bomba multifase.

**Tabla 59.** Especificaciones técnicas de la bomba lobular.

**Tabla 60.** Especificaciones técnicas de bomba FP2.

**Tabla 61.** Especificaciones técnicas de bomba FP60.

**Tabla 62.** Especificaciones técnicas de bomba IRP+.

**Tabla 63.** Especificaciones técnicas para las bomba SFP2 y SFP3.

**Tabla 64.** Especificaciones técnicas del mezclador estático.

**Tabla 65.** Especificaciones técnicas de la bomba centrífuga SIMPLEX-M SIM-1101L.

**Tabla 66.** Especificaciones técnicas de la bomba dosificadora peristáltica de HELIOS.

**Tabla 67.** Especificaciones técnicas del desaireador de SPXFLOW.

**Tabla 68.** Diámetros recomendados para las tuberías de circulación de leche.

**Tabla 69.** Especificaciones técnicas para la desnatadora centrífuga.

**Tabla 70.** Especificaciones técnicas de la unidad para la recepción de leche cruda.

**Tabla 71.** Especificaciones técnicas para la centrífuga clarificadora.

**Tabla 72.** Especificaciones técnicas del caudalímetro por efecto Coriolis.

**Tabla 73.** Especificaciones técnicas de la máquina automática formadora, llenadora y selladora de vasos.

## Índice de figuras:

**Figura 1:** Curva de crecimiento bacteriano entre el Lactobacillus y Streptococcus.

**Figura 2:** Relación de cooperación de las bacterias del yogur.

**Figura 3:** Diagrama de bloques preliminar del pretratamiento que recibe la leche.

**Figura 4:** Diagrama de bloques general para la elaboración de los yogures.

**Figura 5:** Degradación de la lactosa por tratamiento térmico.

**Figura 6:** Diagrama de bloques preliminar para los tratamientos previos para la leche antes de poder elaborar los yogures.

**Figura 7:** Diagrama de bloques para la unidad de pasteurización de la leche.

**Figura 8:** Ilustración esquemática de la desnatadora centrífuga.

**Figura 9:** Centrífuga de discos: a) conjunto ensamblado, b) detalle de un disco (vista en planta), c) esquema de la circulación de las dos fases fluidas a través de los espacios entre discos.

**Figura 10:** Centrífuga de discos con boquillas para la descarga continua de sólidos.

**Figura 11:** Ilustración detallada del proceso que experimenta la nata procedente de la grasa de la leche hasta llegar a los tanques cisterna.

**Figura 12:** Diagrama de bloques de la elaboración de la nata a partir de la centrífuga desnatadora de discos.

**Figura 13:** Diagrama de bloques para el sistema directo UHT de esterilización.

**Figura 14:** Diagrama de bloques para el sistema indirecto UHT de esterilización.

**Figura 15:** Diagrama de bloques preliminar para la inoculación de los fermentos y maduración.

**Figura 16:** Diagrama de bloques preliminar para los distintos métodos de obtención de los yogures a partir de la etapa de inoculación.

**Figura 17:** Dosis de utilización de los cultivos DVS.

**Figura 18:** Resultados de los cultivos Yo-Flex<sup>®</sup> para yogur batido.

**Figura 19:** Resultados de los cultivos Yo-Flex<sup>®</sup> para yogur firme.

**Figura 20:** Diagramas de los perfiles sensoriales de 6 yogures batidos con un contenido en grasa de 0,5% fermentados con los cultivos YF-L901, YF-L902, YF-L705, YF-L706, YF-L812 e YF-LX701.

**Figura 21:** Diagramas de los perfiles sensoriales de 6 yogures firmes con un contenido en grasa de 1,5% fermentados con los cultivos YF-L901, YF-L902; YF-L702, YF-L811 e YC-X11.

**Figura 22:** Diagrama del perfil sensorial del yogur batido con un contenido en grasa de 0,5% fermentado con el cultivo YF-L705.

**Figura 23:** Diagrama del perfil sensorial del yogur firme con un contenido en grasa de 1,5% fermentado con el cultivo YF-L811.

**Figura 24:** Yogures con nuevos sabores exóticos con YOFLEX<sup>®</sup> ACIDIFIX<sup>™</sup>.

**Figura 25:** Diagrama de bloques preliminar para el enfriamiento del yogur, seguido de su aromatización, mezcla y envasado.

**Figura 26:** Diagrama de bloques para un yogur pasteurizado (yogur de larga duración) desde la etapa de fermentación.

**Figura 27:** Diagrama de bloques preliminar para los equipos de producción industrial del yogur.

**Figura 28:** Diagrama de bloques detallado para el yogur batido.



**Figura 29:** Diagrama de bloques general para el yogur firme o gelificado.

**Figura 30:** Diagrama de bloques de la energía de calentamiento (representada por una flecha azul) / enfriamiento (representada por una flecha roja) para el sistema de los yogures estudiados. En el caso del tratamiento de la nata se va a someter tanto a tratamientos de calor como de frío que se van a estudiar de manera independiente al sistema trabajado.

**Figura 30:** Proceso industrial para obtener nata pasteurizada a partir de la centrífuga desnatadora.

**Figura 31:** Proceso industrial para obtener nata esterilizada a partir de la centrífuga desnatadora.

**Figura 32:** Proceso industrial para obtener nata UHT a partir de la centrífuga desnatadora.

**Figura 33:** Diagrama de bloques definitivo para la elaboración de los yogures hasta la etapa de la inoculación. Según el tipo de yogur habrá un tipo de cultivo starter determinado y sus posteriores etapas tendrán rutas de proceso distintas hasta llegar a la fase de almacenamiento de los mismos.

**Figura 34:** Diagrama de bloques definitivo para la elaboración de los yogures firmes a partir de la etapa de inoculación.

**Figura 35:** Diagrama de bloques definitivo para la elaboración de los yogures batidos a partir de la etapa de inoculación.

**Figura 36:** Diagrama de bloques definitivo para la elaboración de los yogures líquidos a partir de la etapa de inoculación.

**Figura 37:** Diagrama de bloques para la preparación de almíbar de fruta para la elaboración del yogur.

**Figura 38:** Ilustración de una despulpadora de frutas.

**Figura 39:** Ilustración de una trituradora de frutas.

**Figura 40:** Ilustración de una lavadora de frutas.

**Figura 41:** Ilustración de una cinta transportadora de frutas.

**Figura 42:** Ilustración de un evaporador de efecto múltiple de JIMEI.

**Figura 43:** Ilustración del tanque de recepción de la leche.

**Figura 44:** Ilustración del madurador / fermentador MFL de la empresa INOXPA.

**Figura 45:** Ilustración del tanque de cultivo bacteriológico de SIMEI.

**Figura 46:** Ilustración del tanque fermentador de JIMEI.

**Figura 47:** Ilustración del tanque de almacenamiento de doble capa de LONG QIANG.

**Figura 48:** Tanque mezclador estándar de SIMEI.

**Figura 49:** Ilustración del agitador áncora tipo helicoidal de INOXPA.

**Figura 50:** Ilustración del agitador tipo áncora en "U" con pala de INOXPA.

**Figura 51:** Ilustración del agitador tipo hélice gamma de INOXPA.

**Figura 52:** Ilustración del agitador tipo pala de gran caudal de INOXPA.

**Figura 53:** Ilustración del tanque de pesaje y recepción de la leche de LONG QIANG.

**Figura 54:** Ilustración del camión cisterna.

**Figura 55:** Ilustración del pasteurizador HSTS de INOXPA.

**Figura 56:** Ilustración del esterilizador tubular UHT de SIMEI.

**Figura 57:** Ilustración del esterilizador de placas UHT de JIMEI.

**Figura 58:** Ilustración del esterilizador UHT tipo placa de LONG QIANG.

**Figura 59:** Ilustración de la unidad de estandarización de TETRA PAK.

**Figura 60:** Ilustración de un intercambiador de calor de placas de TETRA PAK®.

**Figura 61:** Ilustración de un tanque de almacenamiento con aislante térmico de JIMEI.

**Figura 62:** Ilustración del homogeneizador de alta presión modelo GJB-5-60 de JIMEI.

**Figura 63:** Ilustración del mezclador de corte alto de TETRA PAK<sup>®</sup>.

**Figura 64:** Ilustración de la bomba multifásica para aplicación de desgasificación.

**Figura 65:** Ilustración de la bomba lobular PACKO de la serie ZL.

**Figura 66:** Ilustración de la bomba de impulsión FP2.

**Figura 67:** Ilustración de la bomba de impulsión FP60.

**Figura 68:** Ilustración de la bomba centrífuga estándar CRP+.

**Figura 69:** Ilustración de la bomba de impulsión SFP2 y SFP3.

**Figura 70:** Ilustración del mezclador estático de VERDERMIX.

**Figura 71:** Ilustración de la bomba centrífuga SIMPLEX-M SIM-1101L.

**Figura 72:** Ilustración de la bomba dosificadora peristáltica de HELIOS.

**Figura 73:** Ilustración del desaireador VFJ/ VFN de SPXFLOW.

**Figura 74:** Ilustración de la desnatadora centrífuga de REDA.

**Figura 75:** Ilustración de la unidad completa para la recepción de leche cruda de INOXPA.

**Figura 76:** Ilustración de la centrífuga clarificadora de Tetra Pak.

**Figura 77:** Cuba de almacenamiento con sistema de mezclado de GOAVEC Engineering.

**Figura 78:** Ilustración del depósito de maduración/cristalización de crema (nata) de GOAVEC Engineering.

**Figura 79:** Ilustración de un tanque cisterna para la distribución de la leche cruda.

**Figura 80:** Ilustración del caudalímetro por efecto coriolis P 100 de Proline Promass<sup>®</sup>.

**Figura 81:** Ilustración del filtro escuadra de tamiz (figura izquierda) y el filtro de malla perforada (figura derecha) de INOXPA.

**Figura 82:** Ilustración del sistema de limpieza CIP de Jimei.

**Figura 83:** Ilustración de la máquina automática llenadora y selladora de vasos de SIMEI.

**Figura 84:** Ilustración de las envasadoras de cristal twist off de AYRTAC.

## Objeto:

La elaboración de un proceso industrial, en este caso para una amplia gama de yogures, tiene como principal objetivo conocer desde un punto más teórico los procedimientos que se le aplican a la leche para poder llegar a la etapa de elaboración del yogur acabado.

Conocer al detalle cada una de las unidades implicadas en dicho proceso, incorporar la última tecnología destinada a la obtención de yogures y a la vez intentar acercarse a la ingeniería de detalle lo más cerca posible partiendo de la información buscada para así lograr obtener lo que vendría a ser una planta industrial destinada a la fabricación de yogures de distintas clases. Comparar y contrastar toda la información encontrada va a ser fundamental en este proyecto para poder así recrear una planta industrial destinada a la elaboración de yogures lo más real posible.

Actualmente, el mundo de los yogures está muy presente en todo el mundo y como consecuencia se aplican nuevos tratamientos que facilitan y mejoran la calidad de los productos lácticos. Conocer cuales son y como aplicarlos va a ser también uno de los objetivos para este proyecto.

## Alcance:

Los límites para este proyecto vienen a ser la elaboración de los yogures firmes, batidos, pasteurizados y líquidos sin entrar en el ámbito de los yogures probióticos ni otras gamas de yogures distintos a los mencionados.

Los límites establecidos para el proceso en términos generales que se va a abarcar para los yogures incluye un proceso que se inicia desde que el camión cisterna hace llegar la leche cruda a la planta industrial, hasta terminar la última etapa de la elaboración de los yogures, el almacenamiento.

Se realizarán los balances de materia y de energía, así como otros cálculos necesarios para el desarrollo del proyecto. Los cálculos realizados vendrán definidos en función de los datos numéricos encontrados.

No se va a especificar las cantidades que se van a administrar en los recipientes de los yogures, pero sí el tipo de recipiente que se puede utilizar para el llenado de los mismos. Tampoco el gasto económico de todas las máquinas y accesorios para la planta industrial ni el funcionamiento al detalle de cada máquina, es decir, solamente se especificará la elección de dicha unidad de proceso y su aportación en la ejecución de la línea de producción de los yogures. La plantilla de operarios no se va a contemplar en este trabajo.

Toda la maquinaria encontrada estará definida por la empresa que la proporciona y con sus fichas técnicas.

Los productos con cantidades muy pequeñas o difíciles de poder concretar obtenidas en determinadas unidades de proceso se van a menospreciar, como lo son los contaminantes que salen de la unidad de filtración, la cantidad de aire expulsado por el desgasificador, y los microorganismos de la leche y las impurezas sólidas eliminadas por el sistema de clarificación.

Por otro lado se van a establecer cuales son los estabilizadores, colorantes, edulcorantes, vitaminas, etc; que se pueden añadir en este sistema de producción de yogures estudiado.

Las dos bacterias implicadas en el proceso de la fermentación de yogures serán escogidas de manera muy precisa en función de sus características que pueden aportar a los yogures.

## Requerimientos:

Existen una serie de especificaciones básicas para la elaboración de los yogures. Para realizar los balances de materia será de vital importancia conocer el contenido en materia grasa y de extracto seco magro de la leche entera, desnatada i semidesnatada. El calor específico de estas también serán extraídas mediante la documentación encontrada.

La cantidad de leche cruda inicial que se va a utilizar para el sistema estudiado va a ser de 18000 kg/día y con una temperatura de 8 °C para el inicio del proceso.

Por otro lado, todas las máquinas relacionadas en este proceso industrial van a ser la pieza clave para llevar a cabo este proceso lo más real posible a una planta industrial destinada al tratamiento de la leche para la posterior elaboración de los yogures. Cada una de ellas, se especificará su ficha técnica y la empresa a la cual pertenece dicha máquina.

También se tendrá en cuenta la Norma de Calidad para el yogur consultando la página de la Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado (BOE).

## Justificación:

La elección de este proyecto, el cual se quiere llevar a cabo una serie de tratamientos de la leche, tiene la finalidad de obtener distintos tipos de yogures para el consumo humano a escala global.

Desde el punto nutritivo y proteico, los yogures tienen un gran interés para los consumidores de todo el mundo. Además, contienen bacterias que son beneficiosas para combatir dolencias como la diarrea, catarros y dermatitis atópica. La acción de estas bacterias contribuyen a reestablecer el equilibrio de la flora y favorecen el tránsito intestinal.

Los yogures también fortalece los huesos y los dientes, mantiene el colesterol en niveles estables y contribuye a reducir la hipertensión, estimula el sistema inmunológico y protege el sistema digestivo.

El mundo de los yogures está siempre en constante evolución, aparecen nuevas técnicas y tratamientos que proporcionan una mejor calidad del yogur acabado, es por este motivo, que la elección de la maquinaria va a tener un papel fundamental en todo el proceso.

La elección de este proyecto se debe particularmente al gran interés centrado en el mundo alimentario, es por este motivo, que se ha decidido realizar un diseño para la elaboración de los yogures de distintos tipos.

## Calendario:

La realización de este proyecto consta de una serie de tareas que están relacionadas entre sí pero que trabajan de forma independiente.

Primero de todo hay que realizar una búsqueda de información sobre la elaboración de los yogures desde un punto de vista más global para así poder posteriormente estrechar el círculo informativo llegando al detalle de cada parte involucrada en el proceso de elaboración del producto, en este caso de los distintos tipos de yogures.

Para ello se debe analizar y estudiar cuáles son aquellos procesos implicados para los distintos tipos de yogures. Posteriormente y de forma más cautelada, habrá que seleccionar la maquinaria y los accesorios adecuados para dicha planta industrial destinada a la elaboración de yogures.

La selección de las bacterias presentes en los yogures así como sus cantidades máximas permitidas y las condiciones que deben tener para su desarrollo correcto en la etapa de la fermentación de los yogures va a ser el elemento clave de todo el proceso. Para ello habrá que recurrir a una búsqueda más detallada y de forma rigurosa.

Una vez obtenido todo lo mencionado anteriormente, el paso que viene a continuación será realizar los cálculos de masa y de energía para dichos procesos a partir de unos datos iniciales obtenidos de las fuentes consultadas.

Finalmente se llegarán a las conclusiones pertinentes en base a los resultados y dificultades encontradas.

## Introducción del yogur:

Yogur proviene de la leche coagulada obtenido por fermentación láctea a través de microorganismos *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, a partir de la leche concentrada, leche pasteurizada, nata pasteurizada, leche parcial o desnatada y pasteurizada, con o sin adición de leche en polvo.

El yogur original se hace con leche de vaca concentrada con un tratamiento de calor de larga duración. El yogur sólo se puede preparar a partir de leche fresca aunque se puede enriquecer con leche en polvo con un máximo del 5 % y debe contener como mínimo un 0,8% de ácido láctico. La leche utilizada puede estar más o menos desnatada.

## Química de la leche:

Componentes principales de la leche:

Los componentes y composiciones medias de la leche de vaca son los siguientes:

- Lactosa (4,7%): es el azúcar característico de la leche. Tiene poder edulcorante y aporte calórico. Los productos industriales que se obtienen son la lactosa cristalizada y el jarabe edulcorante de lactosa hidrolizada.
- Grasas (3,8%): contiene un valor calórico elevado. Las grasas se encuentran emulsionadas en microglóbulos estabilizados por membranas fosfolípido-proteica. Contienen más de 400 ácidos grasos diversos. Dos tercios de los ácidos grasos son saturados y la tasa de colesterol es muy elevada. A partir de las grasas se pueden obtener nata y mantequilla.
- Proteínas (3,3%):

-Caseína(2,6%): es la proteína más abundante de la leche y se encuentra en la leche formando micelas. La caseína contiene un gran número de grupos fosfato con calcio. Micelas estabilizadas por glicoproteínas superficiales. La caseína es rica en lisina. Coagula por proteasas y por el calor en medio ácido

-A partir del suero: Ibeta-lactoglobulinas y alfa-lactalbúminas (0,7%): son las proteínas solubles. Hay presencia de inmunoglobulinas y enzimas que se inactivan en los procesos térmicos. La inactivación de la fosfatasa alcalina, termorresistente indica buena esterilización. Precipitan con pH bajo y calor.

Los sólidos no grasos de la leche que representan en valor medio un 8,5% están formados por proteínas, lactosa, sales minerales (0,7%), vitaminas y pigmentos.

- Agua (87,5%) en la leche.
- Aminoácidos: contribuyen al sabor.
- Enzimas: tienen la capacidad de provocar reacciones químicas.
- Vitaminas (A,C,B<sub>2</sub>,B<sub>12</sub>,B<sub>6</sub> ácido pantoténico).

Composición de los distintos tipos de yogur:

	Entero (%)	Semidesnatado (%)	Desnatado (%)	Con frutas (%)
Agua	8,7	89	89-90	81
Proteínas	3,5	3,4	3,3	2,8
Glúcidos	3,6	3,8	4	12,6
Ácidos orgánicos	1,15	1,2	1,2	1,2
Cenizas	0,7	0,72	0,75	0,7
Fibra	0	0	0	0
Valor energético (kcal)	63	43	36	88

**Tabla 1.** Composiciones medias de diferentes tipos de yogur. Fuente: Antonio Madrid Vicente, Ingeniería y producción de alimentos 2016, p. 99.

## Propiedades organolépticas del yogur:

El yogur debe tener un sabor, unos aromas típicos y agradables atribuibles a la presencia de una cantidad mínima de acetaldehído (componentes aromático), ácidos grasos volátiles y diacetilo. El sabor ácido y fresco está influenciado por el ácido láctico. La fermentación láctica llevada a cabo por las dos bacterias implicadas en la elaboración del yogur, además de producir ácido láctico, también generan acetaldehído, acetona, etanol, butanona, diacetilo, 2-pentanona y diversos ácidos orgánicos. La proporción en la que se encuentren los compuestos anteriores van a venir determinadas por la calidad de las cepas escogidas para la elaboración del yogur.

La consistencia y la viscosidad van a ser fundamentales. El yogur firme o cuajado debe poseer una consistencia firme similar a la de un flan ligero, sin la presencia de burbujas de gas o aberturas. El gel debe ser suave sin granos ni terrones. Cuando el yogur se penetra con una cuchara, el coágulo debe romperse limpiamente. La presencia de suero en la superficie o la existencia de bolsas de suero dentro del gel son indeseables. Por otro lado, el yogur batido tiene que poseer una viscosidad moderada ya que una viscosidad muy alta o muy baja significaría una mala calidad del yogur.

## **Acidificación:**

La acidificación del medio es debida a la degradación de una parte de la lactosa de la leche que se transforma en ácido láctico, lo que implica una disminución del pH en el yogur, inferior a 4,6. La acidificación es una parte muy importante en el proceso para la elaboración de los yogures ya que esta impide que se produzca el desarrollo de gérmenes indeseables patógenos o agentes de la putrefacción, afectando favorablemente la conservación del producto y su calidad alimentaria.

## **Obtención de la textura adecuada:**

El desarrollo de la textura adecuada para la fabricación de los yogures es un parámetro muy importante a tener en cuenta. Este elemento sensorial está directamente relacionado con las cepas que se vayan a utilizar.

Las dos bacterias que se van a emplear van a proporcionar la textura adecuada y su acción sobre las proteínas van a generar la coagulación de la caseína y una proteólisis que va a incidir en la mayor digestibilidad del producto.

## **Propiedades físicas y químico-físicas de la leche:**

Las características físicas que abarca la leche son el peso específico, la tensión superficial, el calor específico, la temperatura de congelamiento, etc. Dichas características son importante para posteriormente llevar a cabo el diseño de los procesos de pasteurización, esterificación, homogeneización y transporte que se somete la leche. El color blanco de la leche se debe a la dispersión completo del espectro visible provocado por los glóbulos de grasa, las miscelas de caseína y por el fosfato de calcio coloidal.

La homogeneización rompe los glóbulos grandes y genera glóbulos pequeños que provocan la blancura de la leche. La leche contiene entre un 12-14% de sólidos pero se comporta como un fluido newtoniano. Los glóbulos grasos y las micelas influyen en la viscosidad de los productos lácteos. La acidez de la leche se debe a la presencia de grupos ionizables de las proteínas, como son los carboxilos de los ácidos aspártico y glutámico. El pH es de 6,5-6,7 pero con pH superiores al valor mencionado significaría que existe una infección de la vaca y con pH menores de 6,5 significaría la presencia de una acidificación microbiana.



## Formula para el yogur:

Formula para el yogur	
Leche fluida semidescremada	91,7%
Leche descremada en polvo	3%
Azúcar	4%
Estabilizadores	1%
Emulsivo	0,3%
Cultivos liofilizados de inoculación directa	4 U/100 L leche
Total	100%

**Tabla 2.** Formula general para el yogur. Fuente: Chemical engineering Dr. Valdes. Elaboración Yoghurt. <https://sites.google.com/site/chemicalengineeringdrvaldes/industria-de-alimentos/elaboracion-yoghurt>

## Sustancias que puede llevar el yogur:

- Leche en polvo o entera, semidesnatada o desnatada en cantidad de hasta el 5% en el yogur natural, y hasta el 10% en otros tipos de yogures.
- Natas pasteurizadas, suero en polvo, proteína de leche y/o otros productos procedentes del fraccionamiento de la leche, en cantidad máxima de hasta un 5% en el yogur natural y hasta un 10% en los otros tipos de yogures.
- Azúcares y/o azúcares comestibles en los yogures con frutas, zumos y/u otros productos naturales y en yogures aromatizados.
- Ingredientes de origen natural como frutas y hortalizas (frescas, congeladas, en conserva, liofilizadas o en polvo), puré de frutas, pulpa de frutas, compota, mermelada, confitura, jarabe zumos, miel, chocolate, cacao, frutos secos, coco, café, especias y otros ingredientes naturales aromatizados inocuos.
- El yogur tiene que llevar un mínimo del 20% de materia grasa y un extrato seco magro del 8,5%. Para los yogures desnatados el contenido en grasa no pasa del 0,5% y con un extrato seco magro del 8,5% como mínimo.
- El yogur azucarado contiene sacarosa. Los estabilizantes más utilizados en el yogur son: gelatina, pectina, agar-agar y almidón. La gelatina en los yogures aromatizados y en yogures con frutos, zumos y/u otros productos naturales, en una cantidad máxima de 3 g/kg de yogur. En caso de contener estabilizantes, la cantidad total máxima de estas dos adiciones no podrá superar dicha cifra. El almidon comestible en yogures aromatizados o con productos naturales, se añade en una cantidad máxima de 3 g/ kg de yogur.

- La Norma de Calidad cita una lista de colorantes, edulcorantes, estabilizantes y conservantes, que se pueden adicionar en los yogures edulcorados, aromatizados y con frutas, zumos y/u otros productos naturales, excepto los colorantes, que sólo se pueden añadir en algunos tipos de yogures.

Análisis microbiológicos recomendables para el yogur según el Centro Nacional de Alimentación y Nutrición:

- *Escherichia coli*.
- *Estafilococos aureus*.
- *Estreptococos D. de Lancefield*.
- Recuento de coliformes.
- Gérmenes sulfitorreductores (*Cl. Perfringens*).
- Hongos.
- Examen al microscopio.
- Refrigeración del yogur coagulado en el envase:
- Refrigeración y batido del yogur coagulado en masa:
- Factores que afectan a la viscosidad del yogur batido:
- Factores que afectan a la separación del suero:
- Sabor y aroma del yogur (flavor):

## Tipos de yogur:

Existen una multitud de variaciones de yogures. Los yogures se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Yogur natural: según la Norma de Calidad, el yogur natural es el producto de leche coagulada obtenido por fermentación láctica mediante la acción de *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* a partir de leche concentrada, desnatada, de nata, o de mezcla de dos o más de dichas leches, con o sin la adición de leche en polvo, nata en polvo, suero en polvo, proteínas de leche y/u otros productos procedentes del fraccionamiento de la leche en cantidad máxima de hasta el 5% m/m, que previamente hayan sufrido un tratamiento térmico u otro tipo de tratamiento, equivalente, al menos, a la pasteurización.

El yogur natural debe tener un pH igual o inferior a 4,6, con un contenido mínimo de materia grasa del 2% y un extracto seco magro de leche mínimo del 8,5%.

- Yogur natural azucarado: yogur natural el cual se le añade azúcar o azúcares comestibles.
- Yogur edulcorado: yogur natural el cual se le añaden edulcorantes autorizados según la Norma de Calidad vigente.
- Yogur con fruta, zumos y/u otros productos alimentarios: yogur natural el cual se le añade fruta, zumos y/o otros alimentos. La cantidad mínima de yogur en el producto acabado será del 70%. El yogur de fruta tiene como posibles ingredientes frutas y hortalizas (frescas, congeladas, en conserva, liofilizadas o en polvo), puré de frutas, pulpa de frutas, compotas, mermeladas, confituras, jarabes, zumo, miel, chocolate, cacao, frutos secos, coco, café, especias y otros ingredientes.
- Yogur aromatizado: yogur natural el cual se le añade aroma y otros ingredientes que contienen aromatizantes autorizados por la Norma de Calidad vigente.. La cantidad mínima de yogur en el producto acabado será del 80%.
- Yogur pasteurizado (yogur de larga duración) después de la fermentación: yogur obtenido a partir del yogur que ha perdido la viabilidad de las bacterias lácticas específicas y cumple todos los requisitos establecidos para el yogur en esta norma.

Los yogures también se pueden clasificar según su consistencia:

- Firme: cuando la coagulación se produce se desarrolla en el mismo envase de consumo y el coágulo obtiene una estructura de masa continua semisólida.
- Batido: cuando la coagulación se realiza en tanques o depósitos industriales para su posterior envasado. El coágulo se rompe y se obtiene una estructura de masa prácticamente líquida y muy viscosa.
- Líquido: cuando el yogur batido es de baja viscosidad y con un extracto seco menor, que normalmente está homogeneizado.
- Yogur congelado o concentrado.
- Yogur pasteurizado (yogur de larga duración).

Otra clasificación de los yogures vendría determinada por el contenido en materia grasa:

- Yogur enriquecido: yogur el cual contiene nata, con un contenido en materia grasa en su parte láctea entre un 4,5-10% m/m.
- Yogur entero: yogur que ha sido elaborado con leche entera, con un contenido en materia grasa en su parte láctea de 2% m/m.
- Yogur desnatado: yogur elaborado con leche desnatada, , con un contenido en materia grasa en su parte láctea del 0,5% m/m.
- Yogur semidesnatado: yogur elaborado con leche semidesnatada, con un contenido en materia grasa en su parte láctea entre un 0,5-2% m/m.

## Microorganismos contenidos en el yogur:

La microbiota del yogur son las bacterias lácteas: *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrückii sub. bulgaricus*. El yogur (leche fermentada) contiene una serie de sustancias naturales provenientes de la leche cruda inicial, que mediante la fermentación y la presencia de las bacterias han hecho que el yogur se le puede llamar “vivo” debido a que tiene bacterias lácticas vivas y viables para el consumo humano. Las dos bacterias mencionadas anteriormente son bacterias lácticas termófilas, cuya perfecta simbiosis permite lograr el aroma y el sabor característico del yogur. Además, dichos microorganismos bacterianos deben mantenerse en óptima proporción.

### ***Streptococcus thermophilus:***

Morfológicamente está dotada de células esféricas u ovoideas (cocos), por parejas o en largas cadenas (cuando se trata de cultivos en pleno crecimiento)

Esta bacteria es homofermentativa ya que a partir de una molécula de lactosa producen cuatro de ácido láctico. En la leche produce entre un 0,7-0,8% de ácido láctico L(+), aunque algunas cepas pueden llegar a producir hasta un 1% de ácido láctico. Algunas cepas tienen la capacidad de producir polisacáridos que forman un mucílago, lo cual resulta importante para la viscosidad del yogur. Esta bacteria produce ácido láctico pero también produce ácidos grasos volátiles, como el fórmico, acético, propiónico, butírico, isovalérico y el caprónico. Además, también produce acetoína y acetaldehído.

Presenta una actividad proteolítica muy pequeña en la leche y los aminoácidos liberados son consumidos durante la fase de crecimiento logarítmico. Además la actividad proteolítica global es menor que la del *lactobacillus bulgaricus*.

Por otro lado, se trata se una bacteria termófila. Su temperatura de crecimiento es de 42-45 °C (bacterias termófilas ya que su temperatura óptima de crecimiento está entre 35-45 °C), la temperatura mínima es de 10 °C y la máxima es de 50 °C. También es una bacteria termodúrica ya que es capaz de soportar un tratamiento de calor en la leche de 30 minutos a 60 °C.

Esta bacteria es muy sensible a la presencia de inhibidores y sobretudo de antibióticos. Su crecimiento se puede inhibir por 0,01 U.I de penicilina o 5 mμ de estreptomycin por mL de leche. También presenta sensibilidad con la sal, no crece en presencia de un 4% de sal y algunas cepas no crecen en presencia de un 2% de sal.

### ***Lactobacillus delbrückii sub. bulgaricus:***

Morfológicamente se trata de un bacilo que adopta la forma de bastoncillo corto en los cultivos jóvenes y que posteriormente tiene la forma de filamentos.

Esta bacteria es homofermentativa ya que a partir de una molécula de lactosa producen cuatro de ácido láctico. En la leche produce entorno un 1,7% de ácido láctico D(-). También produce, en cantidades

pequeñas, ácidos grasos volátiles como el acético, propiónico, butírico, isovalérico, capríco y el cáprico. Además, produce acetoina, acetaldehído, acetona y 2-butanona.

Presenta una actividad proteolítica mediana importante para la liberación de aminoácidos. Su actividad proteolítica es bastante baja y produce, solamente, el isómero D(-) láctico.

Es una bacteria termófila y su temperatura óptima de crecimiento está entre 35-45 °C, la temperatura mínima es de 15 °C (prácticamente no se multiplica con dicha temperatura) y la máxima es de 52 °C, aunque algunas cepas crecen hasta los 60 °C. No es una bacteria termodúrica, a pesar de que algunas cepas resisten temperaturas de 75 °C durante 20-30 minutos.

Esta bacteria presenta una mayor resistencia a los antibióticos comparado con la bacteria mencionada anteriormente. Es inhibido por 0,3-0,6 U.I de penicilina. También tiene una alta sensibilidad a la sal, no se desarrolla en presencia de un 2% de NaCl.

### Simbiosis de las bacterias del yogur:

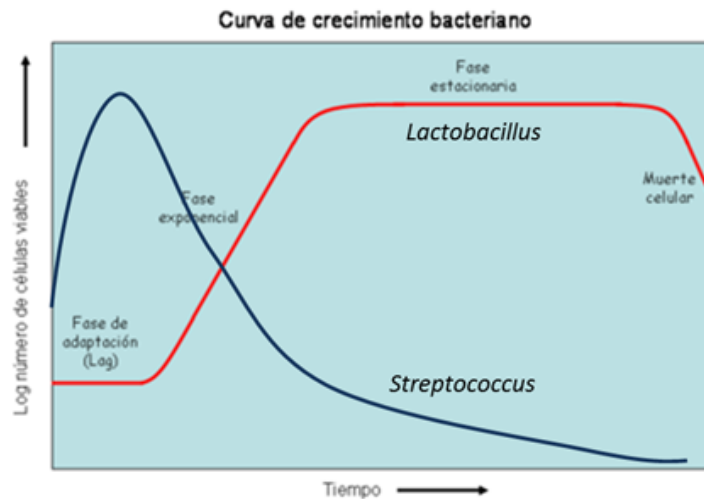
Cuando ambas bacterias del yogur se desarrollan conjuntamente en la leche, la producción de ácido láctico es más rápida que si se desarrollaran por separadas, ya que entre ellas existe una mutua estimulación del crecimiento (simbiosis o proto cooperación).

Los lactobacilos gracias a su actividad proteolítica moderada, liberan péptidos pequeños y aminoácidos, sobretodo valina, que favorecen el crecimiento de los *streptococos* los cuales producen ácido fórmico a partir de ácido pirúvico en condiciones anaerobias y CO<sub>2</sub>. Ambas sustancias son importantes para el desarrollo de los lactobacilos. Como consecuencia de la mutua cooperación durante el crecimiento de estas dos bacterias en la leche, la producción de ácido láctico es más rápida que si se cultivara cada microorganismo individualmente.

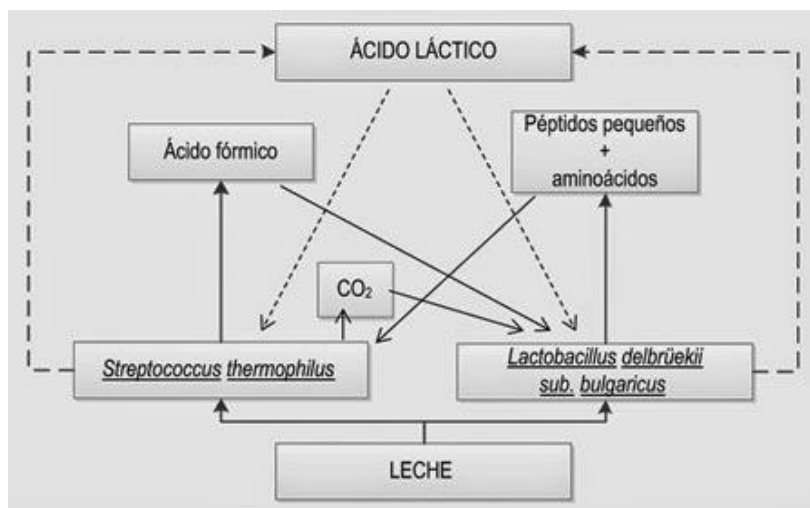
El aminoácido más importante para el crecimiento de la *streptococcus thermophilus* es la valina.

Para la fabricación de yogur, la leche se tiene que someter a un tratamiento térmico moderado (5-10 minutos a 90-95 °C) para que se produzca la formación de los *streptococcus thermophilus*. La proporción óptima entre *streptococos* y *lactobacilos* generalmente es de 1:1.

Durante la fermentación, la proporción entre los dos microorganismos va variando. En el inicio, los *streptococos* crecen más rápidos ya que los *lactobacilos* sintetizan factores de crecimiento. Después el desarrollo es cada vez más lento por efecto del ácido producido. Al mismo tiempo, los *lactobacilos* empiezan a crecer más rápidos gracias al CO<sub>2</sub> y al ácido fórmico producidos por los *streptococos* y en consecuencia se establece la proporción inicial y entonces el yogur alcanza la acidez deseada. En caso de que la incubación se prolonga o el yogur no se refrigere correctamente, los *lactobacilos* van a ser los predominantes.



**Figura 1:** Curva de crecimiento bacteriano entre el *Lactobacillus* y *Streptococcus*. Fuente: La ciencia de la vida, la biología UV, El yogur, un ejemplo de cooperación entre bacterias. <https://tapeda.blogs.uv.es/2010/10/22/el-yogur-un-ejemplo-de-cooperacin-entre-bacterias/>



**Figura 2:** Relación de cooperación de las bacterias del yogur. Fuente: Romero, Roser y Mestres, Josep, Productos lácteos Tecnología, Edicions UPC, 2004, página 119.

## Crecimiento bacteriano:

Las poblaciones bacterianas presentan un patrón de crecimiento particular donde el número de células se multiplican por unidad de tiempo (crecimiento exponencial) que se puede plasmar en una curva de crecimiento.

Las fases de crecimiento son las siguientes:

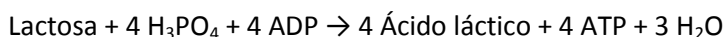
- Fase lag (fase de adaptación): cuya duración va a depender del medio del que provenga la cepa, las condiciones del medio y del estado de desarrollo de la población bacteriana. En esta fase existe un crecimiento del tamaño celular y en consecuencia genera un aumento en la síntesis de macromoléculas.
- Fase exponencial: donde las células se multiplican en masa durante un periodo de tiempo determinado. La velocidad de crecimiento es exponencial y va a depender de las características del microorganismo y de las condiciones y medio de cultivo. Cuanto menor sea la pendiente en esta fase mayor será el tiempo de generación ya que en esta fase de crecimiento exponencial todos los compuestos bioquímicos se están sintetizando prácticamente a la misma velocidad. En un cultivo continuo la fase exponencial se puede mantener de forma indefinida pero para un cultivo cerrado no es posible.
- Fase estacionaria: cuya fase se encuentra en un sistema cerrado ya que un nutriente esencial del medio de cultivo se acabó o que un desecho del microorganismo en desarrollo es inhibitorio para él mismo. Otro motivo también podría ser debido a que la población bacteriana no se puede seguir reproduciendo ya que en el medio en el que se encuentran ya no existe espacio físico suficiente para el desarrollo de su crecimiento. En esta fase, los microorganismos se mantienen constantes.
- Fase de muerte: la cual las bacterias empiezan a morir y entonces la tasa de reproducción disminuye. Este hecho ocurre de manera logarítmica.

### Fermentación láctica homofermentativa:

La glucosa se metaboliza a través de la vía glicolítica o ruta de Embden-Meyerhof y la galactosa-6P entra por la ruta de la tagatosa. La actividad de las enzimas (Aldolasas, piruvato kinasa (PK) y la lactato deshidrogenasa) que intervienen en la vía metabólica y la formación de los metabolitos regulan la captación de lactosa por parte de la bacteria hasta que la acidez impida el crecimiento de las bacterias lácticas.

En los *Lactococcus*, esto sucede cuando se alcanza entre un 0,6-0,9% de ácido láctico, y en los *Lactobacillus* ocurre cuando se llega entre un 1,8-2,5% de ácido láctico. En caso de que la acidez no frenara el crecimiento de dichas bacterias, éstas podrían convertir entre un 90-05% de lactosa en ácido láctico.

El metabolismo homofermentativo implica la siguiente reacción:



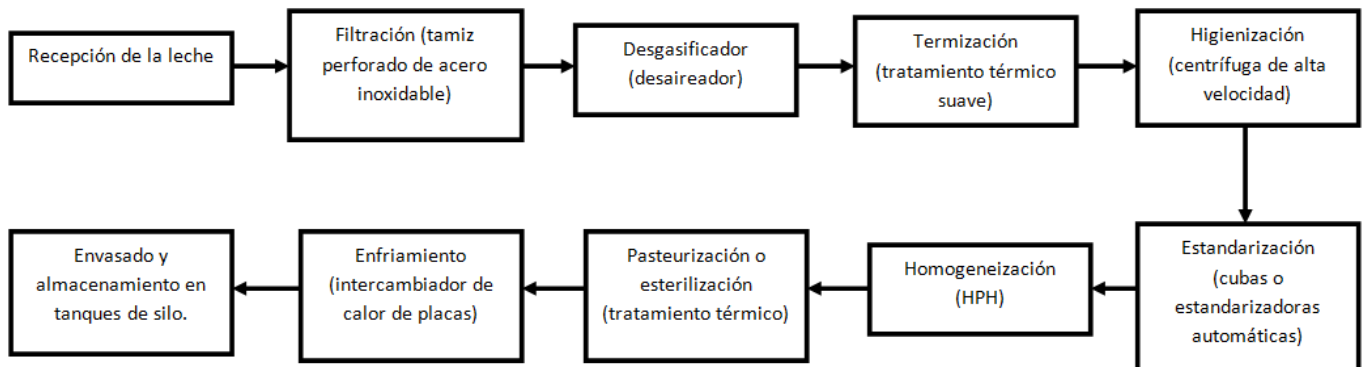
### Microbiata termodúrica:

Están implicados los microorganismos capaces de sobrevivir a la pasteurización, tratamiento por calor de la leche en las industrias lácteas. Los microorganismos que pertenecen al género *Microbacterium*, *Micrococcus*, algunas bacterias lácticas como la que fermentan el yogur (*Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus*

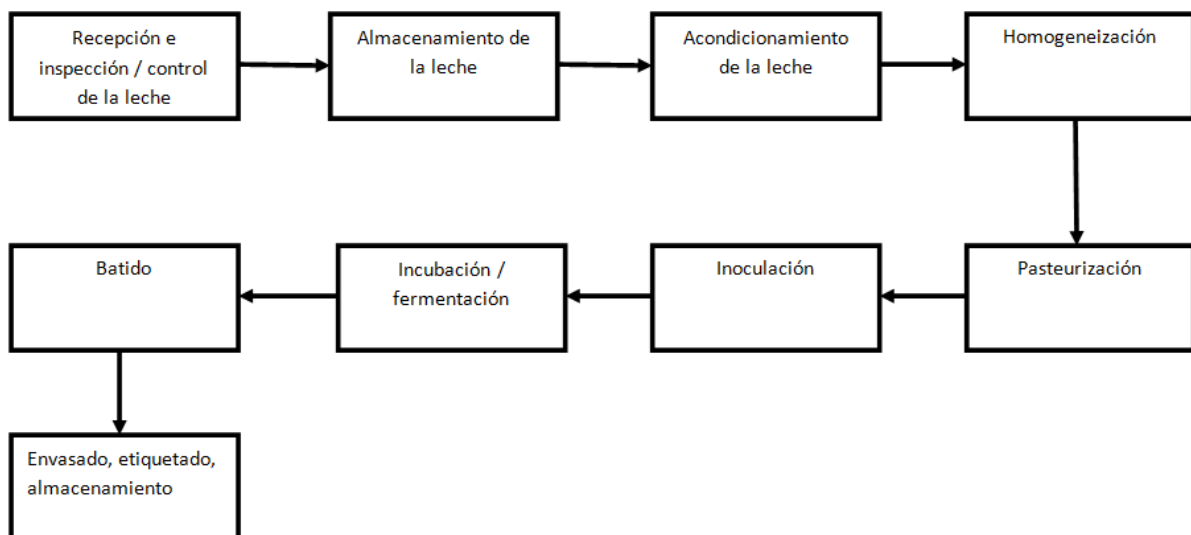
*delbrückii sub. bulgaricus*), y los esporulados (*Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*, *clostridium butircum* y *clostridium tyrobutircum*) forman parte del grupo de la microbiata termodúrica.

Para el desarrollo de la elaboración del yogur de distintos tipos, las bacterias que fermentan el yogur (*Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrückii sub. bulgaricus*) van a tener un papel muy importante.

Diagramas del proceso general:



**Figura 3:** Diagrama de bloques preliminar del pretratamiento que recibe la leche.



**Figura 4:** Diagrama de bloques general para la elaboración de los yogures.



## Tratamientos térmicos para la leche:

### Principales tratamientos térmicos utilizados en la industria láctea:

Proceso	Temperatura (°C)	Tiempo
Termización	63-65	15 s
Pasteurización LTLT	63	30 min
Pasteurización HTST	72-75	15-20 s
Ultrapasteurización	125-138	2-4 s
Tratamiento UHT	135-140	1-2 s
Esterilización	115-120	20-30 min

**Tabla 14.** Tratamientos térmicos según los parámetros tiempo-temperatura. Fuente: Tecnología alimentaria, página 115.

La leche cruda experimenta un tratamiento térmico con la finalidad de poder prolongar su vida útil y al mismo tiempo eliminar los microorganismos patógenos. Los tratamientos térmicos que existen para la leche son los siguientes:

- Termización: cuyo proceso implica un calentamiento suave de entre 57-68 °C durante 15 segundos para así minimizar las bacterias. Con este tipo de tratamiento térmico no afecta al sabor ni al tiempo de coagulación de la leche tras la adición de cuajo. Tampoco destruye la actividad de la fosfatasa. Además, se aplica para aumentar la vida de la leche cruda antes de su procesamiento.
- Pasteurización: consiste en un calentamiento alto con una duración corta (85 °C durante 2-3 s), calentamiento flash en intercambiadores de calor de placas (72-75 °C) durante 15-30 s) o calentamiento largo (63-66 °C durante 30 minutos) con agitación y posterior enfriamiento.
- Calentamiento ultra alto (UHT): el cual existe el calentamiento indirecto (136-138 °C durante 5-8 s) en intercambiadores de calor tubulares o de placas, o el calentamiento directo (140-145 °C) durante 2-4 s) por inyección de vapor, seguido de envasado aséptico.
- Proceso bactotherm: el cual utiliza una combinación de esterilización por centrifugación en bactófugas ( 65-70 °C) y calentamiento UHT del sedimento separado (2-3% de la leche) con recombinación subsiguiente. Es una forma de evitar un calentamiento total de la leche favoreciendo así el sabor. La vida útil se encuentra en unos 8-10 días.
- Esterilización: la cual tiene un calentamiento alto (107-115 °C durante 20-40 min o 120-130 °C durante 8-12 min) en autoclave, una vez envasada.

Consecuencias causadas por el tratamiento térmico de la leche:

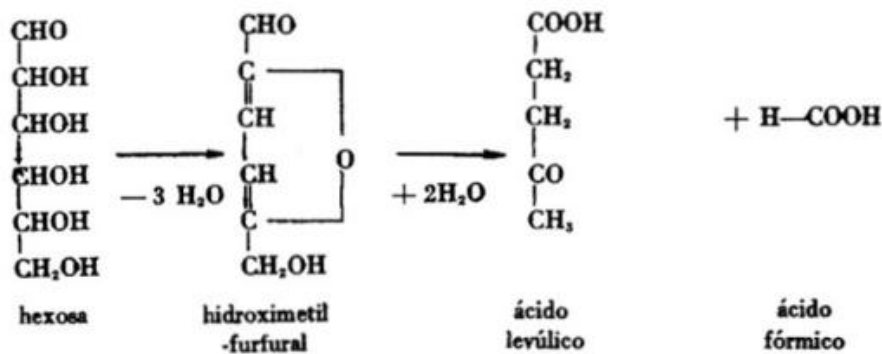
El tratamiento térmico para la leche puede conllevar una serie de consecuencias que afectan a los componentes de la misma.

- La lactosa recibe cambios cuando se somete a un tratamiento térmico. La lactosa se isomeriza, produciendo lactulosa y epilactosa, en caso de tratar la leche con temperaturas de más de 100 °C. También se puede dar el caso cuando la leche se almacena con temperaturas superiores a 30 °C durante un periodo de tiempo largo. Los niveles medios de lactulosa presentes en la leche sometida a un tratamiento térmico son los siguientes:

Producto	Nivel medio de lactulosa
Leche pasteurizada (mg/L)	70
Leche UHT directo (mg/L)	200
Leche UHT indirecto (mg/L)	400
Leche esterilizada (mg/L)	800
Leche en polvo (mg/kg)	170

**Tabla 3.** Niveles medios de lactulosa que pueden encontrarse en leche tratada térmicamente. Fuente: *Productos lácteos tecnología, edicions UPC, página 73.*

La lactosa también puede degradarse a causa del calentamiento de la leche y en consecuencia, una parte de la lactosa se hidroliza formando hidroximetilfurfural, ácido levúlico y ácido fórmico.



