



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

MODELO MATEMÁTICO PARA EL ANÁLISIS DE EFICIENCIA
ENERGÉTICA EN LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS
LÁCTEOS DE LA GRANJA UDLA.

AUTORA

Alejandra Betsabe Soria Hernández

AÑO

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

MODELO MATEMÁTICO PARA EL ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA
EN LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS LÁCTEOS DE LA GRANJA UDLA.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y
Remediación

Profesor Guía

MSc. Marco Vinicio Briceño León

Autora

Alejandra Betsabe Soria Hernández

Año

2020

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Modelo matemático para el análisis de eficiencia energética en la elaboración de productos lácteos de la Granja UDLA, a través de reuniones periódicas con el estudiante Alejandra Betsabe Soria Hernández, en el semestre 202020, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".



Marco Vinicio Briceño León
Máster en Energías Renovables
C.I. 1715967319

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, Modelo matemático para el análisis de eficiencia energética en la elaboración de productos lácteos de la Granja UDLA, de Alejandra Betsabe Soria Hernández, en el semestre 202020, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".




Yasser Alejandro González Romero

Master en Ingeniería Ambiental

C.I. 0703737627

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

"Declaro que este trabajo es original, de mi (nuestra) autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes."



Alejandra Betsabe Soria Hernández

C.I.1719508416

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios por darme la oportunidad de cumplir mis metas, a mi familia por apoyarme y estar siempre conmigo, a mi hijo que ha sido el motor fundamental en mi vida para motivarme a luchar día a día y así cumplir mis sueños, a mi madre porque ha sido mi ejemplo a seguir y estar conmigo en cada momento de mi vida, a mi padre que ha sido la persona que me encaminó y enseñó a luchar para alcanzar mis objetivos.

Le agradezco a mis profesores por ser parte fundamental en mi crecimiento profesional.

DEDICATORIA

A mis padres Jorge y Alexandra
a la razón de mi vida mi hijo Eric.

RESUMEN

La industria láctea es importante a nivel nacional, sin embargo, las descargas de los gases de combustión generados en las plantas de procesamiento de estos productos son elevados, los mismos que influyen en el calentamiento global del planeta, debido a la poca o ninguna atención que se da al funcionamiento de los sistemas de generación de calor y equipos de procesamiento.

En este estudio se dio un enfoque a la reducción de los gases de combustión, para lo cual se aplicó un modelo térmico para el sistema de generación de calor (caldero) y del equipo de procesamiento (marmita).

Con los modelos térmicos se determinó la energía útil aprovechada en los procesos de producción de queso y yogurt, las pérdidas de calor que se generaron en el caldero y la marmita.

Además, se realizaron tres simulaciones enfocadas en reducir las descargas de CO₂ a la atmósfera, las mismas que fueron comparadas con la cantidad de CO₂, que se eliminan al ambiente en las condiciones actuales de procesamiento.

Primera simulación, consistió en variar al doble el espesor del aislante térmico que para este caso es fibra de vidrio, consiguiendo reducir la descarga de CO₂ a la atmósfera en 43,30 kg por mes.

Segunda simulación, se cambió el tipo de aislante, considerando el coeficiente térmico a un menor que el actual; para el caso del estudio el aislante térmico actual (fibra de vidrio) con $K=0.07$ [W/m²K] se cambió por corcho con $K=0.04$ [W/m²K], la reducción de descarga de CO₂ a la atmósfera fue de 54,23 kg/mes.

Tercera simulación, la recuperación de los condensados que fueron alimentados al caldero, con este estudio se consiguió reducir la descarga de CO₂ al ambiente en 80,59 kg/mes.

Al analizar las tres simulaciones se puede establecer que para reducir las descargas de gases de efecto invernadero las mejores opciones son: la recuperación de condensados y el cambio de aislante térmico con uno de menor conductividad térmica.

ABSTRACT

The dairy industry is important at the national level, however, the discharges of combustion gases generated in the processing plants of these products are high, which influence the global warming of the planet, due to the little or no attention given to the operation of heat generation systems and processing equipment.

In this study a focus was given to the reduction of the combustion gases, for which a thermal model was applied to the heat generation system (boiler) and the processing equipment (pot).

With the thermal models, the useful energy used in the cheese and yogurt production processes, the heat losses generated in the boiler and the kettle were determined.

In addition, three simulations were carried out focused on reducing CO₂ discharges into the atmosphere, which were compared with the amount of CO₂ removed to the environment under current processing conditions.

The first simulation consisted of varying the thickness of the thermal insulator, which in this case is fiberglass, by doubling it, thus reducing the discharge of CO₂ into the atmosphere by 43.30 kg per month.

Second simulation, the type of insulator was changed, considering the thermal coefficient to be lower than the current one; for the case of the study the current thermal insulator (glass fiber) with $K=0.07$ [W/m²K] was changed for cork with $K=0.04$ [W/m²K], the reduction of CO₂ discharge to the atmosphere was 54.23 kg/month.

Third simulation, the recovery of the condensates that were fed to the boiler, with this study was achieved to reduce the discharge of CO₂ to the environment in 80.59 kg/month.

By analyzing the three simulations, it can be established that to reduce the discharge of greenhouse gases the best options are the recovery of condensate and the change of thermal insulation with one of lower thermal conductivity.

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Alcance.....	6
1.3 Justificación.....	7
1.4 Objetivo General.....	8
1.5 Objetivos específicos.....	8
2 MARCO TEÓRICO	8
2.1 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	8
2.2 Cambio climático	9
2.3 Causas del cambio climático	9
2.4 Efectos del cambio climático	10
2.5 Consumo Energético	11
2.6 Industria láctea.....	13
2.7 Modelos de simulación, pasos, teoría de modelos.....	14
2.8 Marco formal para el modelado y simulación.....	16
2.9 Pasos para el estudio de la simulación	16
2.10 Definición del objetivo	17
2.10.1 Hipótesis del modelado.....	17
2.11 Planteamiento del modelo.....	19
2.11.1 Desarrollo de modelos	19
2.11.2 Tipos de modelos	20
2.11.3 Diseño de los experimentos.....	21
2.12 Verificación y validación	22
2.13 Área de estudio	23
2.14 Obtención de la materia prima.....	23
2.15 Elaboración de quesos	23

2.16	Elaboración de yogurt	26
2.17	Conceptos básicos	28
2.17.1	Calor.....	28
2.17.2	Potencia.....	29
2.17.3	Transferencia de calor	29
2.17.4	Conducción.....	32
2.17.5	Convección.....	33
2.17.6	Calor específico	33
2.17.7	Poder calorífico.....	33
2.17.8	Balance de Energía	34
2.17.9	Aislamiento térmico	34
2.17.10	Pérdidas a través de los gases de escape de la chimenea	35
3	METODOLOGÍA.....	35
3.1	Definición del problema	35
3.2	Definición de los Sistemas	36
3.2.1	Caldero y Marmita (esquema).....	36
3.2.2	Variables (Caldero y Marmita)	38
3.3	Formulación conceptual del modelo	39
3.3.1	Sistema Marmita.....	40
3.3.2	Sistema Caldero	40
3.4	Proceso de elaboración de quesos	41
3.4.1	Formulación conceptual del sistema quesos.....	41
3.4.2	Sistema caldero	42
3.4.2.1	Descripción del caldero.....	44
3.4.3	Sistema marmita.....	45
3.5	Proceso de elaboración yogurt.....	47
3.5.1	Sistema del caldero	47
3.5.1.1	Descripción del caldero.....	47
3.5.2	Sistema marmita.....	48
3.6	Verificación y validación	48
3.7	Análisis de sensibilidad.....	48

3.8 Cálculo de la emisión de CO ₂	49
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
4.1 Datos preliminares proceso quesos.....	49
4.2 Datos preliminares proceso yogurt.....	52
4.3 Analizar el consumo de combustible.....	53
4.4 Comparar con el consumo de combustible real	53
4.5 Verificación y Validación.....	53
4.6 Análisis de sensibilidad.....	54
4.7 Gráficos de calor del proceso de quesos.....	55
4.7.1 Gráficos de calor en la marmita	56
4.7.2 Gráficos de calor proceso caldero	57
4.8 Yogur	58
4.8.1 Gráficos de calor en la marmita	58
4.8.2 Gráficos de calor proceso caldero	60
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
5.1 Conclusiones.....	61
5.2 Recomendaciones	62
REFERENCIAS	64
ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Consumo de energía por fuente en el 2018	3
Figura 2. Regiones de producción mundial de leche	4
Figura 3. Perspectiva de crecimiento de la demanda mundial de energía	7
Figura 4. Distribución de las emisiones de GEI en el Sector Energía del Ecuador en el 2012	9
Figura 5. Porcentaje de emisiones del GEI por el sector del Ecuador en el 2012 en términos del CO ₂ equivalente	10
Figura 6. Impactos atribuidos al cambio climático en los sistemas físicos, biológicos y humanos a nivel global y regional	11
Figura 7. Demanda de energía total en Ecuador	12
Figura 8. Comparación de precios nacionales de leche cruda durante el período 2016-2018	13
Figura 9. Análisis de un sistema	14
Figura 10. Pasos de un estudio de simulación	18
Figura 11. Clasificación de modelos matemáticos	21
Figura 12. Proceso de elaboración de queso	25
Figura 13. Etapa de procesos de elaboración de yogurt	28
Figura 14. Red de resistencias térmicas para dos capas paralelas	30
Figura 15. Esquema correspondiente a pared simple.	32
Figura 16. Diagrama de flujo del sistema	37
Figura 17. Proceso caldero - marmita	39
Figura 18. Variación de temperatura durante el día en Nono	51
Figura 19. Variación de temperatura en función del tiempo vapor y leche	51
Figura 20. Variación de temperatura en función del tiempo vapor y leche	52
Figura 21. Modelo térmico marmita (quesos)	56
Figura 22. Modelo térmico caldero	57
Figura 23. Modelo térmico marmita	59
Figura 24. Modelo térmico caldero	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Consumo de energía según el tipo de planta	26
Tabla 2 Materiales de aislantes térmicos	34
Tabla 3 Datos estimados	38
Tabla 4 Temperatura y tiempo del caldero en la producción de quesos.	41
Tabla 5 Datos modelo térmico del caldero	50
Tabla 6 Datos modelo térmico marmita.....	50
Tabla 7 Datos modelo térmico del caldero	52
Tabla 8 Datos modelo térmico de la marmita	52

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Las principales causas del calentamiento global son: las actividades humanas que generan energía 25.9%, la industria 19.4%, la deforestación 17.4%, la agricultura 13.5%, el transporte 13.1%, viviendas y edificios comerciales 7.9%, desechos y 2.5% aguas residuales. Por otra parte, los GEI (Gases de efecto invernadero) se los caracteriza en dos tipos: naturales y los creados por el hombre. En los naturales encontramos el vapor de agua, ozono y el metano. En los generados por las actividades de los humanos se encuentran: halocarbonos, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos. Adicionalmente, como actividad antropogénica se encuentra el dióxido de carbono el principal causante del calentamiento global (Change, 2007).

El inicio de las emisiones de gases de efecto invernadero remonta a 160 años atrás con la revolución industrial, las emisiones generadas por la quema de combustibles fósiles a nivel mundial producen 27Gton de emisiones de CO₂equivalente, entre los años 1990 y 2004 se obtuvo un incremento del 24% según datos del inventario de emisiones de gases del efecto invernadero (Baca, 2014). Las emisiones registradas en estos años aumentaron, por tal motivo, algunos países han ido implementando protocolos que ayuden a combatir y minimizar esta problemática. Un ejemplo de ello es el protocolo de Kyoto, el cual tiene como objetivo disminuir la producción de gases de efecto invernadero en una media de 5.2 % por parte de los países ratificados (Baca, 2014)

El cambio climático es el incremento de la temperatura de forma no natural, debido a la actividad humana. Esto ocurre porque los gases de efecto invernadero impiden el escape de la radiación y ocasiona que los rayos del sol se reflejan hacia el suelo terrestre, lo cual produce cambios bruscos en el clima tanto en el verano como en el invierno. Además, ha provocado el deshielo de los polos, incremento del nivel del mar, extinción de especies, pérdida de

cultivos entre otros (Change,2007). Los recursos energéticos están constituidos por todos los elementos existentes en la naturaleza que tienen la capacidad de producir energía. Se conocen como fuentes de energía convencionales a los recursos que tradicionalmente se han utilizado en el Ecuador como: recursos hidráulicos, el carbón, la leña, el petróleo y el gas, de los cuales la única fuente renovable es la hidráulica. Los recursos renovables tienen un reducido impacto sobre el ambiente, producen desechos o contaminación (a excepción de la biomasa) como resultado de su uso; en cambio, los combustibles fósiles y no renovables como el uranio tienen mayor impacto en el ambiente (ARCONEL, 2019).

El Ecuador es un país que cuenta con un enorme potencial de fuentes renovables de energía que vaticinan un futuro promisorio en el uso energético sustentable. Las fuentes renovables de energía implican tecnologías que incorporan varios factores positivos al desarrollo: ventajas medioambientales, creación de puestos de trabajo, uso de recursos locales, reducción de la dependencia de los combustibles fósiles, seguridad geoestratégica, estabilidad energética, posibilidades de exportación, entre otras (ARCONEL, 2019).

En la actualidad el abastecimiento de electricidad de Ecuador proviene de energías renovables con un 60.75% y el 39.24% de fuentes con energías no renovables. Las energías utilizadas en Ecuador en el 2018 para abastecerse de energía fueron: hidráulica, biomasa, fotovoltaica, eólica y biogás; además, en el Ecuador en la provincia del Guayas se registra centrales térmicas con una generación de energía de 805.76 MW, Orellana 720.02 MW (ARCONEL, 2019). La generación de energía hidráulica de las centrales en el 2018 llegó al 96.20% de su capacidad instalada y así se obtiene una energía más limpia (ARCONEL, 2019). Dentro de la potencia nominal por tipo de fuente se determinó que la generación de energías renovables proviene de: 2.74% biomasa, 0.52% fotovoltaica, 0.40% eólica, 0.14% biogás. Las energías no renovables registran 35.05% proveniente de la energía térmica. (ARCONEL, 2019).

Los combustibles líquidos en el Ecuador están a cargo de las refinerías de Petroecuador EP y Petroamazonas EP, que producen e importan combustibles, derivados y aditivos para la comercialización de gasolinas, diésel y nafta de avión para el consumo nacional. El diésel para generación termoeléctrica mantiene precios subsidiados, dando una imagen distorsionada de los precios finales de la energía generada (Banco Interamericano de Desarrollo, 2017). En el Ecuador el sector industrial es importante para el desarrollo económico, el mismo que ayuda a la investigación de diversas actividades. Sin embargo, en Ecuador al ser un país en vías en desarrollo todavía no se ha dado el impulso necesario al desarrollo de las misma (Luis Horna, 2009). En 1970 con la explotación del petróleo se empezó la era de la industrialización en Ecuador, pese a tener un crecimiento importante el sector industrial el consumo de combustible del mismo no se igualó al consumo de los derivados del petróleo de la industria de alimentos, tabaco y bebidas (Luis Horna, 2009).

El consumo de energía en el Ecuador está representado por: el sector de transporte 0.1%, sector industrial 40.1%, sector comercial 27.9%, sector residencial 29.7% y 2.2 % otros como se lo representa en la figura 1. (ARCONEL, 2019).

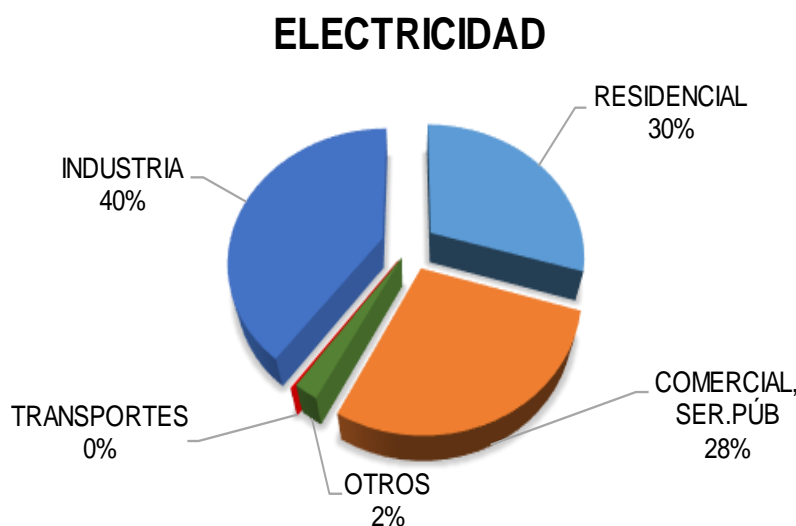


Figura 1. Consumo de energía por fuente en el 2018

Tomado de (A.I., E. (2010)).

Las industrias de lácteos en el Ecuador es un sector importante que se encuentra distribuido en las diferentes provincias tales como: en Manabí tiene una producción de 9%, Bolívar 5%, Azuay 9% Pichincha 22%, Cotopaxi 7%, Tungurahua 6%, Chimborazo 7%, Cañar 8%, resto de provincias 27%. Además, cabe indicar que el 53% de la producción de leche son enviados a la industria formal para la producción de productos lácteos entre los cuales están: leche en funda 19%, quesos 37%, leche en cartón 16%, leche en polvo 9%, yogurt 15%, varios 3% (ECUADOR), 2020).

La Industria láctea posee un gran impacto a nivel mundial, el porcentaje de producción es el siguiente: la Unión Europea 23.7%, África 5.5%, Oceanía 4.4%, Otros de Europa 23.7%, Norte y Centro América, 18%, Sudamérica 9.2% y Asia 31% ((FAO), 20). Lo cual se ve representado en la figura 2:

REGIONES DE PRODUCCIÓN MUNDIAL

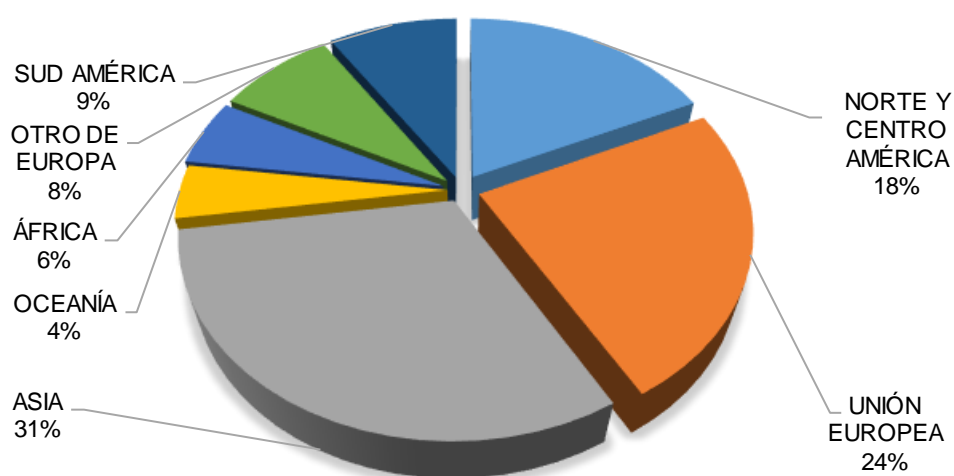


Figura 2. Regiones de producción mundial de leche

Tomado de (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura)

En estudios realizados en Brasil específicamente en la industria láctea, se realizaron encuestas en línea a 37 establecimientos y se determinó que el combustible de madera juega un papel importante en esta industria. La madera

es el combustible más utilizado en la generación de energía térmica, mientras que el diésel es dominante en la generación eléctrica (IPCC,2011).

En Ecuador se destaca que solo el 51% de las plantas de procesamiento de leche, utilizan generadores de energía eléctrica. Las pequeñas y grandes industrias han desarrollado programas que ponen atención al consumo energético, a fin de incrementar su eficiencia y rasgos competitivos. Además, es importante señalar que dentro de algunos años el impacto ambiental tendrá grandes consecuencias, debido al crecimiento poblacional el consumo energético será mayor y por ende los gases de efecto invernadero también aumentarán. Según estudios de la Agencia Internacional de Energía (IEA) determinaron que el aumento de la demanda de energía será de al menos un 70%, para los siguientes 25 años en el caso de continuar con el sistema tradicional, lo cual causaría intensas consecuencias ambientales (IPCC,2011).

En la actualidad, en América Latina se ha logrado cambios importantes relacionados a la producción energética, los mismos que han conllevado a tener grandes beneficios, como por ejemplo la implementación de leyes que incentiven la generación de energías renovables, tarifas reguladas por horarios y mecanismos cuantificativos de energía (Caribe, 2004).

En Ecuador cuenta con una Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, el artículo 15 de la Constitución de la República del Ecuador menciona textualmente que “Al Estado promover, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto, así como que la soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua” (Eléctrica, 2018).

En la elaboración de productos lácteos es importante el consumo de vapor de agua o agua caliente, el cual es generado con el uso de calderas las mismas que funcionan a diésel, gas licuado de petróleo, o alguna otra fuente de combustible. En el proceso de generación de vapor existen pérdidas de calor, la eficiencia que poseen las calderas varía entre 80 y 92%, también existen

pérdidas en la generación y distribución del vapor, el cual se estima que es de un 15%. Por lo tanto, la eficiencia térmica en la producción de lácteos puede estar entre 68 al 78% de la energía térmica (Energía, 2017).

El presente estudio, plantea un análisis de la problemática antes mencionada en la Granja Experimental de La Universidad de las Américas (UDLA), localizada en la parroquia rural de Nono, provincia de Pichincha. UDLA, tiene dentro de sus políticas internas el cuidado, reutilización y reducción del consumo de recursos, entre ellos el energético. En el caso de la Granja Experimental, este recurso es utilizado para el desarrollo de las actividades experimentales, de investigación y de producción, como por ejemplo la elaboración de productos lácteos (UDLA, 2020)

El trabajo busca analizar en la granja de Nono de la Universidad de Las Américas, el ahorro energético en la elaboración de productos lácteos por medio del mejoramiento en los procesos que utilicen vapor de agua. Este estudio permitirá generar recomendaciones para las PyMEs - Pequeñas y Medianas Empresas - del sector lácteo (UDLA, 2020).

1.2 Alcance

El presente estudio se genera con el propósito de analizar la eficiencia del sistema caldero-marmita en la Granja de Nono en el proceso de la elaboración de lácteos, tomando en cuenta las pérdidas de calor y analizando el consumo de combustible, en cada etapa de su procesamiento.

Para esto se realizó un modelo térmico caldero-marmita, en donde se analizan los puntos críticos del sistema, por medio de un balance energético para esto se considerará el tiempo de producción de cada uno de los productos elaborados (quesos y yogurt), con el fin de proponer las alternativas necesarias para reducir las pérdidas de energía y las emisiones de gases de combustión, y, mejorar la eficiencia de los procesos de producción de lácteos.

1.3 Justificación

Las necesidades económicas que se han ido presentando con el crecimiento poblacional, causó que el petróleo y otros combustibles fósiles como el carbón y el gas natural según muestra figura 3, se consolidaron durante el siglo XX como base de la matriz energética, tanto por los costos de producción y de transporte, como por la multiplicidad de usos. A corto plazo no se prevé un cambio significativo en esta situación, a pesar de lo limitado de los yacimientos o de las consecuencias ambientales de su utilización. Una política energética social y ambientalmente sustentable debe analizar tanto la matriz energética actual como la de distribución de la producción de energía, de modo que las mejoras en calidad de vida alcancen a toda la población mundial, pero que no pongan en riesgo la supervivencia de la vida humana en el planeta (IPCC,2014).

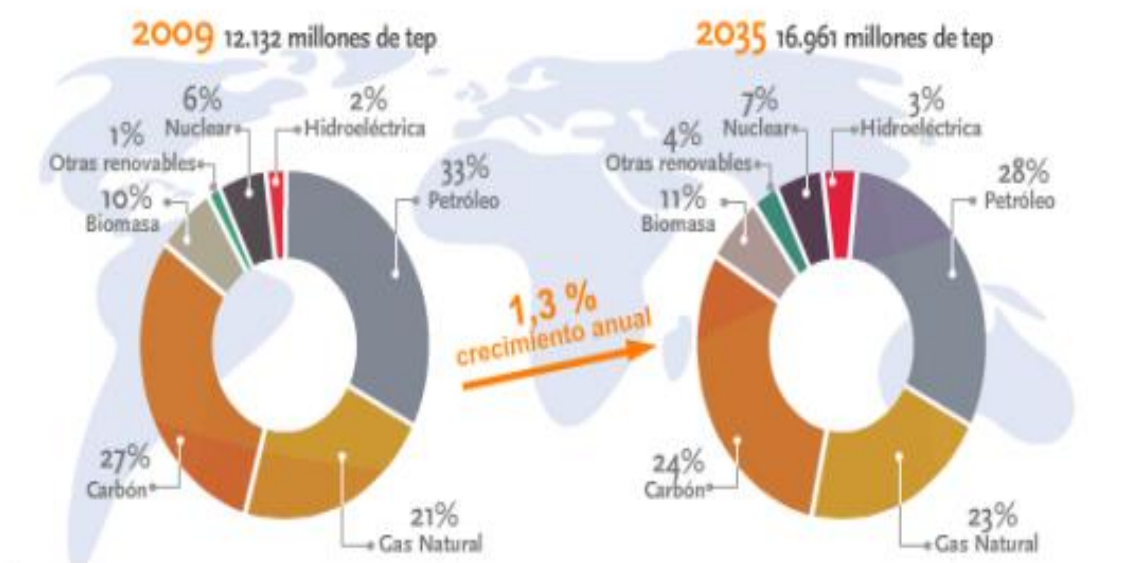


Figura 3. Perspectiva de crecimiento de la demanda mundial de energía Tomado de (International energy outlook 2011 y Agencia Internacional de Energía).

Por otro lado, la industria láctea consume considerables cantidades de energía, principalmente en la generación de vapor. En el sistema de caldero existe

pérdidas importantes. Las cuales pueden deberse al mal dimensionamiento de los conductores, una mala instalación de las tuberías, una inadecuada ventilación, a la falta de mantenimiento de la instalación o a puntos de contacto defectuosos. Por tal motivo, es importante analizar el comportamiento de los sistemas de caldero en la industria láctea, para disminuir el consumo de combustible y las emisiones asociadas a esta actividad (Energía, 2017).

1.4 Objetivo General

Desarrollar un modelo matemático para el análisis de eficiencia energética en la elaboración de productos lácteos de la Granja UDLA.

1.5 Objetivos específicos

- Diseñar modelo térmico del caldero-marmita.
- Validar el modelo matemático.
- Optimizar el modelo con conceptos de eficiencia energética.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

El Instituto Nacional de Estadística y Censos (2014) considera que las emisiones de dióxido de carbono, óxido nitroso (NO_2) y metano (CH_4) fueron las más contaminantes del sector energético durante el año 2006, donde se generaron 37.60 millones de toneladas de CO_2 equivalente; además, se estableció un rango por la quema de combustibles para la generación de energía de emisiones siendo estas, el sector del transporte con un 45.16 % seguido por una industria de energía con 31.98% (Ministerio del Ambiente,2017) como se muestra en la figura 4.

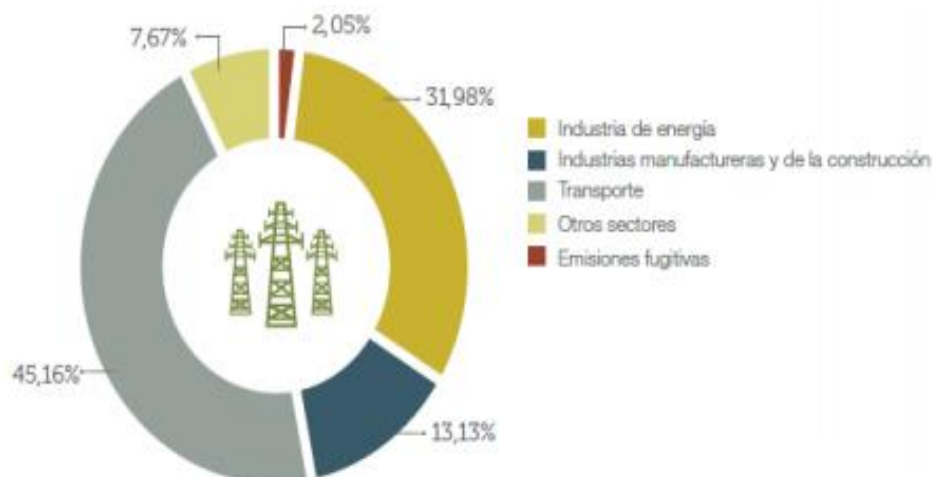


Figura 4. Distribución de las emisiones de GEI en el Sector Energía del Ecuador en el 2012

Tomado de (Ministerio del Ambiente,2017)

2.2 Cambio climático

El incremento que existe por la generación de GEI en el ambiente aumenta el calor en el planeta lo cual produce cambios climáticos, se presentan en alteraciones a nivel de la biota y esto se ve reflejado a nivel mundial en los desastres naturales, inundaciones y sequías (Naciones Unidas. s.f.). El IPCC en el informe emitido indicó que desde el año de 1880 al 2012 existió un incremento de la temperatura de 0.85 °C ((IPCC) C. C., 2014).

2.3 Causas del cambio climático

El incremento excesivo de GEI se presentó alrededor del siglo XX, por lo cual aproximadamente el 95% se debió a la actividad humana y el incremento de la población a través de los años y por ende las necesidades de la población se incrementaron de una manera drástica ((IPCC) C. C., 2014).

El informe desarrollado por el IPCC estimó que los gases emitidos del sector energético es la generación CO₂, contaminante que posee un índice de mayor contaminación, el cual se debe a la quema de combustibles fósiles (IPCC,2007).

Los resultados obtenidos están en similitud con las cifras obtenidas en el Ecuador en el año del 2012 en la Tercera Comunicación Nacional, en el cual se identificó que es el primer lugar de la generación GEI del país (Ministerio del Ambiente,2017) el mismo que se muestra en la figura 5.

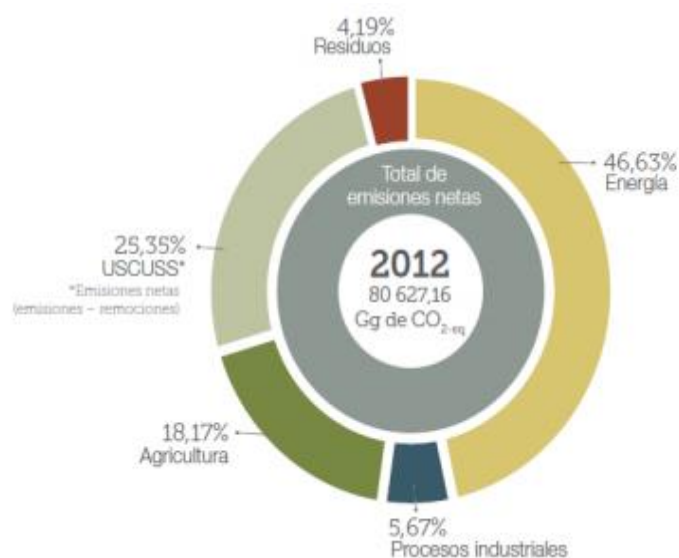


Figura 5. Porcentaje de emisiones del GEI por el sector del Ecuador en el 2012 en términos del CO₂equivalente
Tomado del (Ministerio del Ambiente,2017)

2.4 Efectos del cambio climático

Las consecuencias por el cambio climático son muy significativas a nivel físico (territorio, glaciales), sistemas biológicos y sistemas humanos; existe un incremento en los fenómenos naturales y climáticos (IPCC,2014) como se muestra en la figura 6, con una proyección de incremento excesivo en las sequías e inundaciones (Kerr,2005).

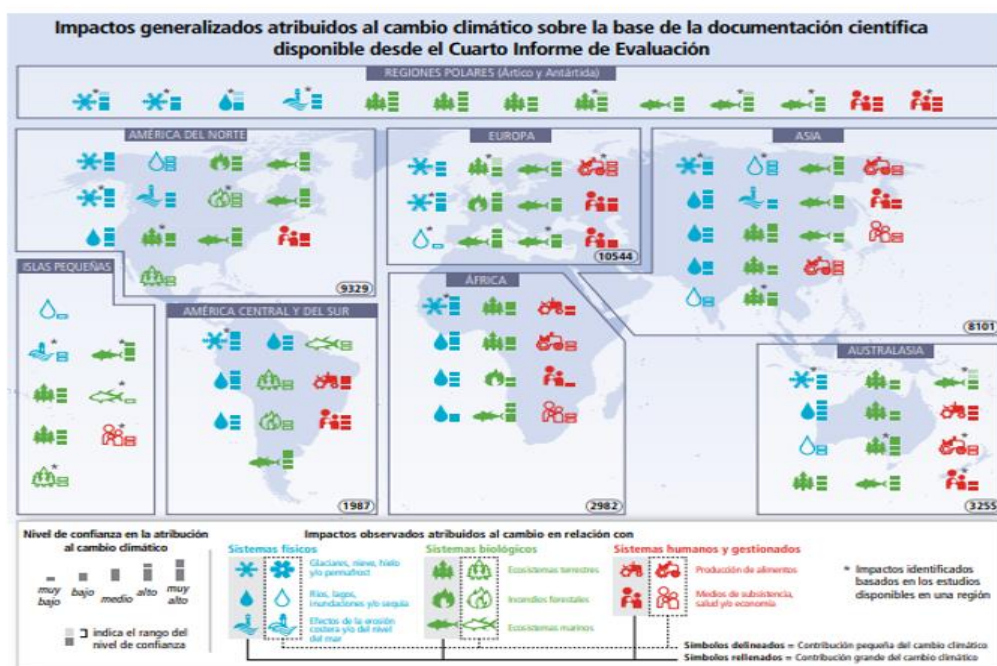


Figura 6. Impactos atribuidos al cambio climático en los sistemas físicos, biológicos y humanos a nivel global y regional.

Tomado de ((IPCC) C. C., 2014)

2.5 Consumo Energético

La energía consumida a nivel global ha ido aumentando alrededor de los últimos 25 años (Energía, 2010), el mismo que se evidencia en el consumo industrial hasta el nivel de las viviendas, por ende, varía según los habitantes y la demanda que exista del consumo energético por las diferentes industrias, basada principalmente en las necesidades económicas y sociales de la población mundial.

El principal aumento estimado del 70% de la demanda de energía se ve reflejado en el cuarto de siglo, este se originará en los países en desarrollo como es China, que será responsable por el 30% de ese aumento (Energía, 2010). La globalización es un proceso que conlleva al crecimiento industrial principalmente en los países en desarrollo por ende se relaciona con el crecimiento de sus economías. A nivel mundial la población no posee energía

eléctrica lo cual no es equitativo; existe alrededor de mil seiscientos millones de personas en el mundo que no poseen electricidad y dos mil quinientos millones requieren el uso de la madera, el carbón o residuos orgánicos (Energía, 2010). La mitad del consumo energético primario (derivados del petróleo) se enfoca en la producción de electricidad y transporte; en los diferentes países a nivel mundial existe un incremento masivo de transporte privado y de la compra de artefactos eléctricos los cuales aumentan el consumo energético.

En Ecuador se ha realizado un estudio que según el Balance Energético Nacional del 2013 elaborado por el Ministerio Coordinador de los Sectores Estratégicos (MICSE), la industria consume el 13% de la energía total del Ecuador (INER,2014), como se muestra en la figura 7.

Con respecto a la demanda de energía primaria total en el Ecuador creció en el 4,1% anual entre 1970 y 2011. Así, en cuarenta años, la demanda de energía se ha multiplicado por un factor de 4,7 pasando de 18,3 Mbep en 1970 a 86 Mbep en 2008. Si comparamos con América Latina y con el resto del mundo para el período 1980-2006, nuestro país tuvo un crecimiento de la demanda de energía de 2,74%; mayor al promedio mundial (1,6%) y al de la región (2%). Con la explotación petrolera el Ecuador empezó el cambio de su economía, por ende, una creciente demanda de energía (OLADE, 2011).

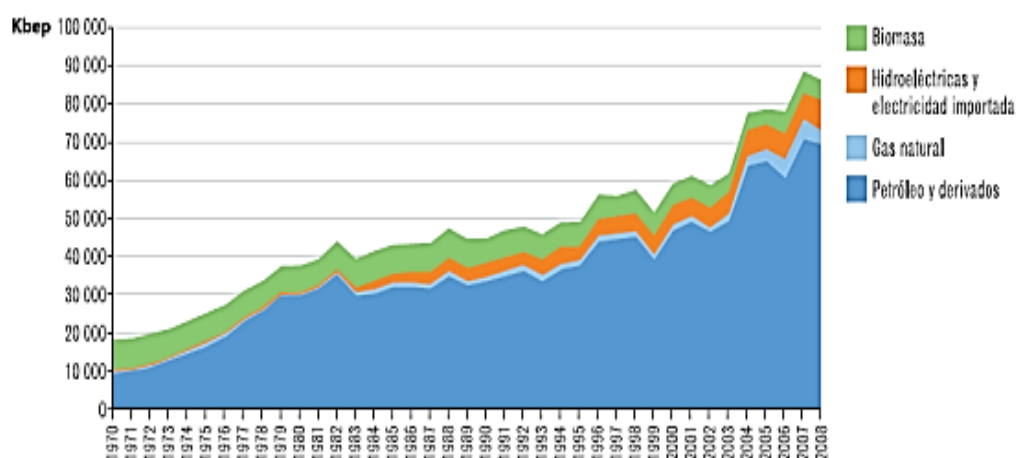


Figura 7. Demanda de energía total en Ecuador

Tomado de (Organización Latinoamericana de Energía, 2011).

2.6 Industria láctea

La elaboración de productos lácteos a nivel mundial en el 2018 fue de alrededor de 718 millones de toneladas, en el cual Estados Unidos fue el principal productor que engloba un 12% a nivel mundial (MAGAP,2018).

Los estudios realizados indican que en el Ecuador se ha reducido un 2% en el 2018 (MAGAP,2018). Un estimado en el mismo año se obtuvieron resultados que indicaron que el precio de la leche cruda a nivel de finca y de igual manera el precio en las industrias disminuyó hasta 0.44USD/litro, la misma que se identifica en la figura 8.