**Figura 5:** Degradación de la lactosa por tratamiento térmico. Fuente: *Productos lácteos Tecnología, edicions UPC, página 73.*

- Desarrollo de la reacción de Maillard entre la lactosa y grupos amino (lisina), que durante la esterilización producen el pardeamiento y la formación de hidroximetilfurfural (HMF). La reacción de Maillard se produce cuando las proteínas ricas en lisina y los azúcares reaccionan cuando son

sometido a calor. Cuanto mayor sea el tamaño de las moléculas de los grupos carbonilo o amino, mayor será la velocidad de la reacción. Cuanto más elevado se el pH más fácil se producirá la reacción de Maillard (a pH 9-10, la reacción de Maillard alcanza su óptimo). La furosina es un aminoácido que se forma en la primera fase de la reacción de Maillard y gracias a ella se puede usar para conocer el grado de tratamiento térmico sufrido por la leche. El HMF es uno de los compuestos intermedios de la fase final de dicha reacción.

Producto	Niveles medios de furosina
Leche UHT directo (mg/L)	10-50
Leche UHT indirecto (mg/L)	20-90
Leche esterilizada (mg/L)	70-130

**Tabla 4.** Niveles medios de furosina para leches sometidas a tratamiento térmico. Fuente: Roser Romero del Castillo Shelly y Josep Mestres Lagarriga, *Productos lácteos Tecnología, edicions UPC, 2004, página 85.*

Producto	Niveles medios de HMF
Leche nativa ( $\mu\text{mol/L}$ )	Inferiro a 5
Leche UHT directo ( $\mu\text{mol/L}$ )	3-10
Leche UHT indirecto ( $\mu\text{mol/L}$ )	5-20
Leche esterilizada ( $\mu\text{mol/L}$ )	10-30

**Tabla 5.** Niveles medios de HMF para leches sometidas a tratamientos térmicos. Fuente: *Productos lácteos Tecnología, edicions UPC, página 76.*

- Degradación de las vitaminas B<sub>1</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub>, ácido fólico y vitamina C. La producción de leche UHT puede generar pérdidas de vitaminas entre el 10-30%. La esterilización destruye un 50% las vitaminas B<sub>1</sub>, B<sub>6</sub>, ácido fólico, y hasta un 100% de la vitamina C y B<sub>12</sub>. También puede destruirse un 10% de la tiamina cuando es sometida al tratamiento de pasteurización y hasta un 20% cuando es sometida a tratamientos UHT. Los tratamientos UHT experimentan pérdidas del 10% del contenido en ácido nicotínico y ácido pantoténico, y pasados 6 semanas de almacenado de la leche UHT el contenido en ácido nicotínico y ácido pantoténico se observan pérdidas del 20%. La vitamina A puede tener una pérdida del 50% a los 15 días, en las leche UHT. El tratamiento UHT determina pérdidas del contenido en lisina entorno al 0,1-1% pero en leches esterilizadas puede alcanzar unas pérdidas que van del 2-5%.
- Formación de lactonas y metilcetonas a partir de glicéridos esterificados con cetoácidos grasos o hidroxí.

- Alteraciones de la membrana del glóbulo graso que tiene influencia en el proceso de formación de la crema.
- Caseína es una proteína que no se coagula por el calor. La coagulación ocurre sólo a temperaturas muy altas próximas a los 95-110 °C. La temperatura y el pH influyen sobre la asociación de la caseína y causan alteraciones de la micela.

## Sedimentos de la leche:

La leche cuando se encuentra con una superficie cuya temperatura es superior a 75 °C, se produce una precipitación de algunos componentes lácteos. Por un lado, supone la pérdida de determinados componentes de la leche, y por otro, se producen modificaciones de la conductividad térmica de la superficie y de la pérdidas de carga de la conducción.

En la leche se pueden encontrar los siguientes tipos de sedimentos:

- **Tipo A:** que son sedimentos blandos, esponjosos y de color blancos que se empiezan a formar con temperaturas superiores a los 75 °C, alcanzando un valor máximo de temperatura de 95-110 °C. Están formados por un 50-70% de proteínas y un 30-40% de minerales. La parte proteica está constituida en mayor proporción por beta-lactoglobulina (en caso de temperaturas no mucho más altas de 75 °C), y por caseína en caso de temperaturas mucho más elevadas. La fracción mineral está formada en un 90% por calcio y fosfatos. La relación calcio-fosfato es próxima a 1,5 lo cual indica la probabilidad de la aparición de fosfato tricálcico.
- **Tipo B:** en este caso los sedimentos son duros con aspecto granulado. Están constituidos por un 70-80% de minerales y un 10-20% de proteínas. Aqueste tipo de sedimento aparece con temperaturas superiores a 120 °C.

## Descripción del proceso:

### Etapa de la recepción, inspección y control de la leche:

La leche se almacena en tanques refrigerados por debajo de los 4 °C y posteriormente estos tanques de almacenamiento pasan a los camiones cisterna isoterms o auto refrigerantes para transportar la leche hasta la planta de procesamiento lácteo.

Durante la recepción se va a inspeccionar la cantidad recibida a través de un medidor de volumen o peso y se realizarán controles de la calidad física-química y higiénica. La leche deberá estar libre de antibióticos ya que la presencia de estos inhibiría el desarrollo de los microorganismos que se llevarán a cabo en la etapa de la fermentación.

Esta etapa del proceso se prepara y se determina la cantidad de leche cruda (materia prima) que se recibe a través de un medidor de volumen y se aseguran también la calidad higiénica, las propiedades físico-química y las propiedades organolépticas (sabor y olor) de la leche. También se determina la acidez, la densidad, el pH, control de limpieza, prueba de resazurina y de proteínas, recuento de células somáticas, recuento del número de bacterias (método de Leesment), determinar el contenido de grasa de la leche (método de Gerber), punto crioscópico y detección de residuos antibióticos en la leche. Para la selección de la materia prima, para la posterior elaboración del yogur, se va a utilizar leche entera o desnatada de vaca.

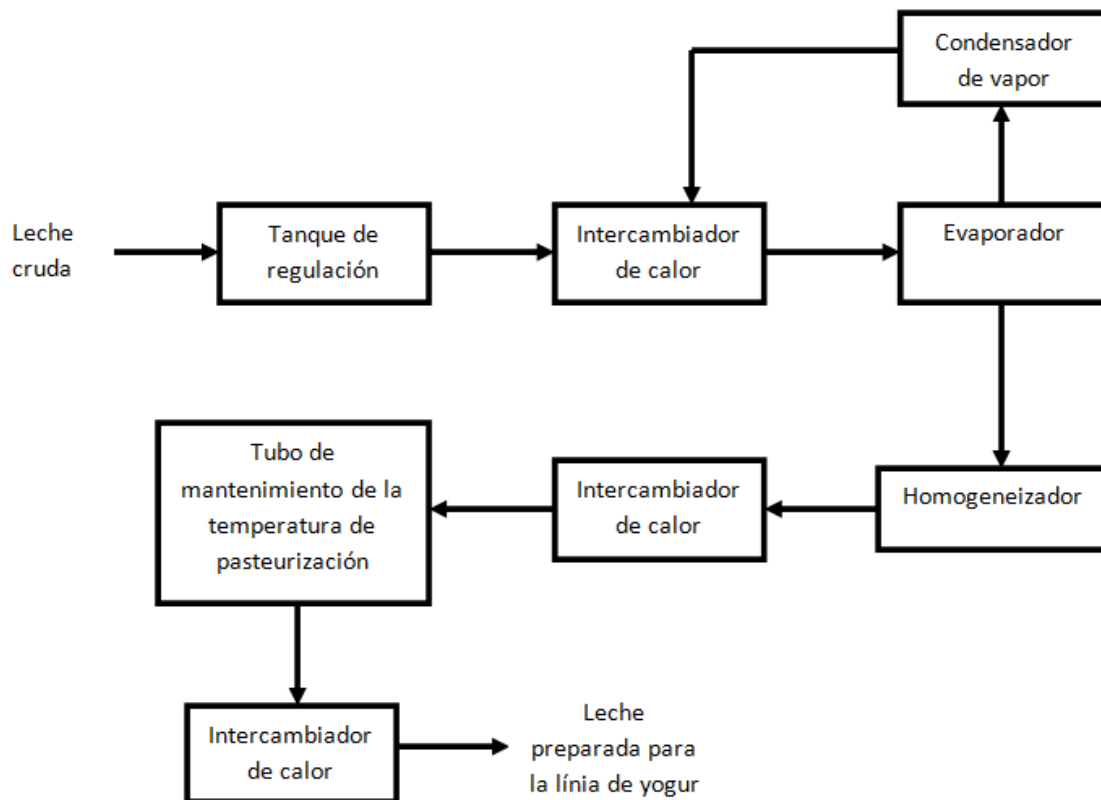
Mediante un filtro (tamiz perforado de acero inoxidable) se separan los contaminantes que pueda tener la leche cruda recibida. A continuación, la leche será transportada mediante un sistema de tuberías para llegar a un desgasificador donde se elimina el aire presente en la leche. Además permite evitar posibles errores de en el proceso de normalización de la grasa.

Posteriormente a la filtración, se lleva a cabo la desgasificación mediante un desaireador el cual resulta muy importante ya que si no se elimina el aire acumulado en la leche cruda, entonces podría dar lugar a reacciones de oxidación durante los tratamientos térmicos. Una vez desgasificada la leche se mide el volumen con un caudalímetro.

A continuación se lleva a cabo la clarificación con la finalidad de eliminar las partículas orgánicas e inorgánicas que tenga la leche. También se eliminarán los aglomerados de proteínas no deseables o coágulos que se pueden formar en la leche cruda por la acción de algunos microorganismos. Las centrifugas clarificadoras serán útiles para separar la suciedad de la leche mediante su sistema de centrifugación.

Debido a que la leche tendrá que ser almacenada más de 1 día, será necesario realizar un tratamiento térmico, llamado termización. En este paso se hace pasar la leche por un termizador (intercambiador de placas) para darle un tratamiento térmico suave para inhibir el crecimiento bacteriano en la leche para así poder mantenerla almacenada hasta su posterior procesado. En este tratamiento térmico (57-68 °C durante 15-20 segundos) debe ir acompañado de un enfriamiento rápido (a 4 °C) para inhibir dicho crecimiento bacteriano. La termización es un tratamiento menos fuerte que la pasteurización (tratamiento térmico que sucede en las etapas posteriores) pero suficiente para inhibir el crecimiento microbiano durante horas o días.

Finalmente se realiza un enfriamiento de la leche y se almacena en tanques isotérmicos de acero inoxidable con aislamiento para mantener una temperatura de 4 °C y con una agitación lenta.



**Figura 6:** Diagrama de bloques preliminar para los tratamientos previos para la leche antes de poder elaborar los yogures.

### Almacenamiento de la leche:

El almacenamiento de la leche se realizará en depósitos aislados con regulador de temperatura y en ellos se llevará a cabo el mezclado de la leche para tener una distribución uniforme de la grasa.

### Acondicionamiento de la leche:

El pretratamiento de la leche va a ser el mismo para cualquiera de los cuatros tipos de yogures estudiados. Este pretratamiento se estandariza el contenido en grasa y materia seca. La estandarización del contenido de materia seca se puede realizar en un evaporador al vacío pero para este proyecto se ha decidido realizar la estandarización del extracto seco de magro a través de la leche en polvo ya que el el método más usado y económico. Para ajustar el extracto seco magro se añade leche en polvo desnatada . En la estandarización de la leche normalizada (leche desnatada ya que va a ser el tipo de leche con la que se va a trabajar) se va a realizar en una centrífuga desnatadora.

A continuación se requiere de un depósito de regulación el cual podrá estar equipado por una unidad de mezcla ya incorporada en el depósito, con un recombinador continuo Primoda, con una tolva mezcladora o con una mezcladora en línea para la adición de los componentes minoritarios. Para este proyecto se va a usa

una mezcladora en línea, concretamente un mezclador de alto corte añadir los componentes minoritarios (citratos de calcio, vitamina D y el edulcorante E-955) ya que son termoestables y no se van a ver afectados por los tratamientos térmicos que van a venir a continuación.

En esta adición se puede introducir aire, por lo que se podría realizar otra desaireación con un desgasificador, para eliminar el oxígeno y los malos olores que puedan haber, antes de iniciar la etapa de homogeneización, pero como la unidad del mezclador de corte alto lleva incorporado un sistema de desgasificación entonces no se va a necesitar otra unidad de desgasificación.

Cuando la leche llega a la planta, se modifica su composición antes de ser utilizada para hacer yogur. Este proceso de estandarización se encarga de reducir el contenido de grasa y aumentar los sólidos totales. Una vez se produce la modificación, entonces se pasteuriza para matar las bacterias y se homogeneiza para que la grasa se disperse de manera uniforme.

## Especificaciones para la estandarización de la leche:

El acondicionamiento de la leche debe seguir las siguientes normas:

- Normalización del contenido en grasa de los yogures: se encuentra regulado por la Norma de Calidad para el yogur (RD 179/2003) la cual especifica el contenido en grasa de los yogures desnatados que debe ser menor del 0,5%, para los semidesnatados debe de estar entre un 0,5-2% y para el resto de yogures puede ser más del 2% en materia grasa.

Para estandarizar la grasa se pueden realizar los siguientes métodos:

1. -Eliminación, mediante la centrifugación, de la grasa de la leche.
2. -Mezcla de leche entera y leche desnatada.
3. -Adición de nata a leche entera o desnatada.

- Estandarización del extracto seco magro de la leche:

El extracto seco magro está compuesto por lactosa, proteínas y sales minerales. La norma de calidad española para el yogur regula el contenido en extracto seco magro diciendo que: "Todos los yogures tendrán, en su parte láctea, un contenido mínimo de extracto seco magro de 8,5% m/m". A pesar de estas indicaciones, el extracto seco magro suele ser un 10% superior al indicado por la Norma de Calidad con la finalidad de poder aportar mayor consistencia o dureza al gel y reducir o eliminar el fenómeno de la sinéresis.

Métodos de estandarización del extracto seco magro:

1. – Evaporación al vacío, ya que permite evaporar entre un 10-20% del volumen de leche obteniendo así un incremento del 1 al 2,3% en contenido de extracto seco magro. La leche se mantiene en ebullición hasta reducir su volumen en la cantidad deseada. En el mundo de la industria se sustituye por la concentración de la leche en condiciones de presión inferiores a la atmosférica ya que esto permite concentrar la leche sin degradarla térmicamente y lograr un ahorro energético si se realiza en un evaporador de múltiple efecto.
2. -Adición de leche en polvo o proteína en polvo, que puede ser entera o desnatada, entre el 1-3% siendo uno de los métodos más utilizados. Se recomiendan utilizar valores entre el 3-4% de leche en polvo, siendo la leche en polvo desnatada la más empleada. Según la normativa vigente la leche en polvo entera, semidesnatada o desnatada se podrá añadir en una cantidad máxima de hasta el 5% m/m en el yogur natural, y de hasta el 10% m/m en los otros yogures.
3. -Concentración por filtración mediante membranas en la que se utiliza la ósmosis inversa o la ultrafiltración. Este método permite enriquecer la mezcla base y consiste en hacer pasar la leche a través de una membrana porosa que retiene parte de sus componentes en función del tamaño del poro.

Los yogures también se les añaden sustancias en cualquier momento durante el proceso de elaboración aunque es recomendable añadirlas al principio para asegurarse que reciben el mismo tratamiento térmico que la leche asegurando así su calidad higiénica y su correcta homogeneización. Las sustancias, mencionadas anteriormente, que se pueden añadir según la norma de la calidad, son:

1. -Edulcorantes autorizados por el RD 2002/1995 (edulcorante E-955).
2. -Azúcares.
3. -Agentes aromatizantes autorizados solo para el yogur aromatizado.
4. -Gelatina para yogures con fruta o zumo o aromatizados.
5. -Almidones comestibles para yogures con fruta o zumo o aromatizados.
6. -Colorantes autorizados por el RD 2001/1995.
7. -Citratos de calcio y vitamina D.

## **Homogeneización:**



La homogeneización suele incrementarse unos 5 °C más respecto al tratamiento que se le haya aplicado en la unidad anterior y tiene una duración de unos 5 minutos.

A continuación la leche se lleva a un homogeneizador para dividir y dispersar los glóbulos de grasa de la leche y así evitar que asciendan a la superficie dando una mejor estabilidad del producto. La homogeneización consistirá en someter a altas presiones y temperaturas altas a la leche ( 20 MPa a 65 °C o 25 MPa a 70 °C) con la finalidad de disminuir el tamaño de las gotas de grasa de tal manera que se distribuyan de forma uniforme. A menor contenido en grasa y a mayor temperatura y presión, mayor será el grado de homogeneización. Se obtendrá un yogur más viscoso, más estable y con mejores propiedades organolépticas. La homogeneización permite evitar la formación de crema durante la etapa de incubación. La homogeneización se realiza en una sola fase preferiblemente antes del tratamiento térmico para evitar el riesgo de contaminación.

Las modificaciones físico-químicas que experimenta la leche para un proceso de homogeneización son:

- Disminución del tamaño de los glóbulos grasos y aumento del número de glóbulos grasos generando así una disminución de la aglutinación de la grasa y el color se vuelve más blanco ya que el gran número de glóbulos grasos hace aumentar la dispersión y reflexión de la luz. Se puede aumentar la lipólisis ya que la grasa se encuentra menos protegida.
- Aumento del contenido en fosfolípidos en la fase acuosa de la leche debido a la incorporación de material de membrana dando lugar a la posible formación de espuma en los tanques de incubación a causa de la agitación de la leche al bombearla.
- Producción de compuestos con grupos sulfhidrilo como consecuencia de la desnaturalización, producida en los tratamientos térmicos y por la homogeneización, de las proteínas del suero.
- Aumento de la estabilidad del coágulo, de la capacidad de retención de agua y de la viscosidad a causa de las interacciones proteína-proteína y proteína-grasa.

## Pasteurización:

A continuación se lleva a cabo la pasteurización. En esta etapa se elimina la mayor parte de la flora bacteriana que contiene la leche. Se consigue la inactivación de enzimas que afectan las características organolépticas del yogur. A través de la desnaturalización de las proteínas se liberan péptidos que favorecen el desarrollo de los microorganismos inoculados. Después de la pasteurización, la leche se enfría hasta los

40-45 °C para se produzca el crecimiento de los microorganismos *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*. Este enfriamiento se puede realizar pasando la leche por un intercambiador de placas o en el mismo tanque de pasteurización, se hace pasar agua fría por la camisa del reactor. Posteriormente al enfriamiento, la leche se bombea hasta llegar a los depósitos de incubación en sucesión.

Los tratamientos térmicos de la pasteurización más utilizados a escala industrial son: pasteurización baja la cual la leche se somete a unos 60 °C durante 30 minutos, pasteurización intermedia cuya temperatura oscila entre los 70-75 °C durante 15-30 segundos, y la pasteurización alta que trabaja con una temperatura de 83-85 °C durante 15-20 segundos. Actualmente y para el desarrollo de este proyecto se va a utilizar una pasteurización intermedia ya que se trata de un proceso muy rápido, es decir, elevada capacidad de producción, y además utiliza una temperatura suficiente para la destrucción de cualquier microorganismo patógeno. Mediante la pasteurización intermedia existe un ahorro energético comparado con los otros dos. Para la producción de yogures, en este proyecto se va a utilizar la pasteurización intermedia HSTS.

Con la pasteurización se consigue la destrucción de los microorganismos patógenos, aumenta la estabilidad del coágulo y disminuye la sinéresis durante el almacenamiento del yogur gracias a la calor sometida sobre las proteínas lácteas. También reduce el riesgo de separación de suero en el producto acabado.

La pasteurización se realizará en intercambiadores de calor de placas cuando la producción es en continuo, o en tanques multiuso en el caso que sea discontinuo. Estos tanques están dotados de camisa de circulación de agua caliente o fría con regulación de la temperatura y sistemas de agitación, con los que se puede hacer la mezcla base, la pasteurización y la fermentación. Para este proyecto se han a utilizar intercambiadores de calor de placas ya que se trabaja en una producción en continuo.

Una vez finalizada la pasteurización, la leche se enfría hasta la temperatura de fermentación y se añade el cultivo iniciador el cual se realiza en depósitos de mezcla en caso de ser yogur fermentado en el envase o en el tanque de fermentación en caso de ser yogur de fermentación en masa.

Efectos del tratamiento térmico sobre las proteínas:

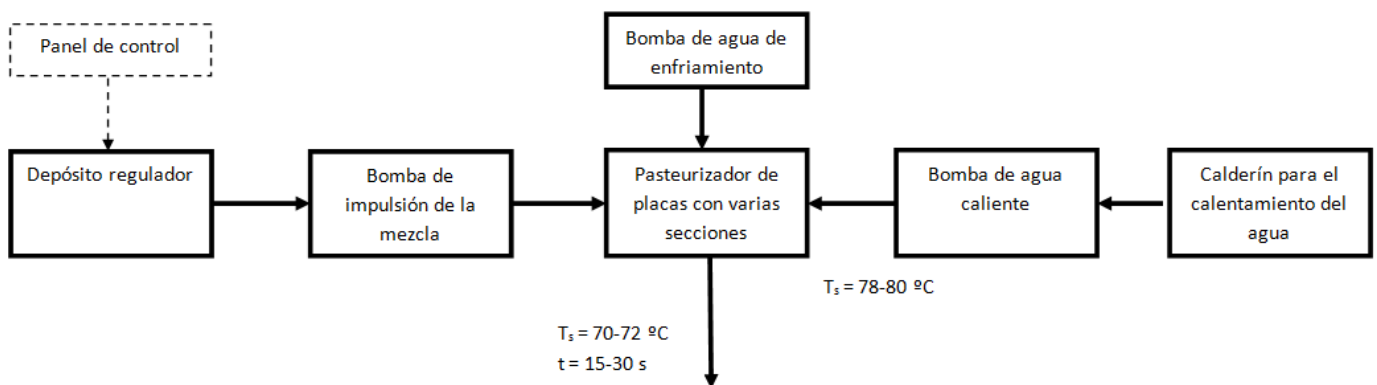
- Las caseínas son termoestables.
- Las proteínas del lactosuero se desnaturalizan a partir de los 65 °C y por encima de los 80 °C se produce la unión entre la beta-lactoglobulina y la k-caseína presente en la micela de caseína.
- Destrucción de la aglutininas.

La unidad completa de pasteurización está equipada con la siguiente maquinaria:

- Depósito regulador de entrada.
- Bomba de impulsión de mezcla.

- Pasteurizador de placas con cinco secciones.
- Equipo de calentamiento.
- Válvula de circulación.
- Panel y elementos de control.
- Tubería y accesorios de unión para todos los componentes de la planta.

El proceso de pasteurización comienza cuando la leche llega al taque regulador y mediante una bomba la envía al pasteurizador de placas para calentar en contracorriente con la leche que ya sale pasteurizada. En la última sección se produce un salto térmico de hasta 70-75 °C, en circulación alternativa con agua caliente a 78-80 °C la cual es calentada por vapor en el calderín, siendo impulsada a través de una bomba. En la penúltima sección del pasteurizador se mantiene la temperatura de 70-75 °C durante 15-30 segundos. Posteriormente sale la leche la cual se irá enfriando. Para esta planta de pasteurización, la existencia del panel va a permitir controlar y registrar las temperaturas durante todo el proceso.



**Figura 7:** Diagrama de bloques para la unidad de pasteurización de la leche.

## Separación y estandarización de la nata:

La nata es el producto lácteo rico en materia grasa separado de la leche por decantación o centrifugación, que adopta la forma de emulsión del tipo de grasa en agua. El porcentaje grasa de la nata tiene variaciones.

Composiciones de la nata:

- Doble nata: La que contenga un mínimo de materia grasa del 50% en masa sobre masa de producto final.
- Nata: La que contenga entre un 30-50% de materia grasa ( esta nata es la que va estar presente en este proyecto).

- Nata delgada o ligera: La que contenga entre un 12-30% de materia grasa.

Para el proceso de separación de la nata de la leche habrá que elegir el contenido en grasa de la nata, la ubicación de la operación, antes o después de la pasteurización, escoger la temperatura de separación y regular el contenido en grasa.

El desnatado permite obtener a partir de la leche, dos productos: la leche desnatada y la nata. En este proceso lo realizan fuerzas centrífugas llamadas desnatadoras. La higienización es obligatoria para cualquier proceso de tratamiento para la leche y productos lácteos ya que permite eliminar las impurezas, insolubles que la leche pueda traer, y para para ellos se requiere de una fuerza centrífuga.

Para este proyecto el desnatado se va a realizar para obtener nata. La concentración de la nata es del 82-84%. La nata no se puede conseguir directamente de la leche con concentraciones tan altas es por eso que se llevan a cabo dos etapas.

Primero se obtiene una nata del 40% (concretamente del 42% para el sistema estudiado) y después se concentra dicha nata en unas centrífugas determinadas para limitar las pérdidas de grasa en la leche desnatada. El contenido en grasa de la nata va a depender del tipo de centrífuga, de la temperatura de separación y de los caudales de leches desnatada y nata.

La composición de la leche desnatada depende de la calidad de la leche inicial (especialmente de los glóbulos grasos a la salida de la ubre) y de la cantidad de glóbulos grasos eliminados a causa de los procesos mecánicos de la leche (agitación, bombeo, paso por tuberías con mucha velocidad, paso a través de válvulas, etc.) En condiciones normales las pérdidas varían entre un 0,3-1 g/L. El promedio es de 0,5 g/L.

El desnatado se puede realizar antes o después de la pasteurización. En caso de realizarlo antes de la pasteurización, la nata que se obtiene es cruda, por lo que se tiene que enfriar y pasteurizar rápidamente. En cambio, si se realiza después de la pasteurización, la nata obtenida ya se va a encontrar libre de microorganismos patógenos y su flora banal se verá reducida, por lo que a la salida de la desnatadora solo es habrá que enfriarla de forma rápida. Esta operación solo se puede llevar a cabo con leches de buena calidad y con desnatadoras autodeslodantes (centrífugas clarificadoras) para que vayan eliminando los fangos que se obtienen de la higienización.

Con el objetivo de evitar el crecimiento de microorganismos patógenos, la nata debe someterse a un tratamiento térmico.

- La nata pasteurizada se somete a 75-85 °C durante 15-20 segundos para asegurar la eliminación total de los microorganismos patógenos. Es un tratamiento térmico suave por lo que las propiedades organolépticas de la leche apenas experimentan modificaciones. Cuanto mayor sea el contenido en grasa mayor debe ser el tratamiento térmico. Una vez concluida la etapa de pasteurización, la nata se enfría a 5 °C para su conservación. Esta nata se puede congelar posteriormente a -18 hasta -30 °C en el centro de su masa, pudiéndose conservar así hasta 6 meses si la nata es congelada a una temperatura de -18 °C, y hasta 18 meses si la nata es congelada a -30 °C.

Temperatura ( °C)	Tiempo (s)
Nata delgada (75-80)	15
Nata (80-85)	15
Doble nata (85-90)	15-20

**Tabla 6.** Temperatura de pasteurización de los distintos tipos de nata. Fuente: Nuevo manual de industrias alimentarias, página 131.

- Nata UHT es la que se somete a un proceso en continuo a una temperatura de 132 °C durante 2-4 segundos para lograr destruir todos los microorganismos patógenos y la inactividad de sus formas de resistencia (esporas). Finalmente se envasa en condiciones asépticas.
- La nata homogeneizada es la nata esterilizada, UHT o pasteurizada la cual se ha sometido a un proceso mecánico de división de los glóbulos de grasa para formar una emulsión más estable. Esta nata tiene una apariencia más llamativa (más viscosa y brillante) para el consumidor.
- La nata esterilizada es la sometida en el mismo envase en que se suministra al consumidor, a un calentamiento de 108-116 °C durante 20-45 minutos para así eliminar prácticamente todos los microorganismos y la inactivación de sus formas de resistencia.

Tanto la nata esterilizada como la nata UHT tienen una vida útil de hasta 12 meses. La nata pasteurizada y luego enfriada tiene una vida útil de hasta 25 días.

El proceso de desnatado de la leche para este proyecto se va a realizar antes de la etapa de pasteurización.

Trabajar con temperaturas altas entre 50-55 °C se puede obtener natas concentradas con pérdidas de grasa mínimas en la leche desnatada pero trabajar con temperaturas de 55 °C disminuye el riesgo de lipólisis ya que la lipasa natural de la leche se desnaturaliza. Por otro lado, con temperaturas superiores a 60 °C la separación no mejora debido al alto riesgo de fragmentación de los ácidos grasos. La precipitación de proteínas por el calor contamina los discos de la centrífuga.

### Procedimiento a partir del depósito de almacenamiento:

La leche enfriada a 4 °C procedente del depósito de almacenamiento para al depósito de regulación y posteriormente a través de una bomba envía dicha leche a las dos secciones del pasteurizador de placas HSTS, donde se precalienta a unos 65 °C y a continuación pasa a la centrífuga de discos (desnatadora) para realizar la separación de la nata de la leche. La nata se pasteuriza en el intercambiador de calor de placas que tiene la unidad de pasteurización (sección regenerativa). Una parte de la nata se mezcla nuevamente

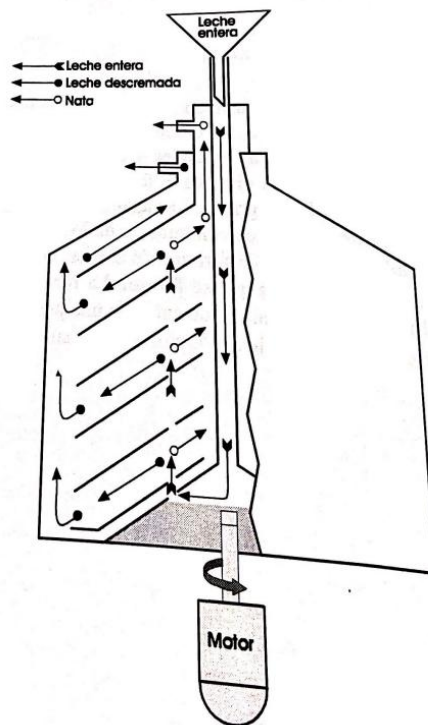
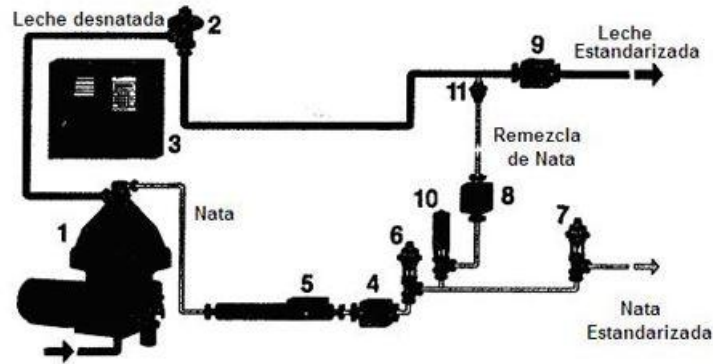
con la leche para lograr tener leche estandarizada en su contenido en grasa, y se homogeneiza en homogeneizador de alta presión, volviendo a la última sección del pasteurizador de placas, donde se alcanza una temperatura de 72-75 °C durante 15-30 segundos, gracias a la retención en el depósito. En este depósito la leche pasteurizada vuelve a pasar por las dos primeras secciones del pasteurizador de placas, donde cede calor a la leche entrante, enfriándose hasta 4-6 °C. El densímetro va a permitir regular el contenido en grasa de la nata. Solo se regulará la cantidad de nata necesaria para estandarizar la leche al contenido graso deseado.

Por otro lado, el proceso de higienización de la leche con centrifugas de alta velocidad va a permitir una separación más rápida. En una decantación de la leche en un recipiente, la nata asciende por su menor peso, formando una capa en la parte superior.

La presión de la leche desnatada en la centrifuga se mantiene constante gracias a la válvula de modulación. Al recibir las señales de los transmisores, el equipo del panel de control calcula el contenido en grasa en relación con los valores prefijados y los caudales y rápidamente transmite señales de control a las válvulas de modulación de caudal. El contenido de nata procedente de la separadora se mide con un transmisor de caudal y su contenido en grasa con un transmisor de densidad (densímetro). El caudal de nata se regula con una válvula de modulación. En la línea de nata restantes, una segunda válvula de modulación regula su caudal, mientras que la cantidad de nata de remezcla se mide con un transmisor. El caudal de leche estandarizada se mide con otro transmisor. La válvula de corte se cierra cuando se va a producir nata y leche estandarizadas.

Equipo tecnológico completo:

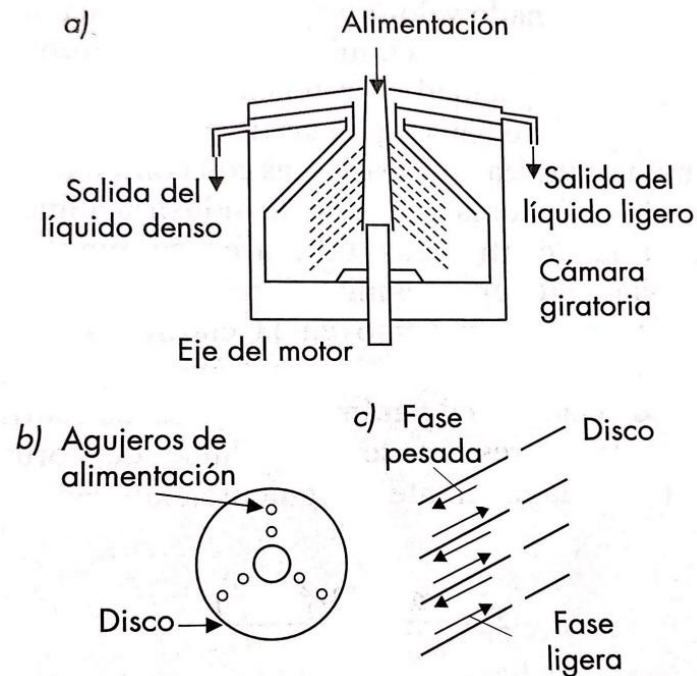
1. Separadora.
2. Válvula de modulación de presión constante para leche desnatada.
3. Panel de control con módulo de operación y registrador.
4. Transmisor de caudal para nata.
5. Transmisor de densidad para nata.
6. Válvula de modulación para nata.
7. Válvula para nata sobrante.
8. Transmisor de caudal para remezcla de nata.
9. Transmisor de caudal para leche estandarizada.
10. Válvula de corte para remezcla de nata.
11. Válvula de retención.



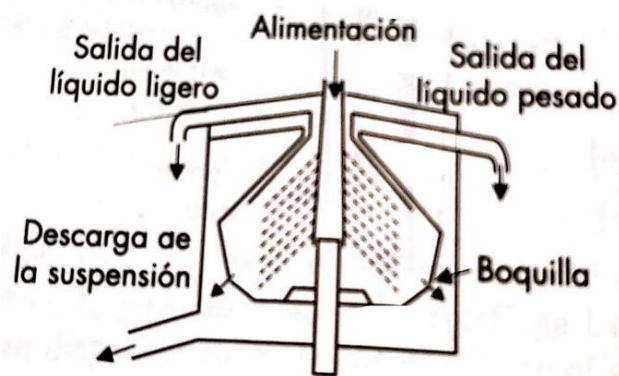
**Figura 8:** Ilustración esquemática de la desnatadora centrífuga. Fuente: Tecnología Productos lácteos, página 66.

Las centrífugas de discos van a ser útiles para el desnatado de la leche. Están formadas por una cámara cilíndrica, de diámetro mayor que la altura, que gira mediante un motor situado en la parte inferior. En el interior de la cámara existen unos troncos de cono metálicos (discos) cuyo diámetro varía de 10-80 cm y se encuentran separados con una distancia entre 0,5-3 mm. La alimentación se realiza por la parte superior a través de una conducción central que la deposita en el fondo de la cámara y asciende por la pila de discos que están perforados. Por acción de la fuerza centrífuga, la suspensión ascendente se introduce en los espacios que hay entre los discos, circulando la fase más densa hacia el exterior por la parte inferior de los discos, mientras que la más ligera lo hace hacia el centro por la parte superior de los discos. Los líquidos separados se extraen por la parte superior a través de vertederos independientes concéntricos. Los discos permiten reducir las distancias de sedimentación, es por ello que las velocidades de giro están entre 3000-10000 rpm. Los sólidos que se van acumulando deben ser retirados manualmente y estas centrífugas de discos pueden retener sólidos entre 1-20 kg.

Cuando el contenido en sólidos de la suspensión es superior al 2%, se pueden utilizar centrífugas de discos con sistema de extracción de sólidos, los cuales contienen unas boquillas situados en la periferia de la cámara giratoria por las que se extrae de forma continua una masa muy espesa con elevado contenido en sólidos. También cabe la posibilidad de utilizar válvulas que se abran automáticamente cada cierto tiempo. Con este equipo tecnológico se pueden centrifugar suspensiones con contenidos en sólidos de hasta 20-25%.



**Figura 9:** Centrífuga de discos: a) conjunto ensamblado, b) detalle de un disco (vista en planta), c) esquema de la circulación de las dos fases fluidas a través de los espacios entre discos. Fuente: Ingeniería de la industria alimentaria, página 100.



**Figura 10:** Centrífuga de discos con boquillas para la descarga continua de sólidos. Fuente: Ingeniería de la industria alimentaria, página 100.

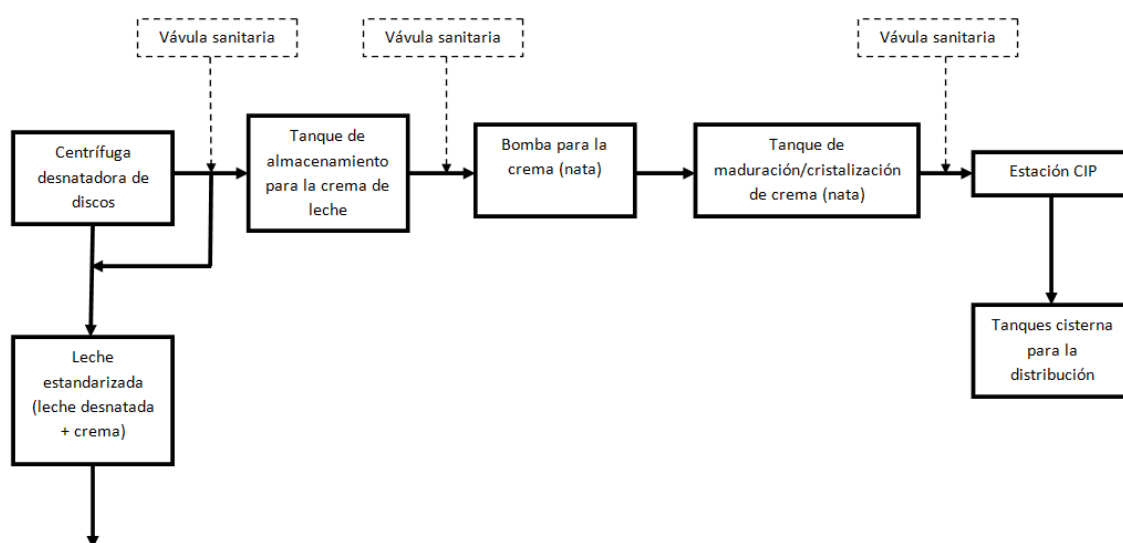


## Tratamiento higiénico y de conservación para la nata:

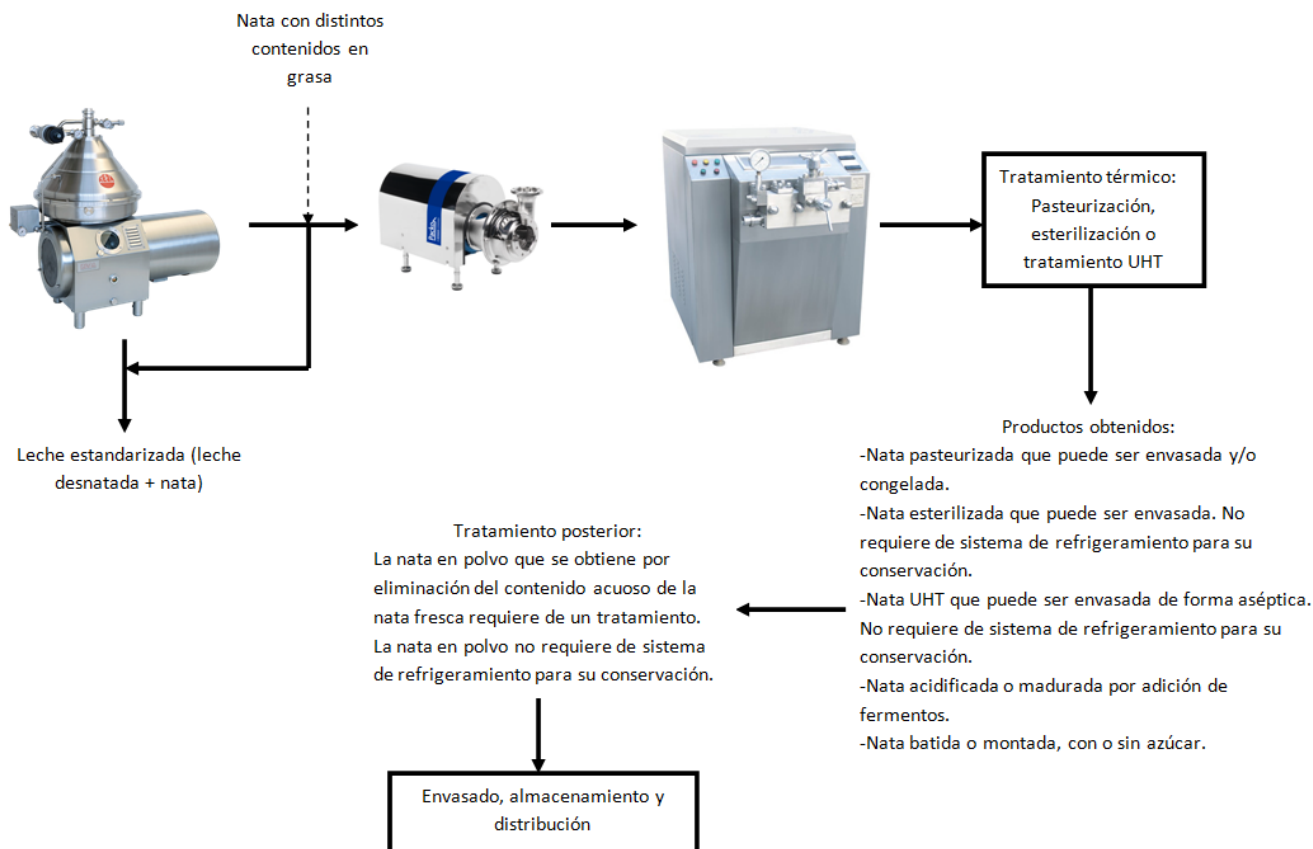
La nata pasteurizada, nata esterilizada en el envase, nata UHT. El tratamiento térmico usado para cada caso dependerá del porcentaje de grasa de la nata. Las natas tratadas térmicamente se conservan en envasados bajo presión de gases inertes. La nata pasteurizada se puede comercializar congelada y cualquiera de las natas anteriores se pueden homogeneizar, montar, azucarar, aromatizar, acidificar y adicionar frutas.

Aditivos que se le pueden añadir a la nata según el RD 142/2002 de 1 de febrero son:

1. En la nata entera pasteurizada en dosis *quantum sati*: alginato sódico (E-401), alginato potásico (E-402), carragenatos (E-407), carboximetilcelulosa sódica (E-466), mono y diglicéridos de ácidos grasos (E-471).
2. En natas pasteurizadas, esterilizadas, UHT y nata batida en dosis máxima de 5 kg/kg solos o en combinación: ácido fosfórico y fosfato de potasio, calcio, sodio y magnesio (E-338, E-339, E-340, E-341 y E-471), difosfatos, trifosfatos y polifosfatos (E-450, E-451 y E-452).
3. En natas esterilizadas: sucroésteres de ácidos grasos (E-473) y sucroglicéridos (E-474) en dosis máxima de 5 kg/kg solos o en combinación.



**Figura 11:** Ilustración detallada del proceso que experimenta la nata procedente de la grasa de la leche hasta llegar a los tanques cisterna.



**Figura 12:** Diagrama de bloques de la elaboración de la nata a partir de la centrifuga desnatadora de discos.

## Tratamiento para la esterilización:

En la esterilización se trabaja con elevadas temperaturas (135-150 °C) a corto plazo (3-4 s). El calentamiento y el enfriamiento son instantáneos. El tratamiento llevado a cabo se llama UHT (Ultra High Temperature) y tiene la finalidad de eliminar todos los microorganismos y esporas, y se envasa rápidamente en condiciones asépticas. Al realizar este calentamiento de forma rápida se preservan las características de la leche. La leche UHT sigue manteniendo un color blanco brillante.

En los tratamientos térmicos se producen pérdidas de vitaminas. En la esterilización UHT se destruye entre un 10-12% de las vitaminas B<sub>1</sub>, B<sub>12</sub>, y B<sub>6</sub> ácido fólico. La vitamina C se destruye hasta un 35% y la vitamina B<sub>2</sub> se destruye muy poco.

El calor produce el pardeamiento de la leche ya que se tienen lugar las reacciones de Maillard entre aminoácidos y lactosa. Las proteínas de la leche se desnaturalizan por el calor causando la coagulación de la leche esterilizada y las inmunoglobulinas del suero se inactivan.

El sabor de la leche queda alterado cuando es sometida por tratamientos térmicos debido a la formación de SH<sub>2</sub> y sus derivados. Las fosfatasa son las más termoresistentes.

## Funcionamiento de la producción de la leche UHT:

- Sistema directo de calentamiento UHT:

El Equipo tecnológico completo para el sistema directo UHT de esterilización está formado por tres fases de trabajo, que son: la esterilización previa, la producción y la limpieza final.

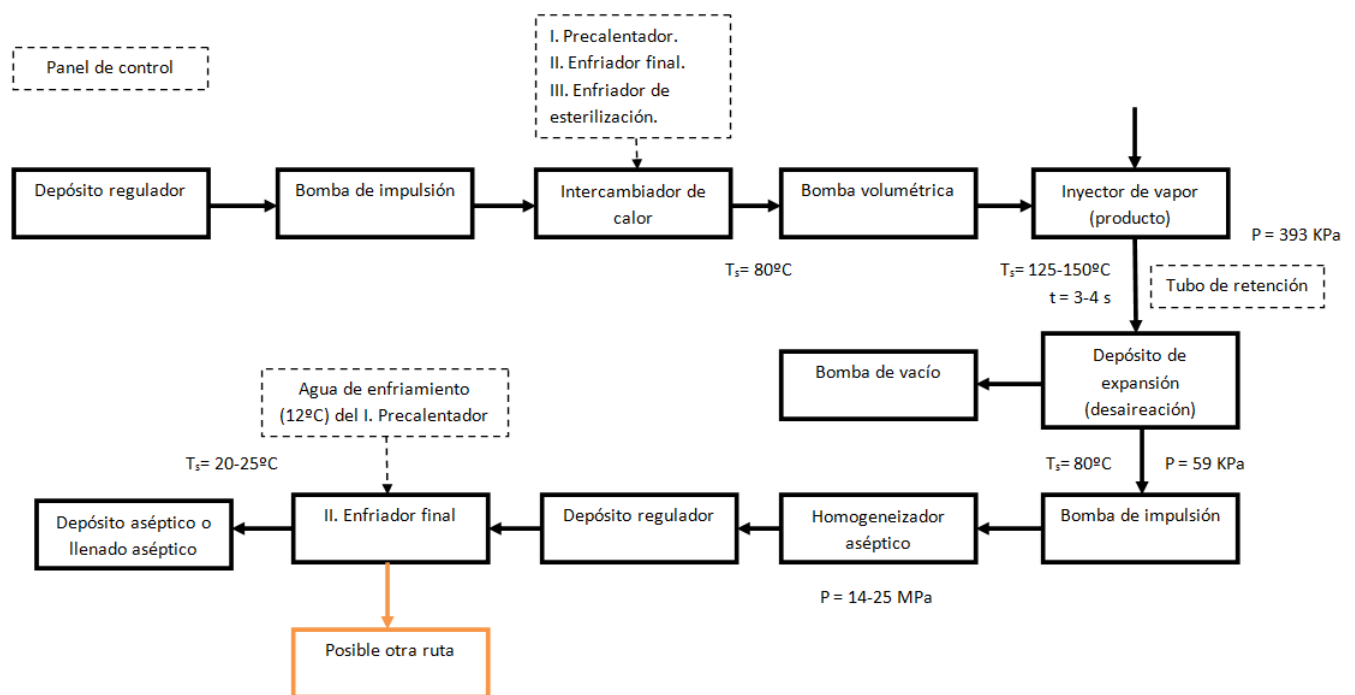
Antes de iniciar la producción, la planta debe estar previamente esterilizada, es por ello que se lleva a cabo una circulación de agua caliente durante 30 minutos como mínimo. A continuación se traslada la leche al depósito regulador. Una válvula de flotación va a permitir mantener un nivel constante de la leche en el depósito regulador. Mediante una bomba de impulsión envía la leche hasta un intercambiador de calor de placas para realizar un calentamiento a 80 °C en contracorriente con agua calentada por inyección directa de vapor. Esta agua ha sido utilizada anteriormente como líquido refrigerante en el condensador de la cámara de vacío. En la salida del condensador, el agua se encontrará a una temperatura de 70-80 °C, por lo que debe ser calentada por inyección de vapor hasta alcanzar los 80-85 °C. La presión de circulación de la leche, después del calentamiento a 80 °C, es aumentada a 393 KPa mediante una bomba volumétrica la cual mantiene constante el caudal. Posteriormente se realiza una inyección de vapor para elevar la temperatura de la leche a unos 135-150 °C durante 3-4 segundos y se consigue haciendo pasar la leche por un tubo en una bomba al vacío, cuyo volumen se encuentra calculado para ese determinado tiempo (3-4 s). Desde el tubo (bomba al vacío), la leche pasa a la cámara de vacío la cual un vacío para una temperatura del producto de 80 °C. Este vacío es mantenido gracias a una bomba de vacío. Cuando dicho producto entra en la cámara de expansión (para obtener un enfriamiento rápido), su presión pasa de los 393 KPa a 59 KPa y la temperatura pasará de los 135-150 °C a 80 °C, y el vapor utilizado en la inyección es eliminado. El contenido en sólidos del producto es el mismo que en el inicio de la entrada a la planta pero los gases incondensables son liberados. En el fondo de la cámara de desaireación (expansión) mediante una bomba aséptica (impulsión) sale el producto para dirigirse al homogeneizador aséptico. En él, los glóbulos de grasa son divididos y los aglomerados proteínicos formados durante el calentamiento son dispersados. Esto permite evitar la formación de sedimentos cremosos y proteínicos durante el almacenamiento del producto envasado.