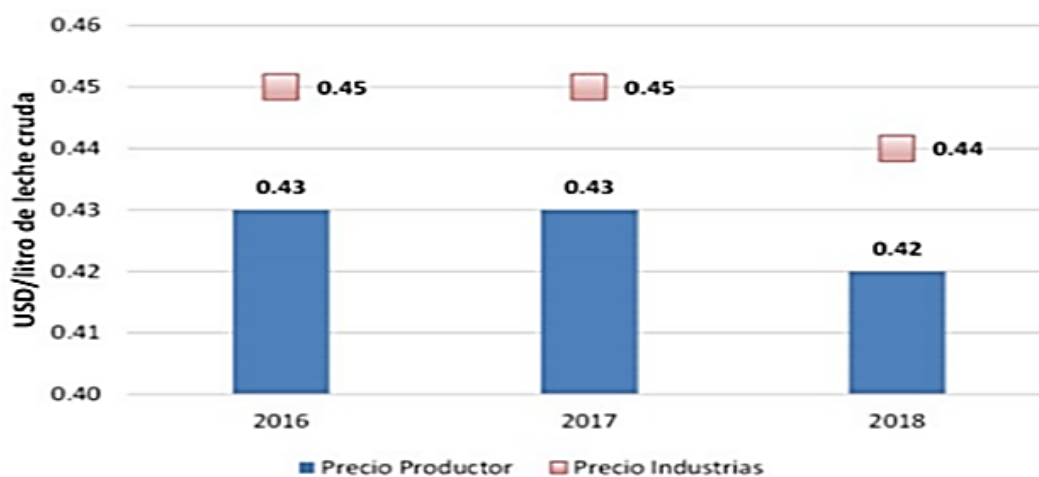


Figura 8. Comparación de precios nacionales de leche cruda durante el período 2016-2018

Tomado de (MAG-SIPA, 2018).

Procesos en la industria láctea: En la industria láctea uno de los principales factores es la generación de vapor en los diferentes tratamientos térmicos, considera que alrededor del 80% del consumo total de energía es de combustibles fósiles, el 20% es energía eléctrica del cual entre un 30 y 40% es utilizado en el sistema de refrigeración (RAC/CP,2002).

2.7 Modelos de simulación, pasos, teoría de modelos.

a. Sistema

Es el estudio de propiedades diferentes de cualquier objeto (Urquía Moraleda, 2016).

b. Experimento

Es el desarrollo que ejerce una acción externa de datos sobre un sistema (Urquía Moraleda, 2016).

c. Modelo

Se representa al sistema desarrollado que posee un objetivo específico (Alfonso Urquía, 2016), el mismo que se muestra en la figura 9.



Figura 9. Análisis de un sistema

Tomado de (Urquía Moraleda, 2016).

El modelo se divide en:

1. Modelo Físico

Es una representación a escala de un sistema real (Urquía Moraleda, 2016).

- Solución Analítica

Constituye modelos sencillos y no posee demasiados parámetros, se estudian con la ayuda del ordenador, en la que se aplica métodos numéricos (Alfonso Urquía, 2016).

2. Modelo Matemático

Es la representación de correlaciones matemáticas donde se analizan algunos parámetros dentro del sistema como son: flujos, velocidades y calor (Urquía Moraleda, 2016).

- Simulación

Es un modelo matemático que realiza un experimento numérico (Alfonso Urquía, 2016).

d. Niveles de los conocimientos de los sistemas

Se lo relaciona con los distintos modelos matemáticos, por ende, se clasifican por el conocimiento que posee un sistema (Alfonso Urquía, 2016).

- Nivel 0-Fuente: Se identifica una parte real que se modela, mientras se observa (Alfonso Urquía, 2016).

- Nivel 1-Datos: Dispone de un principio de datos con magnitudes del sistema principal (Alfonso Urquia, 2016).
- Nivel 2-Generación: Los datos que se recrean son capaces de formar una representación compacta (Alfonso Urquia, 2016).
- Nivel 3-Estructura: Los datos proporcionados se los detalla para poder recrearlos, de tal manera, que sean específicos para que los términos y sus componentes se encuentren interconectados (Alfonso Urquia, 2016).

2.8 Marco formal para el modelado y simulación

- Sistema fuente: Es el ambiente real que posee una fuente de datos que se observa (Alfonso Urquia, 2016).
- Base de datos del comportamiento: Datos recopilados de experimentaciones de un sistema (Alfonso Urquia, 2016).
- Modelo: Es la agrupación de instrucciones, normas y ecuaciones para representar el comportamiento de dicho sistema (Alfonso Urquia, 2016).
- Simulador: Es un modelo que genera un comportamiento que se lo conoce como un agente computacional (Alfonso Urquia, 2016).
- Marco Experimental: Es la agrupación de experimentos para validar un modelo (Alfonso Urquia, 2016).

2.9 Pasos para el estudio de la simulación

Los pasos de la simulación son:

- a. La definición de objetivo.

- b. Hipótesis del modelado.
- c. Planteamiento del modelado.
- d. Diseño de los experimentos.
- e. Verificación y validación (Alfonso Urquia, 2016).

2.10 Definición del objetivo

Es el primer paso en definir el objetivo, el mismo que posee un procedimiento para validar el modelo. Se conoce algunos ejemplos de objetivos los cuales son (Alfonso Urquia, 2016):

- Predecir el comportamiento que posee el sistema con condiciones de algún conjunto.
- Comparar el sistema con modelos alternativos diferentes en su comportamiento.
- Analizar las medidas de sensibilidad del comportamiento de un sistema con diferentes factores.
- Calcular la respuesta obtenida con valores óptimos determinados en el modelo con diferentes parámetros para así obtener un valor óptimo.

2.10.1 Hipótesis del modelado

Identifica un pequeño conjunto de características del sistema, como se aprecia en la figura 10.

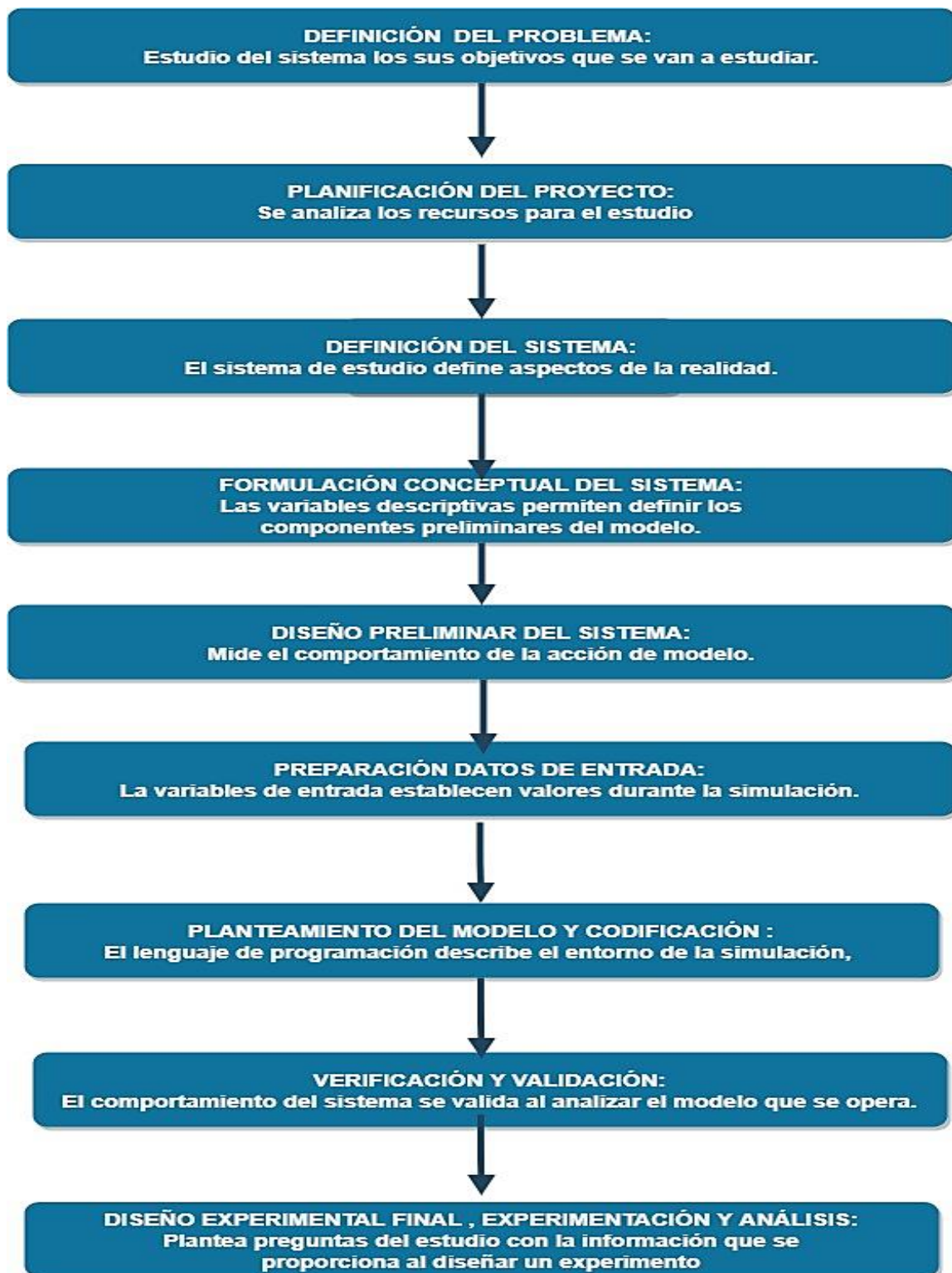


Figura 10. Pasos de un estudio de simulación
Adaptada de método de simulación y modelado

2.11 Planteamiento del modelo

2.11.1 Desarrollo de modelos

El modelo se desarrolla de manera modular y jerárquica, a continuación, se describe los fundamentos de los modelos (Alfonso Urquia, 2016):

a. Modelado modular

Se analiza tres pasos:

- Analiza e identifica partes diferentes del sistema.
- Describir las partes que interrelacionan.
- Describir independientemente las partes del comportamiento interno.

b. Modelado jerárquica

Es el avance que posee el modelo de un nivel menor a un mayor, el cual se lo puede clasificar en dos submodelos (Alfonso Urquia, 2016):

1. Submodelos primitivos

Los componentes del proceso se describen por el comportamiento que no poseen los compuestos de otros submodelos (Alfonso Urquia, 2016).

2. Submodelos compuestos: Se conforman por conexiones entre otros submodelos.

2.1 Análisis por reducción

Se entiende como el comportamiento del conjunto de las partes que interrelacionan de manera individual para así ser más fácil su entendimiento, se relaciona con los siguientes conceptos (Alfonso Urquia, 2016):

- a. Modularidad: Es un modelo de manera independiente que tiene la capacidad de poder describir cada parte.
- b. Componibilidad: Son partes del modelo que describe el ensamblaje en las partes de un modelo.
- c. Abstracción: Se define como los detalles de un modelo con la posibilidad de poder usarlos; además, ayuda a poder diferenciar las partes del modelo como son:
 - Interfaz: Considera el modelo con la que describe a su entorno.
 - Descripción interna: Es la estructura y el desarrollo de la información que posee el modelo.

2.11.2 Tipos de modelos

Los modelos matemáticos se clasifican en: estático o dinámico y deterministas o estocásticos (Alfonso Urquia, 2016).

a. Dinámico

Se los conoce a los modelos que intervienen en el tiempo, y se los clasifica en (Alfonso Urquia, 2016): Modelo de tiempo discreto, modelos de eventos discretos, modelos de tiempo continuo y modelos híbridos.

- Modelos de tiempo discreto, el mismo que se muestra en la figura 11.

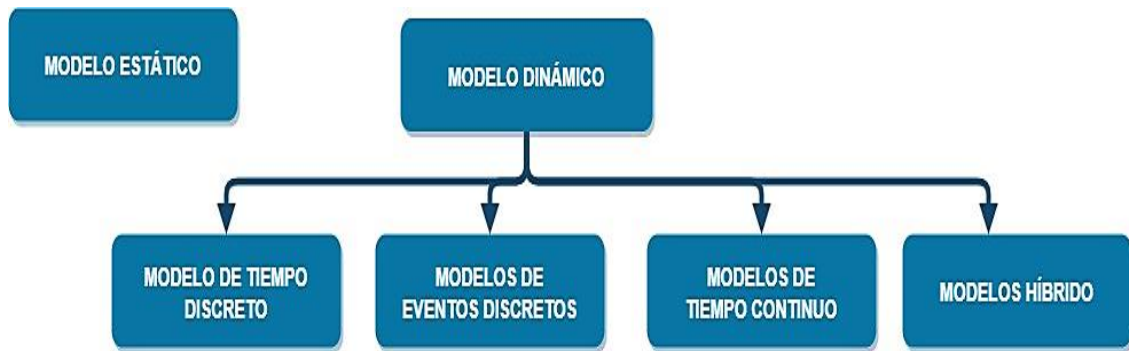


Figura 11. Clasificación de modelos matemáticos

Adaptada de Método de simulación y modelado

Es un modelo de fácil entendimiento por el cambio de valor en sus variables. Además, la simulación empieza en un tiempo inicial t_0 y su avance en la variación del tiempo es Δt , cuando el tiempo avanza consecutivamente en el instante empieza en t_0, t_1, t_2 . donde $t_{i+1} = t_i + \Delta t$ para $i = 0,1,2$ (Alfonso Urquia, 2016).

b. Estático

Es un modelo que el tiempo no influye en su desarrollo.

2.11.3 Diseño de los experimentos

Se los clasifica en:

1. Diseño experimental preliminar

Es la investigación que posee el sistema en cada uno de los niveles para así estudiar su comportamiento con las medidas que se seleccione del modelo (Alfonso Urquia, 2016).

2. Diseño experimental final

Es la revisión del modelo que se desarrolló tomando en cuenta el proceso de diseño y su construcción (Alfonso Urquia, 2016).

2.12 Verificación y validación

1. Verificación

Es el lenguaje de programación que es usado en la comprobación del modelo para identificar sus errores (Alfonso Urquia, 2016).

Procedimientos de verificación se destacan los siguientes:

a. Verificar manualmente

Los resultados obtenidos en un corto tiempo por la ejecución de un algoritmo.

b. Comprobar submodelo

Los resultados esperados se los verifica individualmente con diferentes tipos de entradas del modelo.

c. Comparar con soluciones conocidas

Los resultados obtenidos de la simulación se ajustan al modelo que se representa del sistema de una solución conocida.

d. Realizar test de sensibilidad

El mover o cambiar algún parámetro del modelo se puede observar su resultado.

2. Validación

Es un modelo que continua con el diseño, comprueba que el sistema tenga una aproximación real (Alfonso Urquia, 2016).

2.13 Área de estudio

El análisis se desarrolla en la granja de Nono propiedad de la Universidad de las Américas ubicada en el cantón Quito. La parroquia de Nono se encuentra a 2.724 m.s.n.m y tiene una temperatura promedio de 5 a 18 °C. La parroquia se dedica principalmente a dos actividades: la agricultura y la ganadería, que son el sustento de varias familias en el sector (Secretaria de Cultura,2019). En la Granja UDLA se realizan estas actividades las cuales generan los recursos principales para la elaboración de productos derivados de la leche y de frutas como: yogurt, manjar de leche, mermeladas, entre otros (UDLA,2020).

2.14 Obtención de la materia prima

La materia prima proviene de las actividades pecuarias de la Granja de la Universidad de las Américas. En la granja se procesan 310 litros de leche semanalmente, la producción se destina a la elaboración del yogurt y queso. Por otro lado, las frutas son recolectadas del huerto ubicado en la misma granja. Los productos utilizados son de origen orgánico con certificación de sello verde. El invernadero de la UDLA tiene un área de 6000m² del cual se utiliza el 98% del mismo. Los principales productos cosechados en el invernadero son: mora, frutilla y tomate de árbol para ser procesados en la elaboración de mermeladas y jaleas (40 kg de fruta) (UDLA,2020).

2.15 Elaboración de quesos

Para el análisis de producción de queso se tomó como referencia el queso maduro que es uno de los principales productos que se elaboran en la Granja UDLA.

Para el proceso de producción del queso maduro consta de los siguientes pasos (UDLA,2020):

- Recepción de materia prima: Se pesa las materias primas tales como: sal yodada, coagulante (CH-MAX), conservante (SO) y mejorador de coagulante (SC).
- Análisis de la acidez (Mastitis): Medir el pH de la leche.
- Pasteurización: Es controlar y disminuir contaminantes microbianos de la leche, la misma que pudo haberse contaminado en el proceso de ordeño, transporte o envasado, mediante el incremento de temperatura hasta 73 °C, el tiempo estimado de este proceso es de 30 segundos.
- Enfriamiento a <40°C: Este proceso consiste en disminuir la temperatura hasta 33 °C, el tiempo estimado que dura este proceso es de 15 minutos, y mantener a esta temperatura por 30 minutos.
- Coagulación: Es el paso de líquido a sólidos con la adición del cuajo.
- Proceso de cuajo: Consiste en aumentar el desuerado y facilitar el calentamiento uniforme de la cuaja.
- Proceso de corte y batido: Ayuda a eliminar el suero de la manera más rápida y en la fermentación láctica. Se realiza este proceso a 33 °C de temperatura en un tiempo estimado de 30 minutos.
- Calentamiento: Se eleva la temperatura hasta un máximo de 39 °C.
- Proceso de cuajo: Consiste en aumentar el desuerado y facilitar el calentamiento uniforme de la cuaja y el batido ayuda a eliminar el suero de manera más rápida y en la fermentación láctica.
- El proceso desuerado: Elimina el suero de la leche.
- Proceso de salado: Se añade la sal yodada a una temperatura de 38°C.
- Moldeo: Se realiza a 39°C de temperatura, el cual debe ir disminuyendo hasta llegar a la temperatura de 12 °C.
- Prensar, empacar y almacenamiento: se los realiza a 5°C, ver figura 12 (UDLA, 2020).

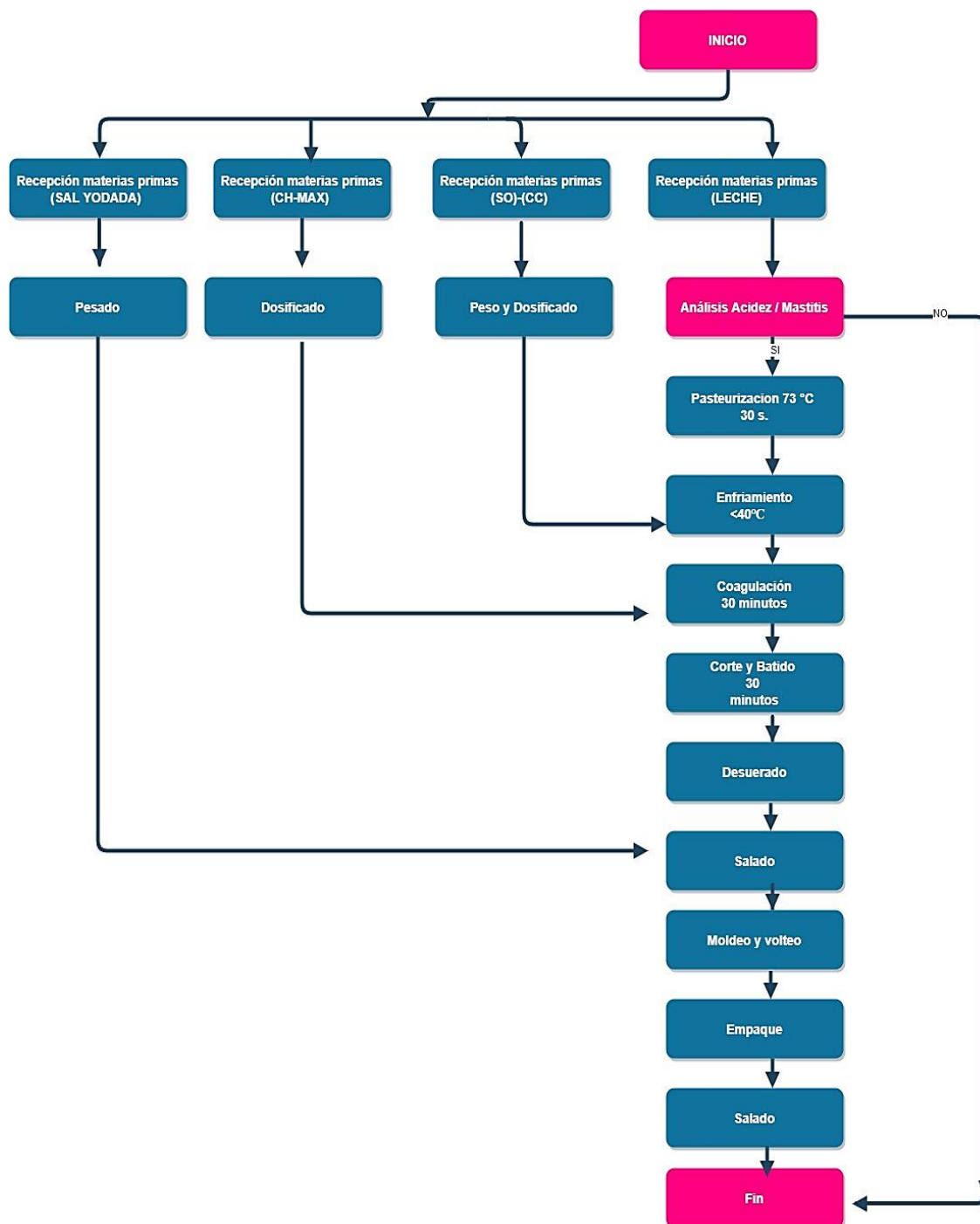


Figura 12. Proceso de elaboración de queso
Adaptado de UDLA, 2020

El consumo total de energía se clasifica según el tipo de planta, ver tabla 1.

Tabla 1
Consumo de energía según el tipo de planta

Planta Lechera	Consumo total de energía (kWh/lit de leche procesada)
Planta moderna con alta eficiencia en la pasteurización y calderos modernos	0.09
Planta moderna usando agua caliente para los procesos	0.13
Planta vieja usando vapor	0.27
Rango de la mayoría de plantas	0.14 - 0.33

Adaptado de (UNEP,2000).

2.16 Elaboración de yogurt

El proceso de producción de yogurt en la Granja UDLA consta de los siguientes pasos:

- Recepción de la materia prima: Se pesa las materias primas como: jalea, conservante (SO) y la leche, que es receptada entre 5 a 10 °C de temperatura.
- Análisis de acidez (Mastitis): Se realiza el análisis del pH la leche.
- Descremado: Para este proceso la leche debe estar a 45 °C temperatura, el tiempo va a variar dependiendo de la cantidad de leche a procesar.
- Pasteurización: Consiste en controlar y disminuir contaminantes microbianos de la leche, la misma que pudo haberse contaminado en el

proceso de ordeño, transporte o envasado, manteniendo la leche a 90 °C por 10 minutos.

- **Enfriamiento:** En este paso se disminuye la temperatura de 90°C a 45°C. A la cual permanece la leche entre 8 a 12 horas para que el fermento como hábitat la transforme en yogurt. El valor de pH del yogurt indica si el producto está listo o no.
- **Mezclado:** Es homogenizar el saborizante, el cual puede variar dependiendo de la jalea que se utilice (mora, frutilla o tomate de árbol) y azúcar.
- **Envasado y almacenamiento:** Se lo realiza a 5°C (UDLA, 2020), ver figura 13.

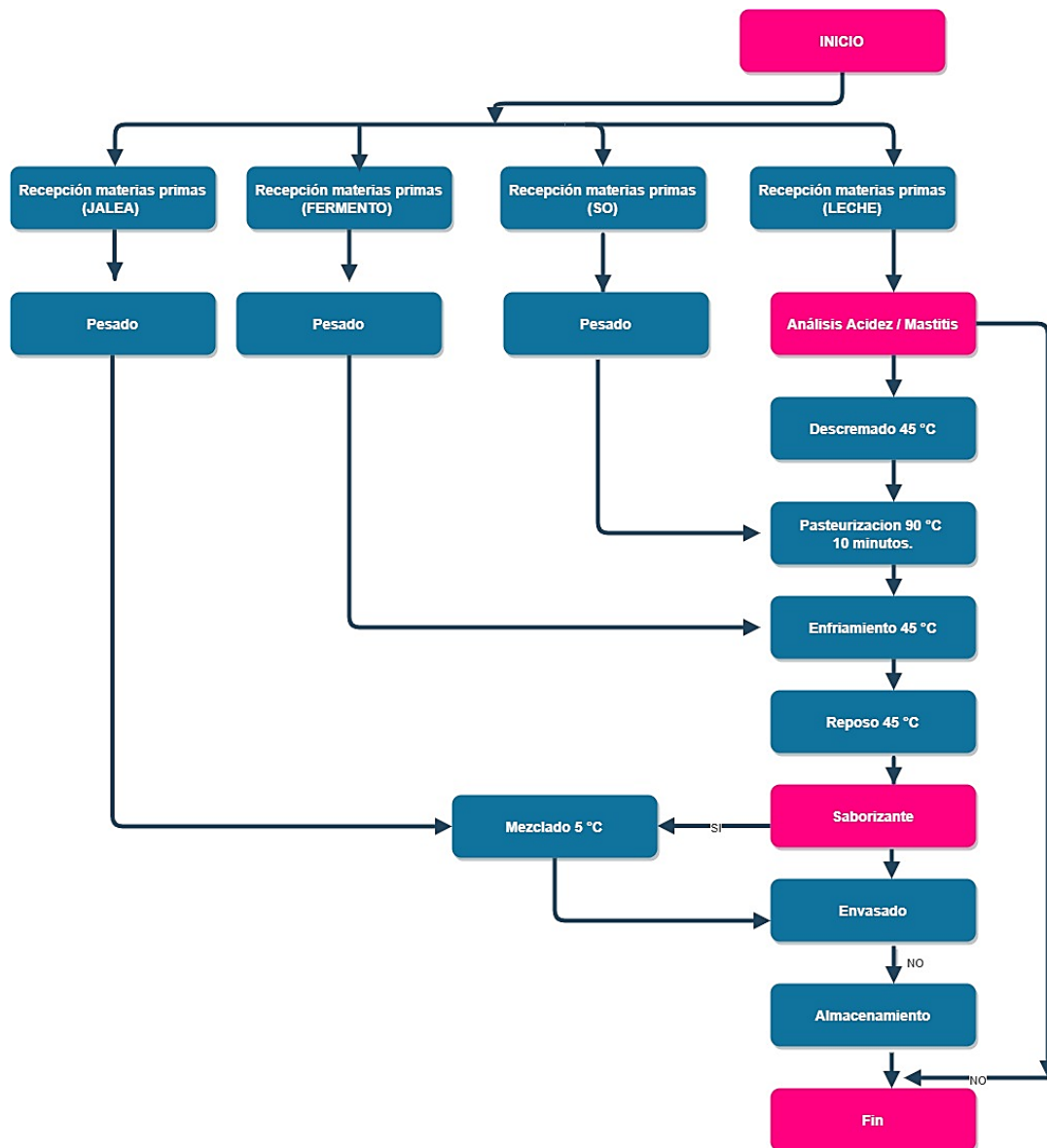


Figura 13. Etapa de procesos de elaboración de yogurt
Adaptado de UDLA,2020.

2.17 Conceptos básicos

2.17.1 Calor

Es una forma de energía que se transfiere cuando existe un desequilibrio térmico, esta energía se transmite entre dos sistemas porque existe diferencias en la temperatura (Yunus A. Gengel, 2006). El calor se transporta o se desplaza mediante una gradiente de temperatura, cede de una sección de una

mayor temperatura a una de menor temperatura; además, se conoce como energía cinética total de los átomos o moléculas de una sustancia. También se puede decir que es el flujo de energía como resultado de las variaciones de temperaturas (Frank Kreith, 2012).

2.17.2 Potencia

El flujo de calor en un sistema que pasa de un estado inicial a un final que se expresa W . La cantidad de potencia se lo expresa en W o en hp ($1hp=746W$) (Cengel, 2007).

2.17.3 Transferencia de calor

Es una sucesión de acontecimientos físicos que permiten que el calor se transmita de un medio a otro, siempre y cuando exista una gradiente de temperatura (Cengel, 2007). Los materiales permiten o impiden el paso de calor entre varios cuerpos, esto se debe a la gradiente de temperatura que posee un sistema o también se puede dar entre dos sistemas con variaciones de temperaturas, ver ecuación 1. La transferencia de calor no se la puede identificar a simple vista, sus efectos se identifican o se cuantifican mediante análisis o mediciones con equipos térmicos (Frank Kreith, 2012), ver figura 14.

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{R_{total}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

R_{total} = Resistencia térmica total.

Q = Cantidad de calor.

T_1 = Temperatura inicial.

T_2 = Temperatura final.

Tomado de (Cengel, 2007).

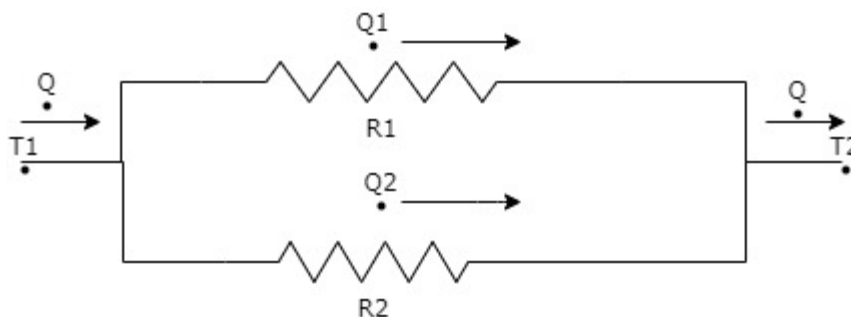


Figura 14. Red de resistencias térmicas para dos capas paralelas
Tomado de (Cengel, 2007).

La resistencia térmica se la conoce también como analogía eléctrica que se utilizan en resolver problemas de transferencia de calor en un estado estacionario que se entiende capas en paralelo o una distribución coordinada serie-paralelo (Cengel, 2007), ver ecuación 2.

$$R = R_o + R_1 + R_e \quad (\text{Ecuación 2})$$

Dónde:

R: Resistencia térmica total [$\text{m}^2\text{K/W}$].

R_o: Resistencia interna de la película del fluido al paso de calor, [$\text{m}^2\text{K/W}$].

R₁: Resistencia que opone el material al paso del calor, [$\text{m}^2\text{K/W}$].

R_e: Resistencia externa de la película del aire al paso del calor, [$\text{m}^2\text{K/W}$].

En la práctica suele eliminarse de los cálculos de resistencia superficial interna (R_o), que es muy pequeña o difícil de precisar y se lo detallara en ecuación 3:

$$\sum R = \frac{x_2}{k_1 A m_1} + \frac{x_2}{k_2 A m_2} + \frac{1}{h_e A_e} = R_1 + R_2 + R_e \quad (\text{Ecuación 3})$$

Dónde:

R: Resistencia total [$\text{m}^2\text{K/W}$].

R₁: Resistencia que opone el material al paso del calor, [$\text{m}^2\text{K/W}$].

R_e: Resistencia externa de la película del aire al paso del calor, [$\text{m}^2\text{K/W}$].

R₂: Resistencia que opone el material aislante al paso del calor, [$\text{m}^2\text{K/W}$].

- k: Conductividad térmica del material que compone las paredes [kcal/mh°C].
 Am: Área media logarítmica [m²].
 x: Espesor la pared [m].

El calor se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{\theta_i - \theta_a}{\sum R} = \frac{\theta_i - \theta_a}{\left(\frac{x_1}{k_1 A_{m2}}\right) + \left(\frac{x_2}{k_2 A_{m2}}\right) + \left(\frac{1}{hc A_e}\right)} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Dónde:

- Q: Calor, [kJ].
 θ_i : Temperatura interna, [K].
 θ_a : Temperatura ambiente, [K].
 R: Resistencia térmica total [m²K/W].
 Ae: Área de transferencia [m²].
 hc: Coeficiente de convección [kcal/mh°C].
 k: Conductividad térmica del material que compone las paredes [kcal/mh°C].
 Am: Área media logarítmica [m²].
 x: Espesor la pared [m].

El área media logarítmica (Am) es aplicable para el caso de un cuerpo sólido limitado para dos superficies cilíndricas concéntricas de longitud indefinida la cual se detallará en la ecuación 5:

$$A_m = \frac{A_2 - A_1}{\ln} = \pi l \frac{d_e - d_i}{\ln\left(\frac{d_e}{d_i}\right)} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Dónde:

- Am: Área media logarítmica.
 A2: Área externa de la tubería, [m²].
 A1: Área interna de la tubería, [m²].
 de: Diámetro externo, [m].
 di: Diámetro interno, [m].
 l : Longitud del caldero, [m].

2.17.4 Conducción

Es la transferencia de calor, que se transmite por el contacto de manera directa de partículas de un medio físico a otro ver figura 15, se lo conoce también es un procedimiento de difusión, la energía térmica traspasa de un límite caliente que posee una mayor cantidad de átomos en movimiento a un límite frío, se da por un intercambio de energía intramolecular (Frank Kreith, 2012). La cual se refleja en la ecuación 6:

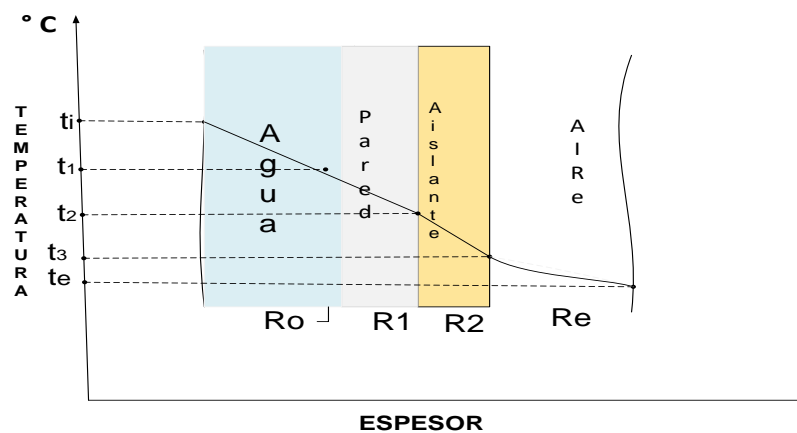


Figura 15. Esquema correspondiente a pared simple.

Tomado de (Problemas de Ingeniería Química, Madrid, Aguilar, Tomo 1).

Donde:

Ro: Resistencia interna de la película del fluido al paso del calor, [K / W].

R1: Resistencia que opone el material al paso del calor, [K / W].

R2: Resistencia que opone el material aislante al paso del calor, [K / W].

Re: Resistencia externa de la película de aire al paso del calor, [K / W].

$$Q_k^{TL} = \frac{\Delta t}{x/kAm} = \frac{\Delta t}{R} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Dónde:

Δt : Diferencia entre la temperatura del fluido y la temperatura ambiente [K].

x: Espesor de la pared [m].

- R: Resistencia térmica [m^2K/W].
 k: Conductividad térmica del material que compone la pared [$W/m K$].
 Am: Área medida logarítmica. [m^2].
 Q_k^{TL} Cantidad de calor transmitida por hora por m^2 .

2.17.5 Convección

Es la transferencia de calor que se da por el movimiento de la masa de un fluido de una sección del espacio a otra. Para entender de mejor manera el término de convección, se presenta en un sistema de calefacción de aire caliente, el fluido se transporta al ser impulsado por un ventilador, a este proceso se le conoce como convección forzada (Young, H. D,2009).

2.17.6 Calor específico

Es la cantidad de calor que un cuerpo necesita por unidad de masa de una sustancia para aumentar su temperatura en una unidad definida, ver ecuación 7 (Cengel, 2007).

$$C_p = \frac{Q}{m \cdot \Delta t} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Dónde:

Q: Transferencia de energía calorífica entre el sistema y su entorno (kW).

m: masa(kg/h).

Δt : Variación de temperatura ($^{\circ}C$).

2.17.7 Poder calorífico

Es la cantidad de energía que puede transmitir al liberar la fusión química que tiene un combustible por unidad de masa.

El poder calorífico depende de la manera en que se vaya a medir, el mismo que se divide en poder calorífico superior y poder calorífico inferior (Botta, 2018).

El poder calorífico superior es el que desprende calor en la combustión, la cual debe ser completa de un peso de 1kg de combustible, que se da cuando el vapor de agua se origina en la combustión y este se encuentra condensado y como resultado es el calor desprendido en la variación de la fase.

El poder calorífico inferior es la cantidad de calor que se desprende de igual manera en la combustión completa de 1 kg de combustible, no toma en cuenta el calor latente que emite el vapor de agua que se genera en la combustión, esto se debe a que no se produce un cambio de fase y el mismo expulsa el vapor (Botta, 2018).

2.17.8 Balance de Energía

El Balance de energía según el principio de conservación se lo expresa como el aumento o disminución de la energía total de los sistemas en un proceso es igual a la diferencia de las energías de entrada y salida en dicho proceso (Manrique,1990).

2.17.9 Aislamiento térmico

La selección del aislante adecuado debe ser en base a la temperatura externa de la pared del equipo que se va aislar. Para temperaturas comprendidas en intervalos de 130 °C a 230 °C se requiere aislantes apropiados. Estos aislantes conjuntamente con sus propiedades son importantes, ver tabla 2:

Tabla 2
Materiales de aislantes térmicos

Material	Resistencia	Resistencia	K	Disponibilidad	Límites de
----------	-------------	-------------	---	----------------	------------

	al agua	al vapor	(W/m ^o K)	en el mercado	temperatura
Corcho	Buena	Regular	0.04 - 0.30	Si	-128 °C a 148 °C
Poli estireno expandido	Excelente	Excelente	0.035 -0.059	No	-128 °C a 98 °C
Fibra de vidrio	Excelente	Moderado	0.07	Si	0 °C a 232 °C

Tomado de Rase F., H. Barrow, Ingeniería de Proyectos para plantas de procesos, México CECSA, 1981, pág. 539.

2.17.10 Pérdidas a través de los gases de escape de la chimenea

Las pérdidas de calor por los gases de combustión se determinaron mediante la ecuación 8 (Berk Z. , 2018).

$$Q_k^{TSSout} = Q_k^B - Q_k^u - Q_k^{TL1} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Dónde:

Q_k^{TSSout} : Pérdida de calor por los gases de combustión [kW].

Q_k^b : Potencia térmica del quemador [kW].

Q_k^u : Potencia útil del Caldero [kW].

Q_k^{TL1} : Pérdida de calor del caldero por transferencia de calor [kW].

3 METODOLOGÍA

3.1 Definición del problema

El consumo de combustible es un factor muy importante en la producción de lácteos, tanto en la planta de procesamiento de la UDLA como a nivel nacional. Las empresas buscan trabajar a la máxima eficiencia reduciendo el consumo de combustible. Las pérdidas de energía en el caldero y marmita se convierten

en calor disipado. De este modo, el calor disipado es el principal responsable del aumento en el consumo de combustible mientras los sistemas están en funcionamiento. Un modelado térmico en el caldero y marmita podrá brindar la oportunidad de una investigación más profunda en este tipo de pérdidas dada su relación mutua.

El consumo de combustible está relacionado directamente con la cantidad de CO₂ que se descarga al medio ambiente. Para estimar la cantidad de dióxido de carbono que según la ecuación estequiométrica que 170 gr/mol de diésel (C₁₂H₂₂) producen 528 gr/mol de CO₂.

3.2 Definición de los Sistemas

3.2.1 Caldero y Marmita (esquema)

Existen dos sistemas en el proceso de elaboración de lácteos que fueron el caldero y la marmita.

En la simulación se analizó primero del sistema del caldero–marmita con no recirculación de condensados.