La homogeneización se lleva a cabo en dos etapas a unas presiones de entre 14-25 MPa (la esterilidad del producto es mantenido constante ya que dicho aparato lleva incorporado cierres de vapor asépticos). Después de la homogeneización, el líquido se bombea hacia la etapa de enfriamiento 2 donde se alcanza una temperatura de entre 20-25 °C con agua de enfriamiento (a unos 12 °C) del precalentador. Dicho producto llega a un depósito aséptico o al equipo de llenado aséptico. También cabe la posibilidad de realizar una ruta la cual se usa una válvula que se encarga de trasladar al depósito regulador los excesos de producto esterilizado que no puede asimilar la llenado aséptica.

El proceso de limpieza se realiza con bombas dosificadoras de sosa y ácido, junto con sistemas, controles y tuberías. Las etapas de limpieza siguen el siguiente orden: con agua de enjuague, sosa al 2%, agua de enjuague, ácido al 1% y agua de enjuague.

Componentes tecnológicos de la esterilización UHT de la leche por el sistema directo de inyección de vapor:

- Depósito regulador de la entrada de leche.
- Bomba de impulsión de la leche.
- Intercambiador de calor de placas.
- Cabezal de inyección del vapor en la leche.
- Tubo de mantenimiento de la temperatura.
- Cámara sometida a la acción del vacío.
- Bomba de vacío.
- Bomba centrífuga.
- Homogeneizador aséptico.
- Depósito aséptico.
- Máquina envasadora aséptica.
- Sistema de limpieza CIP.

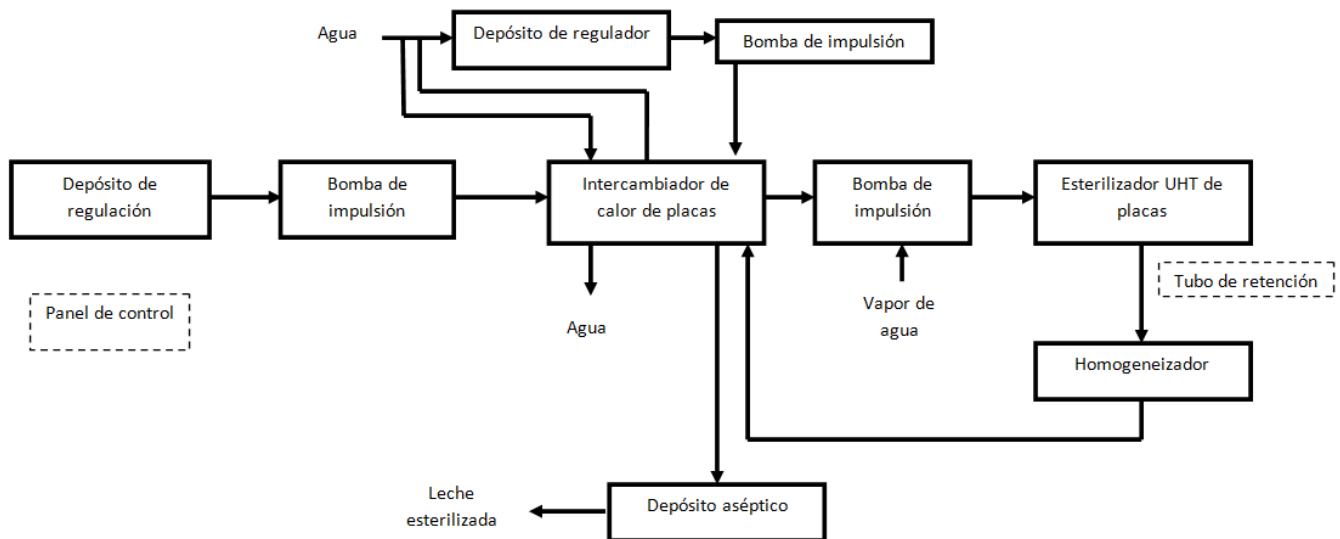


**Figura 13:** Diagrama de bloques para el sistema directo UHT de esterilización.

- Sistema indirecto de calentamiento UHT:

El vapor no está conectado directamente con la leche ya que se encuentra separado por intercambiadores de placas o tubulares de acero inoxidable. Con estos equipos no se rebasan los 145 °C y la subida y bajada de la temperatura no son instantáneos.

Este sistema se encuentra en uso debido a su bajo consumo energético y tiene las mismas fases de trabajo que para el sistema directo UHT. La esterilización previa se realiza con agua a 137 °C durante 30 minutos. El proceso empezaría una vez la leche llegara al depósito de regulación donde mediante una bomba de impulsión la envía a la sección 3 del intercambiador de calor de placas. Allí la leche se somete a un tratamiento térmico en contracorriente con la leche ya esterilizada que viene del homogeneizador, pasando de los 7 °C a los 66 °C. Es una forma de ahorrar energía. Desde la sección 3 del intercambiador de placas se envía la leche ya caliente a 66 °C a través de una bomba de alta presión hacia la sección 1 del intercambiador de placas hasta calentarse a 137 °C por medio de agua sobrecalentada. A continuación la leche pasa por el tubo de retención manteniendo la temperatura de 137 °C durante 4 segundos. Una vez allí la leche llega a la sección 2 del intercambiador de placas donde se enfría asépticamente de los 137 °C hasta los 70 °C a través del agua. Debido a que la leche pasa por la bomba de alta presión, su presión de circulación es más elevada que la presión de circulación del agua de enfriamiento a la sección 2 del intercambiador de calor de placas. Desde la sección de enfriamiento 2, la leche pasa al homogeneizador y la temperatura pasa de los 70 °C a los 76 °C, temperatura por la cual llega a la sección de enfriamiento 3 del intercambiador de calor. En esta sección la temperatura disminuye de los 76 °C hasta alcanzar unos 20 °C, gracias a la nueva leche que entra en la planta para ser esterilizada. Una vez ya se obtiene la leche, se envía a la máquina envasadora o a un depósito aséptico.



**Figura 14:** Diagrama de bloques para el sistema indirecto UHT de esterilización.

Condiciones microbiológicas que debe tener la leche esterilizada:

Antes de incubar:

- Prueba de estabilidad al etanol de 68 / v/v. en agua... satisfactoria.

Después de incubar:

- Envasado perfectamente cerrado, durante catorce días en una muestra a 31 °C (puede variar un grado arriba o un grado para abajo) y otra muestra durante 7 días a 55 °C.
- Gérmenes patógenos... Ausencia.
- Gérmenes vivos desarrollados en leche (el medio de cultivo deberá ser de actividad idéntica a la de la leche).....Máximo  $1 \cdot 10^2$  ml.
- Acidez (expresada en peso de ácido láctico por 100 ml)... Máximo 0,02 superior a la muestra sin incubar.
- Prueba de estabilidad al etanol de 68% v/v. en agua.... Satisfactoria.
- Examen organoléptico (calor, olor, aspecto físico)... Normal.

Condiciones microbiológicas y de conservación de la leche UHT:

Antes de incubar:

- Prueba de estabilidad al etanol de 68% v/v. en agua.... Satisfactoria.

Después de incubar:

- Envasado perfectamente cerrado, durante catorce días en una muestra a 31 °C (puede variar un grado arriba o un grado para abajo) y otra muestra durante 7 días a 55 °C.
- Gérmenes patógenos... Ausencia.
- Gérmenes vivos desarrollados en leche (el medio de cultivo deberá ser de actividad idéntica a la de la leche).....Máximo  $1 \cdot 10^2$  ml.
- Acidez (expresada en peso de ácido láctico por 100 ml)... Máximo 0,02 superior a la muestra sin incubar.
- Examen organoléptico (calor, olor, aspecto físico)... Normal.

- En el caso que la leche UHT presente gelificación y esta gelificación no sea debida a la presencia microbiana no se podrán aplicar los criterios de conservación.
- La leche UHT no requiere refrigeración para su conservación, aunque se recomienda conservarla en un lugar fresco.

## Inoculación:

Posteriormente la leche es inoculada con un cultivo iniciador (*S. thermophilus* y *L. bulgaricus* en relación 1:1) de fermentos lácticos que provienen de los depósitos de preparación de cultivo fermentativos tipo DVS (Direct Vat Set) muy concentrados y estandarizados. En una proporción del 1,5-3% y se envía a los depósitos de espera donde pasa a envasarse a 40-45 °C en una llenadora manteniendo dicha temperatura de 3 a 4 horas en las cámaras de incubación. Durante este período de tiempo tiene lugar el desarrollo de los *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, fermentos que dan sus características del yogur.

En el caso de querer obtener un yogur dulce y aromatizado entonces habrá que añadir, previamente a la fermentación, azúcar y los aromas deseados.

El almacenamiento del producto hasta llegar al consumidor se debe realizar por cadena de frío a 4-6 °C ya que temperaturas superiores podrían ocasionar la aparición de mohos y otros microorganismos.

El control del cultivo de fermentos requiere de una gran higiene y precisión. Es necesario la existencia de una sala especializada para la preparación de los cultivos. La inoculación de la leche con un cultivo concentrado disminuye el riesgo de contaminación ya que se evitan las etapas intermedias de propagación.

Cuando la leche de yogur ya ha sido pretatada y enfriada a la temperatura de inoculación, el procedimiento que viene a continuación va a depender del tipo de tratamiento que se vaya a realizar. La textura y sabor van a desarrollar un papel muy importante en la calidad del yogur.

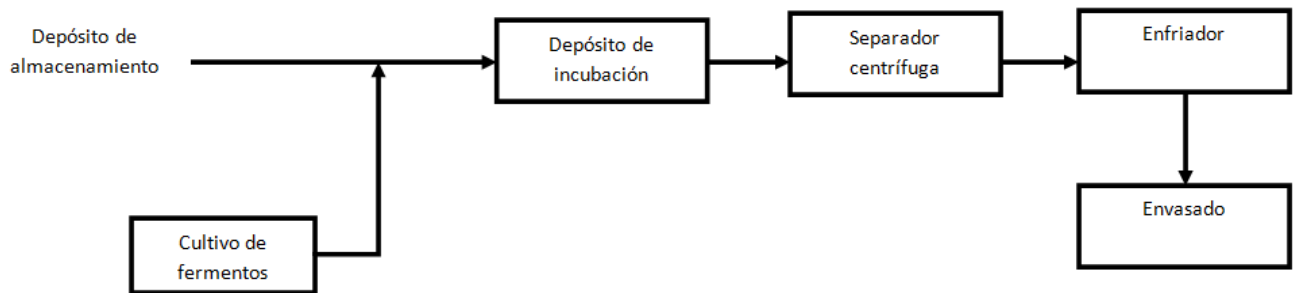
La obtención del yogur se debe principalmente a la perfecta simbiosis entre las dos bacterias lácticas implicadas en la fermentación del yogur. Los fermentos lácticos tienen tres efectos positivos para la elaboración del yogur.

El primer efecto es la acidificación del medio provocada por la degradación de una parte de la lactosa de la leche que se transforma en ácido láctico, dando lugar a una disminución del pH en el yogur, inferior a 4,6. La acidificación es muy importante para la elaboración del yogur ya que impide el desarrollo de gérmenes patógenos y otras bacterias no deseables.

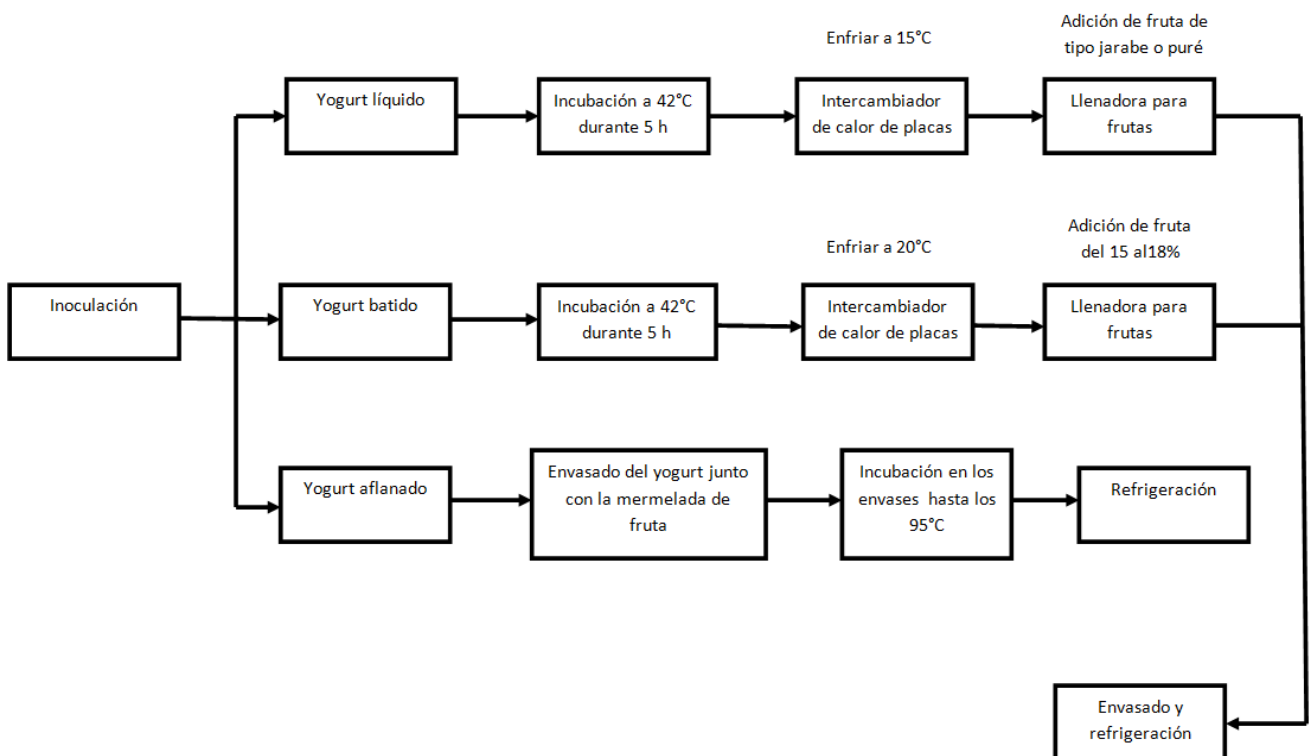
Un segundo efecto sería el desarrollo de las características organolépticas del yogur. La fermentación láctica que llevan a cabo los dos microorganismos bacterianos producen, además de ácido láctico, un conjunto de metabolitos secundarios (acetaldehído, acetona, etanol, butanona, diacetilo, 2-pentanona y varios ácidos orgánicos) que proporcionan el sabor y el aroma característicos del yogur. La proporción de este conjunto de metabolitos secundarios dependerá de la calidad de las cepas elegidas para la elaboración del yogur.

Como tercer efecto positivo que aportan las dos bacterias sería la obtención de la textura adecuada. La característica sensorial viene en función directa de las cepas empleadas en la elaboración del yogur.

La acción de las dos bacterias sobre las proteínas provoca la coagulación de la caseína y produce una proteólisis que induce en la digestibilidad del yogur. La presencia de la flora láctica “viva” tiene efectos antibacterianos sobre las especies patógenas que podrían contaminar dicho yogur. Este hecho hace que el yogur sea bastante estable e inocuo en términos de higiene.



**Figura 15:** Diagrama de bloques preliminar para la inoculación de los fermentos y maduración.



**Figura 16:** Diagrama de bloques general para los distintos métodos de obtención de los yogures a partir de la etapa de inoculación.



## Obtención de los cultivos iniciadores:

Los dos microorganismos bacterianos que intervienen en la elaboración de los yogures se pueden adquirir de centros de investigación, públicos o privados, o del departamento I+D de la misma industria. También se pueden conseguir de colecciones públicas de microorganismos, de fabricantes comerciales o del lactosuero.

Las dos bacterias implicadas en dicho proceso deben tener una capacidad de acidificación, una capacidad de modificar la textura, una capacidad de producir sustancias aromatizantes y sápidas, y además tienen que ser capaces de sobrevivir en condiciones extremas de acidez. Los cultivos iniciadores tendrán que mantener sus características y poderse desarrollar en la leche sin necesidades nutritivas adicionales.

Los cultivos iniciadores pueden ser cultivos de cepas únicas, cultivos múltiples y cultivos mixtos. En este caso, para la elaboración de los yogures se hablará de cultivos múltiples ya que se trata de una mezcla definida de cultivos de dos cepas de diferente tipo de microorganismo.

## Forma comercial en la que se presentan los cultivos iniciadores:

La empresa CHR HANSEN posee una gama de cultivos YoFlex<sup>®</sup> los cuales pueden ser utilizados en la producción de yogur batido, firme, líquido, bebidas de yogur diluido y helado de yogur.

En el mundo comercial, los cultivos iniciadores se presentan en forma de cultivos líquidos, congelados o liofilizados. Las características que presenta el yogur son el espesor en la boca, viscosidad, firmeza gelatinosa, sinéresis, permanencia en la boca, suavidad, acidez, sabor a yogur (acetaldehído), cremosidad y astringencia. La gama de cultivos YoFlex<sup>®</sup> tiene una serie de cultivos muy concentrados que se han desarrollado concretamente para aplicaciones termófilas con leche fermentada. Esta gama de cultivos presenta una gran diversidad con respecto a las propiedades organolépticas, la textura y la velocidad de acidificación. Seleccionando el cultivo correcto de la gama YoFlex<sup>®</sup>, se podrá dar al yogur la calidad y las características que se deseen.

### Cultivos DVS<sup>®</sup> de CHR. HANSEN:

Por otro lado, están los cultivos DVS<sup>®</sup> (Directos a cuba) de CHR. HANSEN los cuales se inoculan directamente en la leche fermentada. Los cultivos DVS tienen ventaja en términos de aroma, textura y velocidad de la actividad, frente a los cultivos de lactofermentador. Actualmente se están utilizando en las plantas de fabricación de productos lácteos.

Tienen muchas ventajas frente a los cultivos de lactofermentador:

- Con DVS el trabajador de la industria láctea no tiene que preparar el fermento en el lactofermentador en la industria.
- El cultivo DVS no genera desechos del cultivo del lactofermentador por sobreproducción o pérdidas en el sistema.
- Los cultivos DVS se pueden utilizar directamente del congelador.
- Estos cultivos proporcionan comodidad y reducción de costes.

- Ofrecen seguridad. El cultivo DVS es analizado completamente respecto a su actividad y contaminantes microbianos, antes de dejar CHR. HANSEN. No existe producción de lactofermento, por lo tanto, hay un menor riesgo de contaminación de fagos (virus que infectan exclusivamente a las bacterias).
- Rendimiento uniforme, es decir, la actividad estandarizada de los cultivos DVS significa una producción uniforme de ácidos y textura durante la fermentación. En este tipo de cultivo la ratio es controlado y es uniforme.
- Flexibilidad. La capacidad para usar cultivos DVS en distintas combinaciones que producen diferentes tipos de leches fermentadas sin la necesidad de tener instalaciones adicionales para el lactofermentador.
- Cultivos innovadores ya que ofrecen proporciones definidas de cepas que dan como resultado una gama amplia de cultivos DVS, y por lo tanto, la posibilidad de producir nuevos productos fermentados.

Para la utilización de los cultivos DVS primero deben de estar almacenados cerca de el área de producción y sacarlos del congelador justo antes de su utilización. No se deben de descongelar y se pueden inocular directamente al flujo de leche o a la cuba. La cuba tendrá que estar dotada de un agitador para potenciar la dispersión del cultivo.

Los cultivos DVS están fabricados en envases de cartón, de 500 g, con una capa interna que evita el deterioro de la mezcla de cultivos. Los cultivos congelados DVS están envasados en cajas de poliestireno con hielo seco, y deben mantenerse a  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Los cultivos liofilizados están disponibles en sobres blancos laminados que contienen una cantidad específica de unidades de actividad. Estos cultivos liofilizados se pueden enviar a temperatura ambiente durante hasta 10 días, pero deben ser almacenados siempre a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

En caso de almacenar los cultivos a  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  o temperatura inferior, la caducidad de los envases sin abrir es de 12 meses como se indica en el envase. Si los cultivos liofilizados DVS son almacenados a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  o temperatura inferior, la caducidad de los sobres sin abrir es de 24 meses, como se indica en el envase.



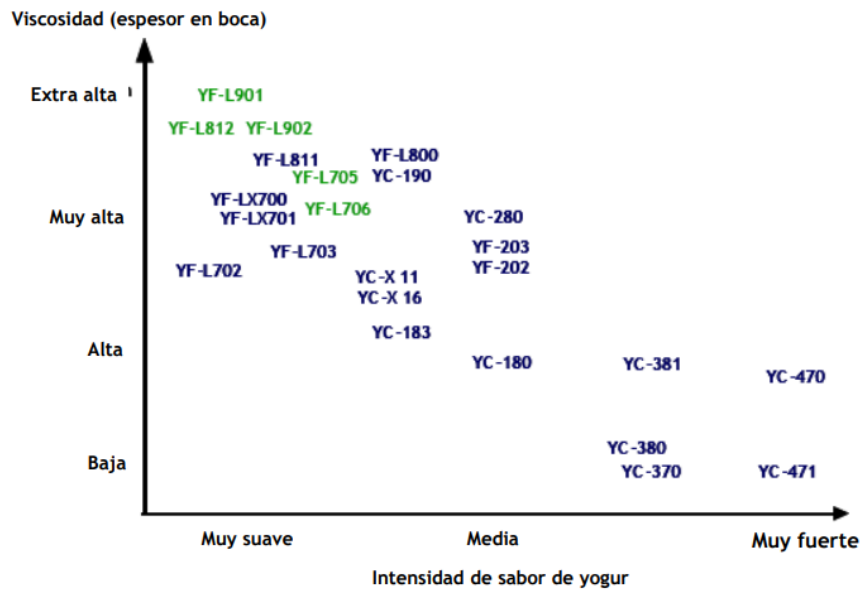
**Figura 17:** Dosis de utilización de los cultivos DVS. Fuente: Yo-Flex<sup>®</sup> Catálogo Técnico revisado, Septiembre 2006.

Tasa de Inoculación recomendada	Cantidad de leche a fermentar			
	1.000 l.	5.000 l.	10.000 l.	15.000 l.
F-DVS 0.02%	200g.	1.000g	2.000g	3.000g
FD-DVS 500U a 2500l	200U	1000U	2000U	3000U

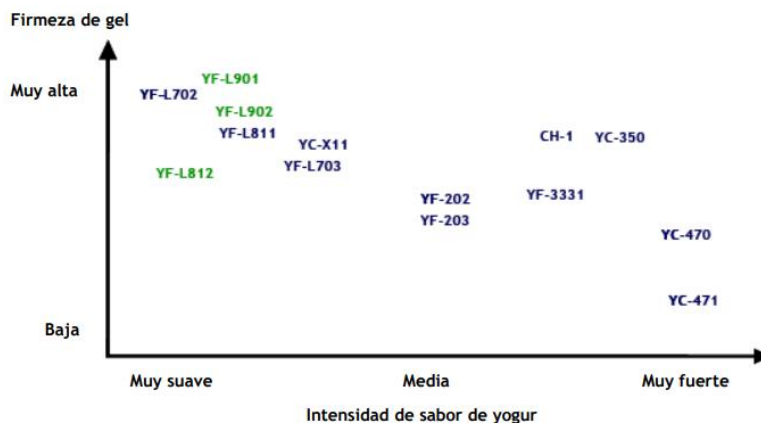
**Tabla 7.** Guía de uso recomendado para los cultivos congelados y liofilizados. Fuente: Yo-Flex® Catálogo Técnico revisado, Septiembre 2006.

Cultivo	Cepas		Presentación	
	<i>Streptococcus thermophilus</i> y <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i>	<i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> y subsp. <i>lactis</i>	F-DVS Congelado	FD-DVS Liofilizado
YF-L901	X		X	
YF-L902	X		X	
YF-L800	X		X	
YF-L811	X			X
YF-L812	X			X
YF-LX700	X		X	
YF-LX701	X		X	
YF-L702	X		X	
YF-L703	X		X	
YF-L705	X		X	
YF-L706	X		X	
YF-L800	X		X	
YC-180		X		X
YC-183	X		X	
YC-190	X		X	
YC-280	X		X	X
YC-350	X			X
YC-370	X			X
YC-380	X		X	X
YC-381	X			X
YC-470	X		X	
YC-471	X		X	
YC-X11	X		X	X
YC-X16	X			X
CH-1	X		X	X
YF-202	X		X	
YF-203	X		X	
YF-3331	X		X	X

**Tabla 8.** Gama de cultivos de YoFlex®. Fuente: Yo-Flex® Catálogo Técnico revisado, Septiembre 2006.



**Figura 18:** Resultados de los cultivos Yo-Flex<sup>®</sup> para yogur batido. Los yogures fermentados a 43 °C hasta un pH 4,55. Porcentaje de inoculación es 0,02% o 500U/2500 l – sin adición de azúcar o estabilizantes. Los nombres de cultivos en verde son cultivos nuevos. Fuente: Yo-Flex<sup>®</sup> Catálogo Técnico revisado, Septiembre 2006.



**Figura 19:** Resultados de los cultivos Yo-Flex<sup>®</sup> para yogur firme. Los yogures fermentados a 41 °C hasta un pH 4,65. Porcentaje de inoculación es 0,02% o 500U/2500 l – sin adición de azúcar o estabilizantes. Los nombres de cultivos en verde son cultivos nuevos. Fuente: Yo-Flex<sup>®</sup> Catálogo Técnico revisado, Septiembre 2006.

### Cultivos para yogur batido:

Como bien se puede observar en la Tabla 9, CHR. HANSEN ofrece una amplia gama de cultivos para producir yogur batido según las propiedades de textura y aroma.

- Cultivos con una textura extra alta (elevada viscosidad y espesor en la boca) y con un aroma muy suave son ideales para la producción de productos bajos en grasa.
- Cultivos con una textura muy alta (muy alta viscosidad y espesor en la boca) y con un aroma muy suave a suave son ideales para la producción de yogures suaves con una mínima post-acidificación.

- Cultivos con una textura alta ( alta viscosidad y espesor en la boca) y con un aroma muy suave a fuerte son ideales para la producción de yogures suaves con una post-acidificación muy baja.
- Cultivos con una textura media ( alta viscosidad y espesor en la boca) y con un sabor de fuerte a fuerte.

Textura	Cultivo	Aroma	Nivel acetaldehído día 7 (** día 1) ppm	Filancia
Extra alta	YF-L901	Muy suave	5 - 10	Media
	YF-L902	Muy suave	Aprox. 10	Media
	YF-L812	Muy suave	5 - 10	Corta
Muy alta	YF-L705	Muy suave	5 - 10	Corta
	YF-L706	Muy suave	5 - 10	Muy corta
	YF-LX700	Muy suave	5 - 10	Corta
	YF-LX701	Muy suave	5 - 10	Corta
	YF-L811	Suave	5 - 10	Filante
	YF-L800	Suave	5 - 10	Filante
	YC-190*	Suave	Aprox. 10**	Filante
	YF-L702	Muy suave	5 - 10	Corta
Alta	YF-L703	Suave	Aprox. 10	Corta
	YC-X11*	Suave	Aprox. 10**	Muy corta
	YC-X16*	Suave	Aprox. 10**	Muy corta
	YC-183*	Suave	Aprox. 10**	Corta
	YC-180*	Media	Aprox. 10**	Corta
	YC-280*	Media	12 - 15**	Ligeramente filante
	YF-202*	Media	12 - 15**	Corta
	YF-203*	Media	12 - 15**	Corta
	YC-381*	Fuerte	15 - 18**	Corta
	YC-470*	Muy fuerte	> 18**	Corta
Media	YC-370*	Fuerte	15 - 18**	Corta
	YC-380*	Fuerte	> 18**	Corta
	YC-471*	Muy Fuerte	> 18**	Corta

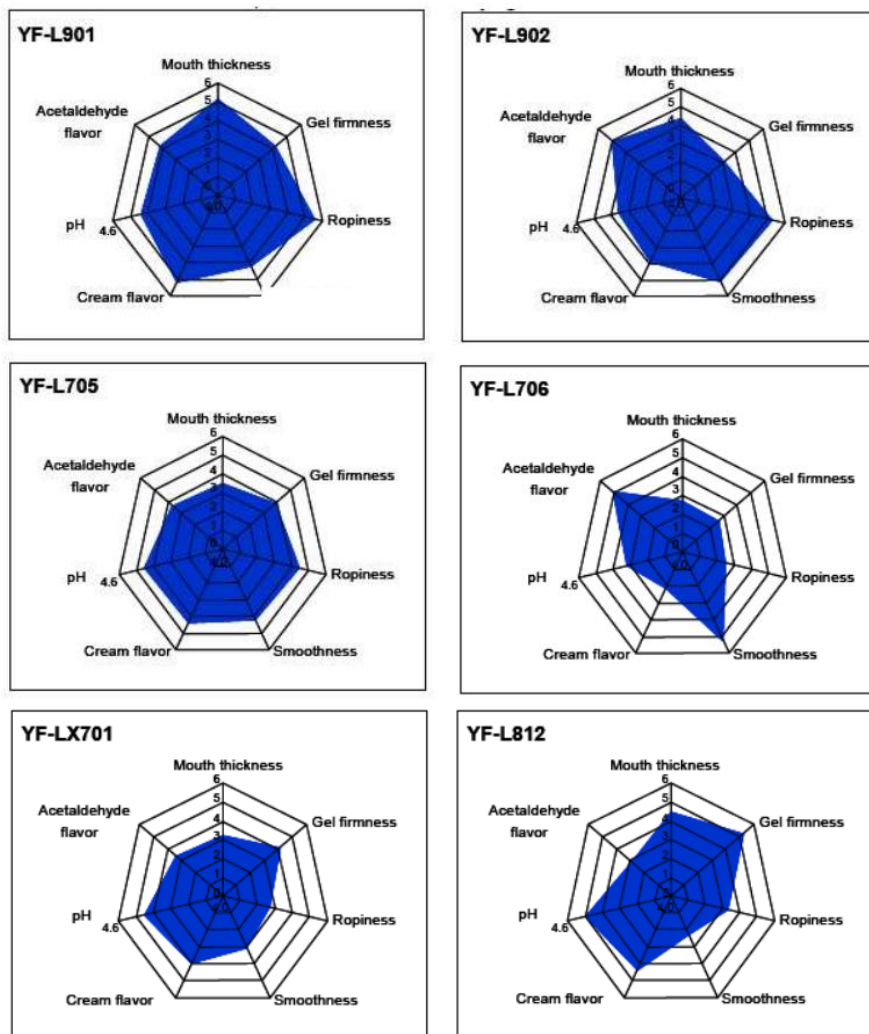
**Tabla 9.** Propiedades de textura y aroma de los cultivos Yo-Flex<sup>®</sup> recomendados para el yogur batido. Los yogures fueron fermentados a 43 °C a pH 4.55 en leche con bajo contenido en grasa; 0,5% de grasa(\*leche entera; 3,5% de grasa) con 2% de leche desnatada en polvo, sin adición de azúcar ni estabilizante. El porcentaje de inoculación fue 0,02% 0 500U/ 2500 l. Fuente: Yo-Flex<sup>®</sup> Catálogo Técnico revisado, Septiembre 2006.

Textura	Cultivo	Tiempo de acidificación** a pH 4.55	Post-acidificación almacenamiento a 8°C	
				Delta pH ± 0.1 a día 21
Extra alta	YF-L901	5h 30 min. - 6 h	Muy baja	0.2
	YF-L902	5 h. - 5 h. 30 min	Muy baja	0.2
	YF-L812	6 h. 15 min. - 6 h. 45 min.	Muy baja	0.1
Muy alta	YF-L705	5 h. 45 min. - 6 h. 15 min.	Muy baja	0.2
	YF-L706	4 h. - 4 h. 30 min.	Muy baja	0.2
	YF-LX700	4 h. 45 min. - 5 h. 15 min.	Muy baja	0.2
	YF-LX701	4 h. 30 min. - 5 h.	Muy baja	0.2
	YF-L811	4 h. 45 min. - 5 h. 15 min.	Muy baja	0.2
	YF-L800	5 h. - 5 h. 30 min.	Baja	0.3
	YC-190*	6 h. - 6 h. 30 min.	Baja	0.3
	YF-L702	4 h. 30 min. - 5 h.	Muy baja	0.1
Alta	YF-L703	4 h. - 4 h. 30 min.	Baja	0.3
	YC-X11	4 h. 15 min. - 4 h. 45 min.	Baja	0.3
	YC-X16*	5 h. - 5 h. 30 min.	Baja	0.3
	YC-183*	4 h. 30 min. - 5 h.	Baja	0.3
	YC-180*	6 h. - 6 h. 30	Media	0.4
	YC-280*	4 h. 30 min. - 5 h	Media	0.4
	YF-202*	5 h - 5 h 30 min	Media	0.4
	YF-203*	5 h - 5 h. 30 min.	Media	0.4
	YC-381*	4 h. 30 min. - 5 h.	Alta	> 0.4
	YC-470*	4 h. 30 min. - 5 h.	Alta	> 0.4
	YC-370*	4 h. 30 min. - 5 h.	Alta	> 0.4
Media	YC-380*	4 h. 30 min. - 5 h.	Alta	> 0.4
	YC-471*	4 h. 30 min. - 5 h.	Alta	> 0.4

**Tabla 10.** Tiempo de acidificación a pH 4,55 y post-acidificación a 8 °C. Los yogures fueron fermentados a 43 °C hasta un pH 4,55 en leche con bajo contenido en grasa (\*leche entera; 3,5% de grasa) con 2% de leche desnatada en polvo, sin adición de azúcar o estabilizante. El porcentaje de inoculación fue 0,02% o 500U/ 2500 l. Fuente: Yo-Flex® Catálogo Técnico revisado, Septiembre 2006.

**\*\*El tiempo de acidificación depende de la temperatura de fermentación.**

En la siguiente figura 20 se muestran 6 cultivos utilizados para la caracterización de yogures batidos con bajo contenido en grasa. La mayor parte de los yogures que se encuentran en el mercado cuentan con un contenido en grasa bajo. La grasa contribuye en la textura y en el sabor es por este motivo que la selección del tipo de cultivo a va ser muy importante. Las cepas que generan exopolisacáridos se pueden usar para producir la textura, el espesor en boca deseados y dar aroma limpio y agradable. CHR. HANSEN ofrece una gama de cultivos (serie YF-L) que añaden una viscosidad extra al producto final. Estos cultivos son ideales para los productos bajos en grasa o con un contenido en grasa bajo.



**Figura 20:** Diagramas de los perfiles sensoriales de 6 yogures batidos con un contenido en grasa de 0,5% fermentados con los cultivos YF-L901, YF-L902, YF-L705, YF-L706, YF-L812 e YF-LX701. Temperatura de fermentación: 43 °C. Los atributos sensoriales fueron evaluados después de siete días de almacenamiento a 8 °C. El pH fue medido el día 7. La escala de pH va de 4.0 (centro) a 4.6 (punto externo). Mouth thickness: Espesor en boca; Gel firmness: Firmeza de gel; Ropiness: Filancia; Smoothness: Cremosidad; Cream Flavor: Aroma de nata; Acetaldehyde flavor: Aroma de acetaldehído. Fuente: Yo-Flex® Catálogo Técnico revisado, Septiembre 2006.

### Cultivos para yogur firme:

La propiedad de la textura, la estructura del gel de corte limpio y los distintos grados de espesor en la boca son parámetros esenciales en el yogur firme. La compañía danesa CHR. HANSEN ofrece una gama de cultivos para la producción de yogur firme con alta firmeza de gel, estructura de gel con un corte limpio y un espesor en boca de bajo a extra alto:

- Espesor en boca de extra alto a muy alto y con aroma muy suave.
- Espesor en boca alto y con aroma de muy suave a muy fuerte.
- Espesor en boca medio y con aroma muy fuerte.

- Espesor en boca bajo y con aroma fuerte.

Textura (Espesor en boca)	Cultivo	Firmeza de gel	Aroma	Nivel de acetaldehído día 1, ppm
Extra alto	YF-L901	Muy alta	Muy suave	5 - 10
	YF-L902	Alta	Muy suave	Aprox. 10
	YF-L812*	Alta	Muy suave	5 - 10
Muy alto	YF-L811	Alta	Muy suave	5 - 10
Alto	YF-L702	Muy alta	Muy suave	Aprox. 10
	YF-L703	Alta	Suave	Aprox. 10
	YF-202*	Media - Alta	Media	12 - 15
	YF-203*	Media - Alta	Media	12 - 15
	YC-X11	Alta	Media	Aprox. 10
Medio	YC-470*	Media	Muy fuerte	> 18
	YC-471*	Media	Muy fuerte	> 18
Bajo	YF-3331*	Media - alta	Fuerte	> 18
	YC-350*	Alta	Fuerte	15 - 18
	CH-1*	Alta	Fuerte	15 - 18

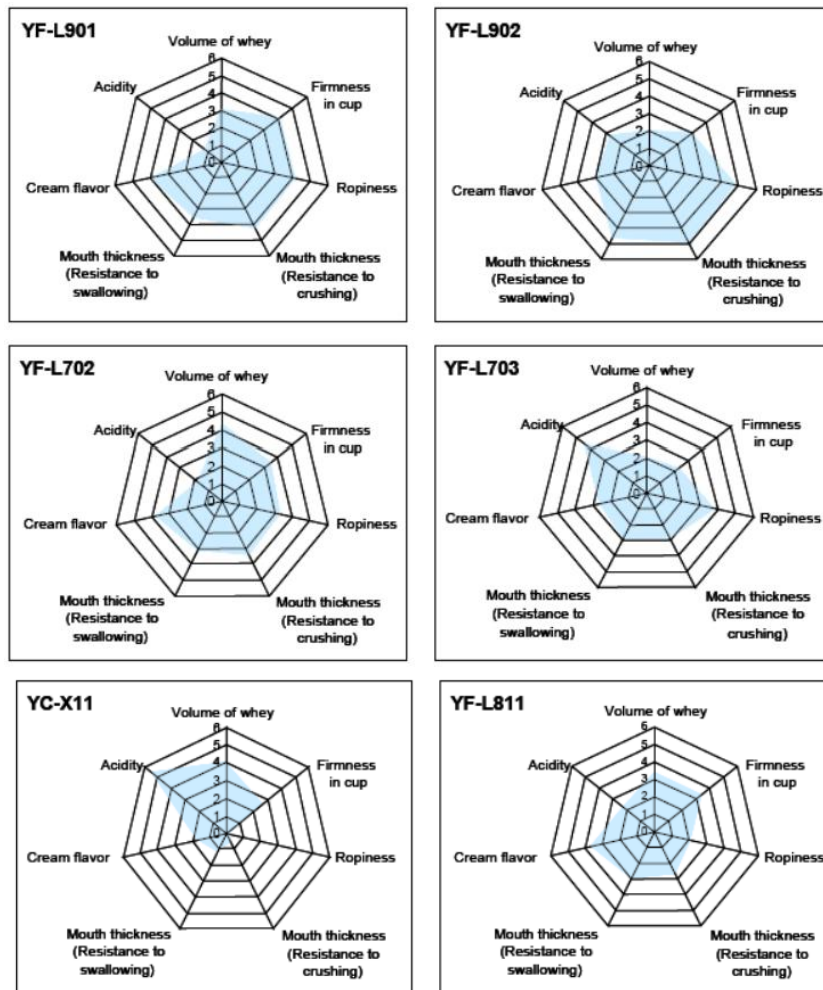
**Tabla 11.** Propiedades de textura y aroma de los cultivos Yo-Flex<sup>®</sup> recomendados para el yogur firme. Los yogures fueron fermentados a 41 °C a pH 4.65 en leche con bajo contenido en grasa desnatada; 0,5% de grasa (\*leche entera; 3,5% de grasa) con 2% de leche desnatada en polvo, sin adición de azúcar ni estabilizante. El porcentaje de inoculación fue 0,02% 0 500U/ 2500 l. Fuente: Yo-Flex<sup>®</sup> Catálogo Técnico revisado, Septiembre 2006.

Textura (Espesor en boca)	Cultivo	Tiempo de acidificación** hasta pH 4.65	Post-acidificación. Almacenamiento a 8°C	
				Delta pH + 0.1 el día 21
Extra alto	YF-L901	5h 30min - 6h	Muy baja	0.2
	YF-L902	4h 30 min - 5h	Muy baja - baja	0.3
	YF-L812*	6h 15min - 6h 45min	Muy baja	0.2
Muy alto	YF-L811	4h 45min - 5h 15min	Muy baja - baja	0.3
	YF-L702	5h - 5h 30min	Muy baja	0.2
Alto	YF-L703	4h - 4h 30 min	Baja	0.4
	YF-202*	4h 30min - 5h	Media	0.4
	YF-203*	4h 30min - 5h	Media	0.4
	YC-X11	4h - 4h 30min	Baja - Media	0.4
	YC-470*	3h 30min - 4h	Alta	> 0.4
Medio	YC-471*	3h 30min - 4h	Alta	> 0.4
Bajo	YF-3331*	3h 30min - 4h	Alta	> 0.4
	YC-350*	4h - 4h 30min	Alta	> 0.4
	CH-1*	4h - 4h 30min	Alta	> 0.4

**Tabla 12.** Tiempo de acidificación a pH 4,65 y post-acidificación a 8 °C. Los yogures fueron fermentados a 41 °C en leche con bajo contenido en grasa; 1,5% (\*leche entera; 3,5% de grasa) con 2% de leche desnatada en polvo, sin adición de azúcar o estabilizante. El porcentaje de inoculación fue 0,02% 0 500U/ 2500 l. Fuente: Yo-Flex<sup>®</sup> Catálogo Técnico revisado, Septiembre 2006.

\*\*El tiempo de acidificación depende de la temperatura de fermentación.





**Figura 21:** Diagramas de los perfiles sensoriales de 6 yogures firmes con un contenido en grasa de 1,5% fermentados con los cultivos YF-L901, YF-L902; YF-L702, YF-L811 e YC-X11. Temperatura de fermentación: 41 °C. Los atributos sensoriales fueron evaluados después de siete días de almacenamiento a 8 °C. Volumen de suero; Firmness in cup: Firmeza en copa; Ropiness: Filancia; Mouth Thickness (Resistance to crushing): Espesor en boca (resistencia al aplastamiento); Mouth thickness (Resistance to swallowing): Espesor en boca (resistencia a tragado); Cream flavor: Aroma de nata; Acidity: Acidez. Fuente: Yo-Flex® Catálogo Técnico revisado, Septiembre 2006.

### Cultivo para yogur líquido:

Para el yogur líquido la compañía CHR. HANSEN propone 6 tipos diferentes de cultivos. Los cultivos YF-L901, YF-L706, YF-L702 e YC-X11 son ideales para bebidas de yogur suaves y cremosas, mientras que los cultivos YC-350, YF-3331 y CH-1 son empleados para bebidas lácteas más refrescantes y ácidas. La percepción del aroma de las frutas o aromas añadidos se potencia con la acidez del cultivo. El aroma final es adaptado eligiendo el cultivo correcto en combinación con el aroma deseado o el componente de fruta.

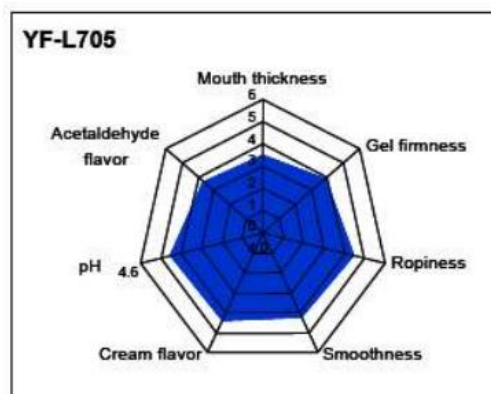
Intensidad de aroma de yogur	Cultivo	Textura*
Muy suave	YF-L901	Cremosa
	YF-L706	Cremosa
	YF-L702	Cremosa
Suave	YC-X11	Cremosa
Media a fuerte	YC-350	Fina
	YF-3331	Fina
	CH-1	Fina

**Tabla 13.** Cultivos recomendados para yogur líquido. Fuente: Yo-Flex® Catálogo Técnico revisado, Septiembre 2006.

### Cultivos seleccionados:

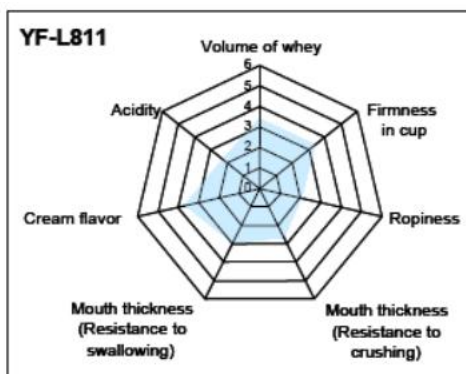
Una vez observado y estudiado los distintos tipos de cultivos que ofrece la empresa danesa Yo-Flex® se ha decidido escoger los siguientes cultivos según el tipo de yogur que se desea obtener:

1. Para los yogures batidos y pasteurizados se van a utilizar los cultivos YF-L705 ya que va a permitir obtener un yogur batido y pasteurizado con un aroma muy suave con una mínima post-acidificación, con una elevada viscosidad (textura muy alta) y muy alto espesor en boca. Además con este cultivo YF-L705 es ideal para yogures con un contenido bajo en grasa.



**Figura 22:** Diagrama del perfil sensorial del yogur batido con un contenido en grasa de 0,5% fermentado con el cultivo YF-L705. Fuente: Yo-Flex® Catálogo Técnico revisado, Septiembre 2006.

2. Para los yogures firmes se van a emplear los cultivos YF-L811 ya que proporciona un yogur firme muy suave con una alta firmeza de gel, alto aroma de nata, muy alto espesor en boca, y una baja acidez.



**Figura 23:** Diagrama del perfil sensorial del yogur firme con un contenido en grasa de 1,5% fermentado con el cultivo YF-L811. Fuente: Yo-Flex® Catálogo Técnico revisado, Septiembre 2006.

3. Para el yogur líquido se va a usar el cultivo YF-L702 cuya intensidad de aroma del yogur es muy suave y la textura es cremosa.
4. La empresa CHR. HANSEN ha lanzado YOFLEX® ACIDIFIX™, un cultivo con una estabilidad de pH insuperable que permite obtener exóticos sabores, texturas únicas y menores costes de producción.



**FIGURA 5** – Nuevos sabores con YoFlex® Acidifix™

**Figura 24:** Yogures con nuevos sabores exóticos con YOFLEX® ACIDIFIX™. Fuente: Yo-Flex® Catálogo: “Revolucionario cultivo láctico para la elaboración de yogures”.

## Incubación o fermentación:

Para tener unas condiciones correctas de fermentación para mantener la proporción 1:1 de los dos microorganismos se debe inocular a la leche entre un 2,5-3% de cultivo iniciador y incubar durante 2-2,5 horas a 40-45 °C hasta llegar a la acidez deseada. El mantenimiento de esta proporción es muy importante ya que ambos microorganismos contribuyen en las propiedades organolépticas del yogur.