En el modelo térmico de la caldera los parámetros que se consideraron fueron el poder térmico del quemador, que depende del combustible usado para calentar, de las pérdidas del caldero depende de la geometría y del material del caldero, del calor útil que será generado en el caldero y transmitido a la marmita y las pérdidas de calor a través de los gases de combustión, como se detalla en la ecuación 9 (Campos et al.,2007, pág.16).

$$m^{TSS} c^w \frac{\theta_k^{TSS1} - \theta_{k-1}^{TSS1}}{3600\Delta t_k} = Q_{.k}^b - Q_k^u - Q_k^{TSS,out} - Q_k^{TL1} \quad \forall k \in T \quad (\text{Ecuación 9})$$

Dónde:

$$m^{TSS} c^w \frac{\theta_k^{TSS1} - \theta_{k-1}^{TSS1}}{3600\Delta t_k}: \text{Calor del agua en caldero [kW].}$$

- m^{TSS} : Flujo másico de agua de alimentación del caldero [kg/h].
 C^w : Calor específico del agua [kJ/kg K].
 θ_k^{TSS1} : Temperatura del vapor al intervalo k [K].
 θ_{k-1}^{TSS1} : Temperatura del vapor al intervalo k-1 [K].
 Δt_k : Intervalo de tiempo [h].
 Q_k^b : Potencia térmica del quemador [kW].
 $Q_k^{TSS,out}$: Pérdida de calor por los gases de combustión [kW].
 Q_k^u : Potencia útil del caldero [kW].
 Q_k^{TL1} : Pérdida de calor del caldero por convección y radiación [kW].

El modelo térmico del sistema caldero-marmita se expresa con la la figura 16, y el sistema del caldero está representado por la ecuacion 9.

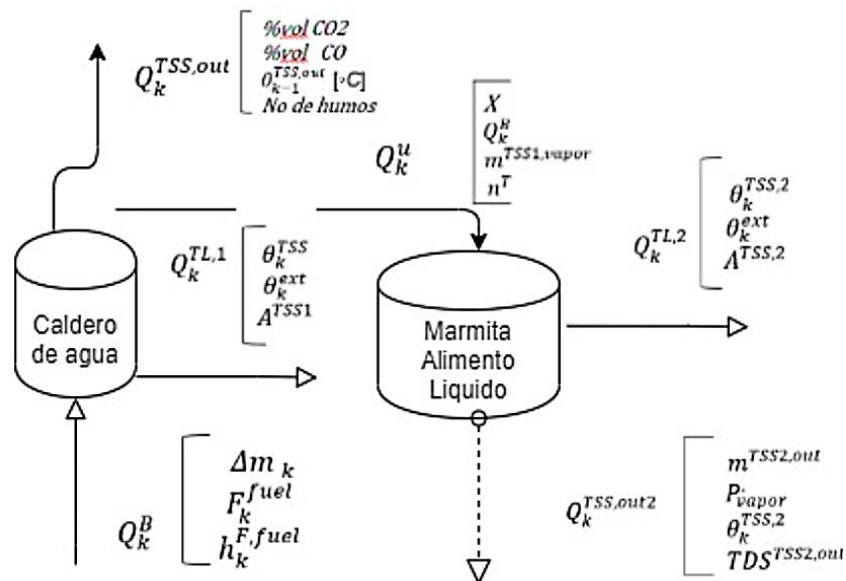


Figura 16. Diagrama de flujo del sistema

Dónde:

- Q_k^b : Potencia térmica del quemador [kW].
 Q_k^u : Potencia térmica útil del caldero [kW].
 $Q_k^{TL,1}$: Pérdida de calor del caldero por transferencia de calor [kW].
 $Q_k^{TSS1,out}$: Pérdida de calor por los gases de combustión [kW].

$Q_k^{TL,2}$:	Pérdida de calor de la marmita por transferencia de calor [kW].
$Q_k^{TSS2,out}$:	Pérdida de calor por los condensados [kW].
θ_k :	Temperatura [k].
P_v :	Presión de vapor [kg/cm ²].
Δm_k :	Flujo másico del combustible [kg/h].
$h_k^{F,fuel}$:	Poder calórico neto del combustible [kWh/kg].
$m^{TSS1 vapor}$:	Caudal másico de vapor [kg/h].
X :	Calidad del vapor [1%].

3.2.2 Variables (Caldero y Marmita)

Para calcular la cantidad de energía útil se realizó varias consideraciones tales como: el tiempo de producción de 10 horas en total, 4 horas para la producción de quesos y 6 horas para el yogurt, el encendido del caldero se lo realiza una hora antes del inicio del proceso de producción, el flujo volumétrico mínimo de combustible es de 1.8 gl/hora según placa del caldero, temperatura ambiente de 5 °C al inicio del proceso y las variaciones de temperatura durante los días en los meses de Abril y Mayo del 2020 (s.f.), cantidad de leche a procesar fue de 310 lt/día, presión constante del caldero de 60 PSI, el retorno de condensados es cero por ciento, capacidad calorífica de la leche (3.98 kJ/kg K) (A., 2007), la capacidad calorífica del agua a temperatura media (temperatura ambiente y temperatura final de calentamiento) y aislantes térmicos en buenas condiciones (fibra de vidrio) (Meteo, 2020) cómo se encuentra detallado en la tabla 3.

Tabla 3
Datos estimados

Variables Independientes (asumidos)	Variables Dependientes (calculadas)
Δm_k : Flujo másico del combustible [kg/h].	Q_k^b : Poder térmico del quemador [kW].
$m^{TSS1 vapor}$: Caudal másico de vapor [kg/h].	Q_k^u : Potencia térmica útil del caldero [kW].
θ_k : Temperatura [k].	

<p>P_v: Presión de vapor [kg/cm²].</p> <p>Δt_k: Intervalo de tiempo [min].</p> <p>m^{TSS}: Flujo másico de agua de alimentación del caldero [kg/h].</p> <p>A^{TSS}: Área de transferencia de calor [m²].</p> <p>d_i: Diámetro interior del caldero [m].</p> <p>d_o: Diámetro exterior del caldero [m].</p> <p>l: Longitud del caldero [m].</p> <p>$m^{TSS1\text{ purga}}$: Cantidad de agua purgada [kg/h].</p> <p>Δm_k: Masa de combustible consumida por una hora $\rho_k = m / v$</p>	<p>n^T: Eficiencia térmica del caldero [%].</p> <p>$Q_k^{TL,1}$: Pérdida de calor del caldero por convección y radiación [kW].</p> <p>$Q_k^{TSS1,out}$: Pérdida de calor por los gases de combustión [kW].</p> <p>$Q_k^{TL,2}$: Pérdida de calor de por convección y conducción de la marmita [kW].</p> <p>$Q_k^{TSS2,out}$: Pérdida de calor por los condensados [kW].</p> <p>R. Resistencias caloríficas</p> <p>$Q_p^{TL\text{ purga}}$: Pérdida de calor por purgas [kW].</p> <p>X: Calidad del vapor (variables de la ecuación son medibles)</p> <p>$m^{TSS1\text{ vapor}}$: Caudal másico de vapor</p>
--	--

3.3 Formulación conceptual del modelo

En el modelo térmico se analizaron dos sistemas (caldero- marmita), ver figura 17.

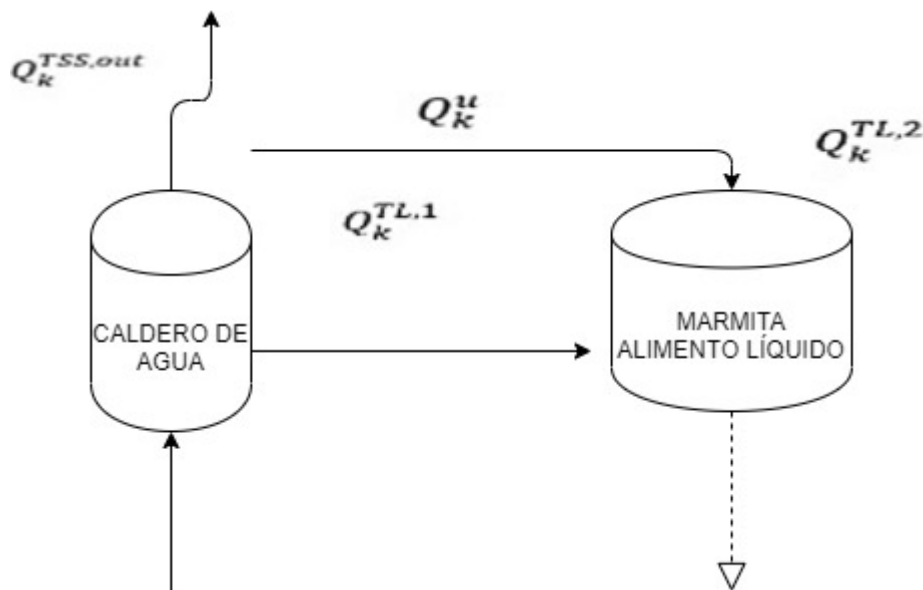


Figura 17. Proceso caldero - marmita

3.3.1 Sistema Marmita

En el sistema de la marmita fueron asumidas las siguiente variables: masa de leche a procesar (m^{TSS}), temperatura ambiente que cambia según la hora del día (θ_k^{ext}), incremento de tiempo (Δt_k), tiempo de proceso (t), variación de temperatura desde un tiempo k a $k-1$, densidad de la leche (ρ_k), temperatura de la leche (θ_k^{TSS2}) y volumen de leche a procesar (v).

En el modelo térmico se calcularon las siguientes variables:

Calor útil de la marmita (Q_k^{u2}), masa de la leche a procesar ($m^{TSS,2}$), calor específico de la leche (c^f), temperatura de la leche (θ_k^{TSS2}), temperatura ambiente (θ_k^{ext}), incremento de tiempo asumido (Δt_k), calor útil del caldero (Q_k^u), pérdida de calor de la marmita ($Q_k^{TL,2}$) y pérdida de calor por condensados ($Q_k^{TSS2,out}$).

3.3.2 Sistema Caldero

En el sistema del caldero fueron asumidas las siguiente variables: masa de agua del caldero (m^{TSS}), calor específico del agua (c^w), temperatura de vapor (θ_k^{TSS1}), incremento de tiempo (Δt_k), densidad de diésel (ρ_k), poder calorífico de combustible ($h_k^{F,fuel}$), flujo de combustible del quemador (F^{fuel}), eficiencia térmica caldero (n^T), flujo másico del combustible (Δmk), potencia del caldero (334714 [BTU/H]) y el calor requerido del caldero (412880 [BTU/H]).

Para el modelo térmico se calcularon las siguientes variables:

Potencia térmica del quemador (Q_k^b), potencia térmica útil del caldero (Q_k^u), pérdida de calor del caldero por convección y radiación (Q_k^{TL1}), perdida de calor por condensados ($Q_k^{TSS,out}$) y consumo másico del combustible (Δmk).

3.4 Proceso de elaboración de quesos

3.4.1 Formulación conceptual del sistema quesos

Las variables que se tomaron en cuenta en este sistema son: la cantidad de energía necesaria para realizar el proceso de quesos, cantidad de energía que se pierde en el caldero y la marmita, la potencia térmica del quemador, el caudal másico del combustible, eficiencia térmica del caldero y resistencias térmicas.

Para determinar la cantidad de energía útil para el proceso de la elaboración del queso se calculó con la ecuación 11, con variación de tiempo y temperatura ver tabla 4.

Tabla 4

Temperatura y tiempo del caldero en la producción de quesos.

Temperatura [°K]	Tiempo [min]
278	0
297	10,0
321	20,0
345	30,0
368	40,0
392	50,0
416	60,0
416	70,0
416	80,0
416	90,0
416	100,0
416	110,0
416	120,0
416	130,0
416	140,0
416	150,0
416	160,0
416	170,0
416	180,0

416	190,0
416	200,0
416	210,0
416	220,0
416	230,0
416	240,0

Los primeros 60 minutos de la tabla indican el incremento de temperatura del agua del caldero hasta llegar hasta la temperatura máxima de 416 °K y 60 PSI de presión. Además, describe la temperatura de vapor constante y los incrementos de tiempo que se realizó cada 10 minutos hasta llegar a la temperatura de 346 °K para la pasteurización de la leche.

En el modelo térmico del caldero se calculó la energía útil y las pérdidas que se producen en el sistema.

3.4.2 Sistema caldero

Para el modelo térmico del caldero se utilizaron varias ecuaciones de referencia bibliográfica (Campos et al.,2007, pág.16), que fueron adaptadas para el sistema caldero- marmita.

Para determinar el calor útil del caldero (Q_k^u), se utilizó la ecuación 9, para este análisis se realizó las siguientes consideraciones: eficiencia térmica del caldero (n^T) constante, poder neto calorífico del combustible ($h_k^{F, fuel}$) corresponde al diésel y el consumo másico del diésel (Δm_k) en un intervalo de tiempo, ver ecuación 10 y 11.

$$Q_k^u = Q_k^b n^T \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$n^T = \frac{\text{Potencia Caldero}}{\text{Calor Requerido}} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Dónde:

Q_k^u : Potencia térmica útil del caldero [kW].

Q_k^b : Potencia térmica del quemador [kW].

n^T : Eficiencia térmica del caldero [%].

$$Q_k^b = \Delta m_k h_k^{F, fuel} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Dónde:

Q_k^b : Potencia térmica del quemador [kW].

$h_k^{F, fuel}$: Poder calorífico neto del combustible [kJ/kg].

Δm_k : Consumo másico del diésel [kg].

Poder calorífico neto del combustible ($h_k^{F, fuel}$) fue obtenido a través de la referencia bibliografía (Berk, 2018) y la masa de combustible de la placa del caldero, ver ecuación 12.

Las pérdidas de calor por conducción y convección (Q_k^{TL}) fueron analizadas con la ecuación 13, en la misma que representó la transferencia de calor entre el agua del caldero y el ambiente. La temperatura ambiente de Nono se consideró que varía hora a hora durante el tiempo de procesamiento del queso y del yogurt y la del caldero fue constante. El parámetro de transmisión de calor se calculó tomando en cuenta la forma geométrica y el material del caldero, como se describe en la ecuación 14. Los parámetros de la ecuación 13 que se consideraron son:

Q_k^{TL1} : Pérdida de calor del caldero por convección y radiación [kW].

U^{TSS1} : Calor de transferencia del caldero [kW/ m² K].

A^{TSS1} : Área de transferencia de calor [m²].

θ_k^{TSS1} : Temperatura del vapor al intervalo k [K]

θ_k^{ext} : Temperatura ambiente [k].

$$Q_k^{TL1} = U^{TSS1} A^{TSS1} (\theta_k^{TSS1} - \theta_k^{ext}) \quad (\text{Ecuación 13})$$

$$\frac{1}{U^{TSS1}} = \frac{1}{h_1} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_2} \quad (\text{Ecuación 14})$$

La ecuación 14 fue tomada de (Berk, 2018) y los parámetros que fueron utilizados son:

- x: Espesor de la pared del caldero [m].
- k: Conductividad térmica de la pared [W/ m °K].
- h₁: Coeficiente de transferencia de calor del lado A del caldero [W/m²K].
- h₂: Coeficiente de transferencia de calor del lado B del caldero [W/m²K].

La variación de temperatura en el agua del caldero fue analizada en la ecuación 9. Se realizó la simulación considerando la diferencia de temperatura del agua entre el intervalo de tiempo k y k-1 (10 minutos). La ecuación térmica del quemador se analizará de forma similar al poder térmico del caldero, la principal diferencia que se consideró fue la eficiencia del quemador en el 100%. Los parámetros de la ecuación 9 son:

- m^{TSS}: Flujo másico de agua de alimentación del caldero [kg/h].
- C^w: Calor específico del agua [kJ/kg K].
- θ_k^{TSS1}: Temperatura del vapor al intervalo k [K].
- θ_{k-1}^{TSS1}: Temperatura del vapor al intervalo k-1 [K].
- Δt_k: Intervalo de tiempo [h].
- Q_k^b: Potencia térmica del quemador [kW].
- Q_k^{TSS,out.}: Pérdida de calor por los gases de combustión [kW].
- Q_k^u: Potencia útil del caldero [kW].
- Q_k^{TL1}: Pérdida de calor del caldero por convección y conducción [kW].

3.4.2.1 Descripción del caldero

El caldero tiene una potencia de 10 BHP, que está construido de acero ASTM2380/A35 (acero negro) con un espesor de 9 mm, completamente automático, fabricado en tubería especial. Recubierto de aislamiento mineral con fibra de vidrio; además, tiene una cubierta de lámina de acero inoxidable AISI304. La producción de vapor es de 290 lb. v/hora, la presión de diseño es de 120psi; el consumo de diesel es de 1.8 a 3.2 gl/hora, calor requerido: 412.880 BTU/hora.

3.4.3 Sistema marmita

En el modelo térmico de la marmita se analizó las variaciones de temperatura de la leche en el proceso de producción de quesos. La ecuación 15 se utilizó para calcular el calor específico del fluido (leche), tomada de (Berk, 2018), donde se analizó el calor específico utilizando la composición de sal, carbohidratos, proteínas, lípidos y agua en la leche.

Para analizar este modelo se utilizaron los parámetros de la potencia útil del caldero (Q_k^u) que fueron los mismos del modelo térmico del caldero, se calculó la ecuación 17. El siguiente parámetro de la ecuación térmica de la marmita fue la pérdida de calor por condensados ($Q_k^{TSS,out1}$), que salen de la marmita en el proceso de producción del queso, que fue calculado mediante un balance de energía, el mismo que se utilizó para disminuir la temperatura de la marmita en el proceso, el calor que pierde la leche (Q_k^{u2}) menos la pérdida de calor por conducción y convección en la marmita (Q_k^{TL2}) y el último parámetro fue la pérdida de calor de la marmita (Q_k^{TL2}) que representó la transferencia de calor entre el vapor de la marmita y el ambiente, calculado con la ecuación 13.

$$c^f = 4.18(0.2X_{salt} + 0.34X_{carbohidratos} + 0.37X_{prot} + 0.4X_{lipidos} + X_{agua})[kJ/kgK]$$

(Ecuación 15)

Los parámetros de la ecuación 16 son:

m^{TSS2} :	Flujo másico de agua de alimentación del caldero [kg/h].
c^f :	Calor específico de la leche [kJ/kg K].
θ_k^{TSS2} :	Temperatura del vapor al intervalo k [K].
θ_{k-1}^{TSS2} :	Temperatura del vapor al intervalo k-1 [K].
Δt_k :	Intervalo de tiempo [h].
$Q_k^{TSS,out}$:	Pérdida de calor por los gases de combustión [kW].
Q_k^u :	Potencia útil del caldero [kW].
$Q_k^{TL,2}$:	Pérdida de calor del caldero por convección y conducción [kW].

$$m^{TSS} c^f \frac{\theta_k^{TSS2} - \theta_{k-1}^{TSS2}}{3600 \Delta t_k} = Q_k^u - Q_k^{TSS,out} - Q_k^{TL,2} \quad \forall k \in T \quad (\text{Ecuación 16})$$

Los parámetros de la ecuación 17 son:

Q_k^{u2} :	Calor útil de la marmita [kW].
m^{TSS} :	Masa de la leche a procesar [kg/h].
c^f :	Calor específico de la leche [kJ/kg K].
θ_k^{TSS2} :	Temperatura de la leche al tiempo k.
θ_{k-1}^{TSS} :	Temperatura de la leche al tiempo k-1.

$$Q_k^{u2} = m^{TSS} * c^f * (\theta_k^{TSS2} - \theta_{k-1}^{TSS}) \quad (\text{Ecuación 17})$$

Descripción de la marmita

Para la elaboración del queso se utilizó una marmita de 0.30 metros de radio, 0.67m de longitud y 6mm de espesor construido en acero inoxidable, recubierta de un aislante térmico de 10mm (fibra de vidrio), en la estructura de la marmita existe un ducto por el cual conduce el vapor que va a calentar la leche desde la temperatura ambiente hasta 73°C de temperatura, para que se realice la pasteurización por 30 segundos.

3.5 Proceso de elaboración yogurt

3.5.1 Sistema del caldero

Para el sistema térmico caldero-marmita se utilizaron varias ecuaciones de referencia bibliográfica (Campos et al.,2007, pág.16), que fueron adaptadas para este sistema.

Para determinar el calor útil del caldero (Q_k^u), se utilizó la ecuación 9, para este análisis se realizó las siguientes consideraciones: eficiencia térmica del caldero (η^T) constante, poder neto calorífico del combustible ($h_k^{F, fuel}$) corresponde al diésel y el consumo másico del diésel (Δm_k) en un intervalo de tiempo. Para estos cálculos se utilizaron las ecuaciones siguientes: 10,11,12,13 y 14 detalladas en el proceso de elaboración de quesos.

Para el procesamiento de yogurt, las pérdidas de calor por conducción y convección (Q_k^{TL}) fueron analizadas con la ecuación 13, en la misma que representó la transferencia de calor entre el agua del caldero y el ambiente. La temperatura ambiente de Nono y la del caldero fueron consideradas constantes. El parámetro de transmisión de calor se calculó tomando en cuenta la forma geométrica y el material del caldero, como se describe en la ecuación 14. Los parámetros de la ecuación 13 y 14 que se consideraron para este proceso fueron los mismos que se describieron en el modelo térmico del caldero del proceso de quesos.

La variación de temperatura en el agua del caldero fue analizada en la ecuación 9, de forma similar a la simulación que se consideró para el proceso de elaboración de quesos.

3.5.1.1 Descripción del caldero

Los datos del caldero fueron descritos de forma detallada en el sistema de caldero del proceso de elaboración de quesos.

3.5.2 Sistema marmita

En el sistema de la marmita para la elaboración de yogurt, las ecuaciones que se aplicaron para los respectivos cálculos fueron: 9,10,13,15,16 y 17, y los parámetros analizados para este proceso son los mismos que se utilizaron en la elaboración de quesos.

Descripción de la marmita

Para la elaboración del yogurt se utilizó una marmita de 0.30 metros de radio, 0.67m de longitud y 6mm de espesor construido en acero inoxidable, recubierta de un aislante térmico de 10mm (fibra de vidrio), en la estructura de la marmita existe un ducto por el cual conduce el vapor que va a calentar la leche desde la temperatura ambiente hasta 90°C de temperatura, a la cual se realiza la pasteurización que dura 10 minutos.

3.6 Verificación y validación

Con el modelo térmico caldero-marmita, se calculó el consumo de diésel por un período determinado de tiempo (un mes) para los procesos de quesos y yogurt, y, comparar con el consumo real en el mismo período de tiempo.

3.7 Análisis de sensibilidad

Con el modelo térmico se realizaron simulaciones para estimar el consumo de combustible para el proceso de quesos y yogurt en un tiempo determinado (un mes), para esto se consideraron tres simulaciones que fueron:

Simulación 1: Incremento del espesor del aislante térmico en el caldero.

Para esta simulación se incrementó el espesor del aislante térmico 11mm a 22 mm con el mismo aislante (fibra de vidrio) de conductividad térmica de 0.07 W/m°K determinando el consumo de combustible.

Simulación 2: Cambio de aislante térmico.

Para esta simulación se cambió el aislante térmico (fibra de vidrio) de conductividad térmica de 0.07 W/m°K a otro de menor conductividad térmica (corcho) 0.04 W/m°K. y se determinó el consumo de combustible.

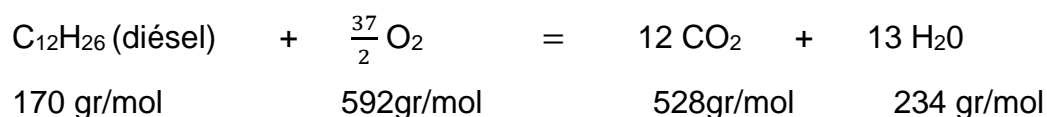
Simulación 3: Recirculación de los condensados

En esta simulación los condensados descargados desde la marmita fueron recirculados al caldero y se cuantificó el consumo de combustible.

3.8 Cálculo de la emisión de CO₂

Para estimar la cantidad de CO₂ que se descarga al ambiente, se relacionó los gramos /mol de combustible para este caso fue el diésel, con los gramos/mol de CO₂ que se produce en la combustión y el consumo de diésel estimado a través del modelo térmico, ver ecuación estequiométrica.

Ecuación estequiométrica



4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Datos preliminares proceso quesos

Los datos preliminares fueron obtenidos de fuentes bibliográficas, ficha técnica de los equipos, información proporcionada de la planta de producción y datos meteorológicos (s.f.; Uda,2020; Berk, 2018), que se demuestran en las tablas 5 y 6.

Tabla 5

Datos modelo térmico del caldero

MODELO TÉRMICO DEL CALDERO										
DATOS:										
m^{TSS}	C^W	θ_k^{TSS}	Δt_k	ρ_k	$h^{F,fuel}$	F^{fuel}	η^T	Potencia del caldero	Calor requerido del caldero	Δm_k
[Kg/h]	[kJ/kgK]	°C	min	[kg/lt]	[kWh/kg]	[g/h]	[%]	[BTU/H]	[BTU/H]	[kg/h]
131.8	4.184	143	1	0.85	12	1.8	81	334714	412880	5.79

Tabla 6

Datos modelo térmico marmita

MODELO TÉRMICO DE LA MARMITA								
DATOS								
v	m^{TSS}	θ_{k-1}^{TSS}	Horario	Δt_k	$\Delta \theta_k^{TSS}$	t	ρ_L	θ_k^{TSS2}
lt	Kg	°C	h	min	°C	min	kg/lt	°C
180	183.6	5	7:00	10	10	68	1.02	73
		5	8:00		-10			
		7	9:00		2			
		9	10:00					
		10	11:00					
		12	12:00					
		12	13:00					
		11	14:00					
		10	15:00					
		10	16:00					

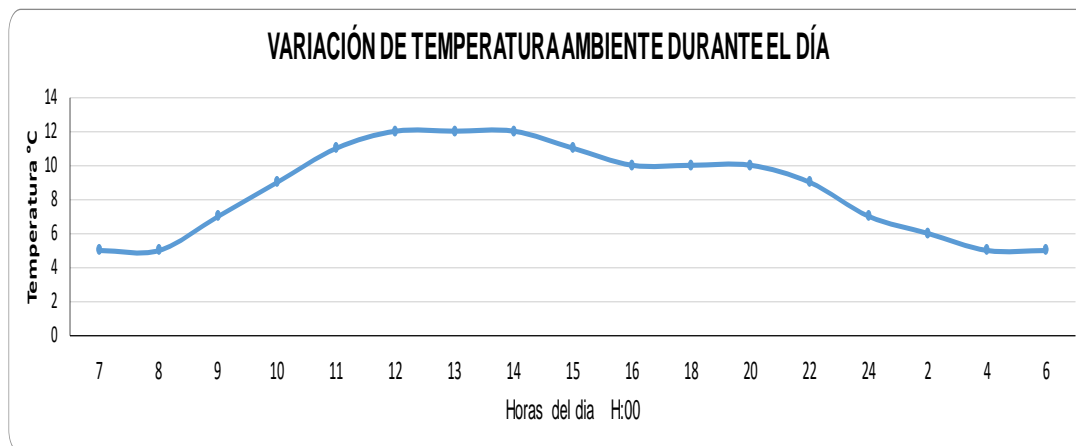


Figura 18. Variación de temperatura durante el día en Nono

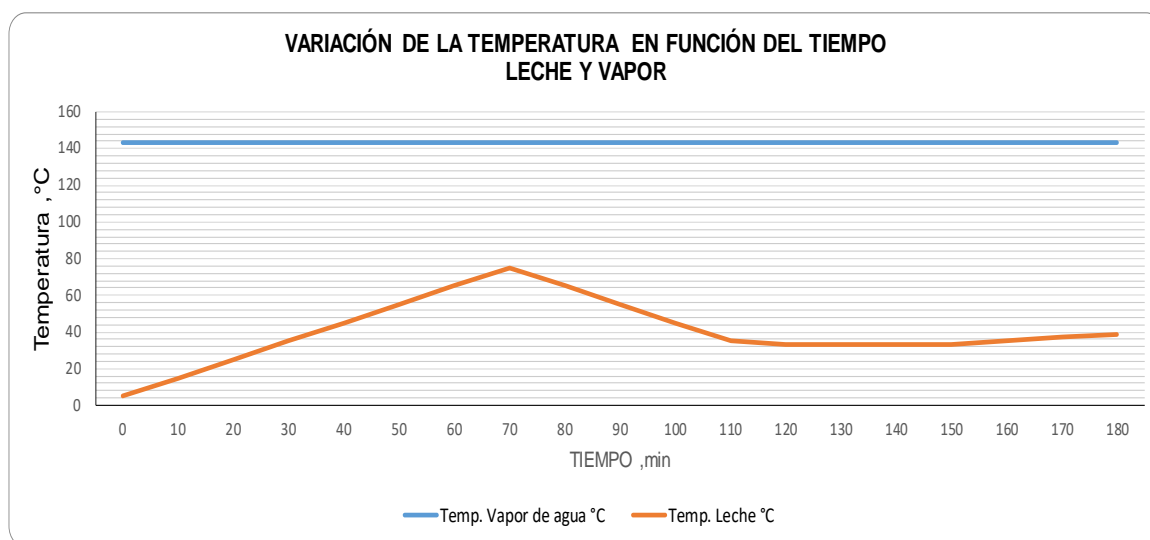


Figura 19. Variación de temperatura en función del tiempo vapor y leche.

En la figura 19 se observa incremento de la temperatura desde 5 ° hasta 73 °C de la leche en 70 minutos. En 73 °C pasa la leche por 10 seg. Para el proceso de pasteurización. Luego la leche pasa a la etapa de enfriamiento desde el minuto 70 al 110 para bajar la temperatura desde los 73 °C a 35 °C. Desde el minuto 110 hasta el 130 continúa descendiendo hasta 33 °C. desde el minuto 130 al 150 la temperatura permanece constante, en este periodo de tiempo se realizan los procesos coagulación, corte y batido. Desde el minuto 150 hasta el 180 se incrementa la temperatura desde 33 °C a 39 °C. A esta temperatura se realiza proceso de salado y moldeado y luego pasa al moldeado.

4.2 Datos preliminares proceso yogurt

Tabla 7

Datos modelo térmico del caldero

MODELO TÉRMICO DEL CALDERO										
DATOS:										
m^{TSS}	C^w	θ_k^{TSS1}	Δt_k	ρ_k	$h_k^{F.fuel}$	F^{fuel}	η^T	Potencia del caldero	Calor requerido del caldero	Δm_k
[Kg/h]	[kJ/kgK]	°C	min	[kg/lt]	[kWh/kg]	[gl/h]	[%]	[BTU/H]	[BTU/H]	[kg/min]
131.8	4.184	143	10	0.85	12	1.8	81	334714	412880	5.78

Tabla 8

Datos modelo térmico de la marmita

MODELO TÉRMICO DE LA MARMITA								
DATOS								
v	m^{TSS}	θ_{k-1}^{TSS}	Horario	Δt_k	$\Delta \theta_k^{TSS}$	t	ρ_L	θ_k^{TSS2}
lt	Kg	°C	h	min	°C	min	kg/lt	°C
130	132.6	5	8:00	10	12	80	1.02	90
		6	9:00	70	-22.5			
		6	10:00		-40			
		8	11:00					
		10	12:00					
		10	13:00					
		12	14:00					
		11	15:00					
		10	16:00					

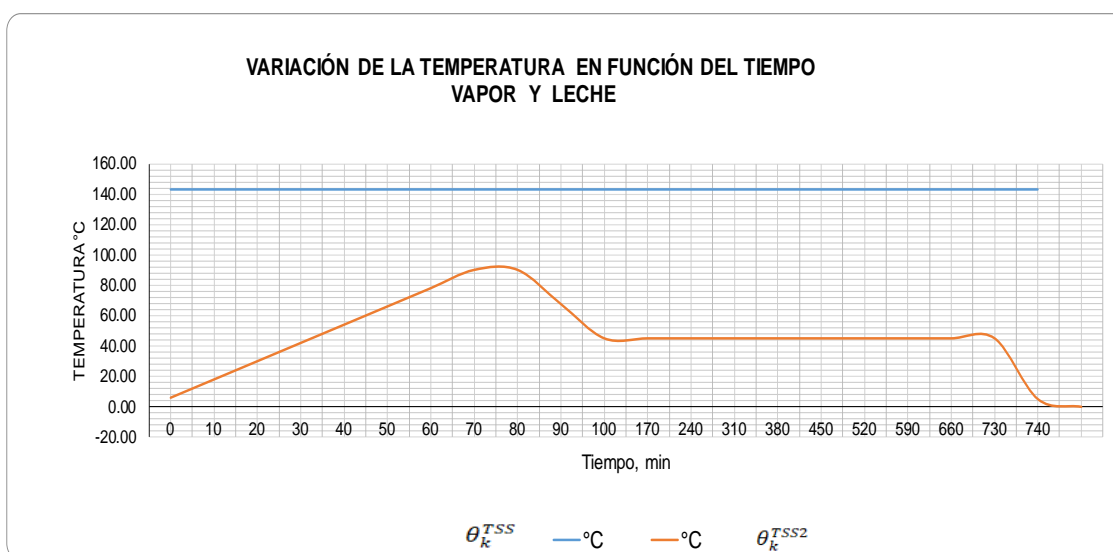


Figura 20. Variación de temperatura en función del tiempo vapor y leche.

En la figura 20 se apreció el incremento de temperatura de la leche desde 5 °C hasta 90 °C, el tiempo estimado para este calentamiento es 70 minutos. La leche permaneció a 90 °C por 10 minutos para el proceso de pasteurización, es decir, hasta el minuto 80. Luego pasó al proceso de enfriamiento desde el minuto 80 hasta el 100 para que descienda la temperatura de 90 °C a 45 °C. A esta temperatura la leche pasó por 630 minutos, desde el minuto 100 hasta el 730. En este período de tiempo se produjo el descremado aproximadamente a los 110 minutos y continuó con la fermentación hasta el minuto 720 que concluyó con el control de pH. Del minuto 720 al 730 se realizó la mezcla de azúcar y saborizantes. Para concluir el proceso se enfrió el producto hasta 5 °C para el envasado y almacenamiento.

4.3 Analizar el consumo de combustible

Al aplicar el modelo térmico se estimó el consumo de combustible (diésel), para la producción de queso en 46.0 lt/mes (ver anexo 1) que representa el 56% y para el yogurt fue de 36.0 lt/mes (ver anexo 2) que representó el 44% del total de consumo que fue de 82.0 lt/mes.

4.4 Comparar con el consumo de combustible real

El dato proporcionado del consumo de combustible en la planta de producción de la Granja UDLA fue entre 60lt a 90lt mensuales. El valor estimado de consumo de diésel al aplicar el modelo térmico fue de 82.0 lt/mes, valor que estuvo dentro del rango del consumo real.

4.5 Verificación y Validación

La cantidad estimada de diésel con el modelo térmico es de 82.0 lt/mes que al comparar con el dato real que está entre 60 lt/mes a 90 lt/mes (dato proporcionado por planta de producción Udla), valor que se encuentra dentro del rango.

Pero es importante señalar que la diferencia de 8.0 lt/mes entre el consumo máximo que es de 90 lt/mes y el consumo de combustible (diésel) que fue calculado, se debió a que se realizaron diferentes consideraciones como son: temperatura ambiente constante por largos períodos de tiempo, se asumió el tiempo de duración de cada etapa de proceso en la elaboración de productos lácteos, los aislantes térmicos en perfectas condiciones, volumen de agua del caldero constante, presión del caldero constante, no se consideró las pérdidas de calor por purgas y la eficiencia del quemador del 100%.

4.6 Análisis de sensibilidad

Con el modelo térmico se realizaron simulaciones para estimar el consumo de combustible en la producción de quesos y yogurt en un tiempo determinado (un mes), para este estudio se consideraron tres alternativas que fueron:

Alternativa 1: Incremento del espesor del aislante térmico en el caldero.

En esta alternativa se consideró la variación del espesor del aislante térmico de 11 mm a 22mm manteniendo el mismo material (fibra de vidrio) de 0,07 W/m^{°K} de conductividad térmica. Con la cual se obtuvo los siguientes resultados: para la producción de quesos el consumo de diésel fue de 38.0 lt/mes (anexo 3, 4) y para yogurt de 28.1 lt/mes (anexo 5, 6), dando un total de 66.1 lt/mes, que al comparar con el consumo estimado actual de 82.0 lt/mes, se obtuvo una reducción de 15.6 lt/mes en el consumo de diésel, lo cual representa el 19%.

En cuanto a las descargas de CO₂ al ambiente por el consumo de combustible, se determinó que al consumir 82.0 lt/mes se descargaron 216,1 kg/mes CO₂ al ambiente, que al comparar con el dato obtenido de la alternativa 1 de 66.1 lt/mes de consumo de combustible, la cantidad de CO₂ descargada fue de 174,7 kg/mes, es decir, que existió una disminución de 41.4 kg/mes que representó el 19.1% de la descarga de CO₂.

Alternativa 2: Cambio de aislante.

Para esta alternativa se cambió el aislante térmico (fibra de vidrio) de conductividad térmica $0.07 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ a otro de menor conductividad térmica $0.04 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ como es el corcho, obteniéndose los siguientes resultados en la simulación: para la producción de quesos el consumo estimado de diésel fue de 37.1 lt/mes (anexo 7, 8) y para el yogurt 27.3 lt/mes (anexo 9,10) con un total de 64.8 lt/mes , que al comparar con el consumo estimado actual de 82.0 lt/mes , se obtuvo una disminución en el consumo de diésel de 16.9 lt/mes , lo cual representa el 20,6%.

Al consumir 82.0 lt/mes de combustible se descargó 216.1 kg/mes de CO_2 al ambiente, al aplicar esta alternativa la descarga fue de 170.0 kg/mes de CO_2 , con un consumo de 64.8 lt/mes de diésel, es decir, se tiene una disminución en la descarga de CO_2 de 46.1 kg/mes que representó el 21.3%.

Alternativa 3: Recirculación de los condensados

Al aplicar la alternativa 3 en el modelo térmico con la recuperación de condensados se obtuvieron los siguientes resultados: en la producción de quesos el consumo de diésel fue 29.4 lt/mes (anexo 11,12) y en yogurt 40.2 lt/mes (anexo 13,14), para un total de 69.6 lt/mes , que al comparar con el consumo estimado actual de 82.0 lt/mes se obtuvo una reducción de 12.4 lt/mes , es decir, que representa el 15.1% menos en el consumo de diésel.

La cantidad de CO_2 que se descargó al ambiente fue de $216,1 \text{ kg/mes}$ CO_2 para un consumo de diésel 82.0 lt/mes . En el cálculo de simulación con la recuperación de condensados la descarga de CO_2 fue de 183.4 kg/mes para un consumo de 69.6 lt/mes de diésel, es decir, existió una reducción de 32.7 kg/mes de descarga de CO_2 que representa 15.1%.

4.7 Gráficos de calor del proceso de quesos

4.7.1 Gráficos de calor en la marmita

La figura 21 representó los distintos flujos de calor del modelo térmico del sistema marmita en el proceso de elaboración de quesos.