La modificación de las condiciones de fermentación altera la proporción entre los dos microorganismos. Un tiempo de incubación más corto implica una acidificación menor y en consecuencia implicará un aumento de los *estreptococos*. Por otro lado, con tiempos de incubación más largos favorecería el aumento de los *lactobacilos*. El aumento de inóculos hace aumentar la velocidad de acidificación y por lo tanto, se llegará antes al nivel de acidez que detiene el crecimiento de los *estreptococos* y aumentará el crecimiento de *lactobacilos*. En caso de que la cantidad de inóculos sea menor, entonces el equilibrio se desplazará a favor de los *estreptococos*. La temperatura óptima de crecimiento de los *lactobacilos* es más alta que la de los *estreptococos*. Las temperaturas más bajas favorecen a los *estreptococos* y las temperaturas más altas a los *lactobacilos*.

El tiempo de fermentación va a depender de la temperatura de incubación y de la capacidad de producción del ácido láctico de los microorganismos. El proceso se va a detener cuando se alcance una concentración de ácido láctico entre 0,7 y 1,1 % p/v. Para ese rango de concentración de ácido láctico, el valor del pH se va a encontrar entre 4,6 y 3,7. Posteriormente a la fermentación se produce el enfriamiento. Cuando se alcanza la acidez deseada, entonces se detiene el proceso de fermentación disminuyendo la temperatura ya que los microorganismos presentes no van a poder crecer con temperaturas inferiores a los 10 °C y con bajas temperaturas se anula la actividad de las enzimas desarrolladas por los microorganismos. La temperatura de refrigeración debe estar a los 5 °C.

Al mismo tiempo, se dosifica un volumen preestablecido de iniciador a granel en el flujo de leche. Una vez llenado el tanque de incubación, el cual puede estar equipado de medidores de pH para controlar la acidez, se inicia la agitación durante un periodo de tiempo corto para lograr una distribución uniforme del cultivo iniciador. El tiempo de incubación para la producción del yogur batido oscila entre 4-5 horas con una temperatura de 42-43 °C cuando se utiliza el iniciador a granel (2,5-3% de inóculos). Para lograr una buena calidad, el enfriamiento debe situarse a unos 15-22 °C en los 30 minutos posteriores a que se haya alcanzado el valor de pH ideal para detener el desarrollo de bacterias. El coágulo debe recibir un tratamiento mecánico suave para conseguir una consistencia correcta en el yogur final. El equipo encargado para el enfriamiento será un intercambiador de calor de placas. El enfriamiento se realizará en dos fases para obtener mayor viscosidad en el yogur final. Una vez obtenida la temperatura de enfriamiento de 15-22 °C, el yogur estará preparado para su envasado.

Métodos de incubación:

- **Fermentación discontinua:** donde se realiza en depósitos de fermentación y es una técnica muy eficiente en el ámbito energético y de la producción.
- **Fermentación en semicontinuo:** consiste en pasar la leche, preparada mediante un cultivo de bacterias del yogur en fase exponencial de crecimiento, a la temperatura óptima de crecimiento. Durante el tiempo de contacto de la leche con el cultivo iniciador se produce la siembra y la bajada

del pH hasta 5,7 si la temperatura es de 45 °C o hasta 5,4-5,7 , si es de 30 °C. Esta etapa tiene que tener un tiempo de duración corto, luego la leche prefermentada se envasa para que la acidificación (formación del coágulo) se desarrolle en el envase en reposo o se pase a los tanques de fermentación donde también se formará el coágulo en reposo y luego será batido y envasado.

Para esta etapa se debe utilizar el cultivo iniciador inmovilizado en gránulos de alginato cálcico. Las bacterias del yogur se encapsulan. La leche entra en el fermentador y las bacterias salen de la cápsula que es porosa, se reproducen y se distribuyen homogéneamente en la leche hasta pH de 5,7 con una duración de 8-9 minutos.

### Formación del gel:

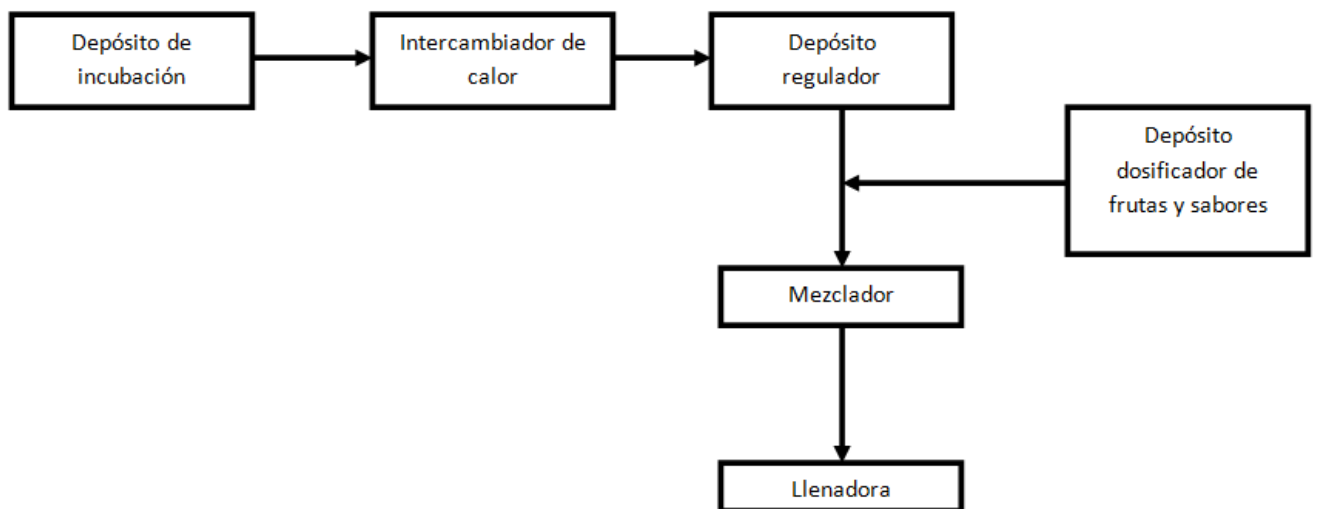
Durante la etapa de fermentación se forma el gel. El proceso va a ser el mismo para cualquiera de los dos tipos de yogures. La leche va a experimentar las siguientes modificaciones físicas y químicas durante el proceso:

- Los microorganismos del yogur metabolizan la lactosa que hay en la leche para satisfacerla energéticamente, produciendo ácido láctico y otros compuestos.
- La producción creciente de ácido láctico provoca la solubilización del fosfato cálcico y del citrato de la micela provocando la desestabilización de las micelas de caseína, que dependiendo del tratamiento térmico, se formarán complejos con las proteínas del lactosuero desnaturalizadas. El tamaño de las micelas en el intervalo de pH entre 5,3-6,6 se mantiene constante y para el intervalo 5,3-4,6 o inferior el tamaño de las micelas va disminuyendo.
- Las micelas de las caseínas se van neutralizando las cargas negativas a medida que se va produciendo ácido láctico y el pH se acerca al punto isoeléctrico de las caseínas (4,6-4,7).
- Una vez se alcanza el pH del punto isoeléctrico, las caseínas junto con las proteínas del lactosuero desnaturalizadas forman un gel que atrapa en su interior el resto de los componentes de la leche y el agua.

### Lugar de fermentación según el tipo de yogur:

- La fermentación para el yogur batido se realiza en tanques de fermentación que pueden ser:
  1. –Tanque multiuso.
  2. –Tanque de fermentación. Algunos están equipados para la producción de yogures en condiciones asépticas. Están compuestos por tanques aislados, el aire que entrada y sale es filtrado, contiene dispositivos de control del pH y la temperatura y el agitador está equipado por un sistema de doble cierre para minimizar la contaminación.

3. –Tanques de fermentación/refrigeración. Estos tanques son los que después de la fermentación circula agua fría por la camisa para enfriar el coágulo.
- La fermentación para el yogur firme (coagulado) se realiza colocando el envase en:
    1. –Baños de agua a una determinada temperatura , donde el nivel de agua se mantiene por debajo de la tapa del envase. Después de la coagulación se sustituye el agua caliente por agua fría para enfriar rápidamente el coágulo.
    2. –Estufas o cabinas, por las que circula agua caliente. Algunos incluyen la circulación de aire frío para enfriar los envases después de la fermentación. Otros, una vez formado el coágulo los yogures se pasan a cámaras de refrigeración y almacenamiento.
    3. –Túneles donde los yogures son transportados mediante una cinta transportadora. Estos pueden ser sólo de circulación de aire caliente, en los que cuando los envases llegan al final del proceso con el coágulo formado se pasan a cámaras de refrigeración y almacenamiento o pueden tener dos secciones, una de circulación de aire caliente y otra de aire frío. También existen túneles solo de circulación de aire frío para enfriar de forma rápida los yogures después de la incubación en estufa.



**Figura 25:** Diagrama de bloques preliminar para el enfriamiento del yogur, seguido de su aromatización, mezcla y envasado.

### Refrigeración del yogur firme (coagulado) en el envase:

Después de la fermentación y una vez el yogur ha alcanzado el pH deseado (4,1-4,6), el coágulo se debe de enfriar muy rápido (menos de 10 °C, preferiblemente entre 4-5 °C) para detener la actividad del microorganismo y evitar la sobreacidificación. Un enfriamiento poco controlado podría producir la

contracción del coágulo y la condensación de agua. Este enfriamiento lo podrán realizar con los equipos mencionados anteriormente y que son los túneles de refrigeración, baños de agua fría, o con cámaras con circulación de aire frío. Será muy importante que los envases se encuentren en reposo para evitar roturas del coágulo, la sinéresis, la sobreacidificación y el crecimiento de microorganismo no deseados como los hongos y levaduras.

## Refrigeración del yogur batido en masa:

Esta etapa del proceso se puede llevar a cabo de dos maneras:

- Enfriamiento en una sola fase: donde el coágulo se enfría rápidamente desde la temperatura de incubación hasta temperaturas inferiores a 10 °C y luego se añaden los aromas y se envasa el producto. El coágulo, para este caso, se mantiene más estable durante el envasado y el almacenamiento ya que se encuentra a temperaturas bajas. Durante el enfriamiento se realiza el batido para estabilizar el yogur y así evitar la separación del suero.
- Enfriamiento en dos fases: donde el yogur alcanza el pH de 4,1-4,6. En la primera fase del proceso se disminuye la temperatura del coágulo desde la temperatura de fermentación hasta los 15-20 °C mediante un intercambiador de calor de placas, y en esta primera fase también tiene lugar el batido. Después se añaden los aromas, edulcorantes y/o colorantes, frutas de tipo jarabe o puré, frutos secos, etc. Posteriormente a través de una bomba dosificadora se bombea dicha corriente hasta llegar a un depósito pulmón y se traslada a las llenadora para realizar el envasado

En la segunda fase de enfriamiento se ejecuta en cámaras de refrigeración para que los yogures lleguen a temperaturas inferiores a 10 °C. Después de uno o dos días de almacenamiento del yogur en reposo, la viscosidad aumenta mejorando la consistencia del producto acabado.

Será muy importante que los envases se encuentren en reposo para evitar roturas del coágulo, la sinéresis, la sobreacidificación y el crecimiento de microorganismo no deseados como los hongos y levaduras.

La diferencia entre yogur con frutas o aromatizado y el yogur líquido, es que el segundo se fabrica con una mezcla base de leche con un extracto seco más bajo (11-12%) y tienen una agitación mecánica más intensa. El yogur líquido es considerado como un yogur batido de baja viscosidad que se puede elaborar con un contenido en sólidos totales de 11% u homogeneizar el producto antes del enfriamiento.

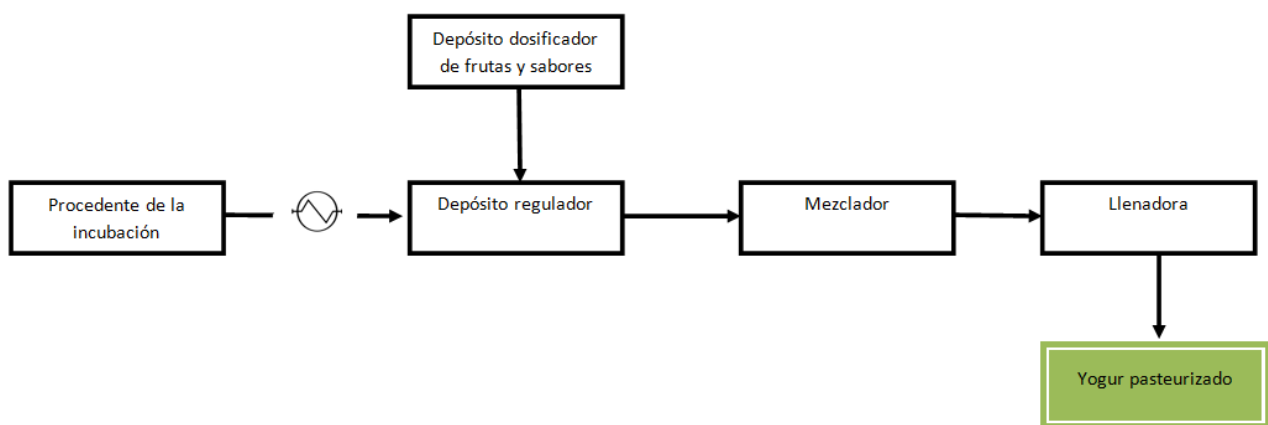
La fecha de caducidad de los yogures está regulada en la norma de calidad (RD 179/2003), la cual dice que “el yogur deberá ser vendido al consumidor, como máximo, dentro de los veintiocho días siguientes, contados a partir de su fabricación”.



## Yogur pasteurizado (yogur de larga duración):

Estos yogures se les puede alargar la vida mediante la producción y llenado bajo condiciones asépticas (como se realiza con la leche UHT) y a través de un tratamiento térmico (de 140-145 °C durante 2-5 segundos) para obtener yogur pasteurizado, antes de su llenado o cuando el yogur se encuentre en su envase. El tratamiento del yogur una vez envasado, se puede prolongar su vida mediante la inactivación de las bacterias del fermento y sus enzimas, y por inactivación de contaminantes como son las levadura y los mohos.

La finalidad de aumentar la vida útil (varios meses) de dichos yogures se debe principalmente a que los lugares de producción de los mismos se encuentran lejos de los lugares para su comercialización o porque hay una dificultad a la hora de mantener la cadena del frío. Los yogures pasteurizados tienen una mayor estabilidad que los yogures tradicionales a lo largo del tiempo. Además no requieren de cámaras de refrigeración para mantener sus propiedades organolépticas (su acidez no aumenta durante el almacenamiento). Debido a que estos yogures se encuentran pasteurizados, las bacterias lácteas se inactivan y entonces se interrumpe la producción de ácido láctico (que es lo que acidifica el yogur). Este hecho de no necesitar frío hace que el transporte y almacenamiento tenga unos costes económicos más bajos.



**Figura 26:** Diagrama de bloques para un yogur pasteurizado (yogur de larga duración) desde la etapa de fermentación.

## Yogur congelado o concentrado:

Este tipo de yogur se puede fabricar mezclando el yogur con un mix de crema helada o fermentando un mix de yogur antes de su posterior procesado. El yogur concentrado puede ser duro o blando. El mix utilizado para este yogur blando utiliza una temperatura de -8 °C, mientras que para el duro (batido en atmósfera de nitrógeno) se requiere de una temperatura de -25 °C, donde este último es capaz de conservarse durante meses (2-3 meses) sin que se altere su sabor y textura original. El yogur blando necesita una temperatura



máxima de almacenamiento de +6 °C y tiene una vida de almacenamiento de 2 semanas. Este yogur blando se consume inmediatamente tras su congelación. En el yogur concentrado se incrementa el contenido de materia seca tras la fermentación.

## Mezclado:

La adición de frutas y sabores al yogur se puede trasladar de los tanques intermedios a las máquinas llenadoras de forma continua con una bomba dosificadora de velocidad variable que permite introducir los ingredientes en el yogur en la unidad de mezcla de frutas. Esta unidad de mezclado es estática y higiénicamente diseñada con el fin de obtener un correcto mezclado de la fruta con el yogur. La agitación se debe realizar de forma cuidadosa para evitar romper el coágulo ya que de lo contrario el coágulo podría perder viscosidad. Las frutas deberán de estar en forma de trozos de puré en porcentajes que varían del 5 al 25% del producto final. Estas frutas tienen que antes recibir un tratamiento térmico previo ya que son fuente de hongos y levaduras que podrían contaminar el yogur y en consecuencia disminuir su vida útil. Tanto la bomba dosificadora de fruta como la bomba de alimentación del yogur funcionan sincrónicamente. Una vez el yogur se ha enfriado y se le ha añadido las frutas, el producto se envasa.

## Envasado, etiquetado y almacenamiento:

Existen unas normas que determinan los criterios para un correcto envasado, etiquetado y rotulación para los yogures. La norma española especifica las características del envase para los yogures, y exige que los diversos tipos de yogures se presentarán al consumidor debidamente envasados en recipientes cerrados.

Además también se precisa los materiales para los envases, que serán: vidrio, cartón parafinado, porcelanas, materiales macromoleculares o cualquier otro material autorizado por el Ministerio de Sanidad y Consumo. Además, especifica que el contenido neto mínimo de estos envases será de 125 g.

En cuanto al etiquetado y rotulación, es un tema ampliamente contemplado en muchas normativas nacionales e internacionales sobre el yogur y otras leches fermentadas. Los apartados que comprenden las normas de etiquetado se ocupan de los siguientes aspectos:

- Denominación del producto, ingredientes y aditivos, relacionados individualmente o por grupos, contenido neto, marca registrada, nombre y dirección del fabricante, durabilidad y fecha de fabricación, país de origen, normas de conservación número de registro, número de lote, etc. De los aspectos nombrados anteriormente, la Denominación es la más compleja ya que en ella se debe recoger y concretar el tipo de yogur que contiene. Se deberá etiquetar como: yogur (o yogur natural), yogur azucarado, yogur edulcorado, yogur desnatado, yogur enriquecido con..., yogur sabor...,etc.

Por otro lado, los ingredientes, las legislaciones de los países son más o menos extensas. Además debe mencionarse la adición de leche en polvo, cuando se adicione en proporciones superiores a 5 g por 100 g.

En caso de contener aromas naturales o colorantes naturales se deben mencionar entre los ingredientes como "aroma..." o como "colorante natural". Cuando los contenga, se especificará la

adición de “frutas” o “pulpa de fruta”, “chocolate” o “miel”. En los yogures edulcorados, se especificará el edulcorante artificial añadido.

La norma española señala las indicaciones que debe llevar el yogur en el cuerpo del envase o en su cierre y exige marcar el producto con “fecha de caducidad” (día y mes), con un límite de 24 días, como máximo, contados a partir del día en que el producto fue envasado para su comercialización. Las especificaciones sobre su conservación del producto, para el caso de la norma española, indica sólo “consérvese en frío”.

El envasado debe ser resistente, impermeable y compuesto por un material que no altere las propiedades físicas, químicas y del microorganismo presentes en el yogur. Finalmente, los envases deben conservarse en sistemas de refrigeración para aumentar su vida útil. El almacenamiento en frío del envasado de los yogures debe situarse entre los 2-4 °C.

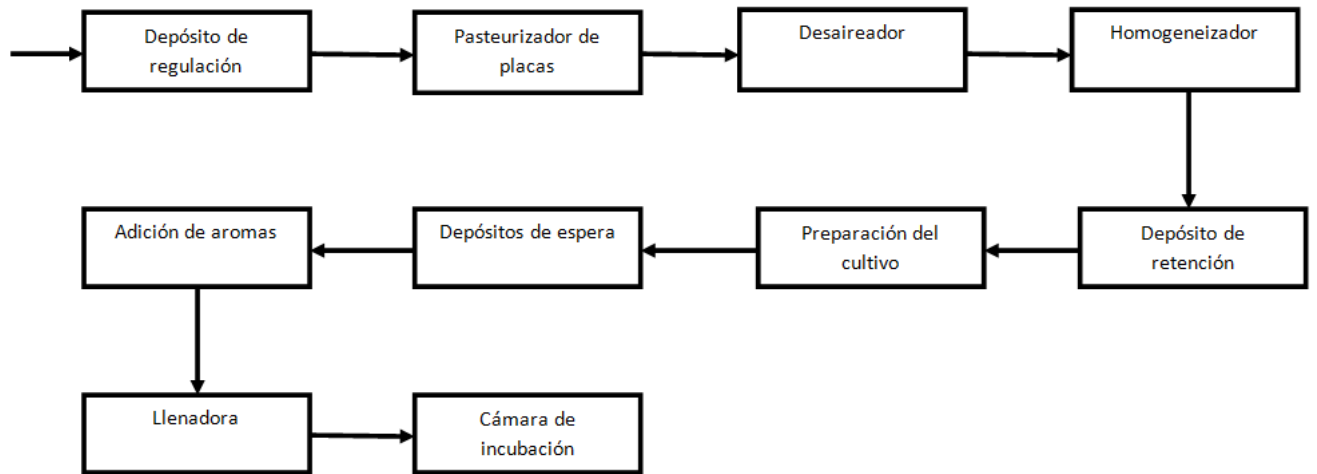
El tratamiento térmico del yogur una vez envasado, se prolonga su vida útil mediante la inactivación de las bacterias del fermento y sus enzimas, y por inactivación de contaminantes como levaduras y mohos.

En la producción de yogur batido, el gel obtenido en los depósitos de incubación se calienta hasta 72-75 °C en un intercambiador de calor con un tiempo de mantenimiento de pocos segundos y se realiza antes de su enfriamiento. El envasado del producto se lleva a cabo en llenadoras asépticas. El yogur firme puede calentarse hasta 72-75 °C durante 5-10 minutos, en sus envases. Este procedimiento se realiza en cámaras o túneles especiales de pasteurización. El calentamiento a 70-75 °C elimina los microorganismos patógenos que hay en el yogur. De esta manera no se requiere cadena de frío para su conservación durante varias semanas. La maquinaria que se utilizará son las termoformadoras, llenadoras asépticas.

**Tipo de envasado:** bolsa aséptica, caja de papel aséptica, caja Gable Top, botella de plástico, vaso de plástico, botella de vidrio.

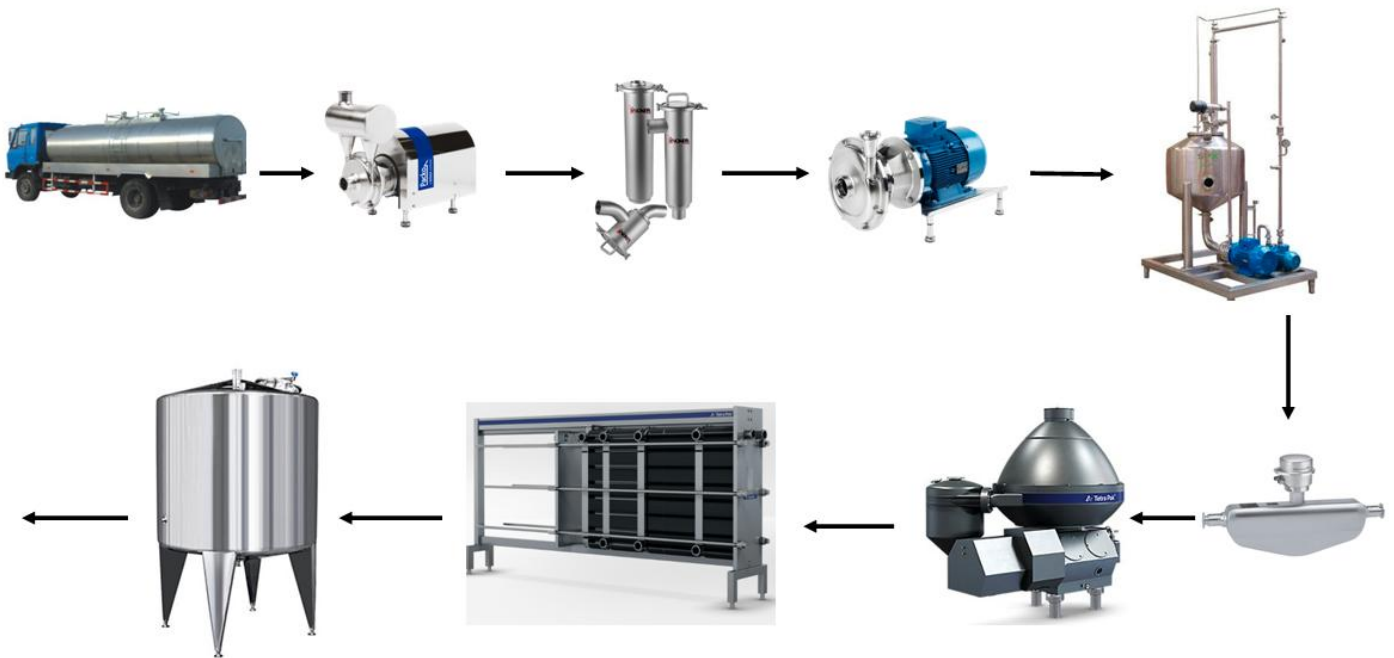
Los envasados destinados a los yogures pueden ser clasificados en dos tipos:

- Retornables: que están compuestos por un plástico rígido del tipo PS o PP. Actualmente son muy poco utilizados debido a sus problemas de almacenamiento. Se utiliza un envase de vidrio para los yogures.
- Un único uso: serían los envases de plástico semirígidos, de plástico flexible o de cartón.

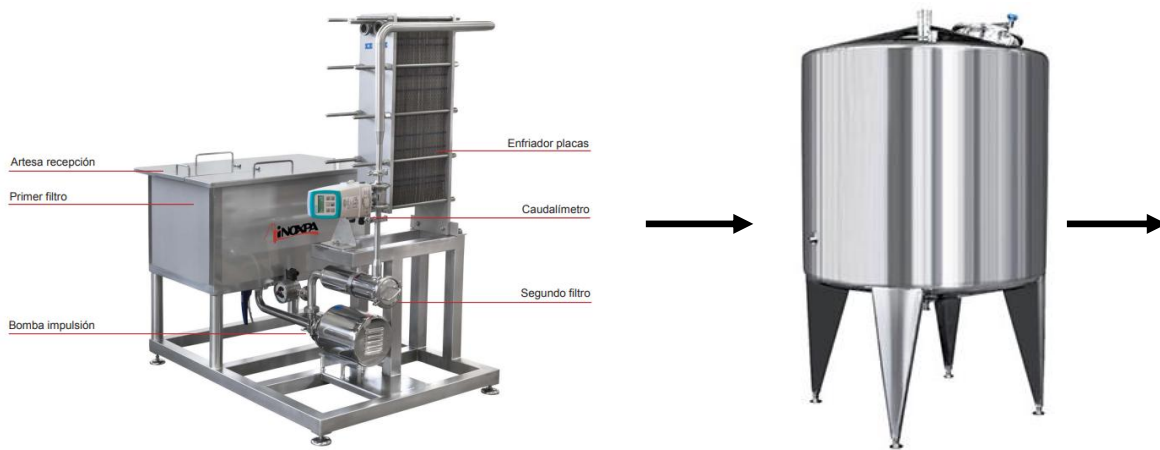


**Figura 27:** Diagrama de bloques preliminar para los equipos de producción industrial del yogur.

Los equipos tecnológicos implicados en el área de recepción y operaciones previas (pretratamiento) son los siguientes:

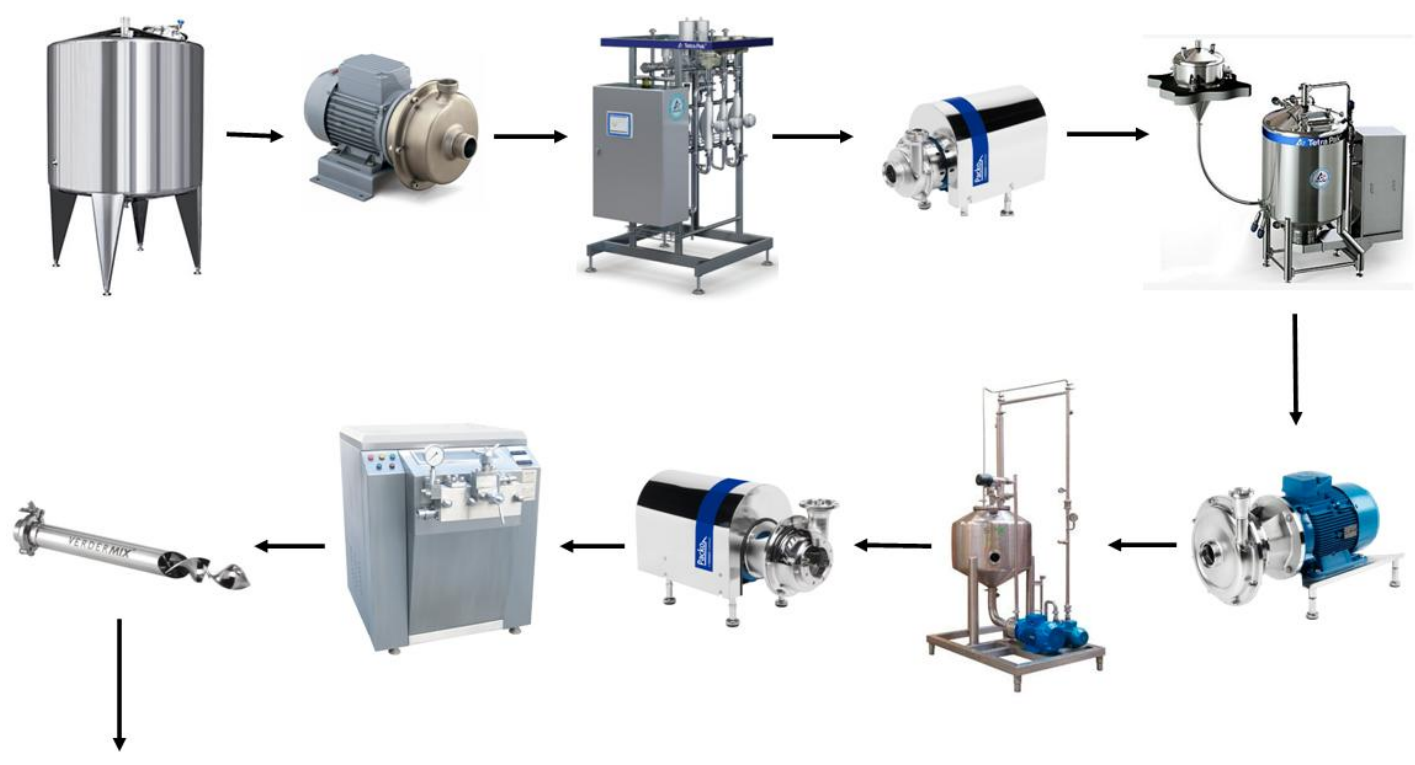


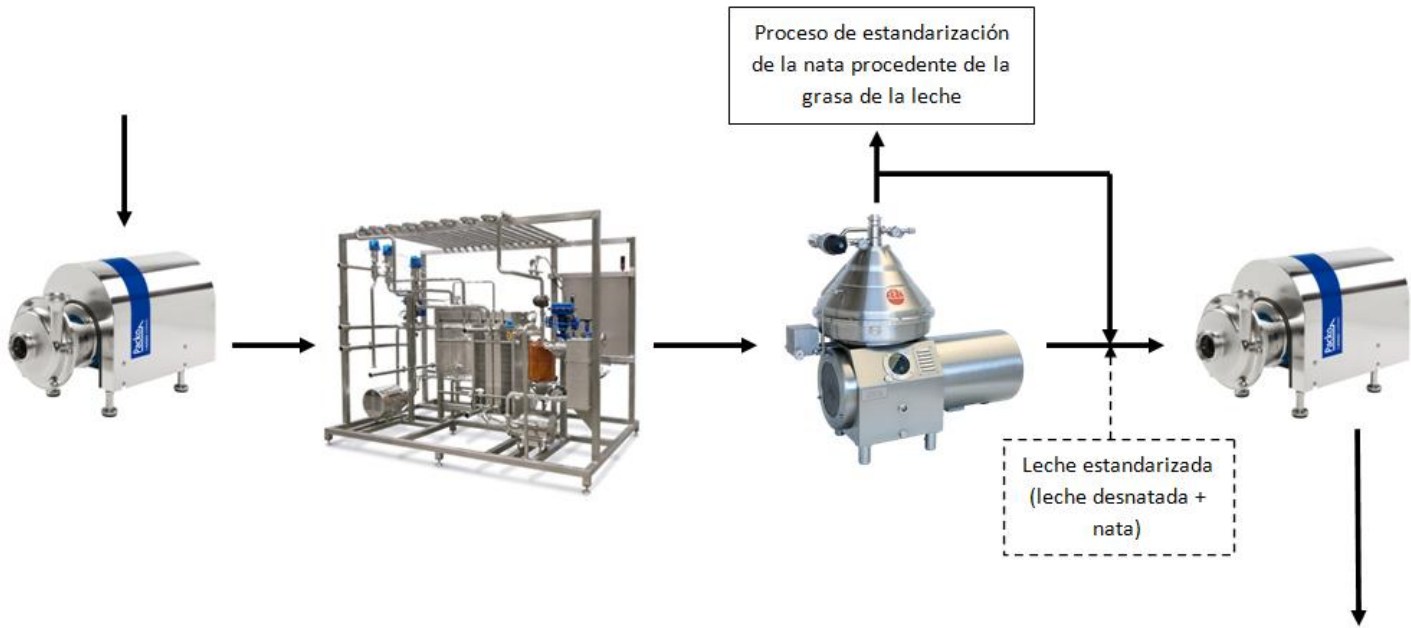
También cabe la posibilidad de sustituir dichos componentes tecnológicos mencionados anteriormente por una sola unidad completa para la recepción y tratamiento de la leche cruda que dispone la empresa INOXPA, la cual se muestra a continuación:



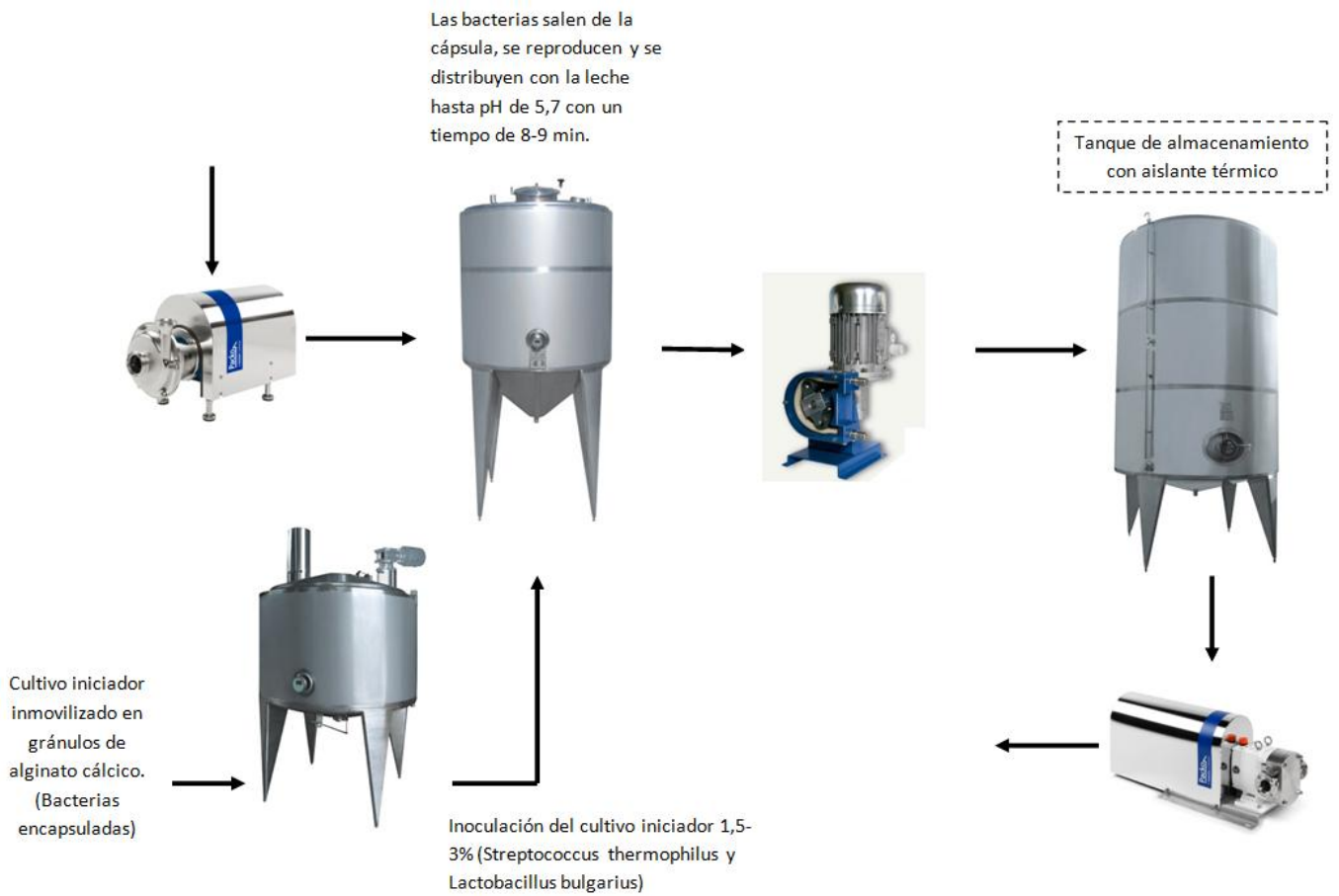
La unidad completa para la recepción y tratamiento de la leche cruda queda especificada y detallada en el apartado de las maquinarias.

Los equipos tecnológicos implicados en el area de producción son los siguientes:



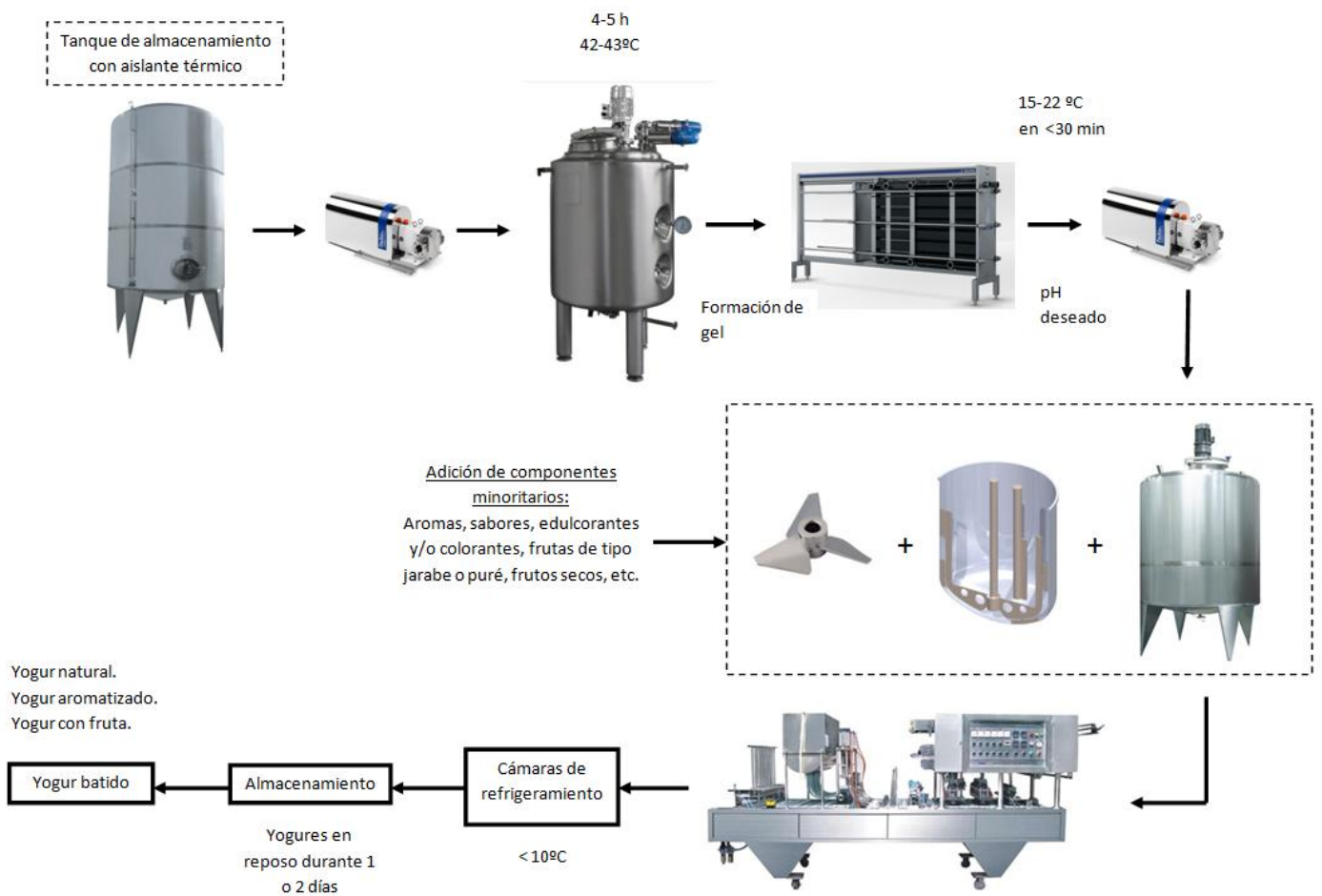


A continuación se muestran la maquinaria implicada en el área de la fermentación:

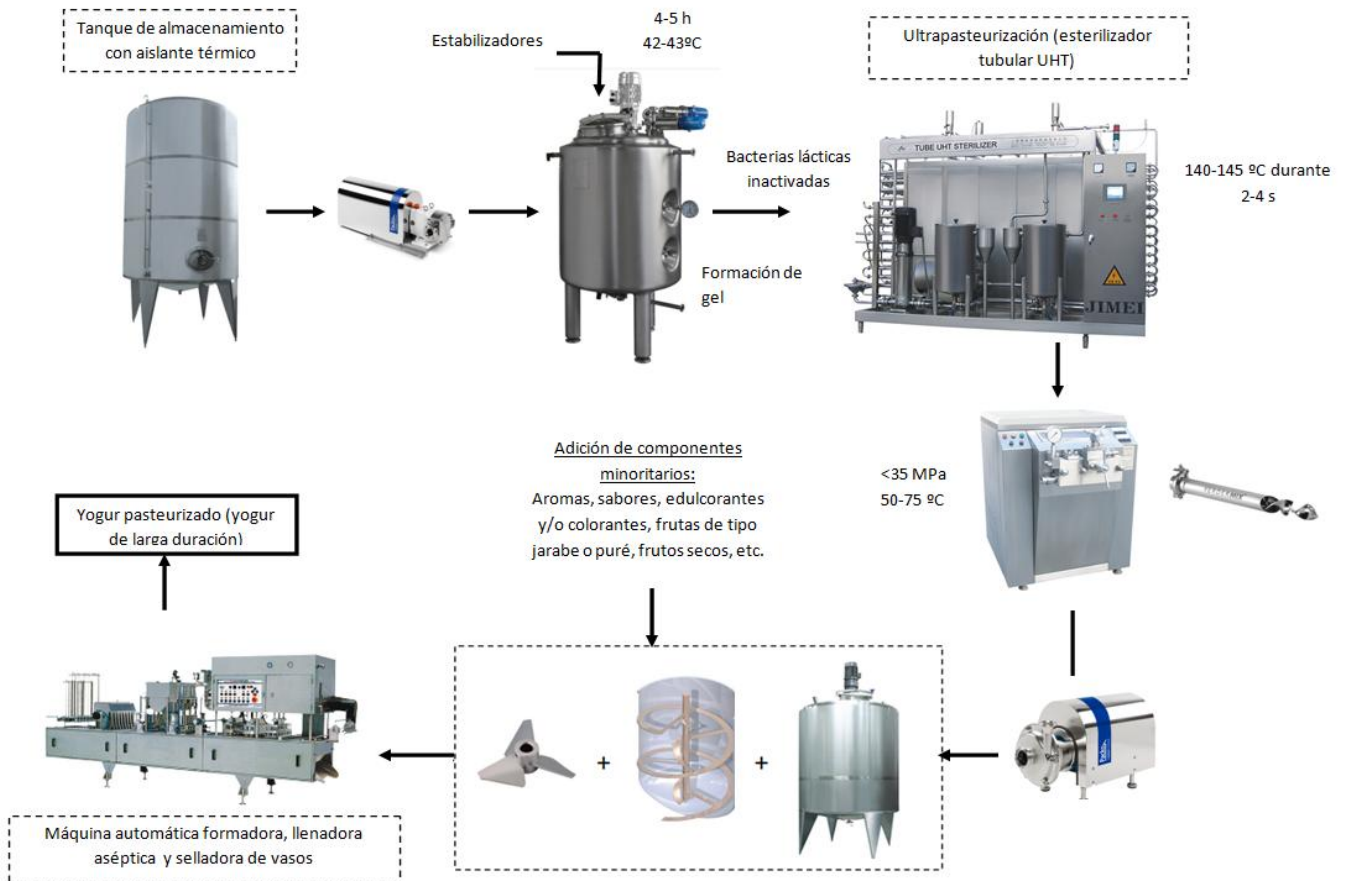


A partir del depósito de incubación destinado al crecimiento de las dos bacterias implicadas en la fermentación del yogur, existen distintas rutas según el tipo de yogur que se desea obtener.