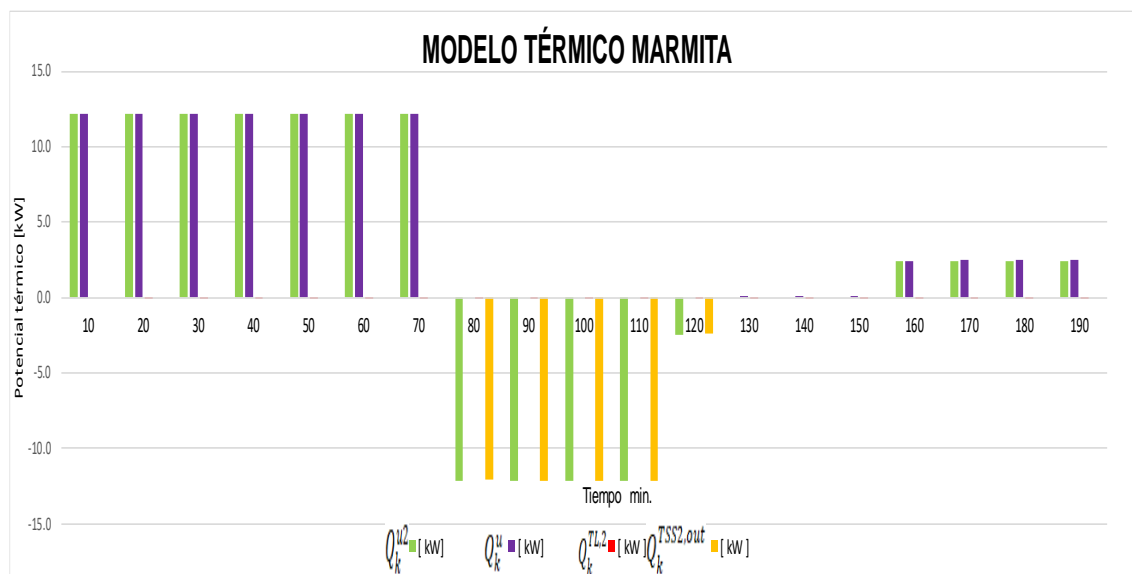


Figura 21. Modelo térmico marmita (quesos)

Justificación

La figura 21 representó la simulación de los distintos flujos de calor o potencia del proceso de la elaboración de quesos en la marmita, la misma que indica desde el minuto 0 al minuto 70 calienta el agua del caldero, en el minuto 70 se realizó el proceso de pasteurización por 30 seg., del minuto 70 al 130 empezó a enfriarse la leche, desde el minuto 130 al 160 la temperatura de la leche se mantiene constante, al minuto 160 al 190 se calculó el calor para aumentar la temperatura del cuajo y se utilizó el rango del caudal mínimo de combustible para llegar a dichas temperaturas.

Para calcular las variables del sistema tales como: calor útil de la marmita, pérdidas de calor por conducción y convección, y, pérdidas de calor por condensados, se consideró la variación de temperatura en función del tiempo;

con estos datos se determinó el consumo de combustible para este proceso (anexo1).

4.7.2 Gráficos de calor proceso caldero

La figura 22 representó las distintas potencias de calor del modelo térmico del caldero en el proceso de elaboración de quesos.

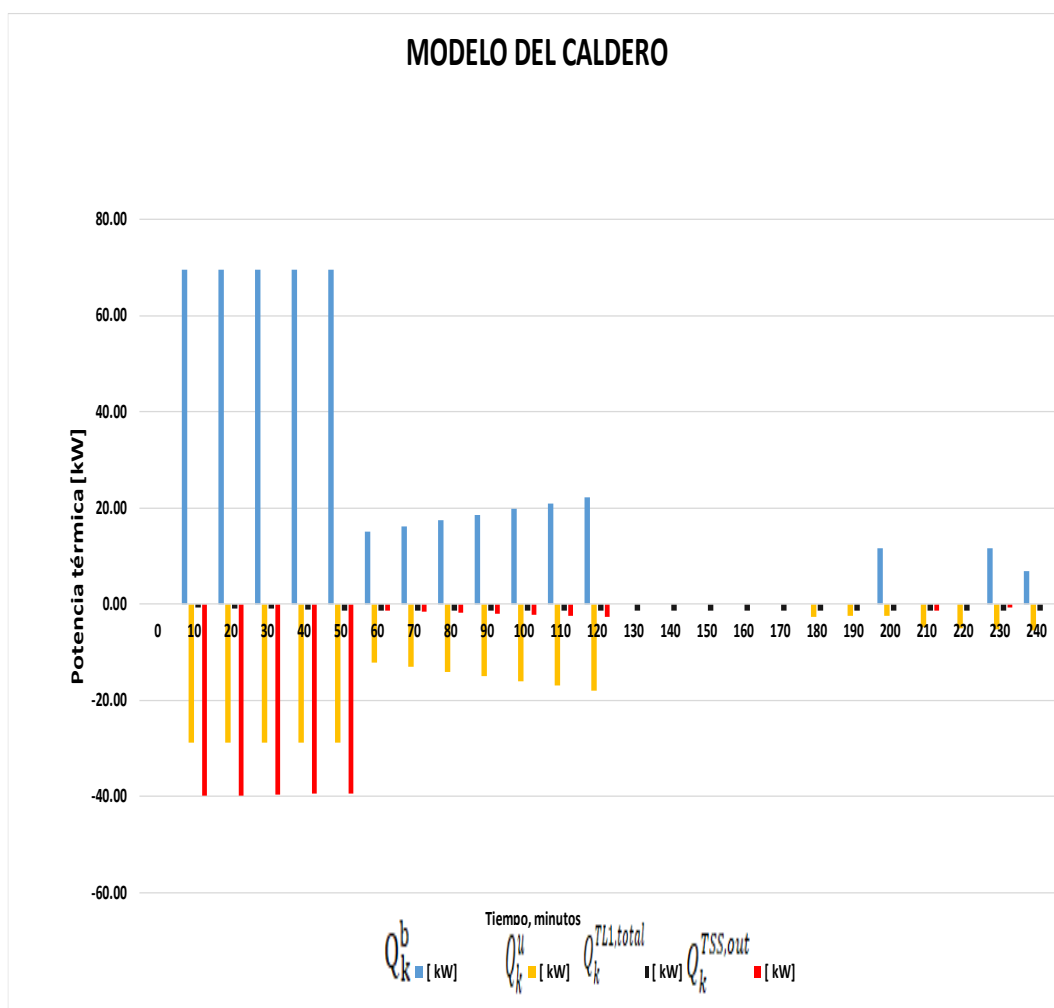


Figura 22. Modelo térmico caldero

Justificación

La figura 22 interpretó la simulación de los distintos flujos de calor o potencia del caldero en el procesamiento de quesos en el caldero, la misma que indica desde el minuto 0 al minuto 70 calienta el agua del caldero, desde el minuto 70

al minuto 130 se utilizó el rango del caudal mínimo de combustible para mantener constante la temperatura de vapor, del minuto 130 al 160 la temperatura se mantiene constante no existe consumo de combustible, al minuto 160 al 190 se calculó el calor para aumentar la temperatura del agua y se utilizó el rango del caudal mínimo de combustible para llegar a dichas temperaturas.

Para calcular las variables del sistema tales como: calor útil del caldero, pérdidas de calor por conducción y convección, y, pérdidas de calor en los gases de combustión, se consideró la variación de temperatura en función del tiempo. Otro parámetro que se determinó fue el calor del quemador del caldero, con todos estos datos se estimó el consumo de combustible para este proceso (anexo 15).

4.8 Yogur

4.8.1 Gráficos de calor en la marmita

La figura 23 representó los distintos flujos de calor del modelo térmico del sistema marmita en el proceso de elaboración de yogurt.

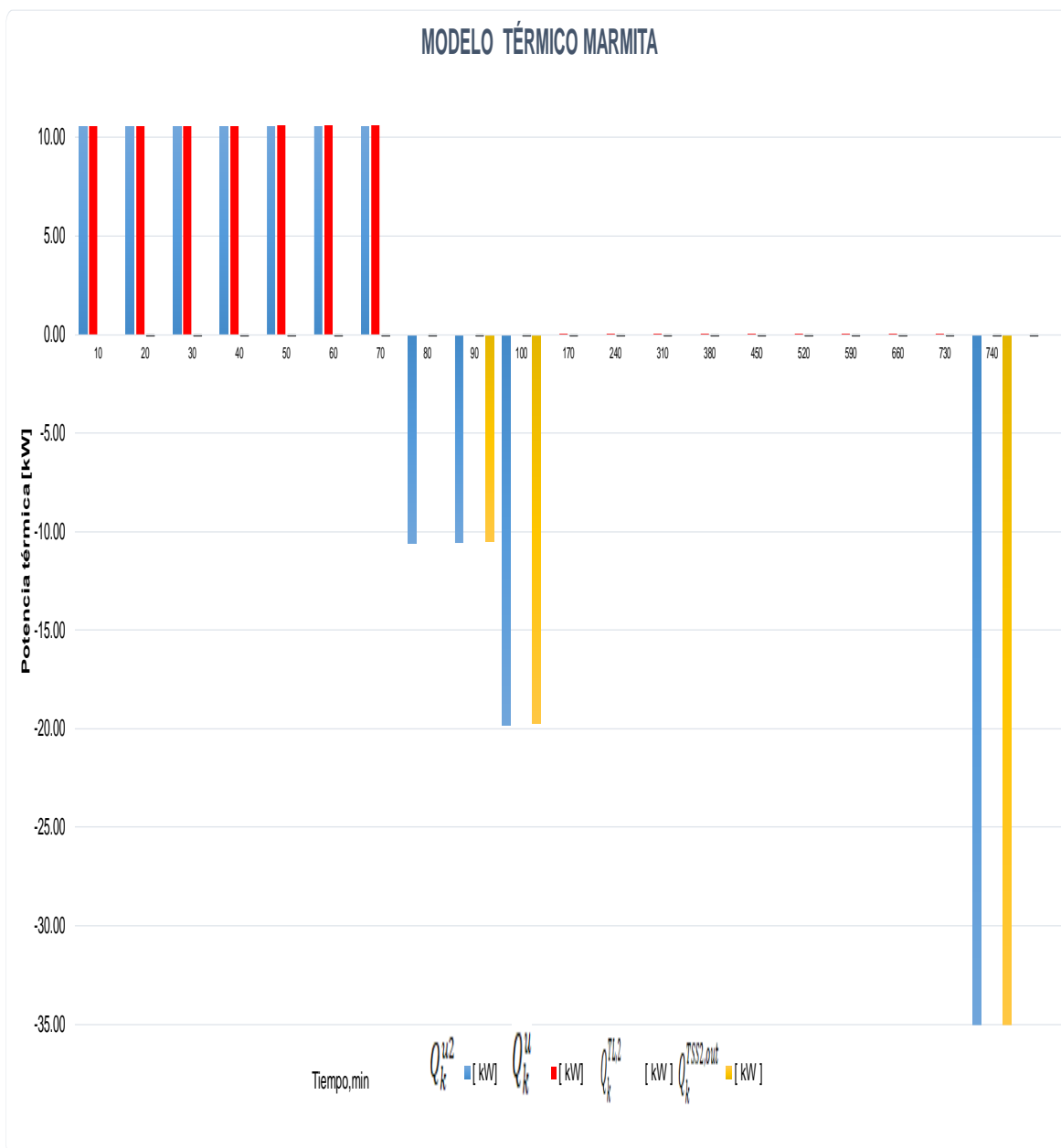


Figura 23. Modelo térmico marmita

Justificación

La figura 23 determinó la simulación de los distintos flujos de calor o potencia del proceso de la elaboración del yogurt en la marmita, la misma que indica desde el minuto 0 al minuto 70 calienta la leche, desde el minuto 70 al minuto 100 se enfría la leche, del minuto 100 al 730 se mantiene la temperatura de la leche constante, por lo tanto, no existe consumo de combustible. En el minuto

240 y 590 existe un consumo de combustible que se calcula con el rango caudal mínimo de combustible para mantener la temperatura constante del agua.

Para calcular las variables del sistema tales como: calor útil de la marmita, pérdidas de calor por conducción y convección, y, pérdidas de calor por condensados, se consideró la variación de temperatura en función del tiempo; con estos datos se obtuvo el consumo de combustible para este proceso (anexo 2).

4.8.2 Gráficos de calor proceso caldero

La figura 24 representó las distintas potencias de calor del modelo térmico del caldero en el proceso de elaboración de yogurt.

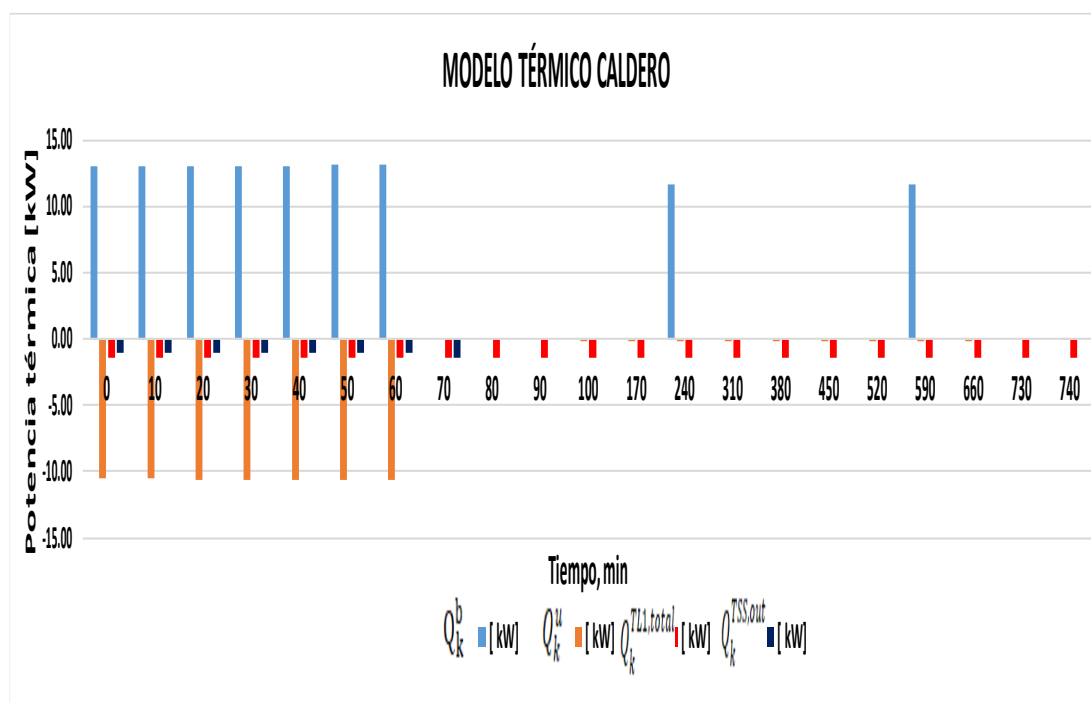


Figura 24. Modelo térmico caldero

Justificación

La figura 24 representó la simulación de los distintos flujos de calor o potencia en el caldero del procesamiento del yogurt, la misma que indica, desde el

minuto 0 al 70 existe energía positiva, del minuto 70 al 740 la energía es negativa, se calculó el calor para aumentar la temperatura del agua y se utilizó el rango del caudal mínimo de combustible para mantener la temperatura constante del agua.

Para calcular las variables del sistema como son: calor útil del caldero, pérdidas de calor por conducción y convección, y pérdidas de calor en los gases de combustión, se consideró la variación de temperatura en función del tiempo. Además, se determinó el calor del quemador del caldero, con estos datos se calculó el consumo de combustible para este proceso (anexo 16).

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En la planta de procesamiento de lácteos de la Granja UDLA, se procesan 720 lt/mes de leche para la producción de quesos con un consumo de diésel de 46.0 lt/mes, valor que fue calculado con el modelo térmico (caldero-marmita), produciendo una descarga al ambiente de 121.2 kg/mes de CO₂. Para la elaboración de yogurt se utilizan 520 lt/mes de leche, con un consumo de 36.0 lt/mes de diésel y con una descarga de 94.9 kg/mes de CO₂, es decir, con un consumo total de 82.0 lt/mes de diésel y una descarga de 216.1 kg/mes de CO₂ al ambiente.

El consumo de diésel por las pérdidas de calor por conducción y convección en el caldero es de 15.64 lt/mes que representa el 19% del consumo total, valor considerado alto, que además representa descargas adicionales de los gases de combustión al ambiente, para reducir las pérdidas de calor en el equipo se debe buscar alternativas para dar solución a este problema.

Es importante mencionar, que existe otra pérdida de calor que es a través de los condensados que se descargan desde la marmita, con un consumo de

diésel de 12 kg/mes el mismo que representa el 14.6% del consumo de combustible, que producen descargas adicionales de CO₂ al ambiente afectando al calentamiento global.

Las pérdidas de calor en el sistema caldero-marmita producen consumos adicionales de combustible, una parte de estas pérdidas es ocasionada por que no existe una debida atención en el funcionamiento de los sistemas de generación de calor y en los equipos de procesamiento en la planta de producción de lácteos (queso-yogurt), además se produce consumos de calor, aunque no exista consumo de vapor para el proceso.

Para optimizar el rendimiento del sistema térmico de la planta de procesamiento de la Granja UDLA, se analizaron tres alternativas que permiten reducir el consumo de combustible y las descargas de los gases de combustión, con la alternativa uno (cambio de espesor del aislante) se consiguió reducir el consumo de combustible en 19.0% y la descarga de CO₂ en 19.1%. En la alternativa 2 (cambio de aislante) existe una disminución del 20.6% en el consumo de combustible y del 21.3% en las descargas de CO₂. Al aplicar la alternativa 3 en el modelo térmico se consigue reducir 15.1% en el consumo de combustible y 15.1% en las descargas de CO₂.

5.2 Recomendaciones

Para reducir el consumo de combustible debido a las pérdidas de calor en la planta de procesamiento de la Granja UDLA, e incrementar la eficiencia en los equipos de generación de vapor y de procesamiento, se recomienda un cambio del material aislante con otro de menor conductividad térmica, el aislante actual (fibra de vidrio) con 0.07 W/m²K por el corcho de conductividad térmica de 0.04 W/m²K.

Se recomienda el cambio del espesor del aislante actual que es de 11mm a 22mm, para disminuir las pérdidas de calor, las descargas de CO₂ al ambiente y el consumo de combustible.

Otra recomendación que se puede aplicar para cumplir con la reducción del consumo de combustible y las descargas de CO₂ al ambiente, es la recuperación de los condensados que deben ser recirculados al caldero.

Se recomienda calcular las pérdidas de calor por agua de purgas del caldero, cuantificar el consumo de combustible y las descargas de CO₂, para sumar a las pérdidas determinadas en este estudio.