En el siguiente proceso se muestra el procedimientos y los equipos implicados para obtener yogur batido:

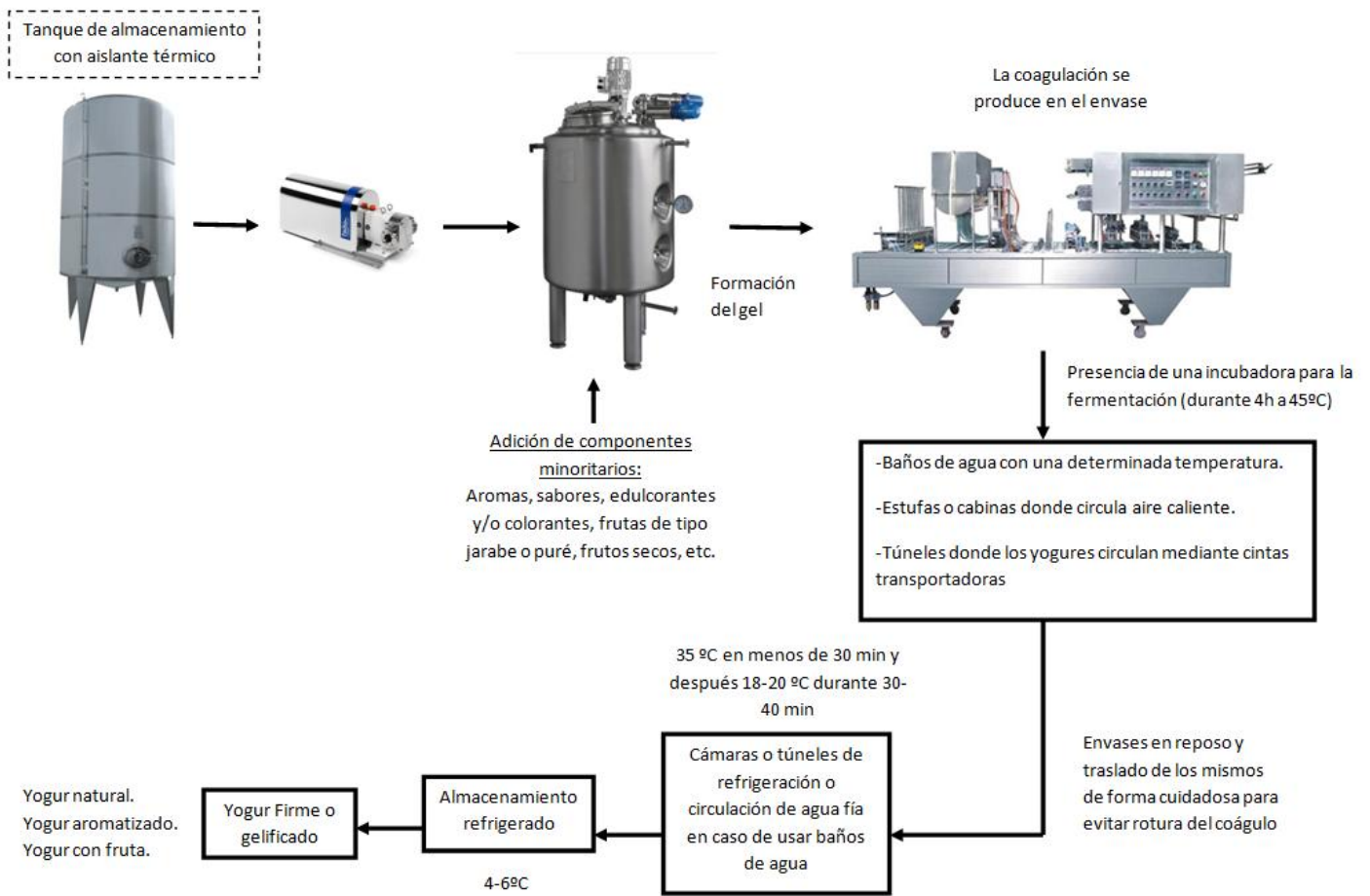


El proceso que viene a continuación se pueden observar los equipos tecnologicos y el procedimiento para la obtención del yogur pasteurizado:

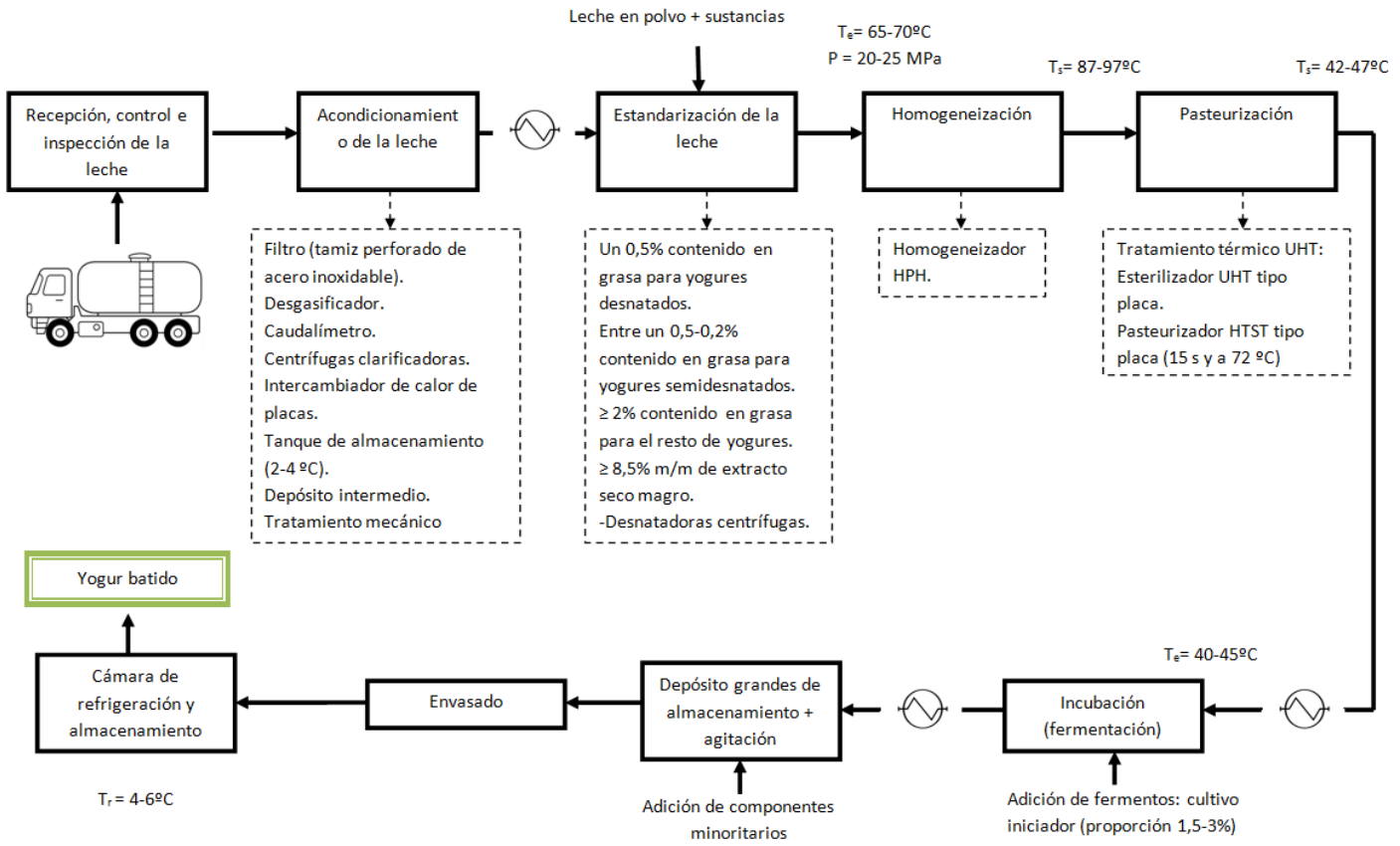




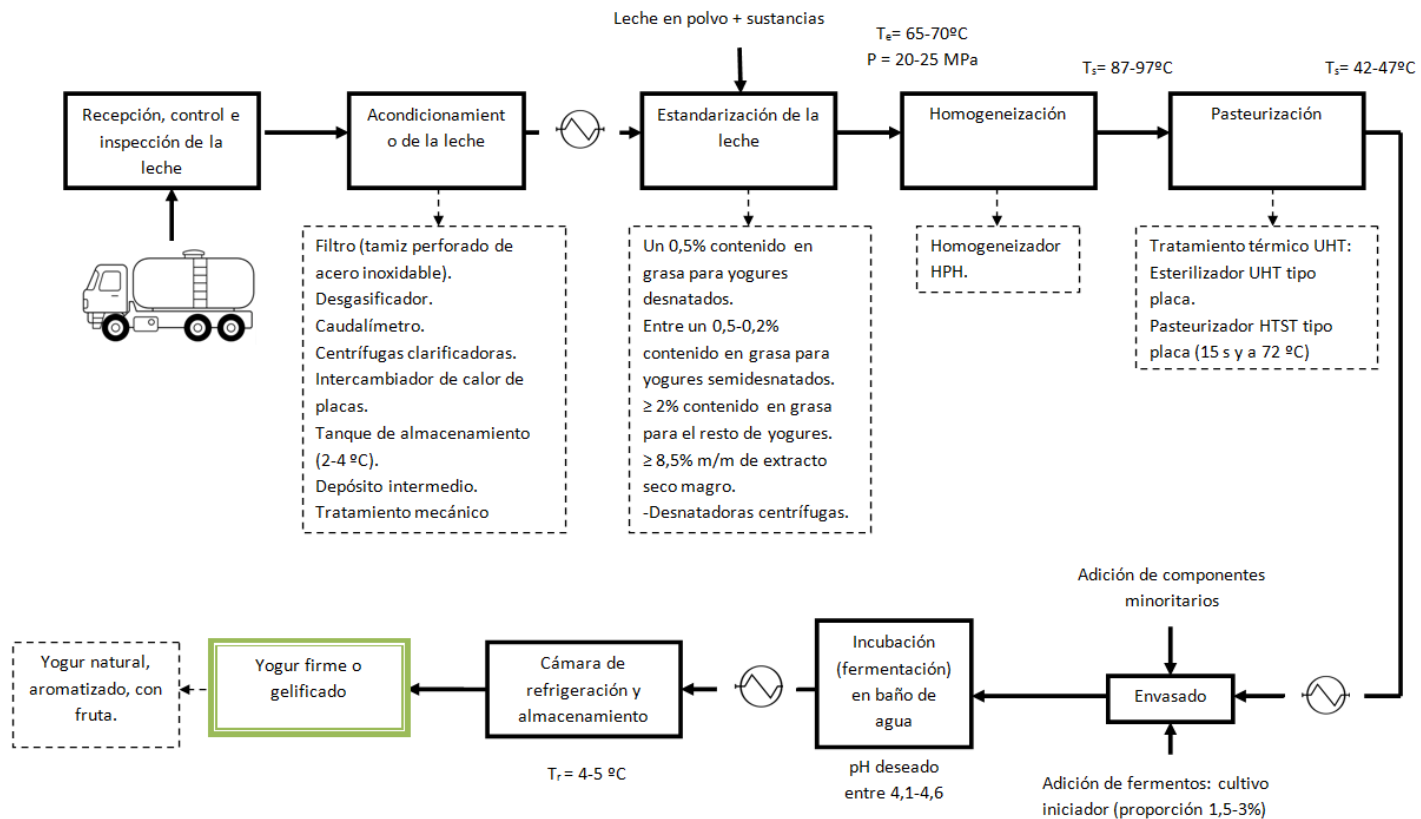
Para el proceso de obtención del yogur firme o gelificado (bioactivo) se va a necesitar el siguiente equipo tecnologico:







**Figura 28:** Diagrama de bloques detallado para el yogur batido.



**Figura 29:** Diagrama de bloques general para el yogur firme o gelificado.

## Aditivos alimentarios permitidos según la FAO:

Existen unas normas alimentarias establecidas por la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

El CODEX ALIMENTARIUS contiene una serie de normas alimentarias, directrices y códigos de prácticas con el objetivo de proteger la salud de los consumidores y asegurar prácticas equitativas en el comercio de alimentos.

Para el ámbito de las leches fermentadas, es decir, leches fermentadas tratadas térmicamente, las leches fermentadas concentradas y los productos lácteos compuestos basados en estos productos, para consumo directo o procesamiento ulterior, siguen unas normas.

La Norma del Codex establece para las leches fermentadas (CODEX STAN 243-2003) el uso permitido de los siguientes aditivos mostrados en la tabla 15.

Clase de aditivos	Leches fermentadas y bebidas a base de leche fermentada		Leches fermentadas tratadas térmicamente luego de la fermentación y bebidas a base de leche fermentada tratadas térmicamente luego de la fermentación	
	Simple	Aromatizada	Simple	Aromatizada
Reguladores de acidez:	–	X	X	X
Gasificantes:	X <sup>(b)</sup>	X <sup>(b)</sup>	X <sup>(b)</sup>	X <sup>(b)</sup>
Colorantes:	–	X	–	X
Emulsionantes:	–	X	–	X
Acentuadores del sabor:	–	X	–	X
Gases de envasado:	–	X	X	X
Sustancias conservadoras:	–	–	–	X
Estabilizadores:	X <sup>(a)</sup>	X	X	X
Edulcorantes:	–	X	–	X
Espesantes:	X <sup>(a)</sup>	X	X	X

<sup>(a)</sup>El uso está restringido a la reconstitución y recombinación si así lo permite la legislación nacional del país de venta al consumidor final.

<sup>(b)</sup>El uso de gasificantes está justificado tecnológicamente solo para las bebidas a base de leche fermentada.

X El uso de aditivos que pertenecen a la clase está tecnológicamente justificado. En el caso de los productos aromatizados, está justificado el uso de los aditivos en la parte láctea.

– El uso de aditivos que pertenecen a la clase no está tecnológicamente justificado.

**Tabla 15:** Norma general para los aditivos alimentarios (CXS 192-1995). Fuente: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/>

1. Los reguladores de acidez tienen la finalidad de controlar la acidez o la alcalinidad de un alimento. A continuación se muestra la tabla X permitidos según la FAO con sus correspondientes cantidades que se pueden utilizar según el tipo de regulador de acidez (<https://www.aditivos-alimentarios.com/search/label/Reguladores>), el gasificante (<https://www.aditivos-alimentarios.com/search/label/Gasificantes>) y el tipo de colorante (<https://www.aditivos-alimentarios.com/search/label/Colorantes>).

Nº de SIN	Nombre del aditivo	Nivel máximo
<b>Reguladores de acidez</b>		
334	Ácido tartárico, L(+)-	} 2 000 mg/kg como ácido tartárico
335(i)	Tartrato monosódico	
335(ii)	Tartrato de sodio, L(+)	
336(i)	Tartrato monopotásico	
336(ii)	Tartrato dipotásico	
337	Tartrato de potasio y sodio, L(+)	} 1 500 mg/kg como ácido adipico
355	Ácido adipico	
356	Adipatos de sodio	
357	Adipatos de potasio	
359	Adipatos de amonio	
<b>Gasificantes</b>		
290	Dióxido de carbono	BPF

Nº de SIN	Nombre del aditivo	Nivel máximo
<b>Colorantes</b>		
→ 100(i)	Curcumina	100 mg/kg
101(i)	Riboflavin, sintéticas	} 300 mg/kg
101(ii)	Riboflavina 5', fosfato de sodio	
→ 102	Tartracina	300 mg/kg
104	Amarillo de quinolina	150 mg/kg
110	Amarillo ocazo FCF	300 mg/kg
120	Carmines	150 mg/kg
122	Azorrubina (carmoisina)	150 mg/kg
→ 124	Ponceau 4R (rojo de cochinilla A)	150 mg/kg
129	Rojo allura AC	300 mg/kg
132	Indigotina (carmine de indigo)	100 mg/kg
133	Azul brillante FCF	150 mg/kg
141(i)	Clorofilas, complejos cúpricos	} 500 mg/kg
141(ii)	Clorofilinas, complejos cúpricos, sales de sodio y potasio	
143	Verde sólido FCF	100 mg/kg
150b	Caramelo II – caramelo al sulfito	150 mg/kg
150c	Caramelo III – caramelo al amoníaco	2 000 mg/kg
150d	Caramelo IV – caramelo al sulfito amónico	2 000 mg/kg
151	Negro brillante (negro PN)	150 mg/kg
155	Marrón HT	150 mg/kg
160a(i)	Carotenos, <i>beta</i> -, sintéticos	} 100 mg/kg
160e	Carotenal, <i>beta</i> -apo-8'-	
160f	Éster etílico del ácido <i>beta</i> -apo-8'-carotenico	
160a(iii)	Carotenos, <i>beta</i> -, <i>Blakeslea trispora</i>	} 600 mg/kg
160a(ii)	Carotenos, <i>beta</i> -, vegetales	
160b(i)	Extractos de annato – base de bixina	20 mg/kg como bixina
160b(ii)	Extractos de annato – base de norbixina	20 mg/kg como norbixina
160d	Licopenos	30 mg/kg como licopeno puro
161b(i)	Luteína de <i>Tagetes erecta</i>	150 mg/kg
161h(i)	Zeaxantina, sintética	150 mg/kg
163(ii)	Extracto de piel de uva	100 mg/kg
172(i)	Óxido de hierro, negro	} 100 mg/kg
172(ii)	Óxido de hierro, rojo	
172(iii)	Óxido de hierro, amarillo	

**Tabla 16.** Reguladores de acidez, gasificantes y los colorantes permitidos según la FAO. Fuente: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/>

2. EL color, en este caso de un yogur, es el parámetro que se percibe primero. Los colorantes, tanto naturales como artificiales, tienen una influencia directa sobre las propiedades organolépticas del yogur. En la tabla 16 se pueden observar una lista de estos colorantes permitidos, por la Norma y su nivel máximo, para su uso en

alimentos. Para el caso de los yogures, los colorante (<https://www.aditivos-alimentarios.com/search/label/Colorantes>) que se van a emplear para la elaboración de los yogures son:

**Colorantes naturales:**

-Curcumina (E100): tiene un sabor amargo y es de color amarillo brillante al naranja intenso, con nivel bajo de toxicidad.

-Cochinilla (E120) o ácido carmínico: cuyo color puede ser naranja pasando por rojo vivo, hasta el violeta oscuro. Su nivel de toxicidad es alto.

**Colorantes artificiales:**

-Tartracina (E102): es de color amarillo intenso al naranja brillante Se obtiene derivado del petróleo. Su nivel de toxicidad es alto.

- Rojo Cochinilla A o Rojo Poncecu 4R (E124): es de color rojo intenso. Se obtiene derivado del petróleo. Tiene un nivel de toxicidad alto.

- Azorrubina (E122): es de color marrón. Se obtiene derivado del naftaleno, un compuesto común del petróleo, los combustibles fósiles, y conocido como el alquitrán blanco. Tiene un nivel de toxicidad alto.

3. Por otro lado, se encuentran los emulsionantes los cuales son sustancias aditivas químicas que sirven para hacer posible la mezcla homogénea de dos o más líquidos no miscibles entre sí. La tabla 17 muestra los emulsionantes permitidos por la Norma y su nivel máximo.

Nº de SIN	Nombre del aditivo	Nivel máximo
<b>Emulsionantes</b>		
432	Polioxietileno (20), monolaurato de sorbitán	3 000 mg/kg
433	Polioxietileno (20), monooleato de sorbitán	
434	Polioxietileno (20), monopalmítico de sorbitán	
435	Polioxietileno (20), monoestearato de sorbitán	
436	Polioxietileno (20), tristearato de sorbitán	
472e	Ésteres diacetiltartáricos y de los ácidos grasos del glicerol	10 000 mg/kg
473	Ésteres de ácidos grasos y sacarosa	5 000 mg/kg
474	Sucroglicéridos	5 000 mg/kg
475	Ésteres poliglicéridos de ácidos grasos	2 000 mg/kg
477	Ésteres de propilenglicol de ácidos grasos	5 000 mg/kg
481(i)	Estearoil lactilato de sodio	10 000 mg/kg
482(i)	Estearoil lactilato de calcio	10 000 mg/kg
491	Monoestearato de sorbitán	5 000 mg/kg
492	Tristearato de sorbitán	
493	Monolaurato de sorbitán	
494	Sorbitán monooleate	
495	Monopalmítico de sorbitán	
900a	Polidimetilsiloxano	50 mg/kg

**Tabla 17.** Emulsionantes permitidos según la FAO. Fuente: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/>

4. Los potenciadores del sabor (<https://www.aditivos-alimentarios.com/search/label/Potenciadores>) son sustancias aditivas químicas que sirven para aumentar artificialmente la sensación de un sabor más intenso o perdurable en el paradar de un alimento, que el que tendría en origen o de forma natural. La tabla 18 muestra los acentuadores de sabor permitidos por la Norma y su nivel máximo.

Nº de SIN	Nombre del aditivo	Nivel máximo
<b>Acentuadores del sabor</b>		
580	Gluconato de magnesio	BPF
620	Ácido glutámico, L(+)-	BPF
621	Glutamato monosódico, L-	BPF
622	Glutamato monopotassium, L-	BPF
623	Glutamato de calcio, di-L-	BPF
624	Glutamato monoamónico, L-	BPF
625	Glutamato de magnesio, di-L-	BPF
626	Ácido guanílico, 5'-	BPF
627	Guanilato disódico, 5'-	BPF
628	Guanilato dipotásico, 5'-	BPF
629	Guanilato de calcio, 5'-	BPF
630	Ácido inosínico, 5'-	BPF
631	Inosinato disódico, 5'-	BPF
632	Inosinato de potasio, 5'-	BPF
633	Inosinato de calcio, 5'-	BPF
634	Ribonucleótidos de calcio, 5'-	BPF
635	Ribonucleótidos disódicos, 5'-	BPF
636	Maltol	BPF
637	Etilmaltol	BPF

**Tabla 18.** Acentuadores del sabor permitidos según la FAO. Fuente: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/>

5. Las sustancias conservadoras (<https://www.aditivos-alimentarios.com/search/label/Conservantes>) son sustancias aditivas químicas que sirven para prolongar la vida de un alimento protegiéndolo del deterioro ocasionado por diferentes microorganismos. La tabla 19 muestra los conservantes permitidos por la Norma y su nivel máximo.

Nº de SIN	Nombre del aditivo	Nivel máximo
<b>Sustancias conservadoras</b>		
200	Ácido sórbico	1 000 mg/kg como ácido benzoico
201	Sorbato de sodio	
202	Sorbato de potasio	
203	Sorbato de calcio	300 mg/kg como ácido benzoico
210	Ácido benzoico	
211	Benzoato de sodio	
212	Benzoato de potasio	500 mg/kg
213	Benzoato de calcio	
234	Nisina	

**Tabla 19.** Conservantes permitidos según la FAO. Fuente: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/>

6. Los estabilizantes (<https://www.aditivos-alimentarios.com/search/label/Estabilizantes>) son sustancias aditivas químicas que sirven para posibilitar el mantenimiento de una capa o de una dispersión uniforme de dos o más sustancias no miscibles en un alimento.

7. Los espesantes (<https://www.aditivos-alimentarios.com/search/label/Espesantes>) son sustancias aditivas químicas que sirven para mejorar, concentrar o aumentar la viscosidad de un alimento.

Nº de SIN	Nombre del aditivo	Nivel máximo
<b>Estabilizadores y espesantes</b>		
170(i)	Carbonato de calcio	BPF
331(iii)	Citrato trisódico	BPF
338	Ácido fosfórico	1 000 mg/kg, solo o en combinación como fósforo
339(i)	Fosfato diácido de sodio	
339(ii)	Hidrogenofosfato disódico	
339(iii)	Fosfato trisódico	
340(i)	Fosfato diácido de potasio	
340(ii)	Hidrogenofosfato dipotásico	
340(iii)	Fosfato tripotásico	
341(i)	Fosfato diácido de calcio	
341(ii)	Hidrogenofosfato de calcio	
341(iii)	Fosfato tricálcico	
342(i)	Fosfato diácido de amonio	
342(ii)	Hydrogeno fosfato diamónico	
343(i)	Fosfato monomagnésico	
343(ii)	Hydrogenofosfato de magnesio	
343(iii)	Fosfato trimagnésico	
450(i)	Difosfato disódico	
450(ii)	Difosfato trisódico	
450(iii)	Difosfato tetrasódico	
450(v)	Difosfato tetrapotásico	
450(vi)	Difosfato dicálcico	
450(vii)	Difosfato diácido cálcico	
451(i)	Trifosfato pentasódico	
451(ii)	Trifosfato pentapotásico	
452(i)	Polifosfato de sodio	
452(ii)	Polifosfato de potasio	
452(iii)	Polifosfato de sodio y calcio	
452(iv)	Polifosfato de calcio	
452(v)	Polifosfato de amonio	
542	Fosfato de huesos	
400	Ácido alginico	BPF
401	Alginato de sodio	BPF
402	Alginato de potasio	BPF
403	Alginato de amonio	BPF
404	Alginato de calcio	BPF
405	Alginato de propilenglicol	BPF
406	Agar	BPF
407	Carragenina	BPF
407a	Alga eucheama elaborada	BPF
410	Goma de semillas de algarrobo	BPF
412	Goma guar	BPF
413	Goma de tragacanto	BPF
414	Goma arábica (Goma de acacia)	BPF
415	Goma xantán	BPF
416	Goma karaya	BPF

**Tabla 20.** (continuación de la Tabla 19) Estabilizadores y espesantes permitidos según la FAO. Fuente: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/>

N° de SIN	Nombre del aditivo	Nivel máximo
<b>Estabilizadores y espesantes</b>		
417	Goma tara	BPF
418	Goma gelán	BPF
425	Harina konjac	BPF
440	Pectinas	BPF
459	Ciclodextrina, beta-	5 mg/kg
460(i)	Celulosa microcristalina (gel de celulosa)	BPF
460(ii)	Celulosa en polvo	BPF
461	Metilcelulosa	BPF
463	Hidroxipropilcelulosa	BPF
464	Hidroxipropilmetilcelulosa	BPF
465	Metiletilcelulosa	BPF
466	Carboximetilcelulosa sódica (goma de celulosa)	BPF
467	Etilhidroxietilcelulosa	BPF
468	Carboximetilcelulosa sódica reticulada (goma de celulosa reticulada)	BPF
469	Carboximetilcelulosa sódica, hidrolizada mediante enzimas (goma de celulosa, hidrolizada mediante enzimas)	BPF
470(i)	Sal mirística, palmítica y ácidos esteáricos con amonio, calcio, potasio y sodio	BPF
470(ii)	Sal de ácido oleico con calcio, potasio y sodio	BPF
471	Mono- y di-glicéridos de ácidos grasos	BPF
472a	Ésteres acéticos y de ácidos grasos del glicerol	BPF
472b	Ésteres lácticos y de ácidos grasos del glicerol	BPF
472c	Ésteres cítricos y de ácidos grasos del glicerol	BPF
508	Cloruro de potasio	BPF
509	Cloruro de calcio	BPF
511	Cloruro de magnesio	BPF
1200	Polidextrosas	BPF
1400	Dextrinas, almidón tostado	BPF
1401	Almidones tratados con ácido	BPF
1402	Almidones tratados con alcalis	BPF
1403	Almidón blanqueado	BPF
1404	Almidón oxidado	BPF
1405	Almidones tratados con enzimas	BPF
1410	Fosfato de monoalmidón	BPF
1412	Fosfato de dialmidón	BPF
1413	Fosfato de almidón fosfatado	BPF
1414	Fosfato de dialmidón acetilado	BPF
1420	Acetato de almidón	BPF
1422	Adipato de dialmidón acetilado	BPF
1440	Almidón hidroxipropilado	BPF
1442	Fosfato de dialmidón hidroxipropilado	BPF
1450	Almidón octenil succinado sódico	BPF
1451	Almidón oxidado de acetilato	BPF

**Tabla 21.** Estabilizadores y espesantes permitidos según la FAO. Fuente: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/>

- Los edulcorantes (<https://www.aditivos-alimentarios.com/search/label/Edulcorantes>) son las sustancias aditivas químicas, diferentes del azúcar, que sirven para conferir sabor dulce o aumentar el dulzor a un alimento. La tabla 22 muestra los edulcorantes permitidos por la Norma y su nivel máximo.



N° de SIN	Nombre del aditivo	Nivel máximo
<b>Edulcorantes<sup>(a)</sup></b>		
420	Sorbitols	BPF
421	Manitol	BPF
→ 950	Acesulfame potásico	350 mg/kg
→ 951	Aspartamo	1 000 mg/kg
952	Ciclamatos	250 mg/kg
953	Isomaltol (isomaltulosa hidrogenada)	BPF
954	Sacarinas	100 mg/kg
→ 955	Sucralosa (Triclorogalactosacarosa)	400 mg/kg
956	Alitame	100 mg/kg
961	Neotamo	100 mg/kg
962	Acesulfamo aspartame, sal de	350 mg/kg en base al equivalente de acesulfamo de potasio
964	Jarabe de poliglicitol	BPF
965	Maltitoles	BPF
966	Lactitolo	BPF
967	Xilitolo	BPF
→ 968	Eritritolo	BPF

(a) El uso de edulcorantes se limita a la leche y los productos en base a derivados de la leche de energía reducida o sin el agregado de azúcar.

**Tabla 22.** Edulcorantes permitidos según la FAO. Fuente: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/>

Los edulcorantes señalados con una flecha roja son los destinados a la elaboración de los yogures. En la etapa de la adición de componentes minoritarios se va a añadir el edulcorante E-955 o sucralosa que es un componente termoestable y no se verá afectado en los tratamientos térmico, es decir, en las pasteurización. La proporción añadida va a ser de 200 mg/kg siendo el valor máximo de 400 mg/kg que se puede llegar a utilizar según lo establecido por el Codex Alimentarius. Se ha decidido emplear una cantidad de 200 mg/kg debido a su alto nivel de toxicidad y además tiene un poder edulcorante muy alto. Los edulcorantes fomentan los trastornos metabólicos, incluyendo la intolerancia a la glucosa. A parte, el E-955 es obtenido de la sacarosa la cual ha sido tratada con cloro. Este edulcorante es 600 veces más dulce que el azúcar normal. Utilizar dicho edulcorante en proporciones elevadas puede provocar la destrucción del sistema inmunitario afectando sobretodo al hígado y los riñones.

## Balance de materia y de energía:

Antes de realizar los cálculos pertinentes para realizar los balances de materia, habrá que tener en cuenta una serie de determinaciones.

Primer de todo, para realizar dicho balance de materia habrá que tener en cuenta que tipo de yogur que se quiere elaborar. En este proyecto se lleva a cabo la producción de yogures firmes o gelificados, batidos, pasteurizados y líquidos.

Segunda consideración, se debe determinar la calidad de leche cruda promedio empleada para el proceso, la cantidad y la calidad del yogur ya que deberán de ser iguales para los distintos métodos de fabricación y así poder comparar su ciclo de vida.

Otro aspecto importante es conocer las variables del proceso. Es muy importante conocer bien que cuales son y sobretodo en que unidades de proceso están directamente implicadas, es decir, saber bien cuales son las corrientes de entrada y salida de cada unidad de proceso para poder realizar dichos balances.

Por otro lado habrá que tener en cuenta la Norma de Calidad vigente ya que en ella se determinan las proporciones máximas y mínimas que puede tener el contenido en grasa según el tipo de yogur, los componentes minoritarios que se pueden utilizar y con que proporciones, el contenido mínimo de extracto seco magro y sobretodo las proporciones y condiciones de uso para las dos bacterias implicadas en la elaboración del yogur.

Cualquier tipo de yogur que se vaya a elaborar tiene el mismo proceso hasta llegar a la etapa de la fermentación ya que de ella va a depender según del tipo de yogur que se quiera obtener.

Datos necesarios para realizar los balances:

Composición promedia que intervienen en la fabricación del yogur			
Producto	Agua	Materia grasa	ESM
Leche entera de vaca	87,25%	3,4%	12,75%
Leche en polvo entera o semidesnatada	2%	27%	36,7
Leche en polvo desnatada	3,30%	1,5%	61,2%
Leche condensada	30%	8%	28%
Leche parcialmente desnatada	29%	0,5%	20%
Leche evaporada (leche esterilizada)	0%	1%	28%
Nata	5%	42%	5%

**Tabla 23.** Composición promedia de los productos que intervienen en la elaboración del yogur. Fuente: Ingeniería y producción de alimentos, Antonio Madrid Vicente, pág 11,63,81,82,85,90,92,99.

El balance de materia va a determinar el volumen de leche cruda que se debe recibir en la industria destinada a la producción de los yogures. Hay que tener en cuenta que durante la fase de estandarización se va a obtener un subproducto, la nata.

**Balance de materia para el proceso de estandarización/normalización de la leche a través de la adición de leche en polvo entera, semidesnatada o desnatada (para este proyecto se va a utilizar la leche en polvo desnatada):**

La adición de leche en polvo desnatada es el producto lácteo más utilizado para estandarizar el extracto seco magro. En la Tabla [23] aparecen la composición de la leche en polvo desnatada.

**Cálculo de los sólidos totales de la leche:**

Los sólidos totales (ST) se miden en la calidad composicional de la leche y engloban cuatro componentes: lactosa, grasa, proteínas y minerales. El factor más influyente en el porcentaje de ST es el contenido de grasa, debido a su gran variabilidad. Además también influye la lactación, la edad de la vaca, la temperatura ambiente y el estado sanitario. La densidad específica de la leche disminuye al aumentar el contenido en

grasa y también aumenta el contenido en proteínas (caseína y otras), grasa, vitaminas (A,B,D,E), lactosa y sales minerales (calcio, fósforo).

Conociendo la densidad y la cantidad de grasa de la leche se puede hallar el porcentaje de sólidos totales mediante una serie de fórmulas semi empíricas:

Fórmula de Fleischmann:

$$ST = 1,2 \cdot G + ((2,665 \cdot (D-1000)) / 100) \cdot 100$$

$$ST = 1,2 \cdot 3,4 + ((2,665 \cdot (1032-1000)) / 1032) \cdot 100 = \mathbf{12,34 \%}$$
 sólidos totales.

Dónde ST es el % de sólidos totales (materia seca), la D es el valor leído entero de la densidad de la leche, y la G es el % de la grasa.

Fórmula de Richmond:

$$ST = 0,25 \cdot D + 1,21 \cdot G + 0,66$$

Dónde ST es el % de sólidos totales (materia seca), la D es el valor de las últimas cifras de la densidad de la leche, y la G es el % de la grasa.

$$ST = 0,25 \cdot 32 + 1,21 \cdot 3,4 + 0,66 = \mathbf{13,27\%}$$
 sólidos totales.

Fórmula de Queensville:

$$ST \text{ (g/l)} = (10,6 \cdot G) + 2,75 \cdot (D-1000) =$$

$$ST \text{ (g/l)} = (10,6 \cdot 3,4) + 2,75 \cdot (1032-1000) = \mathbf{124,04 \text{ g/l}}$$

Dónde ST es en g/l de sólidos totales (materia seca), la D es el valor leído entero de la densidad de la leche, y la G es el % de la grasa.

Fórmula de Gilibaldo y Peliefo:

$$ST = 282 \cdot (D-1) + (G \cdot 1,19)$$

$$ST = 282 \cdot (1,032-1) + (3,4 \cdot 1,19) = \mathbf{13,07 \%}$$
 de sólidos totales.

Dónde ST es el % de sólidos totales (materia seca), la D es el valor de la densidad de la leche, y la G es el % de la grasa.

$$D = 1,032$$

$$G = 3,4$$

En la tabla [24] que viene a continuación se muestran las distintas densidades del primer ordeño hasta 10 días después (leche normal):

Días	Densidad (g/ml)
Primer ordeño tras el parto	1,060
1 día después	1,040
2 días después	1,034
3 días después	1,032
10 días después (leche cruda)	1,032

**Tabla 24.** Densidades de la leche desde el primer ordeño tras el parto hasta pasado 10 días después. Fuente: Ciencia de la leche, página 463.

La densidad de la leche cruda oscila entre 1,028 y 1,034 g/ml. Para la leche de vaca la densidad es de 1,029 g/ml y 1,034 g/ml (15 °C). Su variación con la temperatura es de 0,0002 g/ml por cada grado de temperatura. Para el sistema estudiado, se ha escogido una densidad de 1,032 g/ml de la tabla [24] para efectuar los cálculos.

El porcentaje de contenido en materia grasa para la leche cruda, observando la tabla [23], es de 3,4%.

### **Cálculos para el mantenimiento de la temperatura de pasteurización:**

El mantenimiento de la temperatura de pasteurización se debe tener en cuenta ya que para mantener un tratamiento térmico correcto exige que la leche se mantenga durante un tiempo determinado a la temperatura de pasteurización. Esto se hace en una sección externa de mantenimiento. En esta sección hay una tubería la cual es cubierta por una rejilla que se encarga de proteger a los trabajadores ya que se pueden quemar en caso de tocarla.

La longitud de la tubería y la velocidad de flujo se calculan de forma que el tiempo de permanencia en esta sección corresponde al exigido. El tiempo de mantenimiento es inversamente proporcional al caudal del producto en esta sección.

En caso de conocer el caudal horario y el diámetro de la tubería, se puede calcular la longitud adecuada para lograr un determinado tiempo de mantenimiento.

El perfil de velocidades dentro del tubo de mantenimiento no es uniforme, por lo tanto, los caudales de leche tendrán una velocidad de circulación superior a la media. Para asegurarse que incluso esas proporciones que se mueven a mayor velocidad sean pasteurizadas de manera suficiente, se debe utilizar un factor de eficiencia. Este factor va a depender del diseño del tubo de mantenimiento, pero normalmente equivale entre 0,8 y 0,9.

Fórmulas necesarias para realizar el cálculo son :

$$V = (Q \cdot TM) / (3600 \cdot f) \text{ dm}^3$$

Pasteurizador HSTS de INOXPA:

$$Q = 17285,52 \text{ L/día} = 720,23 \text{ L/h}$$

$$TM = 22,5 \text{ s}$$

f = se considera un factor de eficacia de 0,85

$$V = (720,23 \cdot 22,5) / (3600 \cdot 0,85) = 5,30 \text{ dm}^3$$

$$L = (V \cdot 4) / (\pi \cdot D^2) \text{ dm}$$

D= se supone un diametro de 1/2" (0,127 dm). Para efectos de cálculo se restringió el valor mínimo de diámetro interior de tuberías a ½ " ya que es el valor más pequeño utilizado comercialmente para éste tipo de aplicaciones, y además se carece de ingeniería de detalle para la unidad de pasteurización encontrada de la empresa INOXPA (también se buscó otros pasteurizadores para poder obtener dicho diametro interior pero tampoco se disponia en las fichas técnicas encontradas).

$$L = (5,30 \cdot 4) / (\pi \cdot 0,127^2) = 53,14 \text{ dm} \quad \mathbf{(5,314 \text{ m})}$$

Fórmulas extraídas del libro "Ingeniería y producción de alimentos", Antonio Madrid Vicente, página 34.

Donde la Q (caudal de leche en l/h), la TM (tiempo de mantenimiento en segundos), la L (longitud del tubo de mantenimiento en dm, correspondientes a Q y TM), la D (diámetro interior del tubo en dm), la V (volumen en l o dm<sup>3</sup> correspondientes a Q y TM) y la f (factor de eficacia).

#### **Cálculo de la potencia eléctrica efectiva que se necesita en el homogeneizador:**

Fórmula necesaria:

$$E = ((Q_n \cdot (P_1 - P_2)) / (36000 \cdot C_b \cdot C_m)) + T_e$$

Fórmula extraída del libro "Ingeniería y producción de alimentos", Antonio Madrid Vicente, página 26.

Donde la E (potencia eléctrica efectiva en kW), la Q<sub>n</sub> (capacidad de trabajo en l/h), la P<sub>1</sub> (presión de homogeneización en bar), la P<sub>2</sub> (presión de llegada a la bomba en bar), la C<sub>b</sub> (coeficiente de rendimiento de la bomba) y la C<sub>m</sub> (coeficiente de rendimiento del motor eléctrico).

El cálculo de la potencia eléctrica efectiva del homogeneizador hubiera sido un cálculo interesante de obtener pero debido a que la C<sub>b</sub> y la C<sub>m</sub> no se han podido encontrar ya que se trata de una ingeniería de detalle no proporcionada por el fabricante y/o la empresa que dispone del homogeneizador y la bomba utilizadas para este proyecto.

Una parte de la energía suministrada por el homogeneizador se disipará en forma de calor. Conociendo la temperatura de entrada de la leche al homogeneizador (P<sub>1</sub>), la presión de salida del homogeneizador (P<sub>s</sub>), y si se considera que cada 40 bar de caída de presión aumenta la temperatura 1 °C, se puede aplicar la siguiente fórmula para el cálculo de la temperatura de salida:

$$T_s = ((P_1 - P_s) / 40) + T_e$$

$$T_s = ((600 - P_s) / 40) + 65$$

La P<sub>s</sub> es un valor que se obtendría realizando este proyecto de forma experimental, por lo tanto tampoco se puede hallar dicho valor pero se ha querido hacer mención de esta ecuación para quedar constancia como se podría calcular la temperatura de salida del homogeneizador.

Fórmula extraída del libro "Ingeniería y producción de alimentos", Antonio Madrid Vicente, página 26.

La regulación del contenido en grasa de la nata se puede obtener mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{grasa} = C_{GLE} \cdot (F_L / F_N) - C_{GLD} \cdot ((F_L / F_N) - 1)$$

Fórmula adaptada del libro *Productos lácteos Tecnología de Roser Romero del Castillo Shelly y Josep Mestre Lagarrija, página 68.*

$C_{GLE}$  = contenido en grasa de la leche entera.

$F_L$  = caudal de la leche que entra en la centrífuga.

$F_N$  = caudal de la nata que sale de la centrífuga.

$C_{GLD}$  = contenido en grasa en la leche desnatada.

$$C_{GLE} = 0,034$$

$$F_L = 18000$$

$$F_N = 1257,83$$

$$C_{GLD} = 0,005$$

$$\% \text{grasa} = 0,034 \cdot (18000/1257,83) - 0,005 \cdot ((18000/1257,83) - 1) = 0,42 \text{ (42\%)}$$

El resultado es que para la leche entera con un nivel constante de grasa ( $C_{GLE}$ ) y para la leche desnatada con un nivel constante de grasa ( $C_{GLD}$ ) (significaría que el separador funciona con regularidad y a temperatura constante), el contenido en grasa solo va a depender de dos variables independientes: el caudal de la leche que entra y el caudal de la nata que sale.

En la práctica, un 5% del caudal de entrada de la leche hacen que el contenido en grasa de la nata pueda variar un 2%. La regularidad del contenido en grasa de la nata cuando el ajuste es manual puede ser del 1%. Existen controles más precisos que permiten controlar en continuo el contenido en grasa de la leche mediante densimetría o por análisis físico de la grasa (Milko Tester) o midiendo los caudales (Compomaster).

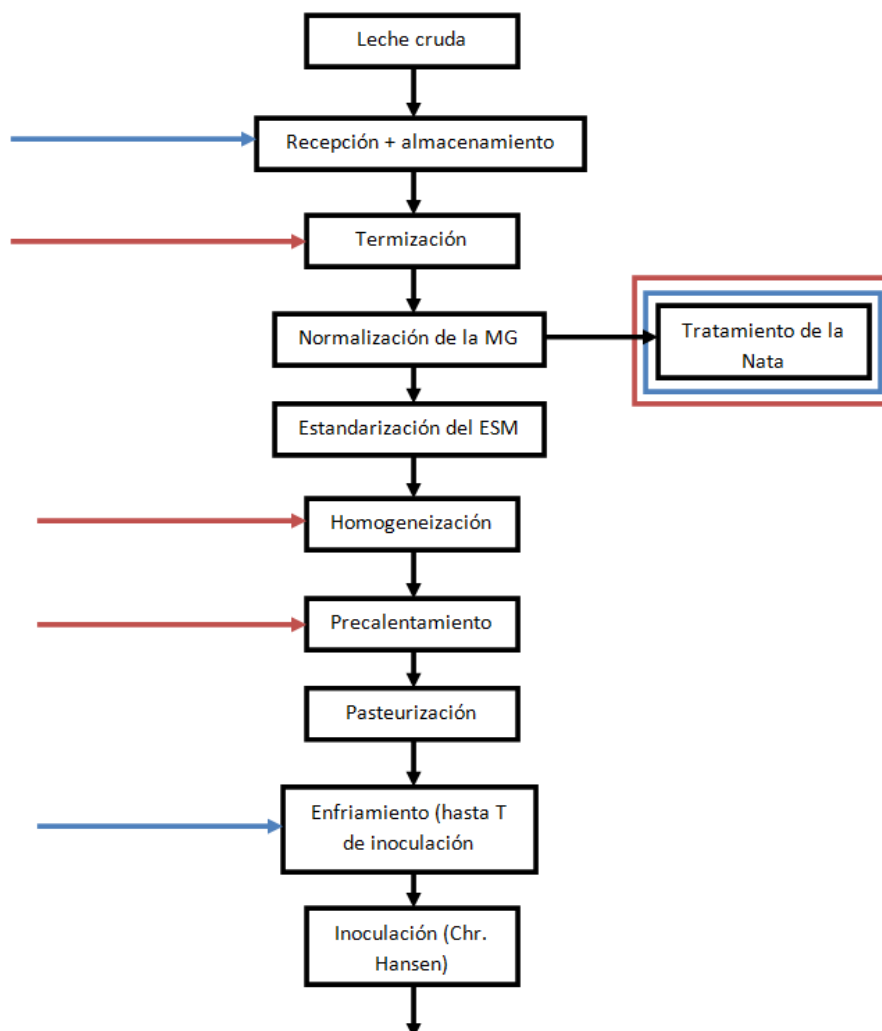
La estandarización de la leche se puede hallar por dos métodos:

- Método de los cuadros de Pearson.
- Balance de masa y de grasa (método utilizado para este proyecto).

Para llevar a cabo los balances de energía, habrá que determinar cuáles van a ser las unidades de proceso implicadas en dicho balance. Para la realización de este proyecto las unidades relacionadas con el proceso completo de la elaboración de los distintos yogures son la unidad de estandarización, la pasteurización, los enfriamientos mediante los intercambiadores de calor, la termización (intercambiador de calor), la homogeneización y la fermentación.

Primero de todo, para determinar de forma clara la energía térmica o eléctrica de cada unidad de proceso se ha decidido plasmar de forma esquemática dichas energías involucradas en el proceso global de la

elaboración del yogur. La siguiente figura 30 se pueden observar las energías relacionadas para cada fase del proceso. Las energías presentes en cada unidad van a ser las mismas hasta llegar en la fase de la inoculación de los fermentos para los cuatro tipos de yogures. A partir de la inoculación, según el tipo de yogur, se va a seguir rutas de proceso distintas entre los yogures hasta llegar a la última etapa de la producción, el almacenaje y comercialización.



**Figura 30:** Diagrama de bloques de la energía de calentamiento (representada por una flecha azul) / enfriamiento (representada por una flecha roja) para el sistema de los yogures estudiados. En el caso del tratamiento de la nata se va a someter tanto a tratamientos de calor como de frío que se van a estudiar de manera independiente al sistema trabajado.

La ecuación utilizada para determinar la cantidad de calor que se debe suministrar o extraer para calentar o enfriar el producto es la siguiente:

$$Q = m \cdot C_e \cdot \Delta T$$

Donde la Q (kJ) es el calor, la m (kg) es la masa de la corriente de producto, la  $C_e$  (kJ/kg·K) es el calor específico del producto y la  $\Delta T$  (K) es la variación de temperatura.

El calor específico es un parámetro muy relevante para la industria láctea. En la tabla 25 se muestra el calor específico de la leche entera y desnatada a diferentes temperaturas. Hay que decir también, que este calor varía poco de 0 a 100 °C.

Por otro lado, el calor específico de la nata varía bastante. A las temperaturas de pasteurización, la nata se calienta y se enfría de forma más rápida que la leche. El calor específico de los desecados y desnatados (leche en polvo desnatada, suero en polvo) es próximo a 0,3 cal/g °C (1,256 KJ/Kg °C).

Calor específico (KJ/Kg °C )	0 °C	15 °C	40 °C	60 °C
Leche entera	3,852	3,936	3,894	3,852
Leche desnatada	3,936	3,957	3,978	4,019
Nata con un 30% de MG	2,805	4,103	3,559	3,601
Nata con un 60% de MG	2,345	4,396	3,015	3,098

**Tabla 25.** Calor específico a distintas temperaturas. Fuente: CH. ALAIS, Ciencia de la leche página 260.

CALORES ESPECÍFICOS								
Lácteos	Temp. conservación °C	Humedad relativa %	Tiempo conservación recomend.	Punto de congelación °C	Calor esp. antes cong. Kcal/Kg/°C	Calor esp. después cong. Kcal/Kg/°C	Calor latente Kcal/Kg	Calor respiración Kcal/Tm/24h
Helados agua	-20 a -18	80/85	6/9 meses	-0,5	0,91	0,49	75,0	
Helados crema	-28 a -25	80/85	2/6 meses	-5	0,70	0,39	49,0	
Helados 10% grasa	-29 a -27	80/85	1/4 meses	-5,6	0,72	0,39	50,0	
→ Leche fresca	+2 a +4	85/90	1/3 días	-0,6	0,93	0,49	69,0	
→ Leche pasteurizada	+0 a +2	80/85	3/7 días	-0,6	0,93	0,49	69,0	
→ Leche UHT	+0 a +2	80/85	2/4 meses	-0,6	0,90	0,49	69,0	
→ Leche en polvo	+12 a +14	50/60	6/24 meses		0,23	0,21	16,0	
Mantequilla	+0 a +1,5	80/85	4/6 semanas	-0,6	0,33	0,25	13,0	
Margarina	+1 a +2	60/70	1 año	-1	0,32	0,25	12,0	
→ Nata (40%)	+1,5 a 2,5	75/80	1/2 semanas	-2,2	0,85	0,40	50,0	
→ Nata (40%) congelada	-20 a -18	80/85	4/6 meses	-2,2	0,85	0,40	50,0	

**Tabla 26.** Calores específicos para los derivados lácteos. Fuente: documento en formato pdf <file:///C:/Users/PC/Downloads/TFG%20yogur/Calores%20espec%C3%ADficos.pdf>

Para este proyecto se ha considerado una temperatura ambiental de 16 °C en el interior de la planta industrial destinada al tratamiento de la leche y la elaboración de los yogures.

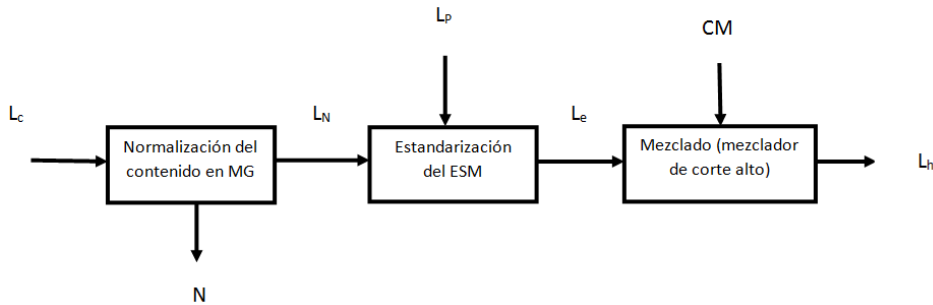
#### Pérdidas de energía:

En toda planta industrial siempre existen una pérdidas producidas por conducción y por convección de cada una de la unidades de proceso incluido las tuberías. Estas pérdidas generadas se debe a la presencia de dos medios a diferentes temperaturas (entre la temperatura ambiental y la temperatura de cada unidad de proceso). Debido a que no se disponen de los planos de la planta industrial para poder conocer su



dimensionado y su aislamiento térmico y así poder calcular dichas pérdidas, se ha decidido que las pérdidas energéticas van a ser un 5% de la energía necesaria para ejecutar el proceso.

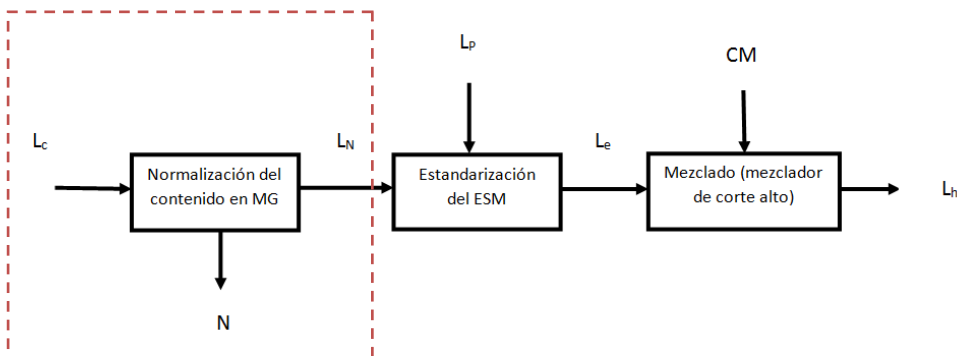
Balance de materia global en la unidad de normalización, estandarización y mezclado de la leche:



Donde la  $L_c$  es la leche cruda de la vaca, la  $N$  es la nata, la  $L_N$  es la leche normalizada (que puede ser entera, semidesnatada o desnatada pero para realizar los cálculos se ha basado en la leche desnatada), la  $L_p$  es la leche en polvo desnatada, la  $L_e$  es la leche ya estandarizada, la  $CM$  son los componentes minoritarios (el citrato de calcio y la vitamina D y el edulcorante E-955), y la  $L_h$  es la leche destinada ya para la etapa de la homogeneización.

La **MG** es la materia grasa y la **ESM** es el extracto seco magro.

Balance de materia para el contenido en MG en la unidad de normalización del contenido en MG (centrífuga desnatadora):



$$L_c = 18000 \text{ kg/día}$$

$$MG_{L_c} = 0,034$$

$$N = ?$$

$$MG_N = 0,42$$

$$L_N = ?$$

$$MG_{L_N} = 0,005$$

$$N + L_N = L_c \quad \longrightarrow \quad N + L_N = 18000$$

$$MG_N \cdot N + MG_{L_N} \cdot L_N = MG_{L_c} \cdot L_c$$

$$0,42 \cdot N + 0,005 \cdot L_N = 0,034 \cdot 18000$$

$$L_N = 18000 - N$$

$$0,42 \cdot N + 0,005 \cdot (18000 - N) = 612$$

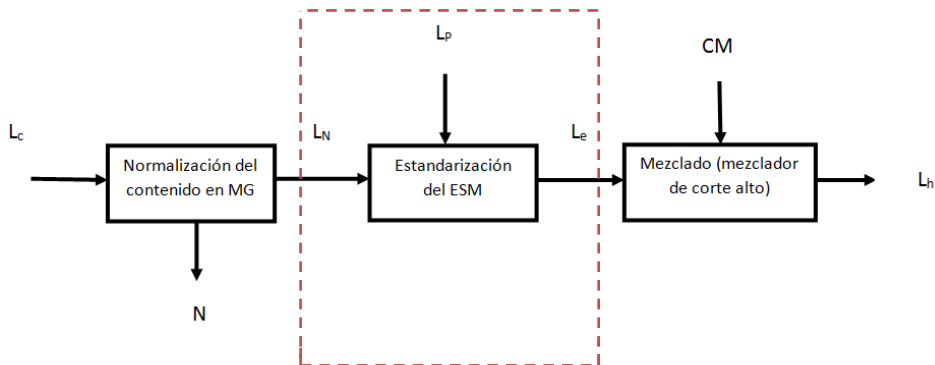
$$0,42 \cdot N + 90 - 0,005 \cdot N = 612$$

$$0,415 \cdot N = 522$$

$$N = 1257,83 \text{ kg/día}$$

Por lo tanto,  $L_N = 18000 - N = 18000 - 1257,83 = 16742,17 \text{ kg/día}$

Balance de materia en la unidad de estandarización del ESM:

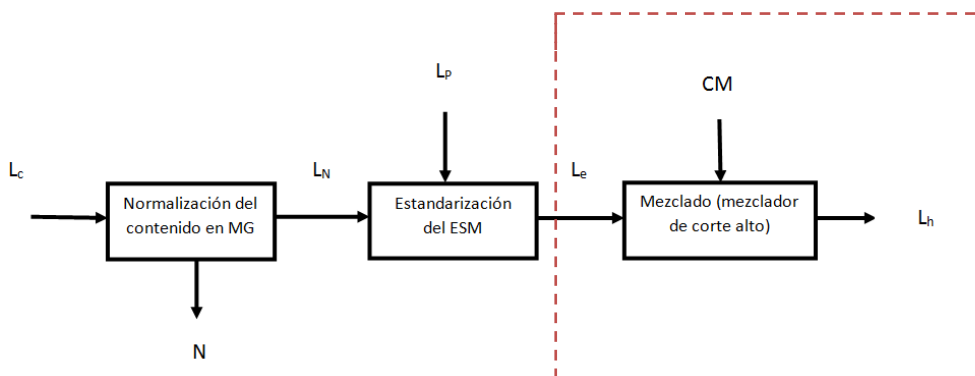


Conociendo  $L_N = 16742,17$  (mezcla de leche desnatada + nata) y sabiendo que se emplea entre un 3 y un 4% de leche en polvo, según la Norma de Calidad), respecto al volumen de leche cruda inicial recibida, entonces:

$$L_p = 540 \text{ kg/día (3\% de 18000 kg/día)}$$

$$L_e = L_N + L_p = 16742,17 + 540 = 17282,17 \text{ kg/día}$$

Balance de materia en la unidad de mezclado (mezclador de corte alto):



CM (solo se tiene en cuenta el edulcorante E-955):

Observando la tabla 22, los edulcorantes permitidos según la FAO, se puede encontrar que la cantidad máxima de E-955 permitida es de 400 mg/kg de leche normalizada. Para realizar los cálculos se va a utilizar una cantidad de 200 mg/kg (0,0002 kg/kg de leche).

Por lo tanto, la cantidad de E-955 =  $0,0002 \cdot 16742,17 = 3,35 \text{ kg/día}$

La cantidad de citratos de calcio tiene una dosis máxima de 2g/kg solos o 3g/kg mezclados expresados como sustancias anhidras.

Por lo tanto, la cantidad de citrato de calcio =  $0,002 \cdot 16742,17 = 33,48 \text{ kg/día}$

Finalmente la cantidad de Vitamina D sabiendo que en 200 ml (0,2kg) de leche no tratada térmicamente hay  $1 \mu\text{g}$  ( $1 \cdot 10^{-9} \text{ kg}$ ), entonces para conocer la cantidad de vitamina D que hay en 16742,17, se procede al siguiente cálculo:

$$1 \cdot 10^{-9} \text{ kg} / 0,2 \text{ kg (leche sin tratar)} = x / 16742,17 \text{ (leche cruda)}$$

$$X = \text{cantidad de vitamina D} = 8,37 \cdot 10^{-5} \text{ kg/día}$$

$$\text{En consecuencia CM} = 3,35 + 33,48 + 8,37 \cdot 10^{-5} = 36,83 \text{ kg/día}$$

$$L_h = L_e + \text{CM} = 17282,17 + 36,83 = 17319 \text{ kg/día}$$

#### Recepción y almacenamiento de la leche cruda:

En el RD 1679/1994 se recoge que para la producción de la leche que haya superado un mínimo de horas desde la recogida en el ordeño, en este caso de las vacas, y además se realicen recogidas de leche diariamente, la temperatura de mantenimiento de dicha leche debe situarse aproximadamente igual o inferior a los 8 °C. En caso de que la recogida no se efectúe de forma diaria, entonces esta temperatura de mantenimiento debe estar entre los 6 °C y durante el transporte mediante camiones cisterna hasta llegar a la planta industrial destinada al tratamiento de la leche, para posteriormente poder elaborar los yogures, la temperatura se tendrá que mantener a unos 10 °C.

Para este proyecto, la temperatura de recepción de la leche cruda es de 8 °C. A continuación esta leche se refrigera hasta alcanzar los 4 °C para conservarla en un tanque de almacenamiento de doble capa isotérmico con agitación incorporada realizando un mezclado suave durante un día. La termización y el enfriamiento que se realiza antes de introducir la leche cruda al tanque de almacenamiento se realiza a través de un intercambiador de calor de placas.

En la tabla 27 se muestran las cantidades de calor que recibe la leche cruda hasta llegar al depósito de almacenamiento isotérmico de doble capa.

Unidades de proceso	Corriente de entrada (kg/día)	Temperatura de entrada	Temperatura de salida	Tiempo	Calor (kJ)	Pérdidas (kJ) (5%)
Camión cisterna	18000	8 °C	8 °C	<24 h	-	-
Filtración	18000	8 °C	8 °C	-	-	-
Desgasificación	18000	8 °C	8 °C	-	-	-
Clarificación	18000	8 °C	50-60 °C (55 °C)	-	3291955,2	164597,76
Termización	18000	50-60 °C (55 °C)	57-68 °C (62,5 °C)	15-20 s	521370	26068,5
Regriferación	18000	57-68 °C (62,5 °C)	4	15-20 s	-4056156	202807,8
Tanque de almacenamiento isotérmico de doble capa	18000	4	4	24h	-	-

**Tabla 27.** Cantidades de calor y temperaturas en la etapa de la recepción y tratamiento de la leche cruda hasta llegar al tanque de almacenamiento isotérmico de doble capa.

A continuación la leche cruda, almacenada en el tanque de almacenamiento de doble capa, sale para normalizar el contenido en grasa mediante una centrífuga desnatadora y posteriormente se estandariza el extracto seco magro de la leche. La normalización del contenido en grasa se puede realizar utilizando la centrífuga desnatadora, mezclando leche y leche desnatada, o mediante la adición de nata a leche entera o desnatada. De los tres métodos ya explicados anteriormente se ha decidido escoger el método de la centrífuga desnatadora.

Por otro lado, para la estandarización del extracto seco magro de la leche existen también tres métodos: evaporación, adición de leche en polvo (que puede ser entera o desnatada), o mediante la filtración a través de membranas (ósmosis inversa). De estos tres posibles métodos de estandarización, también explicados anteriormente, se ha decidido usar el método de la adición de leche en polvo desnatada.

Después de la estandarización del extracto seco magro, se procede al mezclado de los componentes minoritarios (citratos de calcio, vitamina D y el edulcorante E-955) con la leche ya estandarizada. El mezclado se realiza en un mezclador de corte alto ya que lleva incorporado un sistema de desgasificación para evitar una introducción de aire cuando se añaden los componentes minoritarios.

Debido a que la vitamina D son 0 IU / 100 g para obtener yogur desnatado y que la cantidad de citrato de calcio para las leches fermentadas está limitada por las BPF y además suponen un valor muy pequeño, para este proyecto se ha decidido consultar otras fuentes para hallar dichos valores. En el libro “Ingeniería y producción de alimentos” de Antonio Madrid Vicente, en la página 86 se puede consultar la dosis máxima de citrato de calcio, y es de 2 g/kg solos o 3 g/kg mezclados expresados como sustancias anhidras. Por otro lado, en el libro “Productos lácteos Tecnología, edicions UPC, en la página 34 la cantidad media de vitamina D para la leche no tratada térmicamente es de 1 µg /200 ml.

Por lo tanto en los componentes minoritarios que se van añadir antes en el mezclador de corte alto van a ser el edulcorante E-955, el citrato de calcio y la vitamina D ya que son termoestables.

Unidades de proceso	Corriente de entrada (kg/día)	Temperatura de entrada	Temperatura de salida	Tiempo	Calor (kJ)	Pérdidas (kJ) (5%)
Normalización del contenido en grasa	18000	4 °C	55°C	-	3593052	179652,6
Nata	1257,83	55°C	55°C	-	-	-
Leche normalizada (leche desnatada)	16742,17	55°C	55°C	-	-	-
Leche en polvo desnatada	540	16°C	-	-	-	-
Estandarización del extracto seco magro	16742,17 + 540 = 17282,17	55°C	65°C	-	693015,02	34650,75
Componentes minoritarios (CM)	36,83	16°C	-	-	-	-
Leche para la homogeneización (CM + L <sub>e</sub> )	17282,17 + 36,83 = 17319	65°C	65 °C	20 – 30 min	-	-

**Tabla 28.** Cantidades de calor y temperaturas en la etapa de normalización y estandarización del contenido en grasa y del extracto seco magro de la leche.

La nata obtenida por separación centrifuga de la leche entera, tiene un contenido en materia grasa del 42% y la corriente de esta nata es de 1257,83 kg/día. Como el contenido en materia grasa es del 42% entonces se está trabajando con nata y no con doble nata ni nata delgada (o ligera). Los productos a base de nata se estandarizan mezclando. En caso de querer obtener crema para el café el contenido en materia grasa debe

ser como mínimo del 10%, la nata para batir con un mínimo del 30% de MG y nata para hacer mantequilla entre un 25-82% de MG.

La legislación alimentaria establece la clasificación y denominación de los distintos tipos de nata de acuerdo a diferentes criterios definidos en la Orden del 12 de julio de 1983, por lo que se aprueban las normas generales de calidad para la nata y la nata en polvo con destino al mercado interior, se entiende por nata en general el producto lácteo rico en materia grasa que toma la forma de una emulsión del tipo grasa en agua.

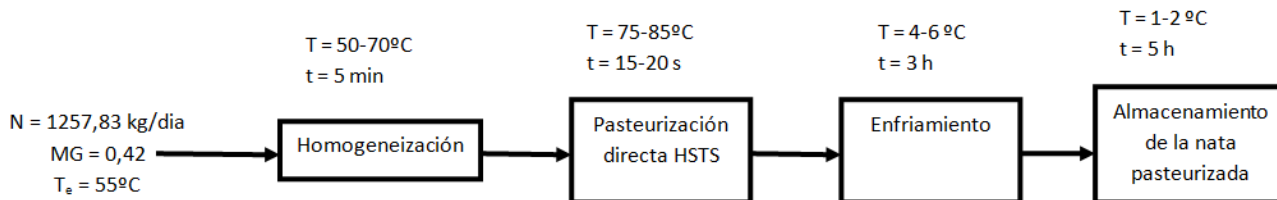
La nata obtenido para este proyecto es la nata dulce ya que se obtiene a partir de un proceso de centrifugación en desnatadoras. No se está trabajando con nata ácida (nata fermentada) ya que es la que se produce de forma espontánea.

Por su composición según el contenido graso la nata se clasifica en nata, doble nata y nata delgada o ligera. Debido a que la composición de materia grasa de la nata para el sistema estudiado es de 42% respecto al peso del producto final, entonces se trabaja con nata ya que contiene entre un 30-50% de materia grasa.

La nata se puede someter a tratamientos de higienización, pasteurización, esterilización y homogeneización e incluso de congelación, estableciéndose distintos tipos de productos. Los siguientes tres tipos de nata reciben un tratamiento higiénico.

En caso de querer obtener:

- Nata pasteurizada (para posteriormente obtener mantequilla), entonces el proceso hasta llegar al envasado, almacenamiento y distribución sería el siguiente:



**Figura 30:** Proceso industrial para obtener nata pasteurizada a partir de la centrifuga desnatadora.

Teniendo en cuenta de que los calores específicos ( $C_e$ ) de la nata a distintas temperaturas cambia bastante, cosa que en los calores específicos de la leche entera y desnatada se mantienen con valores muy similares, se ha decidido crear una nueva tabla para la nata con un 42% de materia grasa. Esta tabla es obtenida mediante la interpolación de la tabla 25 donde aparece la nata con un 30% en materia grasa y una nata con un 60% de materia grasa.

	0 °C	15 °C	40 °C	60 °C
Nata con un 42% de MG	2,621	4,220	3,341	3,3998

**Tabla 29.** Calores específicos de la nata con un contenido en materia grasa del 42% a distintas temperaturas.

$$C_e (55 \text{ }^\circ\text{C}) = 3,3851$$

$$C_e (60 \text{ }^\circ\text{C}) = 3,3998$$

$$C_e (5 \text{ }^\circ\text{C}) = 3,154$$

$$C_e (2 \text{ }^\circ\text{C}) = 2,834$$

$$C_e (30 \text{ }^\circ\text{C}) = 3,693$$

$$C_e (25 \text{ }^\circ\text{C}) = 3,868$$

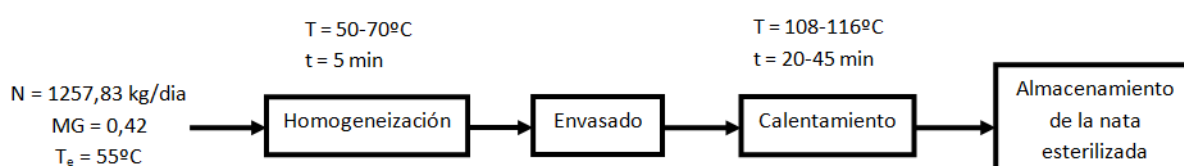
Unidades de proceso para la nata pasteurizada	Corriente de entrada (kg/día)	Temperatura de entrada	Temperatura de salida	Tiempo	Potencia	Calor (kJ)	Pérdidas (kJ) (5%)
Homogeneización	1257,83	55 °C	50-70 °C (60 °C)	5 min		21289,4	1064,5
Pasteurización directa HSTS	1257,83	60 °C	75-85 °C (80 °C)	15-20 s		85527,41	4276,37
Enfriamiento	1257,83	80 °C	4-6 °C (5 °C)	3 h		-322273,66	16113,7
Almacenamiento	1257,83	5 °C	1-2 °C (2 °C)	5 h		-12706,6	635,33

**Tabla 30.** Cantidades de calor y temperaturas para las etapas del tratamiento de la nata pasteurizada.

La nata pasteurizada tiene una vida útil de hasta 25 días. La nata pasteurizada, la cristalización de la grasa en los glóbulos grasos se induce enfriando hasta 4-6 °C en unas 3 h. A continuación se almacena durante unas 5 h a una temperatura de 1-2 °C.

La nata pasteurizada se puede congelar posteriormente a -18 hasta -30 °C en el centro de su masa, pudiéndose conservar así hasta 6 meses si la nata es congelada a una temperatura de -18 °C, y hasta 18 meses si la nata congelada se encuentra a -30 °C.

- Nata esterilizada, cuyo tratamiento hasta llegar a la ultima etapa del proceso vendria descrito en la siguiente figura:



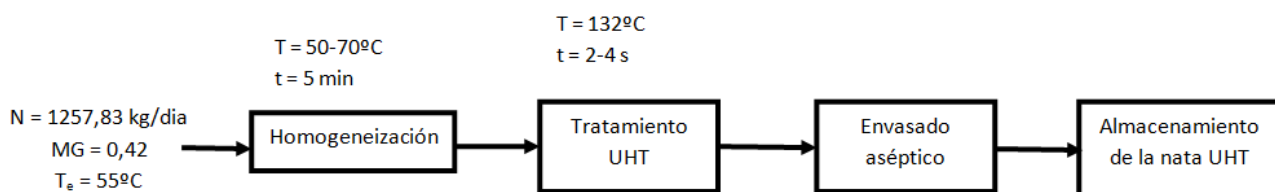
**Figura 31:** Proceso industrial para obtener nata esterilizada a partir de la centrífuga desnatadora.

La nata esterilizada garantiza la destrucción total de los gérmenes patógenos y la inactividad de sus formas resistentes. La nata esterilizada tiene una vida útil de hasta 12 meses.

Unidades de proceso para la nata esterilizada	Corriente de entrada (kg/día)	Temperatura de entrada	Temperatura de salida	Tiempo	Calor (kJ)	Pérdidas (kJ) (5%)
Homogeneización	1257,83	55 °C	50-70 °C (60 °C)	5 min	21289,4	1064,5
Envasado	1257,83	60 °C	60 °C	-	-	-
Calentamiento	1257,83	60 °C	108-116 °C (115 °C)	20-45 min	235200,4	11760,02
Enfriamiento	1257,83	115 °C	20-35 °C (30 °C)	-	-352427,61	17621,38
Almacenamiento	1257,83	30 °C	1-2 °C (2 °C)	-	-132225,61	6611,3

**Tabla 31.** Cantidades de calor y temperaturas para las etapas del tratamiento de la nata esterilizada.

- Nata UHT, la cual seguiría el siguiente esquema para llegar a su comercialización:



**Figura 32:** Proceso industrial para obtener nata UHT a partir de la centrifuga desnatadora.



La nata UHT tiene también una vida útil de 12 meses.

Unidades de proceso para la nata UHT	Corriente de entrada (kg/día)	Temperatura de entrada	Temperatura de salida	Tiempo	Calor (kJ)	Pérdidas (kJ) (5%)
Homogeneización	1257,83	55 °C	50-70 °C (60 °C)	5 min	21289,4	1064,5
Calentamiento	1257,83	60 °C	132 °C	-	307898,67	15395
Tratamiento directo UHT	1257,83	132 °C	132 °C	2-4 s	-	-
Enfriamiento	1257,83	132 °C	24-26 °C (25 °C)	-	-442848,74	22142,44
Almacenamiento	1257,83	30 °C	1-2 °C (2 °C)	-	-132225,61	6611,28

**Tabla 32.** Cantidades de calor y temperaturas para las etapas del tratamiento de la nata UHT.

En caso de que dichas tres natas se le quieran dar un tratamiento de conservación, se podrá realizar mediante el siguiente método:

- Nata envasada bajo presión: la cual es una nata pasteurizada, esterilizada o UHT, que es envasada y acondicionada bajo presión de gases inertes en recipientes específicos. La expulsión del gas empleado (normalmente óxido nitroso) provoca el espumado de la nata.
- Nata homogeneizada, aquella sometida a un proceso mecánico que fracciona los glóbulos de grasasm asegurando una mejor emulsión.
- Nata en polvo, que viene a representar el producto seco y pulverulento que se obtiene a través de la deshidratación de la nata, pasterizada en estado líquido, antes o durante el proceso de fabricación. No se podría realizar para este proyecto ya que el contenido de materia grasa de la nata en este proyecto es del 42% y para obtener nata en polvo se requiere que el contenido en materia grasa sea como mínimo del 65% y un máximo del 5% de humedad. La nata en polvo es el producto seco y pulverizado que se obtiene mediante la eliminación del agua de la nata.

Existen otras tres tipos de nata destinadas a la incorporación en la fabricación, que son los siguientes:

- Nata batida o montada requiere de una agitación mecánica, con o sin azúcar (menos del 15%). Cuanto mayor sea su contenido más fácil es de montar. Se puede añadir leche en polvo desnatada (2%) para incrementar la consistencia de la nata tras la formación de espuma. La nata montada se caracteriza sobretodo por su estabilidad.
- Nata para batir o montar utilizada con el fin de alargar su vida útil y destruir los microorganismos patógenos. Este tipo de nata suele experimentar un tratamiento UHT , y después se mantiene en condiciones de refrigeración adecuados para favoreces el montado y estabilidad posterior del producto.
- Nata acidificada o madurada requiere de dos cultvos starter: *Streptococcus lactis* y *cremoris*. Este proceso se ejecuta en un tanque fermentador con la nata a 1-6 °C durante 24 horas.

### Rendimiento del desnatado:

Para poder calcular tanto el rendimeitno de la grasa como del desnatado, se realiza un balance de masa y de grasa.

$$L_e = L_d + N \quad (\text{Eq. 1})$$

Dónde la  $L_e$  es la cantidad de leche entera, la  $L_d$  es la cantidad de leche desnatada y la  $N$  es la cantidad de nata.

Balance de grasa:

$$(G_{LD} \cdot L_d / G_{LE} \cdot L_e) + (G_N \cdot N / G_{LE} \cdot L_e) = 1 \quad (\text{Eq. 2})$$

Dónde la  $G_{LE}$  es la grasa de la leche entera, la  $G_{LD}$  es la grasa de la leche desnatada, y la  $G_N$  es la grasa de la nata.

Rendimiento de la grasa de la nata:

$$R_{GN} = (G_N \cdot N / G_{LE} \cdot L_e) = (0,42 \cdot 1257,83) / (0,034 \cdot 18000) = \mathbf{0,863 \quad (86,3\%)}$$

Rendimiento de la grasa en la leche desnatada:

$$R_{GD} = (G_{LD} \cdot L_d / G_{LE} \cdot L_e) = (0,005 \cdot 17282,17) / (0,034 \cdot 18000) = \mathbf{0,1368 \quad (13,68\%)}$$

Para conocer el rendimiento de grasa es necesario conocer el porcentaje de grasa en la nata y en la leche entera así como sus contenidos en materia grasa.

$$G_N \cdot N = G_{LE} \cdot L_e - G_{LD} \cdot L_d \quad (\text{Eq. 3})$$

$$R_{GN} = G_{LE} \cdot L_e - G_{LD} \cdot L_d / G_{LE} \cdot L_e \quad (\text{Eq. 4})$$

$$R_{GN} = (G_{LE} \cdot L_e - G_{LD} \cdot (L_e - N)) / G_{LE} \cdot L_e = (G_{LE} \cdot L_e - G_{LD} \cdot L_e + G_{LD} \cdot N / G_{LE} \cdot L_e) = (G_{LE} - G_{LD}) / G_{LE} = G_{LD} \cdot N / G_{LE} \cdot L_e$$

(Fusión de la Eq. 1 y Eq. 4)

El valor de la  $G_{LD}$  generalmente es muy pequeño (para el sistema estudiado es del 0,5%), por lo que se puede hacer:

$$R_{GN} = G_{LE} - G_{LD} / G_{LE} = 0,034 - 0,005 / 0,034 = \mathbf{0,853 \quad (85,3\%)}$$

Esto es el rendimiento de la grasa en la nata en función de los contenidos en materia grasa en la leche entera y en la leche desnatada.

$$L_e = L_d + N \quad (\text{Eq. 1})$$

Para calcular el rendimiento de crema se tiene en cuenta la Eq. 1:

$$(L_d / L_e) + (N / L_e) = 1$$

Rendimiento de la nata:

$$R_N = N / L_e$$

Rendimiento de la leche desnatada:

$$R_D = L_d / L_e$$

De la Eq. 2:

$$N = (G_{LE} \cdot L_e - G_{LD} \cdot L_d) / G_N$$

$$R_N = (G_{LE} \cdot L_e - G_{LD} \cdot L_d) / G_N \cdot L_e$$

$$L_d = L_e - N$$

$$R_N = (G_{LE} \cdot L_e - G_{LD} \cdot (L_e - N)) / G_N \cdot L_e$$

$R_N = (G_{LE} - G_{LD} / G_N) + (G_{LD} \cdot N / G_{LE} \cdot L_e)$  como  $(G_{LD} \cdot N / G_{LE} \cdot L_e)$  es muy pequeña, se desprecia, quedando:

$$R_N = (G_{LE} - G_{LD}) / G_N = (0,034 - 0,005) / 0,42 = \mathbf{0,0698 \text{ (69,8\%)}}$$

Por lo tanto, se puede conocer el rendimiento de la nata, conociendo los contenidos en grasa de la leche entera, de la leche desnatada y de la nata.

La leche que sale del mezclador de corte alto va destinada a la unidad de homegeneización, de una sola fase. El calor específico y las temperaturas se muestran en la siguiente tabla 33.

Unidades de proceso	Corriente de entrada (kg/día)	Temperatura de entrada	Temperatura de salida	Tiempo	Potencia	Calor (kJ)	Pérdidas (kJ) (5%)
Homogeneización	17319	65 °C	70 °C	-	244800 kJ/h (68 kW)	348111,9	17405,6

**Tabla 33.** Cantidades de calor y temperaturas en la etapa de homegeneización de la leche.

La etapa que viene a continuación, es la pasteurización, donde la leche va a recibir un tratamiento térmico. Para la elaboración de los yogures batidos y firmes se va a utilizar la pasteurización HSTS así como para los yogures pasteurizados (de larga duración) y para los yogures líquidos se va a utilizar un tratamiento UHT. Las razones de dicha elección han quedado expresamente descritas anteriormente.

Unidades de proceso	Corriente de entrada (kg/día)	Temperatura de entrada	Temperatura de salida	Tiempo	Calor (kJ)	Pérdidas (kJ) (5%)
Calentamiento	17319	70 °C	75 °C	-	350709,8	17535,5
Pasteurización directo HTST	17319	75 °C	75 °C	15-30 s (22,5 s)	-	-
Enfriamiento	17319	75 °C	45 °C	-	-2104258,5	105213
Calentamiento	17319	70 °C	135-150 °C (142,5 °C)	-	5085291,4	254264,6
Tratamiento UHT	17319	142,5 °C	142,5 °C	3-4 s	-	-
Enfriamiento	17319	135-150 °C (142,5 °C)	45 °C	-	-6838840,1	341942

**Tabla 34.** Cantidades de calor y temperaturas en la etapa de pasteurización de la leche.

La corriente de leche que sale del pasteurizador HSTS (para el caso de los yogures batidos, firmes y pasteurizados) y del tratamiento directo UHT (para el caso de los yogures líquidos) se someten a un enfriamiento rápido a través del intercambiador de calor hasta alcanzar la temperatura de inoculación y fermentación, es decir, 45 °C.

En el proceso de pasteurización, se utiliza la enzima fosfatasa alcalina, como indicador de que dicho proceso de pasteurización se ha realizado correctamente, que se encuentra en la leche cruda, de forma que la pasteurización garantiza que la enzima ha sido destruida.

También existe otro indicador para la pasteurización, la enzima lactoperoxidasa. Esta enzima también se encuentra presente en la leche cruda pero tiene mayor resistencia a los tratamientos térmicos que la fosfatasa alcalina y no se destruye con la pasteurización. Gracias a este hecho se puede confirmar que no se ha excedido la temperatura en la pasteurización, y por lo tanto existe una retención de los nutrientes y una pequeña modificación de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales. A temperaturas más altas o a tiempos más prolongados se produce la desnaturalización de las proteínas del suero, que es completa cuando ocurre la inactivación de la fosfatasa ácida.

Seguidamente se produce la etapa de inoculación del cultivo.

Para el yogur batido y yogur pasteurizado se utilizan los cultivos YF-L705 cuyo tiempo de acidificación para un pH de 4,55 es entre 5 h. 45 min. – 6 h. 45 min y con una temperatura de fermentación de 43 °C. Con estas características se obtienen yogures batidos con una aroma muy suave y una textura (espesor en boca) muy alta. La fermentación del yogur batido se realiza a granel a través de los cultivos en formato F-DVS congelado.

Para el yogur firme se utilizan los cultivos YF-L811 cuyo tiempo de acidificación para un pH de 4,65 es entre 4 h. 45 min. – 5 h. 15 min y con una temperatura de fermentación de 41 °C. Con estas características se obtienen yogures firmes con una aroma muy suave, una textura (espesor en boca) muy alta y una firmeza de gel alta. La fermentación del yogur firme se realiza a granel a través de los cultivos en formato FD-DVS liofilizado.

En el caso del yogur líquido se ha decidido usar los cultivos YF-L702 cuyo tiempo de fermentación, para un pH de 4,55 y con un 5% de azúcar añadido a la leche antes de la fermentación, es de 30 minutos aproximadamente. Con estas características se obtienen yogures líquidos con una aroma muy suave y una textura cremosa. La fermentación del yogur líquido se realiza a granel a través de los cultivos en formato F-DVS congelado.

La adición de fermentos va a tener un papel importante para poder obtener dichos yogures. El cultivo starter se puede adicionar en polvo, congelado concentrado o en forma de suspensión líquida en una proporción de 1,5-3%. Para este proyecto se va a trabajar con una proporción del 3%.

Tipo	Tipo de cultivo	Tiempo de incubación	Temperatura	pH	Presentación
Yogur batido	YF-L705	5 h. 45 min. – 6 h. 45 min	43 grados	4,55	F-DVS congelado
Yogur pasteurizado	YF-L705	5 h. 45 min. – 6 h. 45 min	43 grados	4,55	F-DVS congelado
Yogur firme	YF-L811	4 h. 45 min. – 5 h. 15 min	41 grados	4,65	FD-DVS liofilizado
Yogur líquido	YF-L702	≤ 30 minutos	43 grados	4,55	F-DVS congelado

**Tabla 35.** Resumen de los cultivos utilizados para cada yogur y sus características.

Balance de materia en la unidad de inoculación:



Donde  $L_h$  es la leche para la homogeneización, la  $L_p$  es la leche pasteurizada, la CS es el cultivo starter y la  $L_f$  es la leche para la fermentación.

$$L_h = L_p = 17319 \text{ kg/día}$$

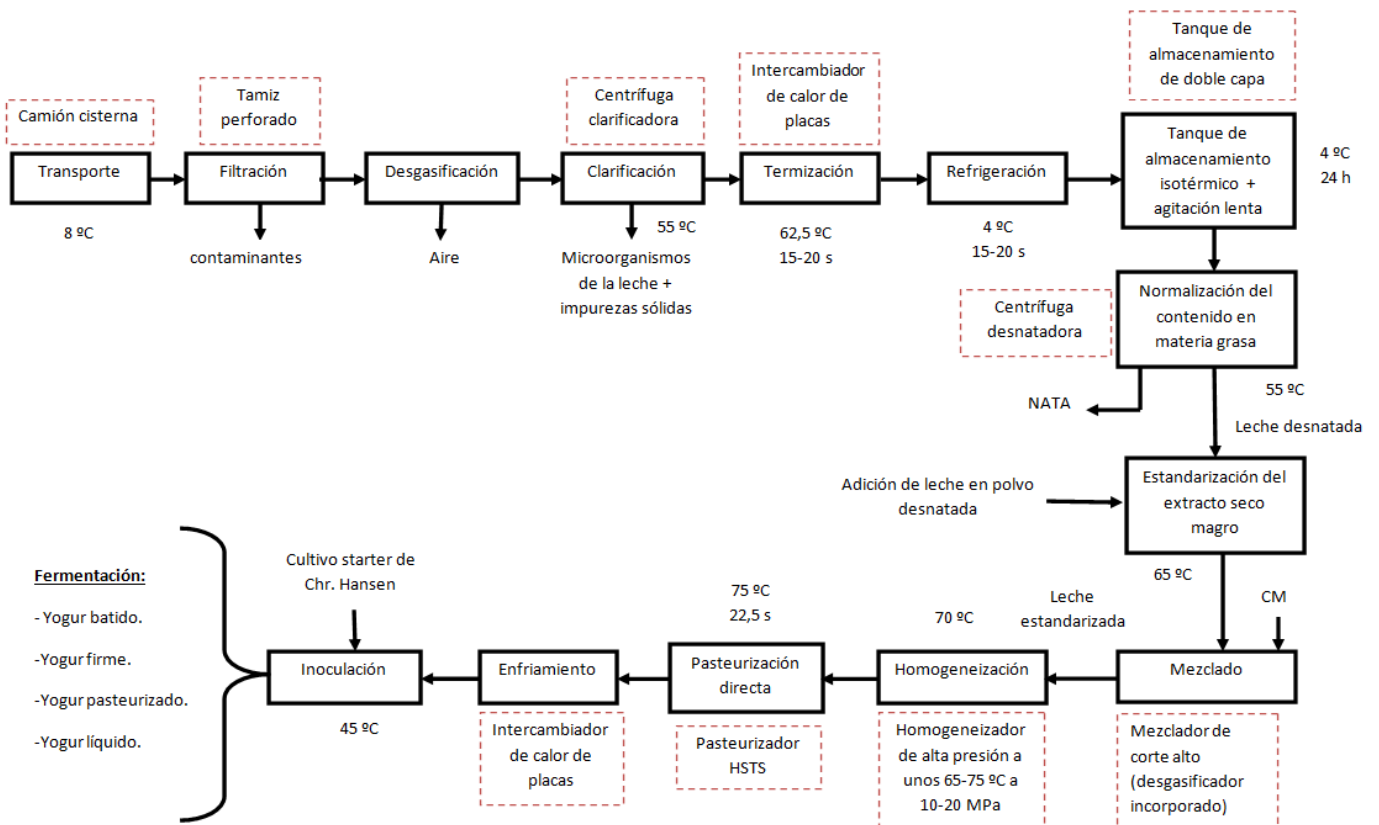
$$CS (3\%) = 519,57 \text{ kg/día}$$

$$L_f = L_p + CS = 17838,57 \text{ kg/día}$$

Partiendo de la cantidad obtenida en la leche para la fermentación ( $L_f$ ), la bacteria *thermophilus* produce entre un 0,7-0,8% de ácido láctico L(+). Considerando un porcentaje medio, es decir, de 0,75%, se obtiene una cantidad de **133,8 kg/día** de ácido láctico L(+).

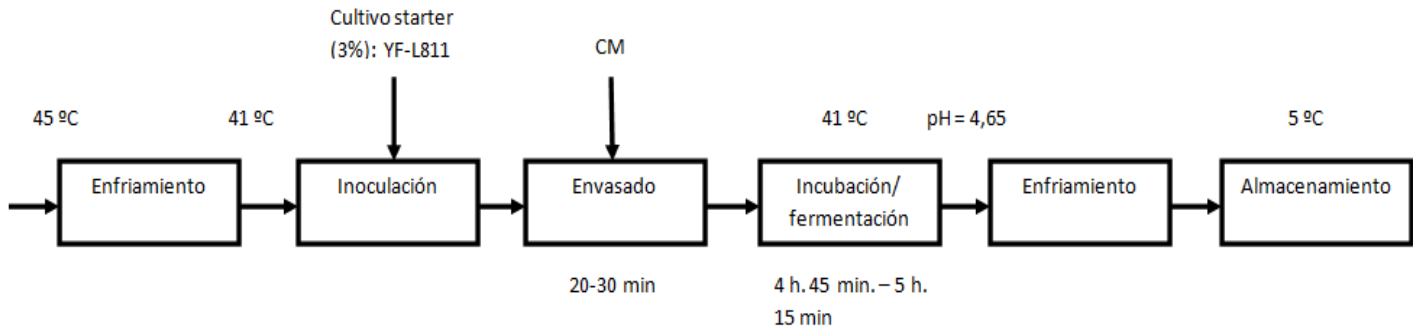
Por otro lado, la bacteria *Lactobacillus delbrückii sub. bulgaricus* genera un 1,7% de ácido láctico D(-), es decir, una cantidad de **303,3 kg/día** de ácido láctico D(-)

A partir de la adición de los fermentos, la secuencia de operaciones para la obtención de yogur va a ser diferente según el tipo de yogur que se desea obtener.



**Figura 33:** Diagrama de bloques definitivo para la elaboración de los yogures hasta la etapa de la inoculación. Según el tipo de yogur habrá un tipo de cultivo starter determinado y sus posteriores etapas tendrán rutas de proceso distintas hasta llegar a la fase de almacenamiento de los mismos.

Operaciones para la obtención del yogur firme a partir de la inoculación:



**Figura 34:** Diagrama de bloques definitivo para la elaboración de los yogures firmes a partir de la etapa de inoculación.

En el yogur firme, la coagulación y la acidificación de la base de leche tiene lugar en el envase final. El coágulo se rompe justo en el momento de la consumición. La firmeza del gel es un elemento muy importante para el yogur firme.

La leche es enfriada hasta llegar a la temperatura deseada de incubación (41 °C). Seguidamente la leche es inoculada con el cultivo starter.

Una vez adicionados el cultivo iniciador y con la mezcla opcional de otros ingredientes (adición de componentes minoritarios permitidos por la FAO: frutas, aromas y/o colorantes), se lleva a cabo el envasado del producto individual en 20-30 minutos y se lleva a una incubadora la cual llevará a cabo el proceso de fermentación en unas condiciones determinadas (41 °C durante 4 h. 45 min. – 5 h. 15 min). Durante ese periodo de tiempo, el yogur irá adquiriendo el sabor, aroma y textura característicos para este yogur aportados por el cultivo escogido.

El envasado está formado por un recipiente de PS, PP o vidrio y una tapa. Es posible que contengan algún otro elemento añadido para los recipientes para yogures. Este elemento, generalmente de cartón, permite agrupar un mínimo de 4 recipientes y al mismo tiempo facilita su manejo.

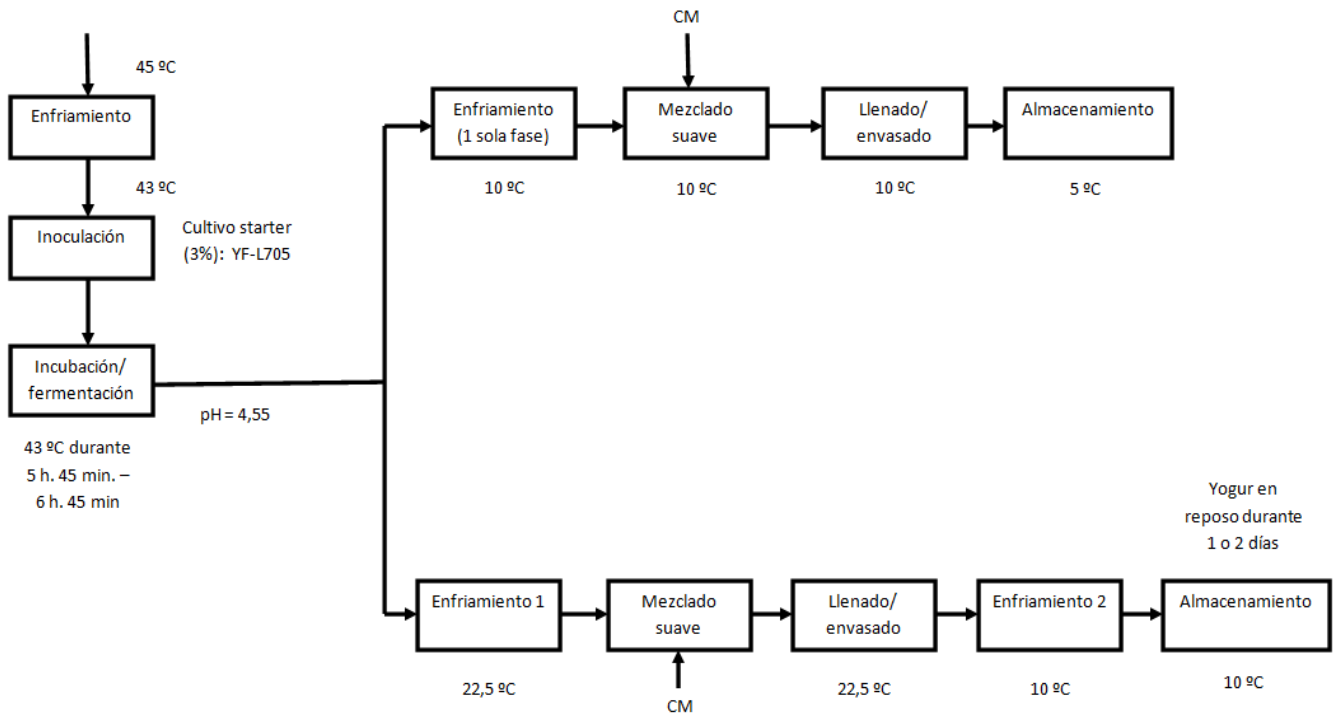
Acabado el proceso, los yogures se retiran del tanque fermentador y pasan a través de una cámara de frío durante unos pocos minutos y se almacena en frío a unos 2 °C en cámaras. También cabría la posibilidad de enfriar el yogur lentamente en una cámara refrigerada de almacenamiento hasta llevar a los 4-6 °C.

Unidades de proceso para el yogur firme	Corriente de entrada (kg/día)	Temperatura de entrada	Temperatura de salida	Tiempo	Calor (kJ)	Pérdidas (kJ) (5%)
Enfriamiento	17319	45 °C	41 °C	-	-270176,4	13508,82
Inoculación	17319 + 519,57	41 °C	41 °C	-	-	-
Componentes minoritarios	-	16 °C	-	-	-	-
Envasado	17838,57 + CM	41 °C	41 °C	20-30 min	-	-
Incubación	17838,57 + CM	41 °C	41 °C	4 h. 45 min. – 5 h. 15 min -	-	-
Enfriamiento	17838,57 + CM	41 °C	4-6 °C (5 °C)	-	-2549507	127475,35

**Tabla 36.** Cantidades de calor y temperaturas para el yogur firme a partir de la etapa posterior a la pasteurización.

Operaciones para la obtención del yogur batido a partir de la inoculación:





**Figura 35:** Diagrama de bloques definitivo para la elaboración de los yogures batidos a partir de la etapa de inoculación.

Posteriormente a la adición de los fermentos (cultivo liofilizado de inoculación directa), se procede a la fermentación en un tanque fermentador grande. En este tanque se debe encontrar a 43 °C para que el tiempo de acidificación alcance un pH de 4.6-4.4 (concretamente un pH de 4,55) en un periodo de tiempo de 5 h. 45 min. – 6 h. 45 min. En el mismo fermentador se lleva a cabo la agitación para lograr una mezcla homogénea.

Finalizada la fermentación ya que se ha obtenido la acidez deseada, entonces el yogur se refrigera y el gel se rompe. El enfriado, por debajo de los 10 °C ya que los microorganismos que se encuentran en el yogur muestran una actividad de crecimiento limitada. La finalidad de este enfriamiento va a ser reducir la temperatura del coágulo desde la temperatura de incubación hasta llegar a los 5-10 °C, en el menor tiempo posible para controlar dicha acidez final.

El enfriamiento se lleva a cabo usando un sistema de refrigeración en una o dos fases. El enfriamiento a dos fases es el más utilizado ya que produce una mejor viscosidad del yogur final. Enfriar el yogur a 20-25 °C en un intercambiador de calor de placas o tubos dan como resultado una baja fuerza de ruptura sobre el producto y una baja caída de presión en la línea de proceso. Estos efectos minimizan el daño mecánico producido por el bombeo del producto.

Después de enfriar el yogur hasta los 20-25 °C, se le añaden los componentes (aromas, colorantes, etc.) minoritarios y la fruta y se mezcla la masa, generando un daño estructural mínimo al coágulo.

Finalmente se envasa el yogur batido obtenido en un tiempo máximo de 1 hora y se almacena en cámaras de refrigeración (4-6 °C). Se debe mantener en reposo entre 4-6 °C durante 1 o 2 días para conseguir las propiedades características para dicho yogur.

La viscosidad del producto se recupera en el almacenamiento en frío en 48 horas.

	Unidades de proceso para el yogur batido	Corriente de entrada (kg/día)	Temperatura de entrada	Temperatura de salida	Tiempo	Calor (kJ)	Pérdidas (kJ) (5%)
	Enfriamiento	17319	45 °C	43 °C	-	-135088,2	6754,41
	Inoculación (3%)	17319 + 519,57	43 °C	43 °C	-	-	-
	Incubación	17838,57	43 °C	43 °C	5 h. 45 min. - 6 h. 45 min	-	-
Opción 1	Enfriamiento en (una sola fase)	17838,57 + CM	43 °C	10 °C	instantaneo	-2295824	114791,2
	Componentes minoritarios (CM)	CM	16 °C	-	-	-	-
	Mezclado (batido) cuidadoso	17838,57 + CM	10 °C	10 °C	-	-	-
	Llenado/Envasado /almacenamiento	17838,57 + CM	10 °C	4-6 °C (5 °C)	≤ 1 h	-347852,12	17392,61
Opción 2	Enfriamiento 1 (en dos fases)	17838,57	43 °C	20-25 °C (22,5 °C)	-	-1451792	72590
	Mezclado cuidadoso	17838,57	22,5 °C	22,5 °C	-	-	-
	Componentes minoritarios	CM	16 °C	-	-	-	-
	Llenado/Envasado	17838,57 + CM	22,5 °C	22,5 °C	≤ 1 h	-	-
	*Enfriamiento 2 (en dos fases)	17838,57 + CM	22,5 °C	10 °C	1 o 2 días (yogur en reposo)	-867400,5	43370

**Tabla 37.** Cantidades de calor y temperaturas para el yogur batido a partir de la etapa posterior a la pasteurización. A partir de la fermentación existen dos opciones de refrigeración. El enfriamiento 2 se realiza en cámaras de refrigeración.

Observando los datos energéticos obtenidos en ambas opciones, se puede decir que la mejor opción es la 2 en términos energéticos aunque ambas opciones se ejecutan actualmente por igual en mundo de los productos lácticos. Pero para el sistema estudiado y según los cálculos obtenidos la mejor opción es la 2.

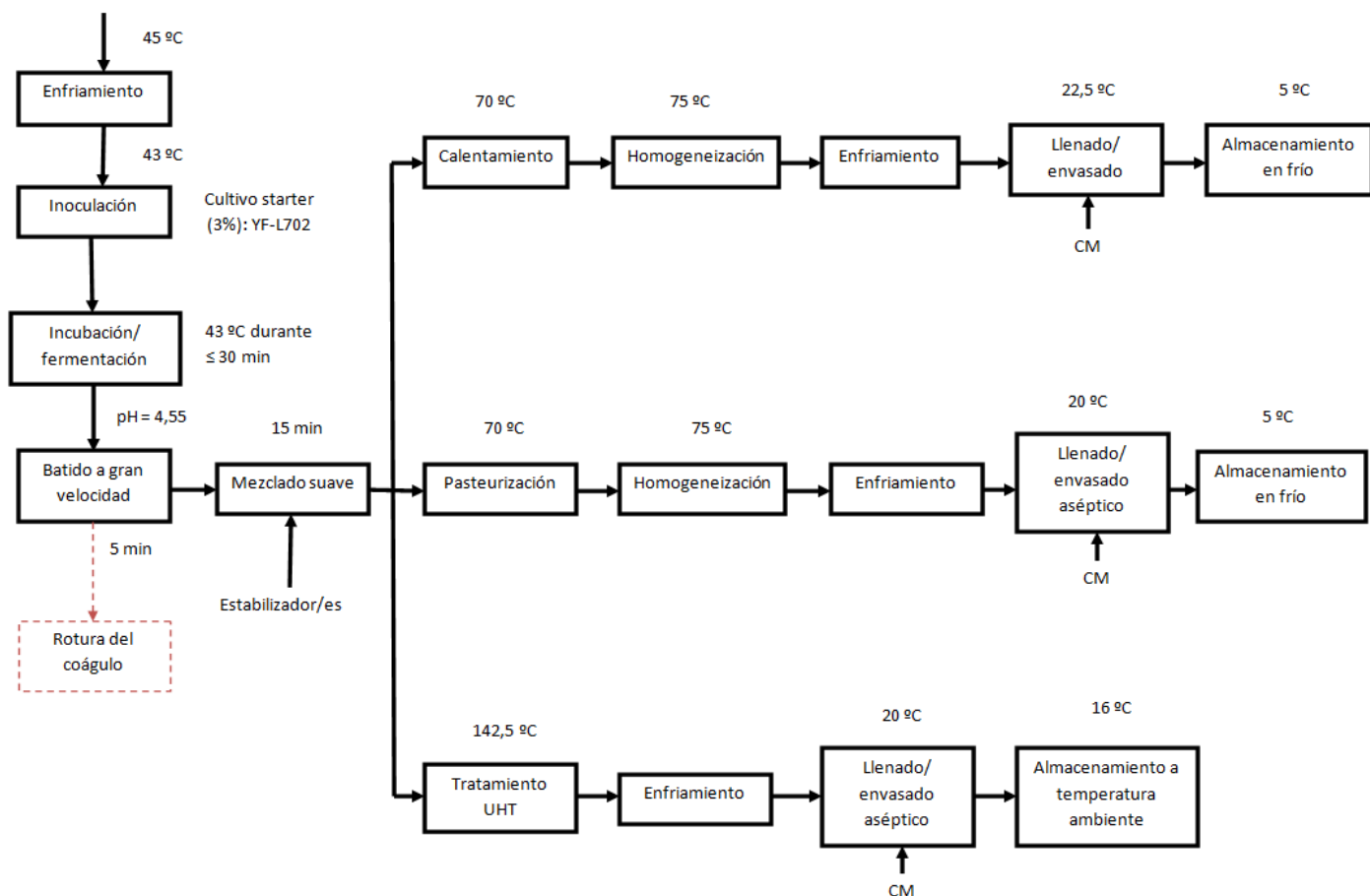
Enfriar el yogur, durante el envasado, por debajo de 5 °C permite reducir la actividad metabólica del cultivo starter. Con esa temperatura, se puede dar el desarrollo de ácido por los microorganismos durante el almacenamiento y llenado de los envases. Para controlar este hecho, se puede incluir alguno/s de los siguientes aspectos:

- Mantener el yogur entre 5-10 °C
- Enfriar el yogur hasta alcanzar un pH ligeramente superior.
- Mejorar la velocidad de enfriado y envasado del yogur.
- Reducir la proporción de lactobacilos a streptococos en la mezcla del cultivo.
- Hacer uso de la cepas *L. delbrueckii subsp. Bulgaricus* y/o *lactis* que producen poco o ningún ácido entre los pH 4,4-4,6.

Una vez obtenido el yogur batido, ya sea mediante la opción 1 o la opción 2, se deben mantener en refrigeración y tratarse con cuidado (especialmente los coagulados en el envase) para mantener sus características organolépticas y al mismo tiempo se evita la sobreacidificación, la sinéresis, la rotura del coágulo y el crecimiento de microorganismos no deseados.

La fecha de caducidad de los yogures viene regulada en la Norma de Calidad (RD 179/2003), que dice que “el yogur deberá ser vendido al consumidor, como máximo, dentro de los veintiocho días siguientes, contados a partir de su fabricación”.

Operaciones para la obtención del yogur líquido a partir de la inoculación:



**Figura 36:** Diagrama de bloques definitivo para la elaboración de los yogures líquidos a partir de la etapa de inoculación.

El yogur líquido está catalogado como un yogur batido de baja viscosidad. El pre-tratamiento de la leche y la acidificación de la leche sigue la misma línea que para los yogures batidos. La fermentación se realiza hasta alcanzar un pH de entre 4,2-4,0 para obtener la mejor estabilidad.

Después de la fermentación, se rompe el coágulo del yogur líquido, en cambio en el yogur batido el coágulo es tratado de forma cuidadosa. El tratamiento se realiza para garantizar obtener un producto homogéneo sin grumos en el gel.

Para romper el coágulo en el yogur líquido (obteniendo una textura “bebible”), después de la acidificación, se puede realizar agitando con una velocidad rápida durante 5-10 minutos, bombeando del tanque a la cámara de frío con una bomba centrífuga, o homogeneizando.

Para obtener una mejor estabilidad del yogur líquido, el producto se enfría a 20-25 °C y además, se le puede añadir un estabilizante (azúcar, preparados de frutas, zumos u otras sustancias aromatizantes).

Una vez añadido la adición de los componentes minoritarios, se mezcla el yogur de forma lenta durante al menos 15 minutos antes de aplicar tratamientos posteriores y envasar. Además antes de envasarlo, el yogur líquido se puede tratar de varias maneras, las cuales determinan su vida útil: si se enfría entonces tendría una vida útil de 20-24 días para su consumo, si se pasteuriza conllevaría una vida útil de 30-40 días, y

en caso de someterse a un tratamiento térmico UHT significaría que se podrá consumir en 2-4 meses y será similar al yogur de larga duración (yogur líquido pasteurizado después de la fermentación).

Para potenciar la suavidad y cremosidad se recomienda elegir un cultivo iniciador viscoso para la fermentación de la leche. En este caso se ha escogido el cultivo YF-L702.

	Unidades de proceso para el yogur líquido	Corriente de entrada (kg/día)	Temperatura de entrada	Temperatura de salida	Tiempo	Calor (kJ)	Pérdidas (kJ) (5%)
	Enfriamiento	17319	45 °C	43 °C	-	-137512,86	6875,64
	Inoculación (3%)	17319 + 519,57	43 °C	43 °C	-	-	-
	Fermentación	17838,57	43 °C	43 °C	≤ 30 min	-	-
	Batido (mezclado)	17838,57	43 °C	43 °C	5 min	-	-
	Mezclado 2	17838,57 + estabilizantes	43 °C	43 °C	15 min	-	-
Opción 1	Calentamiento	17838,57	43 °C	70 °C	-	1856423,6	92821,2
	Homogeneización	17838,57	70 °C	75 °C	5 min	346380	17319
	Enfriamiento	17838,57	75 °C	20-25 °C (22,5 °C)	-	-3636990	181850
	Llenado	17838,57 + CM	22,5 °C	22,5 °C	-	-	-
	Almacenamiento en frío	17838,57 + CM	22,5 °C	4-6 °C (5 °C)	-	-1217482,4	60874
Opción 2	Pasteurización	17838,57	43 °C	70°C		1912116,3	95605,8
	Homogeneización	17838,57	70°C	75°C	-	354095,6	17704,8

	Enfriamiento	17838,57	75°C	20°C	-	-3924485,4	196224,3
	Llenado aséptico	17838,57 + CM	20°C	20 °C	-	-	-
	Almacenamiento en frío	17838,57 + CM	20°C	4-6 °C (5 °C)	-	-1059611,1	52980,6
Opción 3	Calentamiento	17838,57	43 °C	135-150 °C (142,5 °C)	-	7082001,5	354100,1
	Tratamiento directo UHT tipo placa	17838,57	142,5 °C	142,5 °C	2-6 s	-	-
	Enfriamiento (con agua)	17838,57	142,5 °C	20 °C	-	-8740899,3	437045
	Llenado aséptico	17838,57 + CM	20-25 °C (20 °C)	20-25 °C (20 °C)	-	-	-
	Almacenamiento a temperatura ambiente	17838,57 + CM	20 °C	16 °C	-	-282563	14128,15

**Tabla 38.** Cantidades de calor y temperaturas para el yogur líquido a partir de la etapa posterior a la pasteurización. A partir del mezclado 2 existen tres opciones de obtención del yogur líquido.

Para proceder al llenado aséptico de los yogures líquidos, primero se debe esterilizar el yogur antes de llegar a la envasadora, con esterilización previa del circuito por circulación de agua caliente o vapor. Posteriormente, se lleva a cabo el envasado aséptico (ausencia de infecciones) en los recipientes generalmente de plástico.

Como bien se ha podido observar en la tabla 38 existen tres opciones para la elaboración de los yogures líquidos. La ruta más utilizada es la realizada en la opción 1 por el tipo de maquinaria utilizada y por el gasto energético empleado. Las demás opciones requieren de controles de temperatura más complejos, maquinaria económicamente más cara, y de otros factores. También se debe comentar el hecho de la escasez de información de la ingeniería de detalle para el procesado de los yogures líquidos ya que existen múltiples informaciones distintas para un mismo tipo de elaboración de yogur líquido, como es el caso de la temperatura a la cual se somete las corrientes que entran y salen de cada unidad de proceso.

Las cantidades de estabilizantes (azúcar, preparados de fruta, zumos u otras sustancias) son un proporción muy pequeña, inferior al 1%, es por ese motivo que se mencionan pero no se concreta la cantidad exacta.

## Fruta como materia prima para los yogures:

La calidad de la fruta se mide a través de procedimientos físico-químicos. La textura se mide mediante la compresión. La madurez de la fruta puede ser evaluado por un refractómetro o un hidrómetro. El refractómetro determina la capacidad de una solución para refractar un haz de luz. El grado de refracción es directamente proporcional a la fuerza de la solución. Un hidrómetro mide la concentración de jugo.

## Procesado de la fruta para uso del yogur:

Los fabricantes de yogur utilizan frutas especialmente preparaciones de fruta procesada por conveniencia de uso y para impartir valor añadido al yogur. Las principales técnicas de procesamiento de frutas son el enlatado, congelado, secado, conservación con jarabes de azúcar, concentración por eliminación de humedad, conservación con productos químicos, fermentación con levaduras y bacterias, encurtido con vinagre, azúcar y especias, reducción de la oxidación con antioxidantes, agentes reductores y tratamiento al vacío, y tamizado de la fruta frente a la exposición a la luz.

La industria hace uso de dos o más de estas técnicas. Algunos métodos de procesamiento son mas adecuados para determinadas frutas.

- Fresas:

Para el procesamiento de las fresas se realiza un lavado, se inspeccionan para ver si están verdes, defectuosas y luego se clasifican por calidad. Los envases típicos son IQF y congelados a granel con y sin azúcar. Las fresas pueden estar enteras, en rodajas o trituradas y incluso se utilizan para la producción de puré o concentrado de jugo. El puré se produce con y sin azúcar y se puede concentrar. Para jugo concentrado, estas bayas se prensan, filtran y se concentran bajo vacío para producir producto de 42 a 70°Brix.

- Arándanos:

Primero se limpian, luego se clasifican por tamaño, se lavan y se inspeccionan para ver si hay fruta verde o defectuosa. La mayoría de estas bayas procesadas están congeladas en IQF o a granel con y sin azúcar. Algunos arándanos son directamente enlatados con una solución de almidón y azúcar añadido. Los arándanos triturados para formar puré y productos de jugo tienen un tratamiento térmico para inactivar las enzimas. El puré suele ser de 10 a 12°Brix y se pueden concentrar. Para hacer jugo, estas bayas se prensan, filtran y concentran hasta un 45-65% de sólidos solubles.

- Frambuesas y otras bayas:

Estas bayas se lavan con rociadores de agua suaves, luego son drenadas y inspeccionadas. Posteriormente se congelan y se procesan en IQF a granel sin azúcar o en paquetes endulzados. Las frambuesas se despulpan para producir puré con o sin semillas. Para puré sin semillas, el puré despulpado se pasa por un colador para eliminar las semillas. El jugo de frambuesa se concentra al 68-70°Brix. Las moras son cultivadas y procesadas de manera similar a las frambuesas.

- Melocotones:

Primero son inspeccionados, clasificados por tamaño y pasar por una máquina picadora que automáticamente corta la fruta por la mitad, luego se enlatan o reciben un procesamiento congelado. Las mitades deshuesadas se procesan en solución de lejía para aflojar las pieles, que luego se eliminan con lavadoras agitadoras. Los melocotones congelados se pueden envasar como IQF o como almíbar. Pueden recibir un tratamiento con ácido ascórbico o ácido cítrico para preservar el color. El puré se obtiene del procesado de una máquina picadora o de fruta entera que se despulpa, se mezcla con ácido cítrico y ácido ascórbico, y posteriormente se bombea con dos finalizadores (“finishers”).

- Plátanos:

Para madurar rápidamente los plátanos se mantienen a 60 °C con gas etileno. Se pueden procesar en plátanos enteros congelados, rodajas, en puré y enlatados, todo con o sin almíbar, y asépticamente purés procesados y concentrados.

- Cerezas:

Para el procesamiento de las cerezas ácidas primero se colocan en un baño de agua fría, se despalillan, se lavan, se inspeccionan, clasifican y se deshuesan. La mayoría de ellas se envasan como IQF, otras se enlatan en jugo o almíbar. El jugo se concentra al 68°Brix.

## Procesado de un yogur de frutas:

Existen dos métodos de preparación de yogures de frutas. Los procesos convencionales de “hot pack” que utilizan hervidores de cocción abiertos, y los procesos asépticos cerrados.

El proceso “hot pack” utiliza almidón alimenticio modificado como estabilizador. El proceso “hot pack” sigue los siguientes pasos:

- Se añade fruta, 75% de azúcar, 50% de agua y conservantes en una tetera con camisa de vapor (steam jacketed kettle) con agitación.



- En una segunda terera (kettle), se agrega el almidón al resto del agua. Se mezcla y posteriormente se añade el almidón líquido a la primera tetera.
- Se calienta a 85-88 °C en continuo agitación.
- Se agrega el azúcar restante para enfriar el batch.
- Se añade sabor y color y se mezcla. Se realiza un control de calidad, se extrae una muestra del fully batched y de la tetera mezclada (“mixed kettle”) para analizar el pH, color y el °Brix.
- Se embala el producto a 72-74 °C.
- Se deja enfriar el producto en el recipiente de enfriamiento rápido (“blast cooling”).

Normalmente, los conservantes, como el sorbato de potasio, se agregan a la preparación de frutas que se desarrolla en el proceso “hot pack”.

En el proceso aséptico cerrados utilizan el almidón alimenticio como estabilizador. Para este proceso se realiza el siguiente procesamiento:

- Se añade la fruta, azúcar i un 50% de agua en una tetera con camisa de vapor (“steam jacketed kettle”) con agitación.
- En una segunda tetera (kettle), se añade almidón al resto del agua y se mezcla.
- Pre calentamiento de los ingredientes a 38 °C.
- Se agrega sabor y color y se mezcla. . Se realiza un control de calidad, se extrae una muestra del fully batched y de la tetera mezclada (“mixed kettle”) para analizar el pH, color y el °Brix.
- Se bombea la mezcla mediante un sistema aséptico capaz de esterilizar el producto acabado. La gran mayoría de los sistemas utilizan intercambiadores de calor de superficie raspada (“scraped surface heat exchangers”) para alcanzar temperaturas de al menos 88 °C con agitación en continuo para mezclar y calentar. Después de calentar, el producto se mantiene durante 3 minutos para que el calor penetre las partículas más grandes.
- El producto es luego enfriado con intercambiadores de calor de superficie raspada (“scraped surface heat exchangers”) a 27-33 °C.
- Empaquetado del producto mediante equipos de llenado diseñados para esterilizar en un recipiente hermético.

En caso de utilizar pectina como estabilizador para la preparación de la fruta, entonces se usa una solución de agua caliente utilizando un mezclador de alta velocidad, ya que las pectinas se hinchan muy rápido y pueden formarse grumos, y una tetera separada o un tanque de lechada. La solución de pectina se agrega a la mezcla caliente antes de añadir el azúcar.

Si se utiliza en pectina baja en metoxilo, se deberá de añadir cualquier ácido con la fruta en el inicio del hervidor (“cooking”), mientras que con pectina alta en metoxilo se tendrá que agregar prácticamente en el final del hervidor.

El proceso aséptico cerrado significa que el llenado del producto está refrigerado, esterilizado en envases preesterilizados seguidos de cierre hermético aséptico, con cierre preesterilizado, en atmósfera libre de microorganismos.

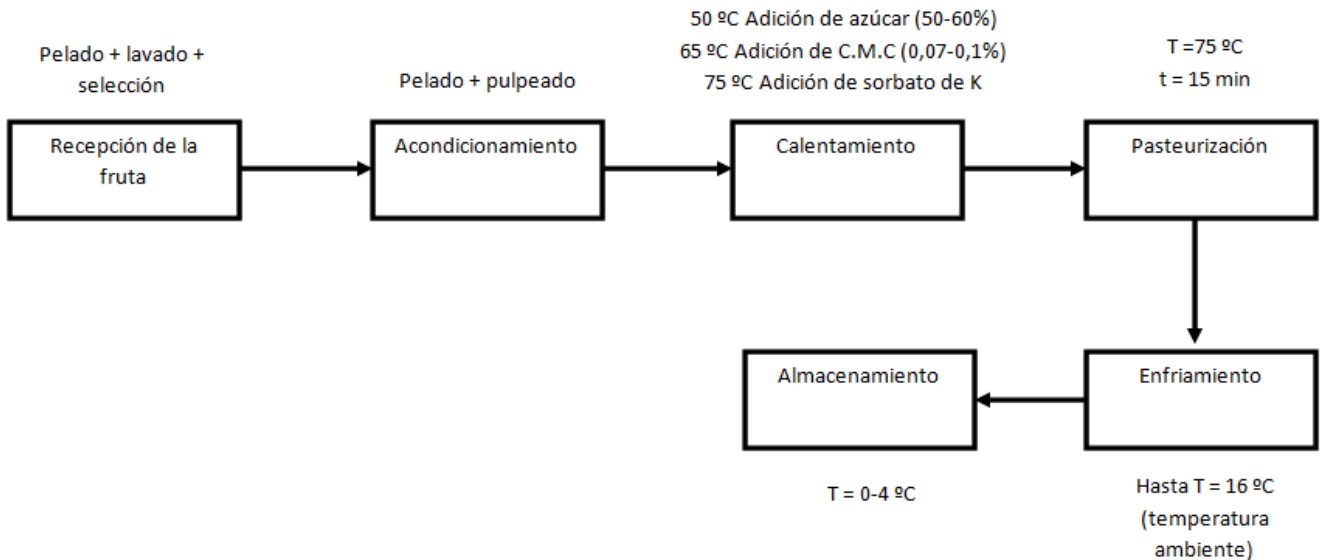
En los procesos asépticos cerrados, el calentamiento y enfriamiento se realiza en intercambiadores verticales o horizontales de calor de superficie raspada (“scraped surface heat exchangers”) construidos con acero inoxidable hueco o níquel. Alrededor del tubo del intercambiador de calor se suelda otro cilindro creando un espacio para un intercambio de calor a través de vapor para calentar y para enfriar mediante agua, glicol o amoníaco. Para evitar que el producto se queme o se congele en la pared del intercambiador de calor se coloca un mutador con palas concéntricas dentro del cilindro interior. El mutador gira dentro del tubo y las cuchillas raspan las paredes de forma ligera y continua asegurando así un menor daño hacia las partículas de la fruta en suspensión durante los procesos de calentamiento y enfriamiento.

Existen ventajas del proceso aséptico cerrado en comparación con el proceso “hot pack” o “open kettle” para la preparación de yogur de frutas.

- Mayor retención del color natural de la fruta en el proceso aséptico.
- El proceso “hot pack” necesita un periodo de calentamiento de 30-40 minutos para alcanzar los 88-94 °C, temperatura de cocción. Después del llenado en caliente, el contenedor a granel tarda de 4 a 36 horas en llegar a la temperatura de equilibrio del producto. En un proceso aséptico dentro del tiempo de esterilización requerido expone el producto a menor calor favoreciendo de este modo su conservación del color natural.
- En el proceso aséptico cerrado tiene un sabor mejorado respecto al proceso “hot pack” ya que el calentamiento realizado en un intercambiador de calor completamente cerrado permite que los componentes del sabor o las esencias de la fruta no se puedan escapar a la atmósfera.
- En el proceso aséptico cerrado hay mejor retención de nutrientes (entre el 90-95% se pueden retener) gracias al intercambiador de calor cerrado.
- También se eliminan los conservantes ya que el producto ha sido calentado para su esterilización, enfriado y llenado en una atmósfera estéril, y además se envasa asépticamente. Esto también significa que el producto no requiere de refrigeración en el transporte y almacenamiento generando así un ahorro en refrigeración.
- Con un proceso aséptico se puede obtener un producto más consistente que en el proceso “hot pack” para el procesamiento de yogur de frutas.
- El proceso aséptico es energéticamente eficiente, el 50% de la energía térmica del calor del proceso “hot pack” (o “open kettle heat processing”) se pierde en la atmósfera.

## Preparación del almíbar de fruta:

La fruta será añadida al yogur en forma concentrada por adición de azúcar y evaporación de la misma y luego pasteurizada.



**Figura 37:** Diagrama de bloques para la preparación de almíbar de fruta para la elaboración del yogur.

En caso de querer almacenar el almíbar de fruta por un tiempo prolongado, la cantidad de azúcar debe estar en una proporción del 80-100% en relación a la cantidad de fruta y a la pasteurización debe ser 75 °C durante 30 minutos.

## Envasado de preparaciones de frutas:

Las preparaciones de frutas para yogur se pueden envasar en distintos tamaños y estilos de contenedores.

Los tamaños más típicos de containers llenados asépticamente oscilan entre 50 lb BAG-IN-BOX a 2000 lb . Las 50 lb bag-in-box llenadas asépticamente o los “hot packed” son la opción de envase popular para los fabricantes de yogur.

Otros tamaños oscilan entre 400 a 500 lb en un tambor de bolsa (“bagin drum”). Este contenedor normalmente procesado asépticamente puede llenar a 80.90 °C.

Los fabricantes de yogur a gran escala prefieren recibir y manipular la preparación de frutas en contenedores de mano (“tote containers”) en 1800-2000 lb ya que este tamaño de contenedor no puede enfriarse de manera eficiente y rápida, se llena usando un sistema de procesamiento aséptico. Se utilizan tres tipos de contenedores, el de “one way tote” , el de “collapsible tote” y el de “returnable stainless steel tote”.

Un día después del envasado, se inicia la evaluación de la primeras muestras de preparación para comprobar que se siguen las especificaciones del producto antes de su lanzamiento al mercado. Los criterios son los siguientes:

- El °Brix mediante un refractómetro.
- El pH debe utilizar una temperatura constante para las pruebas del producto.
- La viscosidad y la consistencia mediante un consistómetro Bostwick el cual se mide la temperatura específica y el tiempo de la muestra durante 30 segundos. Un viscosímetro Brookfield se podría utilizar para productos sin partículas o jarabes aromatizados. Los instrumentos Brookfield utilizan un principio de medición de la viscosidad de rotación en centipoises.
- Color. Se realizan pruebas visuales del color de una fruta con una muestra. Se utilizan diagrama de pantone, o instrumentos como el colorímetro o espectrofotómetros.
- Organoléptico. Es una evaluación sensorial que se realiza para asegurarse de que el producto cumple con los estándares sensoriales.
- Ensayos microbiológicos para hacer un recuento de levaduras y mohos, coliformes y recuento de placas estándar.

## Reología y textura del yogur:

Para el análisis instrumental de reología y textura del yogur se incluye:

- Reología oscilatoria de pequeña amplitud (SAOR).
- Cizalla oscilatoria de gran amplitud.
- Penetrometría.
- Análisis del perfil de textura.
- Viscometría.

## Propiedades reológicas del yogur:

La reología alimentaria estudia la deformación y el flujo de los materiales alimenticios. Las propiedades reológicas del yogur pueden ser caracterizadas usando componentes viscosos y elásticos ya que los geles de leche son viscoelásticos. Viscoelástico indica que el material tiene algunas de las propiedades elásticas de un sólido ideal y parte de las propiedades del flujo de un líquido ideal (viscoso).

El yogur posee muchos efectos no newtonianos, como el adelgazamiento por cizallamiento, estrés de fluencia, viscoelasticidad y dependencia del tiempo.

Las propiedades reológicas del yogur vienen influenciadas por el contenido sólido, estados físicos de las grasas y proteínas en la leche, la temperatura y composición de la leche, la manipulación mecánica del coágulo, uso de estabilizadores, el tipo y cantidad del cultivo iniciador incorporado para el tiempo de inoculación del pretratamiento térmico de la leche, la homogeneización, la acidez, el grado de proteólisis, la temperatura de fermentación y condiciones de almacenamiento del producto acabado.

La viscosidad y firmeza del yogur aumenta con el aumento contenido total de sólidos de la leche. La viscosidad del yogur se ve afectada por los sólidos totales, la acidez, la composición de la leche, la homogeneización, el tipo de cultivo, el estabilizador, el grado de proteólisis y por los tratamientos de precalentamiento de la leche. Además la capacidad fermentativa, aromática, lipolítica y proteolítica de las bacterias iniciadoras afectan a la viscosidad del producto.

Las bacterias del ácido láctico producen polisacáridos que se liberan en el yogur donde aumentan la viscosidad y mejoran la retención del agua.

La leche SNF ("solids not fat") contenido en el yogur varía del 9 al 16% pero se puede aumentar añadiendo leche en polvo. Es importante tener niveles de SNF elevados para aumentar el contenido de proteínas, lo que ayuda a aumentar la viscosidad del producto a los niveles deseados.

## Maquinaria:

Posible maquinaria para la elaboración de yogures:

- Máquinas de llenado y envasado de líquidos:

-Máquinas de llenado de envases asépticos de cartón.

- Máquinas de llenado de envases de cartón Gable Top.

- Máquinas semiautomática de llenado de envases de cartón Gable Top.

-Máquinas envasadora de líquidos en bolsas asépticas.

-Máquinas automática envasadora de líquidos.

-Máquinas automática formadora, llenadora y selladora de vasos.

-Máquinas automática llenadora y selladora de vasos.

- Tanques de acero inoxidable:

-Tanque de pesaje de leche.

- Tanque de recepción de leche.
- Cántaro de leche de acero inoxidable.
- Tanque cisterna para leche.
- Tanque de refrigeración de leche.
- Tanque de almacenamiento de una capa.
- Tanque de almacenamiento con aislante térmico.
- Tanque de refrigeración y calentamiento.
- Tanque de cultivo bacteriológico.
- Tanque mezclador.
- Tanque de fermentación.
- Silo para leche.

- Equipos de procesamiento de fruta:

- Despulpadora de frutas.
- Despulpadora rotativa.
- Trituradora de frutas.
- Clasificadora de frutas.
- Lavadora de frutas.
- Cinta transportadora de frutas.
- Evaporador de efecto múltiple.

- Sistemas de esterilización:

- Estabilizador de placas UHT.
- Estabilizador tubular UHT.
- Pausterizador de placas.
- Intercambiador de calor de placas.
- Autoclave rotativa.

-Esterilizador por vapor.

-Pausterizador de túnel.

- Sistemas de limpieza CIP:

- Sistemas de limpieza CIP vertical.

- Sistemas de limpieza CIP ligero.

- Bombas sanitarias:

-Bomba centrífuga alto rendimiento.

-Bomba centrífuga sanitaria.

-Bomba CIP autocebante.

-Bomba de circulación.

-Bomba sanitaria de alto rendimiento.

-Bomba de circulación de doble sello.

-Bomba de lodo de tornillo.

- Accesorios para tuberías de acero inoxidable y válvulas sanitarias.

Componentes para la instalación completa de la línea de producción de yogures:

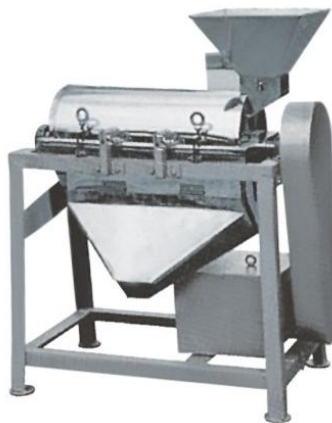
- 1. el tanque del peso de la leche
- 2. el tanque de recepción de la leche
- 3. bomba centrífuga
- 4. separator de la leche
- 5. desgaseador del vacío
- 6. cambiador de calor de la placa
- 7. depósito de leche al aire libre
- 8. el tanque de agua helada
- 9. máquina del agua helada
- 10. torre de enfriamiento
- 11. bomba del rotor

- 12. depósito de fermentación
- 13. el tanque de la semilla
- 14. pasteurizador de la placa
- 15. homogeneizador
- 16. tanque de sujeción de la temperatura
- 17. bomba centrífuga
- 18. el tanque de mezcla
- 19. el tanque de la emulsificación
- 20. mezclador del agua-polvo
- 21. el tanque de alto nivel
- 22. homogeneizador
- 23. esterilizador del tubo del uht
- 24. máquina de rellenar de la forma del ladrillo
- 25. máquina del tubo de la goma
- 26. impresora de chorro de tinta
- 27. máquina del embalador
- 28. máquina macking de la bolsa de plástico
- 29. lacre de relleno del moldeado plástico de la taza que corta hacer juego
- 30. empaquetadora automática de la caja de papel del aguilón
- 31. sistema del cip

## Maquinaria seleccionada para el proceso de elaboración de yogures:

### Despulpadora de frutas:

Máquina ideal para separa la pulpa, pero para este proyecto solo tiene interés para las fresas.



**Figura 38:** Ilustración de una despulpadora de frutas.

### Trituradora de frutas:

Equipo ideal para exprimir y triturar diferentes frutas.





**Figura 39:** Ilustración de una trituradora de frutas.

Especificaciones técnicas de la trituradora de frutas	
Capacidad (ton/h)	5
Potencia del motor (kW)	2,2
Velocidad de rotación (r/min)	310

**Tabla 39.** Especificaciones técnicas de la trituradora de frutas.

### Lavadora de frutas:

Esta máquina va a servir como una solución de limpieza automatizada para las frutas. La lavadora de frutas tiene una buena eficiencia energética ya que reutiliza el agua filtrada. Este equipo realiza una limpieza profunda y transfiere las frutas lavadas mediante agua en circulación y los deposita en el puerto de descarga.



**Figura 40:** Ilustración de una lavadora de frutas.

### Cinta transportadora de frutas:

Maquinaria que consta de un equipo eficiente y fácil de utilizar para el transporte de las frutas.



**Figura 41:** Ilustración de una cinta transportadora de frutas.

### Evaporador de efecto múltiple:

Este evaporador que permite concentrar jugo de frutas, está equipado con un evaporador de placas múltiples funciones. El proceso de evaporación al vacío y a baja temperatura mantiene todas las

propiedades de la fruta en el yogur: color, olor, sabor, gusto y nutrientes. El proceso de pasteurización garantiza la seguridad e higiene de los alimentos. Este evaporador está dotado de un equipo que permite adaptarse a cualquier instalación. Además es fácil de utilizar y mantener.



**Figura 42:** Ilustración de un evaporador de efecto múltiple de JIMEI.

Especificaciones técnicas del evaporador de efecto múltiple	
Modelo	GL-20
Capacidad (t/h)	10-20
Concentración de entrada (%)	10
Concentración de salida (%)	71
Capacidad de concentración (t/h)	8,6-17
Temperatura de evaporación primaria (°C)	80-90
Temperatura de evaporación secundaria (°C)	55-70
Grado de vacío primario (MPa)	0,02-0,04
Grado de vacío secundario (MPa)	0,05-0,06

**Tabla 40.** Especificaciones técnicas del evaporador de efecto múltiple.

### Tanque de recepción de la leche:

Este tanque está compuesto por una estructura simple y funcional donde el volumen de salida se puede regular.



**Figura 43:** Ilustración del tanque de recepción de la leche.

### Fermentador :

El madurador es un depósito capaz de calentar y enfriar la leche para así poder pasteurizar (calentar) y controlar la fermentación (enfriar). Para el caso de los yogures, en la salida del pasteurizador, la leche se introduce a un madurador. Dentro del madurador se lleva a cabo un tratamiento térmico con el fin de eliminar la flora patógena y posteriormente se enfría y se le añaden los fermentos. Para la elaboración de yogures líquidos se realiza la incubación en el madurador con agitación y control de temperatura hasta que el proceso de fermentación haya acabado. A continuación se deja enfriar y se envasa. Para yogures de coágulo firme el envasado se realiza antes de la incubación y se traslada en una cámara para su maduración y finalmente se refrigere en cámara. Para este proyecto se va a utilizar el modelo MFL de INOXPA.

Características y diseño:

- Unidad cerrada vertical en acero inoxidable AISI 316L o AISI 304.
- Cámara para calentamiento con agua o vapor.
- Enfriamiento con agua glicolada.
- Agitador con velocidad variable para la mezcla homogénea.
- Sonda control temperatura.

- Regulador de temperatura.
- Sensores de nivel.
- Filtro entrada aire.
- Bolas difusores para la limpieza CIP.
- Mirilla con luz para inspección.
- Boca de hombre para inspección y mantenimiento.



**Figura 44:** Ilustración del madurador / fermentador MFL de la empresa INOXPA.

<b>Especificaciones técnicas del fermentador MFL</b>
Capacidad de 150 a 5000 L.
Válvulas de mariposa 1" & ¾" en acero inoxidable AISI 316L DN25 con junta EPDM.
Actuador vertical para C-TOP en acero inoxidable AISI 304L.
C-TOP y Magnético Reed 24V DC 1E 1M.
Válvulas de seguridad DN25 y drenaje.
Manómetro 10 bar, 1 1/2"
Sacamuestras Keofitt.

**Tabla 41.** Especificaciones técnicas del fermentador MFL.

### Tanque de cultivo bacteriológico:

El tanque de cultivo bacteriológico es un depósito utilizado para el cultivo de bacterias. En este tanque se van a cultivar las dos bacterias implicadas en la fermentación de los yogures, *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus*.



**Figura 45:** Ilustración del tanque de cultivo bacteriológico de SIMEI.

Especificaciones técnicas del tanque de cultivo bacteriológico	
Modelo del tanque de cultivo	SSG-10
Capacidad (l)	10000
Diámetro (mm)	2300
Altura (mm)	4050
Diámetro de entrada y salida (mm)	65

**Tabla 42.** Especificaciones técnicas del tanque de cultivo bacteriológico.

### Tanque fermentador:

Este depósito de fermentación ideal para el procesamiento de yogures dispone de un sistema interno y de un mezclador que disuelve y dispersa las burbujas del líquido generando así un buen efecto de mezclado. Este tanque está compuesto por acero inoxidable importado SUS304 o 304L y contiene una boquilla interna para una limpieza automática. El modelo de tanque mezclador que se va a utilizar va a ser el SSG-15.



**Figura 46:** Ilustración del tanque fermentador de JIMEI.

<i>Especificaciones técnicas del tanque fermentador</i>	
<i>Modelo</i>	<i>SSG-15</i>
<i>Capacidad (L)</i>	<i>15000</i>
<i>Diámetro (mm)</i>	<i>2650</i>
<i>Altura (mm)</i>	<i>4450</i>
<i>Diámetro de entrada y salida (mm)</i>	<i>65</i>

**Tabla 43.** Especificaciones técnicas del tanque fermentador.

### Tanque de mezcla y almacenamiento vertical de doble capa:

El modelo de tanque de almacenamiento de doble capa de LONG QIANG puede utilizarse como tanque de almacenamiento de líquidos, tanque de líquidos compuestos, tanque de almacenamiento temporal, y tanque mezclador de líquidos. Es un tanque apto para los productos lácteos que se van a elaborar, es a decir, los yogures.

Este tanque de almacenamiento de doble capa dispone de un tanque interno envuelto por el paquete externo. Está compuesto por acero inoxidable sanitario, opera de forma simple, y tiene una zona de transición en forma de arco para garantizar su máxima eficiencia sanitaria.

Partes técnicas del tanque de almacenamiento de doble capa:

- Boca de inspección de rápida apertura.
- Varios modelos de máquina de limpieza CIP.
- Cubierta de respiración sanitaria anti moscas e insectos.
- Trípode ajustable.

- Materiales desmontables del tubo de alimentación.
- Termómetro y escalera (opcional).
- Licuadora vertical (tipo paleta o tipo marco está disponible según requisitos de los clientes).
- Placa anti-vórtice.



**Figura 47:** Ilustración del tanque de almacenamiento de doble capa de LONG QIANG.

Especificaciones técnicas del tanque de almacenamiento de doble capa	
Volumen (L)	20000
Dimensiones (D*a)(mm*mm)	2640*3660
Altura (mm)	6400
Diámetro de entrada y salida (mm)	51
Capa aislante (mm)	60
Potencia del motor (kW)	5,5
Velocidad de mezclador (r/min)	velocidad de rotación común 35 43 60 reductor de velocidad continua o reductor de velocidad dual también están disponibles

**Tabla 44.** Especificaciones técnicas del tanque de almacenamiento de doble capa.

#### Tanque mezclador:

Este tanque mezclador estándar contiene un depósito que se utiliza para la combinación e integración de todos los componentes necesarios en el proceso de elaboración de productos lácteos.





**Figura 48:** Tanque mezclador estándar de SIMEI.

Especificaciones técnicas del tanque mezclador estándar de SIMEI	
Modelo	SSG-15
Capacidad (l)	15000
Diámetro (mm)	2650
Altura (mm)	4450
Diámetro de entrada y salida (mm)	65

**Tabla 45.** Especificaciones técnicas del tanque mezclador estándar de SIMEI.

### Agitador:

#### Agitador tipo helicoidal:

Este tipo de agitador áncora tipo helicoidal es ideal para la mezcla de productos líquidos con sólidos o solamente sólidos granulados, evitando su rotura. Los tiempos de mezcla son cortos para un producto final homogéneo. Además, tienen la capacidad de producir un movimiento fuerte de arriba abajo incluso en viscosidades muy elevadas. Este modelo de agitador no genera turbulencias en productos viscosos y no newtonianos por lo que permite que todo el líquido se encuentre en constante movimiento asegurando así un buen mezclado. Puede trabajar con velocidades de entre 3 y 200 rpm.



**Figura 49:** Ilustración del agitador áncora tipo helicoidal de INOXPA.

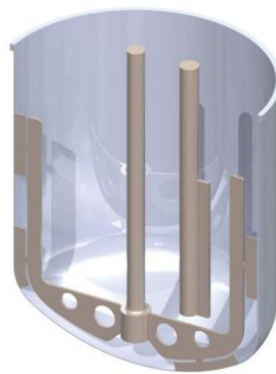
Especificaciones técnicas del agitador áncora tipo helicoidal de INOXPA	
Viscosidad	Amplio rango
Cortacorriente	No
Agitador radial	No
Rascadores	No
Velocidad (rpm)	3 hasta 200

**Tabla 46.** Especificaciones técnicas del agitador áncora tipo helicoidal de INOXPA.

Agitador tipo áncora en “U” con pala:

Tanque mezclador estándar de SIMEI requiere de un componente mecánico para realizar una agitación suave, conocido como proceso de batido. Para dicho tanque mezclador se ha decidido utilizar un agitador tipo áncora en “U” con pala de INOXPA. Este agitador áncora en “U” con pala está formado por un eje central, unas palas radiales inclinadas para potenciar el movimiento del producto. Se utiliza para productos con viscosidad media realizando una buena mezcla. Debido a que durante el proceso de mezclado se necesita dos rangos de velocidades distintas (primero baja y finalmente elevada velocidad), este agitador es ideal ya que puede trabajar a velocidades variables, entre 3 y 120 rpm. Además se puede incorporar rascadores móviles para aquellos productos con riesgo a quedarse adheridos en las paredes internas del depósito. En el caso de disponer de doble cámara, los rascadores facilitan la transferencia de temperatura al producto.

Las múltiples aplicaciones de estos agitadores son para la mezcla de productos con base de chocolate, disoluciones de cremas, lácteos, etc.



**Figura 50:** Ilustración del agitador tipo áncora en “U” con pala de INOXPA.

Especificaciones técnicas del agitador tipo áncora en “U” con pala de INOXPA	
Viscosidad	Amplio rango
Cortacorriente	Si
Agitador radial	Si
Rascadores	Si
Velocidad (rpm)	3 hasta 120

**Tabla 47.** Especificaciones técnicas del agitador tipo áncora en “U” con pala de INOXPA.

Agitador hélice gamma:

Los agitadores tipo hélice se pueden usar para los procesos de suspensión, dispersión y homogeneización para productos poco viscosos, donde es necesario trabajar a velocidad media y alta. Pueden ser montados en depósitos de fondo bombeado o cónico. Las hélices son agitadores de flujo axial, ideales para suspensiones o disoluciones de sólido- líquido ya que impiden que las partículas sólidas se depositen en el fondo del depósito. Además también se utilizan para la mezcla de líquidos. Según la aplicación es posible montar deflectores o cortacorrientes en el depósito. Todos los agitadores tipo hélice pueden ir acompañados de un agitador tipo áncora.

Para el tanque mezclador estándar de SIMEI también se va a utilizar un agitador de hélice gamma de INOXPA destinado a productos de viscosidad media-alta, como son los yogures. La velocidad de agitación es inferior a los 750 rpm con velocidad periférica entre 2 y 15 m/s. Según las revoluciones del agitador, el sistema de agitación genera un buen caudal de agitación según la viscosidad en el interior del depósito. Este agitador es idela para depósitos de medio y gran tamaño. Si la altura del depósito lo requiere es posible instalar dos o más hélices sobre el mismo eje del agitador.

Las aplicaciones de estos agitadores son para procesos de mezclas homogéneas, suspensión, etc.



**Figura 51:** Ilustración del agitador tipo hélice gamma de INOXPA.

Agitador tipo pala de gran caudal:

Este modelo de agitador estará destinado para los yogures líquidos ya que permiten mezclar productos de viscosidad media.



**Figura 52:** Ilustración del agitador tipo pala de gran caudal de INOXPA.

**Tanque para pesaje y recepción de la leche:**

Este tanque consta de una estructura simple, un diseño funcional, fácil de limpiar y de mantener. El tanque de pesaje de leche contiene un tamiz de filtro que evita la entrada de impurezas. El depósito de pesaje de leche se utiliza en combinación con el tanque de recepción, lo que incrementa la eficiencia de las tareas de procesamiento. La salida del tanque de recepción de la leche se puede cambiar de acuerdo al total de la disposición técnica para satisfacer los requisitos de diseño de todo el equipo. Además, este producto es adaptable.



**Figura 53:** Ilustración del tanque de pesaje y recepción de la leche de LONG QIANG.

<i>Especificaciones técnicas del tanque para pasaje y recepción de la leche</i>	
<i>Volumen efectivo (L)</i>	<i>1000</i>
<i>Longitud (mm)</i>	<i>1300</i>
<i>Ancho (mm)</i>	<i>900</i>
<i>Altura (mm)</i>	<i>1000</i>
<i>Altura total (mm)</i>	<i>1250</i>

**Tabla 48.** Especificaciones técnicas del tanque para pasaje y recepción de la leche.

### **Camión cisterna para la leche:**

Este camión cisterna puede ser agregado en un camión para el transporte de leche y otros líquidos. Todo el tanque para el transporte de la leche está fabricado con acero inoxidable tipo SUS304-2B. Las capas internas del tanque cisterna para la leche están aisladas térmicamente y recubiertas de espuma de poliuretano. En su interior hay incorporado una boca de manguera para facilitar su limpieza. Todo el tanque cisterna sigue los estándares de seguridad alimentaria y puede mantener la leche fresca durante su transporte.



**Figura 54:** Ilustración del camión cisterna.

## Pasteurizador:

La pasteurización permite lograr una esterilización parcial de los yogures. Este equipo tecnológico se aplica para la destrucción parcial de los microorganismos patógenos que puedan haber en la leche cruda. Las bacterias destruidas en la pasteurización son la Brucelosis, Tuberculosis, Fiebre, Salmonelosis, Fiebre escarlatina, estafilococos y Coxiella burneti .

Existen distintos tipos de pasteurización, LTLT (Batch), HTST (high temperature short time) i el UHT (ultra high temperature).

- Pasteurización LTLT (low temperature, long time) o Batch. En este caso la leche se calienta a una temperatura de 63 °C durante 30 minutos. Se desarrolla en tanques de doble pared, por donde circula el fluido calefactor y el refrigerante, los cuales tienen un agitador y termómetro. Es un sistema estático. Para este proyecto no va a utilizarse este tipo de pasteurización debido a su bajo productividad y baja rentabilidad. Además se aplica en industrias muy pequeñas.
- Pasteurización HTST (high temperature, short time) o flash. Para este caso se utilizan tiempos de 15-20 segundos con temperaturas de entre 70-75 °C según el tipo de leche cruda inicial. Está muy utilizada en la actualidad. La vida útil en sistemas de refrigeración es de una semana. Esta pasteurización se ejecuta con un pasteurizador por placas de transferencia o de superficie tubular.
- Ultrapasteurización. Implica un tratamiento térmico muy alto para garantizar la esterilidad y el envasado aséptico. Permite obtener leches con una vida útil muy prolongada (más de treinta días) en sistemas de refrigeración. Se mantienen la calidad microbiológica y las características de la leche.

En este proyecto se va a utilizar el método de pasteurización HTST mediante un pasteurizador de placas.

Hay dos métodos para el tratamiento a temperaturas ultra altas (UHT):

- En el tratamiento UHT directo, el vapor se inyecta en un periodo de tiempo corto en el producto, y a la misma vez se produce la refrigeración instantánea. La duración tan corta que dura este tratamiento permite conseguir una buena calidad del producto pero se necesita un consumo elevado de energía comparado con el tratamiento UHT indirecto.
- En el tratamiento UHT indirecto, el producto se calienta a través de un intercambiador de calor. Este método tiene una gran rentabilidad ya que se puede recuperar la mayor parte de la energía térmica.

La unidad de pasteurización HTST es un pasteurizador diseñado para el tratamiento térmico de la leche y sus derivados u otros productos alimentarios que permite eliminar los microorganismos patógenos mediante temperaturas altas durante un periodo de tiempo corto.

Dicho pasteurizador de INOXPA consta de los siguientes equipos tecnológicos:

- Tanque de balance, de 100 litros, en AISI 304.
- Bomba de alimentación centrífuga Hyginox SE.
- Intercambiador de calor de placas, que puede ser de 1, 2 o 3 etapas, a petición del cliente y/o proceso. Con bastidor de acero inoxidable, placas de acero inoxidable AISI 316L de 0,6 mm de espesor. Con juntas de NBR, fijadas mecánicamente.
- El tubo retenedor se ha diseñado con ligera inclinación para mejorar el drenaje del tubo.
- Válvula de desvío automática tipo KH (3 vías), además de válvulas de mariposa de operación manual y la instrumentación necesaria para el control de la temperatura de pasteurización.
- Válvula modulante de 3 vías, para el agua caliente, con posicionador electroneumático.
- Todo el skid de pasteurización va montado sobre una estructura en acero inoxidable con patas regulables en altura.
- Para operar con el equipo, se incluye un cuadro de control en acero inoxidable AISI 304. El cuadro de mando lleva regulador de temperatura.

El caudal necesario de agua glicolada irá en función del caudal a pasteurizar y del número de etapas. El caudal y temperatura de agua caliente va a depender del caudal a pasteurizar.



**Figura 55:** Ilustración del pasteurizador HSTS de INOXPA.

Especificaciones técnicas del pasteurizador HSTS	
Modelo	Pasteurizador HSTS INOXPA
Caudal de trabajo (l/h)	500-1000-2000-3000-5000
Temperatura de entrada producto (°C)	4
Temperatura de pasteurización (°C)	72
Temperatura de salida producto (°C)	4
Tiempo de retención (s)	15
Temperatura de agua caliente (°C)	74
Temperatura agua glicolada (refrigeración) (°C)	4

**Tabla 49.** Especificaciones técnicas del pasteurizador HSTS.

### Esterilizador tubular UHT:

La utilización de este esterilizador de tubos UHT de JIMEI se debe a la necesidad de obtención de yogures líquidos aunque también sirve para yogures pasteurizados. Este tipo de esterilizador UHT de JIMEI es especial para los procesos de llenado y envasado aséptico, como es el caso de los yogures pasteurizados. Este equipo se recomienda para el envasado aséptico en cajas de papel, film de plástico, botellas de PET, etc.

El esterilizador tubular UHT es un equipo el cual utiliza un tratamiento térmico muy alto con la finalidad de eliminar las bacterias y otros microorganismos de los alimentos y bebidas. Este modelo de esterilizador tiene una gran eficiencia en la recuperación de calor, con una tasa de reciclaje del 90% después de calentar el material. Además, este equipo tecnológico tiene una gran precisión y seguridad en el control de la temperatura, siendo así capaz de controlar de forma automática todos los factores que influyen en la temperatura de esterilización, presión y flujo de vapor, flujo de material, etc. Contiene un sistema CIP, las tuberías se pueden limpiar y esterilizar automáticamente para garantizar la higiene total del sistema.

También está dotado de bombas de producto, bombas de agua caliente, válvulas, componentes eléctricos del sistema de control y componentes mecánicos.



**Figura 56:** Ilustración del esterilizador tubular UHT de SIMEI.

Especificaciones técnicas del esterilizador tubular UHT de SIMEI	
Temperatura del material de entrada (°C)	5
Tiempo de conservación de calor (s)	4-15
Temperatura de esterilización (°C)	38
Temperatura del material de salida (°C)	4-20
Presión de vapor (MPa)	0,4
Consumo de vapor (kg/h)	130
Presión del aire comprimido (l/h)	0,6
Consumo de aire comprimido (l/h)	50
Dimensiones excluyendo el homogeneizador (mm)	3500x1600x1800
Potencia excluyendo el homogeneizador (kW)	8,75

**Tabla 50.** Especificación técnica del esterilizador tubular UHT de SIMEI.



## Esterilizador de placas UHT:

El esterilizador de placas UHT mostrado a continuación resulta ideal para disinfestar y esterilizar la leche fresca. También pre-esteriliza materiales mientras producen leche pasteurizada (leche de larga vida). Este equipo tiene una temperatura de esterilización de 137 °C y un tiempo de mantenimiento de calor de 3-5 segundos. Este proceso permite mantener los nutrientes, el color y el sabor de los yogures. La esterilización UHT permite utilizarlos en procesos de llenado en frío y caliente.

El modelo de esterilizador de placas UHT que se va a utilizar va a ser el BS-UHT-5.



**Figura 57:** Ilustración del esterilizador de placas UHT de JIMEI.

Especificaciones técnicas del esterilizador de placas UHT	
Modelo	BS-UHT-5
Capacidad (t/h)	5
Área de intercambio de calor (m <sup>2</sup> )	56
Temperatura del material de entrada (°C)	5
Temperatura del material de salida (°C)	5
Temperatura de esterilización (°C)	137
Tiempo de conservación de calor (s)	4
Temperatura del agua fría o helada (°C)	1
Consumo de agua helada (t/h)	12
Diámetro de la junta (mm)	51
Peso (kg)	1680
Dimensiones (mm)	2600x2200x2500
Potencia (kW)	6

**Tabla 51.** Especificaciones técnicas del esterilizador de placas UHT.

### Esterilizador UHT tipo placa:

Este tipo de esterilizador es ampliamente utilizado en la esterilización de la leche. El modelo de esterilizador UHT tipo placa LONG QIANG permite la recuperación de el calor alta, tiene una estructura compacta y el control de la temperatura es estable. Este esterilizador UHT tipo placa genera una temperatura ultra alta para esterilizar los productos lácteos líquidos para el envasado aséptico. La temperatura de esterilización se mantiene a 137 °C de 3 a 5 segundos para mantener los nutrientes naturales y el sabor de la leche. La temperatura de descarga de este equipo puede ser controlada por sí misma para que esté disponible para el procedimiento de llenado en caliente y, mientras tanto para el llenado aséptico en frío.

Esta compuesto por:

- Bomba de material.
- Barril de equilibrio.
- Sistema de agua caliente.
- Regulador de temperatura.
- Dispositivo de grabación.
- Sistema de control eléctrico.



**Figura 58:** Ilustración del esterilizador UHT tipo placa de LONG QIANG.

Especificaciones técnicas para el esterilizador UHT tipo placa	
Modelo	LG-UHT-5
Capacidad (L/h)	5000
Temperatura de la corriente de entrada (°C)	5
Tiempo de espera (s)	4-15

Temperatura de esterilización (°C)	105-143
Temperatura de la corriente de salida (°C)	20
Temperatura de entrada de agua fría (°C)	≤2
Presión de vapor (MPa)	0,5
Consumo de vapor (kg/h)	420
Presión de aire comprimido (MPa)	0,6
Consumo de aire comprimido (MPa)	70
Dimensiones (mm)	5000x2000x2200
Peso (kg)	2800

**Tabla 52.** Especificaciones técnicas para el esterilizador UHT tipo placa.

### Unidad de estandarización:

La nueva unidad de estandarización S2 de TETRA PAK reduce al mínimo el derrame de crema con una precisión (+/- 0,020% en la grasa de la leche) para obtener ahorros significativos. También es fácil de operar y mantener, y reduce al mínimo el riesgo de error humano. Dicha unidad permite una producción variada de productos lácteos Sus aplicaciones son en la crema y leche de consumo, leche saborizada, leche para productos fermentados y en polvo, leche para quesos y otros productos lácteos.

También permite conectar líneas adicionales de ingredientes al estandarizador y hacer que esta unidad sea ideal para utilizar en el procesamiento de varios productos lácteos formulados.

La unidad de estandarización de TETRA PAK está diseñada para la estandarización en línea de la grasa, sólidos totales, contenido de sólidos no grasos y de proteínas en la leche y la nata directamente después de la separación de la leche.

Cualidades de la estandarizadora de Tetra Pak:

- Rendimiento confiable con la máxima utilización de la línea y calidad uniforme del producto.
- Reparto mínimo de nata, +/- 0,015% de grasa láctea para ahorros significativos.
- El sistema logra un contenido en grasa preciso, independientemente de variaciones en el contenido en grasa de la leche cruda



**Figura 59:** Ilustración de la unidad de estandarización de TETRA PAK.

Especificaciones técnicas de la unidad de estandarización de TETRA PAK	
Caudal de la leche (l/h)	5000-75000
Temperatura de estandarización de la leche caliente (°C)	45-65
Potencia (kW)	0,5
Dimensiones regulares (mm)	2200x1275x1470
Peso neto(kg)	370
Volumen (m <sup>3</sup> )	8,7
Dimensiones (mm)	2200x 1275x1470

**Tabla 53.** Especificaciones técnicas de la unidad de estandarización de TETRA PAK.

### Intercambiador de calor de placas:

La elección de este tipo de intercambiador de placas se debe a su elevada eficiencia, su extensa área de procesamiento, es fácil de montar, reparar, limpiar y de mantener. Este intercambiador de calor de placas para la elaboración de los yogures, es el tipo de intercambiador de calor más utilizado.



**Figura 60:** Ilustración de un intercambiador de calor de placas de TETRA PAK® .

Especificaciones técnicas del intercambiador de calor de placas.	
Modelo	Alfa Laval Base10.M10-Mbase 81PL 1 SEC
Consumo (kW)	96
Temperatura (lado primario) (°C)	15-4
Temperatura (lado secundario) (°C)	2

**Tabla 54.** Especificaciones técnicas del intercambiador de calor de placas.

#### Tanque de almacenamiento con aislante térmico:

Este tanque se va a utilizar como depósito para realizar cultivos bacteriológicos en el proceso de elaboración de yogures. Para este proyecto de la elaboración de yogures a gran escala se va a utilizar el modelo SSG-15.



**Figura 61:** Ilustración de un tanque de almacenamiento con aislante térmico de JIMEI.

Especificaciones técnicas del tanque de almacenamiento con aislante térmico	
Modelo	SSG-15
Capacidad (L)	15000
Diámetro (mm)	2650
Altura (mm)	4450
Diámetro de entrada y salida (mm)	65

**Tabla 55.** Especificaciones técnicas del tanque de almacenamiento con aislante térmico.

## Homogeneizador de alta presión:

Para el desarrollo de este proyecto se va a utilizar el modelo de homogeneizador de alta presión GJB para su aplicación en la homogeneización, refinado y transporte a alta presión de materiales líquidos. El modelo concreto de homogeneizador va a ser el GJB-5-60 el cual tiene una capacidad de 5 m<sup>3</sup>/h, puede soportar una presión de 60 MPa y tiene una potencia del motor de 68 kW.



**Figura 62:** Ilustración del homogeneizador de alta presión modelo GJB-5-60 de JIMEI.

<b>Especificaciones técnicas del homogeneizador de alta presión</b>	
<b>Modelo</b>	GJB-5-60
<b>Capacidad (m<sup>3</sup>/h)</b>	5
<b>Presión (MPa)</b>	60
<b>Diámetro de entrada (mm)</b>	50
<b>Diámetro del homogeneizador (mm)</b>	25
<b>Salida (mm)</b>	ZG3/4"
<b>Potencia del motor (kW)</b>	68
<b>Dimensiones de la máquina de homogeneización (mm)</b>	1600x1360x1650
<b>Peso (Kg)</b>	2100

**Tabla 56.** Especificaciones técnicas del homogeneizador de alta presión.

## Mezclador:

La elaboración del yogur se va a realizar con un mezclador de corte alto de TETRA PAK®

Este mezclador está dotado de un sistema completamente sellado que garantiza la inoculación alimentaria, tiene un sistema de vacío que consume un 50% menos de agua y un 70% menos de energía comparando con otros modelos presentes en el mercado. Además es un mezclador que permite una mezcla eficiente, rápida y es ideal para la dispersión, disolución, la emulsión de sólidos a líquidos, la homogeneización y emulsión de

líquidos a líquidos. Su proceso de mezcla es tan intenso que puede disolver ingredientes muy complejos, como pectina, en segundos.



**Figura 63:** Ilustración del mezclador de corte alto de TETRA PAK® .

Especificaciones técnicas de la mezcladora de corte alto	
Modelo	R200-800V
Capacidad de entrada (L/h)	25000-35000
Capacidad de producto final (L/h)	20000
Viscosidad (cP)	≤300
Consumo (kW)	35,5-39,8 (aproximadamente 40)
Dimensiones (mm)	2850x1500x2800
Material	Acero inoxidable AISI 316 L

**Tabla 57.** Especificaciones técnicas de la mezcladora de corte alto.

## Bombas:

- Bomba multifase para aplicación de desgasificación:

La bomba multifásica es una combinación de una bomba centrífuga estándar y una bomba de anillo líquido ensambladas juntas en un mismo eje y motor. La bomba centrífuga es usada para bombear el líquido, en este caso la leche cruda. La bomba multifásica GFP se usa sobretodo para líquidos espumantes y líquidos viscosos que contienen gases en la industria alimentaria.

Especificaciones técnicas de bomba multifase	
Modelo	Serie de bombas GFP
Capacidad de entrada (L/h)	hasta 40000
Presión de entrada (kPa)	500
Temperatura máxima (°C)	140
Viscosidad máxima del fluido (cP)	300
Potencia máxima del motor (kW)	45
Revoluciones máximas (rpm)	1800

Capacidad de manejo de aire (l/min)	hasta 50
Consumo (kW)	35,5-39,8
Material	Acero inoxidable AISI 316 L

**Tabla 58.** Especificaciones técnicas de bomba multifase.



**Figura 64:** Ilustración de la bomba multifásica para aplicación de desgasificación.

- Bomba lobular ZL:

La bomba PACKO de lobulos de la serie ZL está diseñada para amplios sectores, pero para el desarrollo de la línea de producción de yogures esta bomba va a ser útil para las aplicaciones higiénicas en el tratamiento de la leche. Este tipo de bomba es la solución ideal para el bombeo suave de líquidos de viscosidad baja a alta.

Las bombas de lóbulos rotativos PACKO son lo último en tecnología. La serie puede equiparse con una variedad de rotores y opciones para adaptarse a casi todas las aplicaciones de bombeo higiénico. Esto garantiza un funcionamiento óptimo y eficiente del proceso de bombeo.



**Figura 65:** Ilustración de la bomba lobular PACKO de la serie ZL.

Especificaciones técnicas de la bomba lobular	
Modelo	PACKO ZL
caudal máximo (l/h)	100000
viscosidad máxima (cP)	1000000
Presión máxima diferencial (kPa)	2000
Temperatura máxima (°C)	150
Material	Acero inoxidable AISI 316 L



**Tabla 59.** Especificaciones técnicas de la bomba lobular.

- Bomba FP2:

Estas bombas de impulsión de la serie FP2 son perfectamente lavable, carcasa de acero inoxidable 316 L fabricadas con chapa laminada en frío, 100% no porosa y altamente suave. Las bombas de proceso Packo de la serie FP2 se utilizan en las aplicaciones higiénicas más exigentes, en este caso para la industria de la lechería. Son la solución ideal para aplicaciones de filtración, pasteurización, sistemas de evaporación, propagación de levadura y también para sistemas de limpieza CIP. Las aplicaciones típicas incluyen filtración de cerveza, vino y zumo de frutas, así como el bombeo de levadura, suero de leche y cuajada. Esta bomba tiene una alta eficiencia dando como resultado un menor consumo de energía. Además tiene una instalación y mantenimiento fáciles.



**Figura 66:** Ilustración de la bomba de impulsión FP2.

Especificaciones técnicas de bomba FP2	
Modelo	Packo de la serie FP2
Caudal máximo (L/h)	110000
Presión máxima de aspiración (kPa)	1300
Temperatura máxima (°C)	140
Viscosidad máxima del fluido (cP)	1000
Potencia máxima del motor (kW)	90
Revoluciones máximas (rpm)	3000/3600
Material	Acero inoxidable AISI 316 L

**Tabla 60.** Especificaciones técnicas de bomba FP2.

- Bomba FP60:

Esta bomba de bajo coste tiene una carcasa de acero inoxidable 316L fabricada con chapa laminada en frío, 100% lavable y altamente suave. Las bombas tienen impulsores de fundición de precisión abiertos 316L. Estas bombas de la serie FP60 son un componente fiable para su proceso de producción alimentaria. Son fáciles de montar y mantener. Además tienen una alta eficiencia dando como resultado un menor consumo de energía. Las bombas alimentarias de la serie FP60 se utilizan principalmente para el bombeo de líquidos limpios y ligeramente contaminados provenientes de lecherías y otras fabricas, pero para este proyecto son útiles para el sector lácteo. Se usan como bomba de proceso para intercambiadores de calor, unidades de filtración, máquinas de llenado, inyectores de salmuera, máquinas de masa y sistemas de limpieza CIP. Los líquidos típicos son la leche, suero de leche, cuajada, masa, salmuera, cerveza, CIP, alcohol, etc, pero para el desarrollo de este proyecto solo se centra en la leche y suero de leche.



**Figura 67:** Ilustración de la bomba de impulsión FP60.

Especificaciones técnicas de bomba FP60	
Modelo	Packo de la serie FP60
Caudal máximo (L/h)	40000
Presión máxima de aspiración (kPa)	300
Temperatura máxima (°C)	95
Viscosidad máxima del fluido (cP)	500
Potencia máxima del motor (kW)	2,2
Revoluciones máximas (rpm)	3000/3600
Material	Acero inoxidable AISI 316 L

**Tabla 61.** Especificaciones técnicas de bomba FP60.

- Bomba CRP+ (manipulación de aire centrífuga (retorno CIP) certificada 3A):

La bomba centrífuga estándar serie CRP+ tienen un diseño de tratamiento de aire con separador de aire para poderlo limpiar y son aptas como bombas de retorno CIP y sirven para la descarga de todo tipo de camiones cisterna y de carga. Tienen un by-pass en el cuerpo de la bomba para la evacuación del aire.



**Figura 68:** Ilustración de la bomba centrífuga estándar CRP+.

Especificaciones técnicas de bomba IRP+	
Modelo	Packo de la seire IRP+
Caudal máximo (L/h)	105000
Presión máxima de aspiración (kPa)	1300
Temperatura máxima (°C)	140
Viscosidad máxima del fluido (cP)	10
Potencia máxima del motor (kW)	22
Revoluciones máximas (rpm)	3000/3600
Material	Acero inoxidable AISI 316 L

**Tabla 62.** Especificaciones técnicas de bomba IRP+.

- Bombas SFP2 y SFP3:

Bombas de elevado corte con impulsión abierto o cerrado y un estator patentado para caudal y presión elevados. El corte se genera entre el rotor y un estator perforado innovador y optimizado. El corte puede optimizarse y aumentarse elevando la velocidad de rotación.

La bomba mezcladora de corte Packo se usa sobretodo para aplicaciones de mezclado en línea, homogeneización y dispersión. Permite realizar mezcla entre 2 líquidos (de viscosidad distinta, difíciles de mezclar y con una gravedad específica muy diferente), dispersar ( sólidos en líquidos o gas en líquidos), o también mediante mezcladores estáticos y dinámicos mezclar otros líquidos.



**Figura 69:** Ilustración de la bomba de impulsión SFP2 y SFP3.

Especificaciones técnicas	SFP2	SFP3
Caudal máximo (L/h)	80000	200000
Presión máxima (kPa)	entrada: 1000	descarga: 1000
Temperatura máxima (°C)	140	-
Viscosidad máxima del fluido (cP)	1000	-
Potencia máxima del motor (kW)	22	45
Tipo de impulsor	Abierto	Cerrado
Revoluciones máximas (rpm)	3000/3600	-
Material	Acero inoxidable AISI 316 L	Acero inoxidable AISI 316 L

**Tabla 63.** Especificaciones técnicas para las bomba SFP2 y SFP3.

- Static mixer:

El mezclador estático (empleado en la etapa de homogeneización) se utiliza para una pequeña parte de la energía de la bomba que está disponible en dicho proceso. La mezcla se logra de tres maneras: división de flujo, conversión de flujo e inversión de flujo.

La serie VMS con elementos helicoidales se utiliza principalmente para líquidos de viscosidad media, para este caso, la leche. Este tipo de mezclador estático está destinado a la industria alimentaria y farmacéutica diseñado con una construcción perfectamente limpiable.

Verdermix ha desarrollado un sistema modular estándar para producir un mezclador específico para el proceso. Es rápido de producir y tiene una larga vida útil. El diseño Verdermix está optimizado para proporcionar fuerzas de mezcla turbulentas y minimizar el arrastre y pérdida de energía en el sistema. Consta de una alta eficiencia de mezcla, con pérdidas de energía pequeñas, es fácil de instalar y mantener, y además es fácil de limpiar. También tiene un diseño personalizado para cumplir con los requisitos específicos.



**Figura 70:** Ilustración del mezclador estático de VERDERMIX.

Especificaciones técnicas del mezclador estático	
Número de elementos	2 hasta 24
Viscosidad	Media
Tamaños	DN4 a DN800 A partir de DN125, los elementos están hechos de tiras planas, soldadas entre sí
Tipo de elemento	Helicoidales
Material	SS304, SS316, PVC, PE, PP, PVDF y otros bajo pedido
Conexiones	Conexiones higiénicas, bridas DIN, ASA o conexión roscada, Zócalos, extremo liso, otros bajo pedido

**Tabla 64.** Especificaciones técnicas del mezclador estático.

- Bomba centrífuga:

Esta bomba para líquidos (en este caso, la leche) en carga es necesaria para transportar la leche dentro de los depósitos de almacenamiento de la leche. Este tipo de bomba centrífuga está fabricada en función de los estándares de seguridad e higiene de la industria y mantiene los sabores del producto. Además, están dotadas de un estructura simple, son fáciles de utilizar y tienen muy buena durabilidad. El modelo de bomba centrífuga será SIMPLEX-M SIM-1101L.



**Figura 71:** Ilustración de la bomba centrífuga SIMPLEX-M SIM-1101L.

Especificaciones técnicas de la bomba centrífuga	
Caudal (L/h)	1000-25000
Consumo (kW)	0,75
Temperatura ( °C )	-15 hasta 100
Material	acero inoxidable AISI-316L
Modelo	SIMPLEX-M SIM-1101

**Tabla 65.** Especificaciones técnicas de la bomba centrífuga SIMPLEX-M SIM-1101L.

- Bomba dosificadora peristáltica:

La bomba dosificadora peristáltica HELIOS es adecuada para productos abrasivos, ácidos, sensibles, viscosos y densos. Esta bomba puede funcionar en seco, es autocebante y reversible. Además funciona sin válvulas o sellos que a menudo causan rotura o mal funcionamiento de otros tipos de bombas. También se puede aplicar para el bombeo de lodos abrasivos, lodos o fluidos filamentosos y altamente viscosos, y a la vez se puede aplicar en los casos que requieren la máxima sensibilidad en la transferencia de fluidos con el fin de mantener sus características originales (sin emulsión, sin espuma, sin contaminación). Este modelo de bomba es económico ya que el único componente de desgaste es el tubo de goma pero se puede cambiar por otro de forma rápida y fácil.



**Figura 72:** Ilustración de la bomba dosificadora peristáltica de HELIOS.

Especificaciones técnicas de la bomba dosificadora peristáltica de HELIOS	
Modelo	AS 25 FX
Caudal (L/h)	1785
Presión de succión (m)	6
Presión de descarga (m)	15-25
Díametro (mm)	25

Revoluciones (rpm)	93
Tipo de motor	3 PH
Peso (kg)	40

**Tabla 66.** Especificaciones técnicas de la bomba dosificadora peristáltica de HELIOS.

### Desgasificador ( desaireador):

El modelo escogido de desaireador va a ser el desaireador de proceso VFJ, VFN de SPXFLOW ya que este equipo se puede aplicar en el ámbito de la leche y productos lácteos. Además, contiene un sistema mejorado de recuperación de aroma permitiendo de este modo una mejor retención de los colores y de los componentes volátiles del sabor.



**Figura 73:** Ilustración del desaireador VFJ/ VFN de SPXFLOW.

Especificaciones técnicas del desaireador de SPXFLOW	
Caudal (L/h)	10000-22000
Presión (bar)	-1 hasta 0,5
Temperatura de trabajo ( °C )	-10 hasta 110
Modelo	VFJ/ VFN de SPXFLOW

**Tabla 67.** Especificaciones técnicas del desaireador de SPXFLOW.

### Tuberías:

El dimensionado de tuberías es un aspecto muy importante a tener en cuenta cuando se construye una planta industrial, en este caso, para la producción de yogures. Cuando más estrecha sea una tubería para un caudal determinado de leche, mayor estrés mecánico se producirá con la aparición de más ácidos grasos libres. Las pérdidas de carga son mayores con diámetros pequeños, lo que provocaría mayor concentración de aire.

Los diámetros recomendados para las tuberías de circulación de leche, en función del caudal se muestran en la siguiente tabla:

Caudal (L/h)	Diámetro de la tubería recomendado (mm)
5000	38
10000	51
15000	63
20000	63-76
25000	76
30000	102

**Tabla 68.** Diámetros recomendados para las tuberías de circulación de leche.

### Higienizadora-desnatadoras:

Las desnatadoras centrífugas son ideales para separar la nata de la leche. Están dotas por un bol cónico donde en su interior hay unos separadores troncocónicos ensartados en el tubo central que permiten garantizar un flujo laminar de la leche. La leche es introducida en el espacio que hay entre los separadores troncocónicos y la salida se produce por ambos lados. Por el lado cercano al eje de giro sale un 10% del caudal, y por el otro extremo sale el 90% restante. Los glóbulos grasos no pueden salir por el lado opuesto del eje de giro debido a su densidad, es por eso que se deslizan por la pared del cono inferior hasta llegar a la salida más próxima al eje de giro de la desnatadora.

Las impurezas se quedan en la parte externa, las desnatadoras-higienizadoras industriales están compuestas por un sistema de evacuación periódica para las impurezas que se acumulan.

Para el proceso se la leche se ha decidido escoger la centrífuga desnatadora REDA que desnata la leche y el suero con la máxima eficacia. La alimentación en presión se produce gracias a un sistema de flujo suave que permite al producto (leche) alcanzar una gran velocidad con la que se produce la separación sin romper los glóbulos de grasa. Este equipo garantiza una gran eficacia en la separación y en la higienización. La salida a presión descremado y de la crema a través de dos turbinas centrípetas no requiere ningún tipo de bomba.





**Figura 74:** Ilustración de la desnatadora centrífuga de REDA.

Especificaciones técnicas para la desnatadora centrífuga	
Modelo	RE150T
Caudal Desnatado leche (L/h)	15000
Caudal Desnatado suero (L/h)	22500
Titulación estandarización (L/h)	22500
Limpieza (L/h)	22500
Cámara lodos (lt.)	15
Presión entrada (KPa)	60
Presión leche (KPa)	450
Presión nata (KPa)	400
Entrada	DN 50/ DN 65
Salida leche	DN 50/ DN 65
Salida nata	DN 50
Medidas (mm)	1780x1660x1050
Potencia (kW)	22
Peso (kg)	2250

**Tabla 69.** Especificaciones técnicas para la desnatadora centrífuga.

## Unidad para la recepción de la leche cruda:

La siguiente unidad de recepción de la leche cruda funciona de la siguiente manera. El vertido de la leche se realiza en un pre filtro para la eliminación de las partículas sólidas mas gruesas. La leche se almacena en un depósito que tiene una capacidad de 150 L y en él se dispone de una sonda que detecta el nivel máximo y mínimo. Cuando se detecta el nivel mínimo entonces se permite la entrada en funcionamiento. Hay un filtro secundaria encargado de realizar una segunda eliminación de partículas más finas. La bomba impulsa la leche mediante un intercambiador de placas que enfría el fluido de 25 °C (máximo) a 4 °C. Antes del enfriamiento el caudal de leche es medido con un caudalímetro que permite conocer la cantidad suministrada de leche.

Diseño y características:

- Modulo recepción leche con filtro.
- Montado en una bancada construida en acero inoxidable AISI 304.
- Depósito de recepción de 150 L.
- Primer filtro de malla perforada para la recepción en cantaras.
- Segundo filtro escuadra de tamiz 0,5 mm en acero inoxidable AISI 316L DN40 con junta EPDM.
- Bomba centrífuga Hyginox, 3.000 rpm, 0.55 kW para trasiego producto.
- Válvula mariposa DN40 en acero inoxidable AISI 316L con junta EPDM y maneta multi-posición.
- Sonda de nivel.
- Caudalímetro electro-magnético DN 25.
- Intercambiador de placas en acero inoxidable AISI 316L con juntas de NBR.
- Panel de control en acero inoxidable AISI 304.
- Incluye: regulador temperatura, control i protección bomba, pulsadores y luces funcionamiento.
- Equipo pre-montado y testado en INOXPA.

Además también cabe la posibilidad de conectar un sistema central CIP y un manómetro para detectar obstrucción de filtro secundario.

Especificaciones técnicas de la unidad para la recepción de leche cruda	
Capacidad (L/h)	5000
Temperatura entrada producto (°C)	35
Temperatura salida producto (°C)	4
Temperatura máxima de llegada de la leche (°C)	25

**Tabla 70.** Especificaciones técnicas de la unidad para la recepción de leche cruda.



**Figura 75:** Ilustración de la unidad completa para la recepción de leche cruda de INOXPA.

### Centrífuga clarificadora:

Para la eliminación de impurezas existen modelos de clarificadores de la leche distintos. En este proyecto se ha decidido escoger la clarificadora de Tetra Pak ya que sus clarificadoras se pueden utilizar tanto con leche fría como caliente. La eficiencia en la eliminación de partículas más pequeñas aumentan con la temperatura y la reducción más eficiente de leucocitos y bacterias se logra a una temperatura de entre 50-60 °C.



**Figura 76:** Ilustración de la centrífuga clarificadora de Tetra Pak.

Especificaciones técnicas para la centrífuga clarificadora	
Modelo	Tetra Pak D20
Caudal (L/h)	15000-70000
Espacio sedimentación (L)	5
Consumo (kW)	19
Dimensiones (mm)	1618x1207x1487

**Tabla 71.** Especificaciones técnicas para la centrífuga clarificadora.

### Depósito de almacenamiento de la nata:

Una vez la leche cruda se procesa en la centrífuga destanadora de discos, dicha unidad tiene dos corrientes de salida. Una de ellas va hacia una cuba de almacenamiento, mediante una bomba sanitaria, para almacenar los productos líquidos o pastosos (crema de leche). Dicho cuba tiene una capacidad de hasta 300000 litros. Tiene una condiciones de servicio según las necesidades de los clientes: atmosférico, ultralimpio, estéril. Además, este tanque de almacenamiento contiene una agitación definida según las características del producto (viscosidad, densidad), a fin de asegurar una conservación homogénea en el tanque. Los depósitos de almacenamiento escogidos son de la marca GOAVEC Engineering.

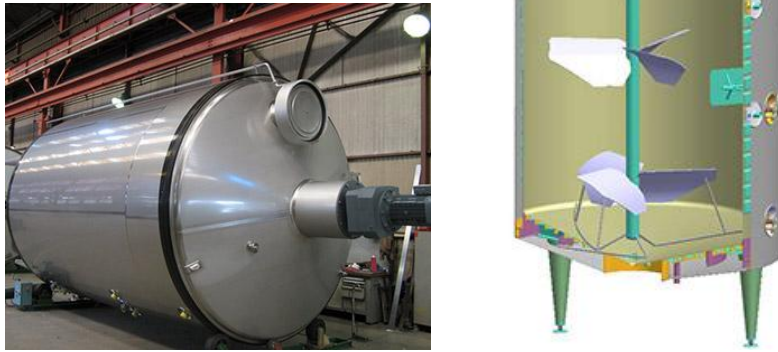


**Figura 77:** Cuba de almacenamiento con sistema de mezclado de GOAVEC Engineering.

### Depósito de maduración/cristalización de crema (nata):

Las cubas de GOAVEC Engineering permiten asegurar la maduración de los productos. Tiene una capacidad de hasta 100000 litros. Las condiciones de servicio varían en función de las necesidades de los clientes (viscosidad, densidad, ultralimpio). También contiene un sistema de agitación definida según las características reológicas del producto (viscosidad, densidad, textura). Agitadores específicos desarrollados y patentados para los productos frágiles y viscosos: el Viscostar y el Hélista.

Estos depósitos son ampliamente utilizados en la industria láctea. GOAVEC Engineering ha sido el primer fabricante de este equipo y avalado por muchos años de experiencia, es el número uno mundial en la venta de cristalizadores.



**Figura 78:** Ilustración del depósito de maduración/cristalización de crema (nata) de GOAVEC Engineering.

#### Tanques cisterna para la distribución:

GOAVEC Engineering tiene una gama de tanques de recolección ideales para recolectar y transportar volúmenes reducidos y aporta flexibilidad y eficiencia, con cisternas rígidas adaptables a cualquier tipo de transportista (6000 hasta 20000 litros) y con remolques independientes (12000 hasta 17000 litros) que utilizan chasis de 2 o 3 ejes. También hay una amplia gama de semirremolques JUMBO optimizados para grandes volúmenes (25000 hasta 28000 litros). Esta empresa ofrece sistemas confiables para el bombeo, optimizando de las tasas de bombeo ( bombeo PL971, sistemas de bombeo PHD60, bomba de vacío de alta velocidad) pero también tienen maletero completo, una gama de enrolladores de manguera, válvulas, tapas contra pozos de retención, puertas de autoclave y más.



**Figura 79:** Ilustración de un tanque cisterna para la distribución de la leche cruda.

## Caudalímetro:

El caudalímetro es un elemento tecnológico muy importante para medir los caudales de leche. El caudalímetro por efecto Coriolis de Proline Promass<sup>®</sup> permiten medir simultáneamente la caudal másico, la temperatura, la densidad y la viscosidad. Además, permiten conocer el Brix y el contenido en grasa y compensa la temperatura de la leche. Esta tecnología permite conseguir un inventario de lo más exacto de la producción láctea.

Por otro lado y de forma opcional, mediante un caudalímetro electromagnético de Promag<sup>®</sup>H se podrían realizar mediciones volumétricas para poder conseguir un balance del caudal volumétrico con compensación de temperatura También es útil para deducir otras variables como contenido en materia sólida, concentración y funciones de densidad complejas.



**Figura 80:** Ilustración del caudalímetro por efecto coriolis P 100 de Proline Promass<sup>®</sup>.

Especificaciones técnicas del caudalímetro por efecto Coriolis	
Modelo	P 100 de Proline Promass <sup>®</sup>
Error de medición máx. del caudal másico (líquido) (%)	+/-0,1
Error de medición máx. del caudal volumétrico (líquido) (%)	+/-0,1
Error de medición máx. del caudal másico (gas) (%)	+/-0,5
Error de medición máx. de la densidad (líquid) (g/cm <sup>3</sup> )	+/-0,0005
Rango de medición (l/h)	0 hasta 97262,75
Rango de temperatura medio estándar (°C)	-50 hasta +150
Rango de temperatura ambiente (°C)	-40 hasta +60

Máx. presión de proceso	PN 63, Clase 300, 40K
Material	acero inoxidable AISI-316L
Suministro de energía (VCC)	20 hasta 30

**Tabla 72.** Especificaciones técnicas del caudalímetro por efecto Coriolis.

### Filtros:

- Primer filtro de malla perforada para la recepción en cantaras.
- Segundo filtro escuadra de tamiz 0,5 mm en acero inoxidable AISI 316L DN40 con junta EPDM:



**Figura 81:** Ilustración del filtro escuadra de tamiz (figura izquierda) y el filtro de malla perforada (figura derecha) de INOXPA.

### Sistema de limpieza CIP vertical:

El sistema de limpieza CIP (“Cleaning in place”) es un equipo muy importante para el mantenimiento de las condiciones higiénicas y sanitarias en la industria alimentaria, en este caso para la elaboración de los yogures. Concretamente el sistema de limpieza CIP vertical permite eliminar la contaminación cruzada de los ingredientes activos, evita las partículas insolubles y minimiza la polución causada por microorganismos y patógenos.

El modelo JIMEI tiene un sistema de limpieza económica adecuado para las necesidades de calidad en la industria de alimentación y además destaca por su elevado nivel de automatización, facilidad de uso y por su avanzada tecnología.



**Figura 82:** Ilustración del sistema de limpieza CIP de Jimei.

Este sistema consta de un tanque de álcali, un tanque de ácidos, un tanque de agua caliente, un tanque de agua de lavado, un tanque para ácidos y álcali concentrados, una bomba CIP, una bomba para concentrados ácidos y álcali, una bomba de vapor, un intercambiador de placa, un filtro, un cebador automático de la bomba y un armario de control.

#### **Equipos para el proceso de envasado:**

- Maquina automática llenadora y selladora de vasos:

Esta máquina automática llenadora y selladora de vasos se va a emplear para el procesamiento de diferentes tamaños de envases y el llenado de los yogures. Esta máquina envasadora de tazas va a realizar de forma automática las operaciones de carga de tazas, llenado, taponamiento, sellado secundario, elevación, desplazamiento y transporte, entre otras. Dicha maquinaria está fabricada con acero inoxidable de máxima calidad. El modelo escogido va a ser el BZ-8 de SIMEI con una salida de 9600 tazas/hora.





**Figura 83:** Ilustración de la máquina automática llenadora y selladora de vasos de SIMEI.

- Envasadoras en vasos de plástico:

Máquina automática formadora, llenadora y selladora de vasos modelo DGD, es un equipo destinado a la fabricación de yogures, productos lácteos, condimentos, etc.

Esta máquina de envasado está dotada de funciones de carga automática, llenado, aplicación de la tapa, sellado, impresión de la fecha, embalaje y transporte. La máquina llenadora de vasos tiene un equipo que permite configurar con sistemas opcionales o con sistemas de protección del flujo laminar, sistema de mezcla dinámica de partículas de fruta, mecanismo de llenado de alta temperatura (ideal para los yogures pasteurizados), dispositivos de impresión de códigos QR, etc.

La máquina automática formadora, llenadora y selladora de vasos es la mejor propuesta para aumentar la eficiencia y el ahorro de energía en la industria de la alimentación y bebidas.

Especificaciones técnicas de la máquina automática formadora, llenadora y selladora de vasos	
Modelo	DGD-600F
Salida (ml)	150
Modo de operación	Escalador lineal
Tipo de vaso	Vaso de plástico, vaso de papel
Tapón	Tapón de plástico, film de papel
Potencia total (kW)	18
Potencia operativa (kW)	10
Presión del aire operativa (MPa)	0,7
Consumo de aire (l/s)	25
Dimensiones (mm)	9300x3750x4000
Peso (kg)	6000

**Tabla 73.** Especificaciones técnicas de la máquina automática formadora, llenadora y selladora de vasos.

- Envasadoras en cristal twist-off:

La empresa AYRTAC dispone de distintas máquinas cerradoras de envases de vidrio o PET con cierre mediante tapas metálicas tipo twist off. En función de la producción deseada en la línea de envasado, se podrá escoger un modelo u otro. Dichas máquinas son capaces de cerrar automáticamente entre 20 hasta 300 tarros/minuto. Además, existe la opción de una máquina para trabajar en semi-automático para aquellos clientes que sus series de producción son cortas y con múltiples cambios, pero no es el caso de nuestra producción de yogures a gran escala.

Modelos más típicos: MC-20 hasta 20 tarros minuto , MC-50 hasta 50 tarros minuto, MC-100 hasta 100 tarros minuto.



**Figura 84:** Ilustración de las envasadoras de cristal twist off de AYRTAC.

## Conclusiones:

La elaboración de la gama de yogures realizado en este proyecto se ha encontrado una serie de adversidades que han generado buscar alternativas para poder ejecutar de la forma más correcta la fabricación de los yogures. Este proyecto realizado de forma teórica, se ha tenido que tomar una serie de determinaciones para poder llegar a los resultados deseados.

Los balances de materia y de energía para los procesos de fabricación de los yogures firmes, batidos, pasteurizados y líquidos finalmente se han podido hallar partiendo de una serie de datos iniciales e imprescindibles para ejecutar dichos cálculos. Establecer el tipo de leche, en este caso la leche desnatada, con la que se iba a trabajar en este proyecto ha sido fundamental para llevar a cabo todos los procesos.

La selección de la maquinaria para cada uno de los procesos de elaboración de los cuatro tipos de yogures ha resultado ser una tarea complicada en cuanto a la diversidad de opiniones e información encontrada, es por ello, que mediante la comparación de toda la documentación facilitada se ha construido, de la forma más realista posible, el conjunto de procesos llevados en cada elaboración de los yogures. Cada unidad escogida ha sido bajo unos criterios determinados y justificados según su función en el proceso de los yogures.

Además de la elaboración de los yogures a partir de la leche cruda, también se decidió realizar los procesos de tratamiento de la nata que se pueden hacer para así poderla usar en otro tipo de proceso alimentario. Cabe decir también, que dichos tratamientos de la nata se han hecho teniendo en cuenta su porcentaje en materia grasa, en este caso del 42%. Buscar los equipos tecnológicos para tratar la nata con la finalidad de higienizarla y así poderle dar un uso para otro proceso alimentario ha sido una parte del trabajo muy complicado por falta de información numérica para cada unidad de proceso del tratamiento de la nata.

Por otro lado, los componentes minoritarios (colorantes, edulcorantes, estabilizadores, frutas, etc...) se han mencionado en cada uno de los procesos aunque sus cantidades no se han podido contemplar ya que muchas de ellas tienen un porcentaje muy pequeño en la fórmula del yogur, aunque hay tres componentes que son el citrato de calcio, la vitamina D y el edulcorante 955 que se han realizado los cálculos pertinentes para su dosificación en la elaboración del yogur. Estos tres componentes son termoestables y tienen una gran importancia ya que no se ven afectados en las etapas de calentamiento y enfriamiento de los procesos de fabricación de los yogures. En cambio, los demás componentes sí se ven afectados cuando se ven sometidos a procesos en los que interviene el calor o el frío provocando la eliminación o pérdida de las propiedades físico-químicas del componente.

En lo que hace referencia al llenado, envasado y comercialización de los yogures sólo se ha hecho mención de los equipos encargados de dicha operación de llenado, envasado, almacenamiento y posteriormente comercialización. Debido a que actualmente se emplean equipos tecnológicos muy avanzados que realizan esta labor de forma sistemática y rápida, no se ha querido entrar en las cantidades de producción y llenado de dichas máquinas aunque se han nombrado los tipos de recipientes usados para los yogures así como la cantidad, caducidad, etiquetado teniendo en cuenta la Norma de Calidad vigente.

Hubiera sido interesante, entrar un poco más en la ingeniería de detalle para concretar aún más ciertos cálculos interesantes para el proceso de los yogures, pero muchos de estos sólo se pueden cuantificar de forma experimental y presencial en una fábrica de elaboración de yogures.

## Bibliografía:

- [1] "Book Reviews : Química de los alimentos. H.-D Belitz y W. Grosch. Traducción de la 2a de Maria Otilia López Buesa. Publicado en 1997 por Editorial Acribia, Royo 23, 50014 Zaragoza. xiv + 1087 pp. ISBN 84 200 0835 4," *Food Sci. Technol. Int.*, 1998, doi: 10.1177/108201329800400310.
- [2] R. R. del C. Shelly and J. M. Lagarriga, "Productos lácteos tecnología," *Edicions Upc*, 2005.
- [3] R. Roser and L. Josep, *Productos Lácteos Tecnología*. 2018.
- [4] S. Roser Romero and L. M. Josep, "Productos lacteos tecnologia," *Edicions UPC*, 2004.
- [5] M. V. Vázquez, "Ciencia y Tecnología Alimentaria: Editorial," *Ciencia y Tecnología Alimentaria*. 2008, doi: 10.1080/11358120809487620.
- [6] A. Revilla, "Tecnología de la leche : procesamiento, manufactura y analisis," *Serie Libros y Materiales Educativos (IICA)*. p. 399, 1982.
- [7] "Reología del yogur: efectos de las operaciones unitarias en el procesamiento y uso de aditivos," *NOVASINERGIA Rev. Digit. CIENCIA, Ing. Y Technol.*, 2021, doi: 10.37135/ns.01.07.09.
- [8] C. Alimentarius, *Leche y Productos Lácteos Leche y Productos Lácteos*, no. Lima 27. 2011.
- [9] A. Madrid Vicente, *Nuevo manual de industrias alimentarias*. 1994.
- [10] H. L. Yoflex *et al.*, "S O L U C I O N E S A L I M E N T A R I A S REVOLUCIONARIO CULTIVO LÁCTICO," pp. 14–19.
- [11] R. Condony, A. Mariné, and M. Rafecas, "Yogurt: elaboración y valor nutritivo," *Institucion De Nutricion Y Bromatologia*, vol. 10. p. 39, 1988, [Online]. Available: <https://www.fen.org.es/storage/app/media/imgPublicaciones/33-Yogur-elaboración.pdf>.
- [12] E. G. Bacilio Loo, "Automatización de líneas de pasteurización, siembra y cultivo de fermentos para la fabricación de yogurt Firme," 2015.
- [13] INOXPA, "Agitadores para los Depósitos Estándares," *Cat. Agit.*, vol. 1, p. 6, 2017, [Online]. Available: [https://www.inoxpa.com/uploads/document/Fitxa\\_tecnica/Components/Mescla/Agitators/FA.Ag.1\\_ES.pdf](https://www.inoxpa.com/uploads/document/Fitxa_tecnica/Components/Mescla/Agitators/FA.Ag.1_ES.pdf).
- [14] INOXPA, "Madurador/Fermentador para Productos Lácteos MS," p. 3, 2011, [Online]. Available: [WWW.INOXPA.COM](http://WWW.INOXPA.COM).
- [15] INOXPA, "Pasteurizadoras," *Finamac*, 2019, [Online]. Available: <https://www.finamac.com/es/produtos/pasteurizadores/pp-60>.
- [16] INOXPA, "Intercambiador de calor de placas I7 / i9 / i13 / i26 ms," [Online]. Available: [http://www.inoxpa.com/uploads/document/Fitxes\\_tècniques/Equips/Intercanviador\\_de\\_plaques/FTsolIntercambiadorPlacas.1\\_ES.pdf](http://www.inoxpa.com/uploads/document/Fitxes_tècniques/Equips/Intercanviador_de_plaques/FTsolIntercambiadorPlacas.1_ES.pdf).
- [17] PCM, "Catálogo de bombas y sistemas para la industria alimentaria.," p. 39, 2017, [Online]. Available: [https://www.pcm.eu/sites/default/files/catalogo\\_bombas\\_y\\_sistemas\\_alimentarias\\_esp\\_e\\_sept2017\\_4.pdf](https://www.pcm.eu/sites/default/files/catalogo_bombas_y_sistemas_alimentarias_esp_e_sept2017_4.pdf).
- [18] Packo Pumps, "Serie de bombas FP60," p. 316, 2017, [Online]. Available: <https://www.packopumps.com/packopumps/pdf-bestanden/technosheets->

update/spanish/fp60\_technosheet-es.pdf.

- [19] "Serie de bombas GFP," p. 500.
- [20] "Bombas-peristalticas-Helios-AS-FX.pdf." .
- [21] "Serie de bombas de elevado corte SFP2 & SFP3," p. 250.
- [22] "bomba centrífuga.pdf." .
- [23] "Series de bombas IRP +," p. 316.
- [24] C. Alais, "Science du lait et principe des techniques laitières," *Bull. Acad. Vet. Fr.*, 1964, doi: 10.4267/2042/67008.
- [25] R. A. Wilbey, *Emulsifiers in Food Technology*, vol. 59, no. 1. 2006.
- [26] P. De Corinto, "Frutas CALORES ESPECÍFICOS Verduras," 2011.
- [27] "Maquinaria para la industria alimentaria | Inicio | Jimei." <http://beverages-machine.com/> (accessed Oct. 28, 2021).
- [28] "Cerradoras envases Twist Off - Maquinaria para Envasado y Embalaje." <https://www.acmpack.es/cerradoras-envases-twist-off/> (accessed Oct. 28, 2021).
- [29] "Home | Packo Pumps." <https://www.packopumps.com/es/home> (accessed Oct. 31, 2021).
- [30] "Reda s.p.a." <http://www.redaspa.com/es/> (accessed Nov. 3, 2021).
- [31] "Desaireador de proceso - VFJ, VFN - APV - para la industria agroalimentaria." <https://www.directindustry.es/prod/apv/product-5697-1166047.html> (accessed Nov. 7, 2021).
- [32] "Esterilizador, Evaporador, Filtro, Productos lácteos, Productos lácteos, Línea de producción de bebidas." <http://www.foodmachinery.es/index.html> (accessed Nov. 11, 2021).
- [33] "PROCESO DE ELABORACIÓN DEL YOGURT - PROCESO PRODUCTIVO DE LA LECHE." <https://sites.google.com/site/procesoproductivodelaleche/about-us> (accessed Nov. 15, 2021).
- [34] "Maquinaria Utilizada en industria Láctea." <https://industriadelacteosblog.wordpress.com/> (accessed Nov. 16, 2021).
- [35] "How yogurt is made - manufacture, making, used, composition, product, machine, Raw Materials." <http://www.madehow.com/Volume-4/Yogurt.html> (accessed Nov. 19, 2021).
- [36] G. D. Saravacos and Z. B. Maroulis, "Engineering Properties of Foods," in *Food Process Engineering Operations*, 2020.
- [37] "Inicio - Goavec." <https://www.goavec.com/es/home-2/> (accessed Nov. 23, 2021).
- [38] "Soluciones de procesamiento y envasado de Tetra Pak para alimentos y bebidas | tetra pak." <https://www.tetrapak.com/> (accessed Nov. 23, 2021).
- [39] "Chr. Hansen." <https://www.chr-hansen.com/ES/> (accessed Dec. 2, 2021).
- [40] "ADITIVOS ALIMENTARIOS • Lista de Aditivos Alimentarios." <https://www.aditivos-alimentarios.com/> (accessed Dec. 5, 2021).

- [41] A. Madrid Vicente, "Ingeniería y producción de alimentos diagramas de flujo y detalles de la elaboración de todo tipo de alimentos," 2016, Accessed: Dec. 7, 2021. [Online]. Available: <https://www.casadellibro.com/libro-ingenieria-y-produccion-de-alimentos-diagramas-de-flujo-y-detall-es-de-elaboracion-de-alimentos/9788494439841/2942096>.
- [42] G. D. Saravacos and A. E. Kostaropoulos, "Handbook of Food Processing Equipment: Food Engineering Series," 2012, Accessed: Dec. 8, 2021. [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/5996%0Ahttps://books.google.co.id/books?id=DzLACdHHg2AC>.
- [43] F. Rodríguez *et al.*, "Ingeniería de la Industria alimentaria. Volumen II. Operaciones de procesado de alimentos," p. 201, 1999.
- [44] "Empresa Suministros industriales en Murcia. GarGil." <https://gargil.es/> (accessed Dec. 8, 2021).
- [45] "Producción de Yogur - INOXPA Industria láctea." <https://www.inoxpa.es/productos/procesos/procesos/produccion-de-yogur> (accessed Dec. 14, 2021).
- [46] "Codex Alimentarius - Leche y Productos Lácteos Segunda edición." <https://www.fao.org/documents/card/es/c/b5349aa6-a504-5a24-85fc-4ae6d63b84b0/> (accessed Dec. 19, 2021).