REFERENCIAS

- (s.f.).
- (FAO), O. d. (20). Obtenido de <http://www.fao.org/dairy-production-products/production/es/>
- (IPCC), C. C. (2014). Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- (IPCC), I. P. (2011). *Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment*. Obtenido de New York.
- A., C. Y. (2007). Transferencia de calor y masa. Mexico: MC Graw - Hill.
- A.I., E. (2010). *Matriz Energetica Mundial* . Obtenido de Mexico.
- Alfonso Urquia, C. M. (2016). *Métodos de simulación y modelado*. UNED. Obtenido de <https://elibro.net/es/ereader/udla/48877>
- ARCONEL. (2019). Obtenido de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/08/Atlas2018.pdf>
- Baca, J. C. (2014). Obtenido de [file:///C:/Users/Dell/Downloads/inven_gei_dmq_2011_energ%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Dell/Downloads/inven_gei_dmq_2011_energ%20(1).pdf)
- Berk, Z. (2018). Heat and mass transfer. *Food Process Engineering and Technology*, 622.
- Botta, N. A. (25 de Mayo de 2018). Obtenido de https://www.redproteger.com.ar/poder_calorifico.htm
- Caribe, F. R. (2004). Obtenido de <https://www.cepal.org/es/publicaciones/31904-fuentes-renovables-energia-america-latina-caribe-situacion-propuestas-politicas>
- Cengel, Y. A. (2007). Transferencia de calor y masa. Mexico: MC Graw -Hill.
- Change, M. o. (2007). *Summary for policymakers and Technical Summary*. *ipcc*.
- Desarrollo, B. I. (2017). Obtenido de <https://www.celec.gob.ec/hidronacion/images/stories/pdf/PLANEE%20version%20espa%C3%Blol.pdf>

ECUADOR), C. d. (2020). Obtenido de https://e152f73b-81b4-4206-a6ee-8b984b6a13b0.filesusr.com/ugd/6cc8de_513a9bb8db76451a9a74586d7902bb3b.pdf

Ecured. (s.f.). Obtenido de <https://www.ecured.cu/Potencia>

Eléctrica, L. O. (21 de Mayo de 2018). Obtenido de <http://www.eeq.com.ec:8080/documents/10180/18910855/LEY+ORG%C3%81NICA+DEL+SERVICIO+P%C3%9ABLICO+DE+ENERG%C3%8DA+EL%C3%89CTRICA/78e7b717-f30a-49fe-aabc-f28ceb87eef4>

Energía, A. E. (2017). Obtenido de <http://www.agenex.net/files/BalanceElectricodeExtremadura2017.pdf>

Frank Kreith, R. M. (2012). *Principios de transferencia de calor*. Mexico: Editec S.A. de C.V.

INER. (2018). *Balance Energetico Nacional*. Obtenido de https://drive.google.com/file/d/1DnFD5hDUXSI3ja1L_VB7h3DAMOQpLu46/view

INER. (2018). *Balance Energetico Nacional*. Obtenido de https://drive.google.com/file/d/1DnFD5hDUXSI3ja1L_VB7h3DAMOQpLu46/view

Jairo Castillo, V. (2017). Determination of Torque and Power of a Gasoline Internal Combustion Engine by Using Spark with Pressure Sensor Adapted and Application of a Mathematical Model . *Scielo*. Obtenido de <https://doi.org/10.1590/S1678-44882017000100007> by using Spark with Pressure Sensor Adapted and Application of a Mathematical Model.

Largo, J. (s.f.). *Perdidas de calor* . Obtenido de scribd.

Luis Horna, M. G. (2009). *Análisis de mercado del sector industrias manufactureras en base a a CIU 3 bajo un enfoque de concentración económica en el*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5543/1/Luis-Horna-4.pdf>

MAGAP), M. d. (11 de Abril de 2019). *Precios mensuales internacionales industria y productor de leche*. Obtenido de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/pecuario/leche>

- Manrique, J. A. (1990). Obtenido de https://www.academia.edu/15039316/Termodinamica_Tercera_Edicion_Jose_Angel_Manrique_Valadez
- Meteo, F. (23 de abril de 2020). Estado actual de tiempo. *Tiempo de Nono - Estado actual de tiempo*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- MICSE. (2015). *Balance Energetico Nacional*. Obtenido de <https://doi.org/10.1017/CB09781107415324.004>
- OLADE. (2011). Obtenido de <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/old0179.pdf>
- Pasteurización de leche con energías renovable*. (s.f.). Obtenido de <file:///C:/Users/Dell/Downloads/pasteurizacion%20de%20la%20leche.pdf>
- RAC/CP. (2004). Obtenido de <file:///C:/Users/Dell/Downloads/RACCP4.pdf>
- Renovables, M. d. (2018). Obtenido de <https://www.recursoyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/03/4.CONSUMO-DE-ENERGI%CC%81A-POR-SECTOR-Y-FUENTE-BEN.pdf>
- Renovables, M. d. (s.f.). *Plan Nacional de Eficiencia Energetica 2016-2035*. Obtenido de <https://www.celec.gob.ec/hidronacion/images/stories/pdf/PLANEE%20version%20espa%C3%B1ol.pdf>
- Republica, C. d. (2008). Obtenido de <https://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/es/ec/ec030es.pdf>
- Rodriguez, J. A. (s.f.). Obtenido de <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Curso%20Mabe%20Termo/Introducci%C3%B3n%20a%20la%20Termodinamica.pdf>
- Udla, G. (2020). Obtenido de <https://www.udla.edu.ec/internacional/cursos-internacionalidad/agricultural-management-and-biodiversity/granja-integral-y-su-biodiversidad/>
- Urquía Moraleda, A. y. (2016). *Métodos de simulación y modelado*. UNED.
- Young H.D, F. R. (2009). *Fisica Universitaria*.
- Yunus A. Gengel, M. A. (2006). Termodinamica. En *Termodinamica* (pág. 1035). Mexico: MC Graw Hill- Interamericana.

ANEXOS

Anexo 1: Modelo térmico de la marmita en el proceso de elaboración de quesos para calcular el consumo de combustible.

MODELO TÉRMICO DE LA MARMITA, QUESOS												
	$m^{TSS,2}$	C^F	θ_{k-1}^{TSS2}	θ_k^{TSS2}	Δt_k	Q_k^{u2}	Q_k^u	$Q_k^{TL,2}$	$Q_k^{TSS2,out}$	Q_k^b	Δm_k	v
No	[kg]	[kJ/kg K]	[K]	[K]	[min]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kg/h]	lt/h
1	183.60	3.98	278.00	288.00	0	12.2	12.2	0.00		15.0	1.25	1.47
2	183.60	3.98	288.00	298.00	10	12.2	13.1	-0.97		15.0	1.25	1.47
3	183.60	3.98	298.00	308.00	20	12.2	14.1	-1.93		15.0	1.25	1.47
4	183.60	3.98	308.00	318.00	30	12.2	15.1	-2.90		15.0	1.25	1.47
5	183.60	3.98	318.00	328.00	40	12.2	16.0	-3.87		15.0	1.25	1.47
6	183.60	3.98	328.00	338.00	50	12.2	17.0	-4.83		15.0	1.25	1.47
7	183.60	3.98	338.00	348.00	60	12.2	18.0	-5.80		15.0	1.25	1.47
8	183.60	3.98	348.00	338.00	70	-12.2	0.0	-6.77	-5.4	-15.0	0.00	0.00
9	183.60	3.98	338.00	328.00	80	-12.2	0.0	-5.80	-6.4	-15.0	0.00	0.00
10	183.60	3.98	328.00	318.00	90	-12.2	0.0	-4.83	-7.3	-15.0	0.00	0.00
11	183.60	3.98	318.00	308.00	100	-12.2	0.0	-3.87	-8.3	-15.0	0.00	0.00
12	183.60	3.98	308.00	306.00	110	-2.4	0.0	-2.90	0.5	-3.0	0.00	0.00
13	183.60	3.98	306.00	306.00	120	0.0	2.7	-2.71		0.0	0.00	0.00
14	183.60	3.98	306.00	306.00	130	0.0	2.5	-2.51		0.0	0.00	0.00
15	183.60	3.98	306.00	306.00	140	0.0	2.5	-2.51		0.0	0.00	0.00
16	183.60	3.98	306.00	308.00	150	2.4	4.9	-2.51		3.0	0.25	0.29
17	183.60	3.98	308.00	310.00	160	2.4	5.1	-2.71		3.0	0.25	0.29
18	183.60	3.98	310.00	312.00	170	2.4	5.3	-2.90		3.0	0.25	0.29
19	183.60	3.98	312.00	314.00	180	2.4	5.5	-3.09		3.0	0.25	0.29
										Consumo/día	9.8	11.5
										Consumo/mes	39.1	46.0

Anexo 2: Modelo térmico de la marmita en el proceso de elaboración de yogurt para estimar el consumo de combustible.

MODELO TÉRMICO DE MARMITA, YOGURT												
	$m^{TSS,2}$	C^f	$\theta_{k-1}^{TSS,2}$	$\theta_k^{TSS,2}$	Δt_k	$Q_k^{u,2}$	Q_k^u	$Q_k^{TL,2}$	$Q_k^{TSS,2,out}$	Q_k^b	Δm_k	v
No	[kg]	[kJ/kg K]	[K]	[K]	[min]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kg/h]	lt/h
1	132.60	3.98	279.00	291.00	0	10.55	10.6	0.00		13.0	1.1	1.3
2	132.60	3.98	291.00	303.00	10	10.55	10.6	-0.01		13.0	1.1	1.3
3	132.60	3.98	303.00	315.00	20	10.55	10.6	-0.02		13.0	1.1	1.3
4	132.60	3.98	315.00	327.00	30	10.55	10.6	-0.03		13.0	1.1	1.3
5	132.60	3.98	327.00	339.00	40	10.55	10.6	-0.05		13.0	1.1	1.3
6	132.60	3.98	339.00	351.00	50	10.55	10.6	-0.06		13.0	1.1	1.3
7	132.60	3.98	351.00	363.00	60	10.55	10.6	-0.07		13.0	1.1	1.3
8	132.60	3.98	363.00	351.00	70	-10.55	0.0	-0.08		-13.0	0.0	0.0
9	132.60	3.98	363.00	351.00	80	-10.55	0.0	-0.08	-10.5	-13.0	0.0	0.0
10	132.60	3.98	340.50	318.00	90	-19.79	0.0	-0.06	-19.7	-24.4	0.0	0.0
11	132.60	3.98	318.00	318.00	100	0.00	0.0	-0.04		0.0	0.0	0.0
12	132.60	3.98	318.00	318.00	170	0.00	0.0	-0.04		0.0	0.0	0.0
13	132.60	3.98	318.00	318.00	240	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.0	0.0
14	132.60	3.98	318.00	318.00	310	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.0	0.0
15	132.60	3.98	318.00	318.00	380	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.0	0.0
16	132.60	3.98	318.00	318.00	450	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.0	0.0
17	132.60	3.98	318.00	318.00	520	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.0	0.0
18	132.60	3.98	318.00	318.00	590	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.0	0.0
19	132.60	3.98	318.00	318.00	660	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.0	0.0
20	132.60	3.98	318.00	278.00	730	-35.18	0.0	-0.03	-35.2	-43.4	0.0	0.0
21	132.60	3.98	278.00	278.00	740	0.00	0.0	0.01		0.0	0.0	0.0
										Consumo/día	7.6	8.9
										Consumo/mes	30.4	35.7

Anexo 3: Modelo térmico de la marmita en el proceso de elaboración de quesos para calcular el consumo de combustible en la alternativa 1 (cambio de espesor del aislante térmico).

MODELO TÉRMICO DE LA MARMITA, QUESOS												
	$m^{TSS,2}$	C^F	θ_{k-1}^{TSS2}	θ_k^{TSS2}	Δt_k	Q_k^{u2}	Q_k^u	$Q_k^{TL,2}$	$Q_k^{TSS2,out}$	Q_k^b	Δm_k	v
No	[kg]	[kJ/kg K]	[K]	[K]	[min]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kg/h]	lt/h
1	183.60	3.98	278.00	288.00	0	12.2	12.2	0.00		15.0	1.25	1.47
2	183.60	3.98	288.00	298.00	10	12.2	12.2	-0.01		15.0	1.25	1.47
3	183.60	3.98	298.00	308.00	20	12.2	12.2	-0.02		15.0	1.25	1.47
4	183.60	3.98	308.00	318.00	30	12.2	12.2	-0.03		15.0	1.25	1.47
5	183.60	3.98	318.00	328.00	40	12.2	12.2	-0.04		15.0	1.25	1.47
6	183.60	3.98	328.00	338.00	50	12.2	12.2	-0.05		15.0	1.25	1.47
7	183.60	3.98	338.00	348.00	60	12.2	12.2	-0.06		15.0	1.25	1.47
8	183.60	3.98	348.00	338.00	70	-12.2	0.0	-0.07	-12.1	-15.0	0.00	0.00
9	183.60	3.98	338.00	328.00	80	-12.2	0.0	-0.06	-12.1	-15.0	0.00	0.00
10	183.60	3.98	328.00	318.00	90	-12.2	0.0	-0.05	-12.1	-15.0	0.00	0.00
11	183.60	3.98	318.00	308.00	100	-12.2	0.0	-0.04	-12.1	-15.0	0.00	0.00
12	183.60	3.98	308.00	306.00	110	-2.4	0.0	-0.03	-2.4	-3.0	0.00	0.00
13	183.60	3.98	306.00	306.00	120	0.0	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
14	183.60	3.98	306.00	306.00	130	0.0	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
15	183.60	3.98	306.00	306.00	140	0.0	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
16	183.60	3.98	306.00	308.00	150	2.4	2.5	-0.03		3.0	0.25	0.29
17	183.60	3.98	308.00	310.00	160	2.4	2.5	-0.03		3.0	0.25	0.29
18	183.60	3.98	310.00	312.00	170	2.4	2.5	-0.03		3.0	0.25	0.29
19	183.60	3.98	312.00	314.00	180	2.4	2.5	-0.03		3.0	0.25	0.29
										Consumo/día	9.8	11.5
										Consumo/mes	39.1	46.0
										Consumo (alternativa 1)	32.3	38.0

Anexo 4: Cálculo de la pérdida de calor por conducción y convección del caldero para determinar el consumo de combustible en el procesamiento de quesos.

PÉRDIDA DE CALOR POR CONDUCCIÓN Y CONVECCIÓN DEL CALDERO										
No	Δt_k	$T_{\infty 1}$	$T_{\infty 2}$	Q_k^{TL1}	$T_{\infty 3}$	Q_k^{TL2}	$Q_k^{TL1, total}$	QB	m	v
	[min]	[K]	[K]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]		kg/h	lt/h
1	0	278	278	0.00	493	-0.67	-0.67	-0.83	0.01	0.01
2	10	297	278	-0.53	493	-0.67	-1.21	-1.49	0.02	0.02
3	20	321	278	-1.21	493	-0.67	-1.88	-2.32	0.03	0.04
4	30	345	278	-1.88	493	-0.67	-2.55	-3.15	0.04	0.05
5	40	368	278	-2.56	493	-0.67	-3.23	-3.98	0.06	0.07
6	50	392	278	-3.23	493	-0.67	-3.90	-4.82	0.07	0.08
7	60	413	278	-3.83	493	-0.67	-4.50	-5.55	0.08	0.09
8	70	413	278	-3.83	493	-0.67	-4.50	-5.55	0.08	0.09
9	80	413	278	-3.83	493	-0.67	-4.50	-5.55	0.08	0.09
10	90	413	278	-3.83	493	-0.67	-4.50	-5.55	0.08	0.09
11	100	413	278	-3.83	493	-0.67	-4.50	-5.55	0.08	0.09
12	110	413	278	-3.83	493	-0.67	-4.50	-5.55	0.08	0.09
13	120	413	278	-3.83	493	-0.67	-4.50	-5.55	0.08	0.09
14	130	413	278	-3.83	493	-0.67	-4.50	-5.55	0.08	0.09
15	140	413	278	-3.83	493	-0.67	-4.50	-5.55	0.08	0.09
16	150	413	278	-3.83	493	-0.67	-4.50	-5.55	0.08	0.09
17	160	413	278	-3.83	493	-0.67	-4.50	-5.55	0.08	0.09
18	170	413	278	-3.83	493	-0.67	-4.50	-5.55	0.08	0.09
19	180	413	278	-3.83	493	-0.67	-4.50	-5.55	0.08	0.09
20	190	413	280	-3.77	493	-0.67	-4.44	-5.47	0.08	0.09
21	200	413	280	-3.77	493	-0.67	-4.44	-5.47	0.08	0.09
22	210	413	280	-3.77	493	-0.67	-4.44	-5.47	0.08	0.09
23	220	413	280	-3.77	493	-0.67	-4.44	-5.47	0.08	0.09
24	230	413	280	-3.77	493	-0.67	-4.44	-5.47	0.08	0.09
25	240	413	280	-3.77	493	-0.67	-4.44	-5.47	0.08	0.09
								Consumo/día	1.69	1.99
								Consumo/mes	6.75	7.94

Anexo 5: Modelo térmico de la marmita para la determinar el consumo de combustible en el procesamiento de yogurt para la alternativa 1 (cambio del espesor del aislante térmico).

MODELO TÉRMICO DE LA MARMITA, YOGURT												
	$m^{TSS,2}$	C^f	θ_{k-1}^{TSS2}	θ_k^{TSS2}	Δt_k	Q_k^{u2}	Q_k^u	$Q_k^{TL,2}$	$Q_k^{TSS2,out}$	Q_k^b	Δm_k	v
No	[kg]	[kJ/kg K]	[K]	[K]	[min]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kg/h]	l/h
1	132.60	3.98	279.00	291.00	0	10.55	10.6	0.00		13.0	1.08	1.28
2	132.60	3.98	291.00	303.00	10	10.55	10.6	-0.01		13.0	1.09	1.28
3	132.60	3.98	303.00	315.00	20	10.55	10.6	-0.02		13.0	1.09	1.28
4	132.60	3.98	315.00	327.00	30	10.55	10.6	-0.03		13.1	1.09	1.28
5	132.60	3.98	327.00	339.00	40	10.55	10.6	-0.05		13.1	1.09	1.28
6	132.60	3.98	339.00	351.00	50	10.55	10.6	-0.06		13.1	1.09	1.28
7	132.60	3.98	351.00	363.00	60	10.55	10.6	-0.07		13.1	1.09	1.28
8	132.60	3.98	363.00	351.00	70	-10.55	0.0	-0.08		0.0	0.00	0.00
9	132.60	3.98	363.00	351.00	80	-10.55	0.0	-0.08	-10.5	0.0	0.00	0.00
10	132.60	3.98	340.50	318.00	90	-19.79	0.0	-0.06	-19.7	0.0	0.00	0.00
11	132.60	3.98	318.00	318.00	100	0.00	0.0	-0.04		0.0	0.00	0.00
12	132.60	3.98	318.00	318.00	170	0.00	0.0	-0.04		0.0	0.00	0.00
13	132.60	3.98	318.00	318.00	240	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
14	132.60	3.98	318.00	318.00	310	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
15	132.60	3.98	318.00	318.00	380	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
16	132.60	3.98	318.00	318.00	450	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
17	132.60	3.98	318.00	318.00	520	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
18	132.60	3.98	318.00	318.00	590	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
19	132.60	3.98	318.00	318.00	660	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
20	132.60	3.98	318.00	278.00	730	-35.18	0.0	-0.03	-35.2	-43.4	0.00	0.00
21	132.60	3.98	278.00	278.00	740	0.00	0.0	0.01		0.0	0.00	0.00
										Consumo/día	7.62	8.96
										Consumo/mes	30.48	35.86
										Consumo (alternativa 1)	23.9	28.1

Anexo 6: Cálculo de la pérdida de calor por conducción y convección en la marmita estimando el consumo de combustible en el proceso de yogurt.

PÉRDIDA DE CALOR DE CONDUCCIÓN Y CONVECCIÓN, YOGURT										
No	Δt_k	$T_{\infty 1}$	$T_{\infty 2}$	Q_k^{TL1}	$T_{\infty 3}$	Q_k^{TL2}	$Q_k^{TL1, total}$	QB	m	v
	[min]	[K]	[K]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	kg/lt	lt/h
1	0	417	278	-3.92	493	-0.67	-4.59	-5.67	0.08	0.09
2	10	417	278	-3.92	493	-0.67	-4.59	-5.67	0.08	0.09
3	20	417	278	-3.92	493	-0.67	-4.59	-5.67	0.08	0.09
4	30	417	278	-3.92	493	-0.67	-4.59	-5.67	0.08	0.09
5	40	417	278	-3.92	493	-0.67	-4.59	-5.67	0.08	0.09
6	50	417	278	-3.92	493	-0.67	-4.59	-5.67	0.08	0.09
7	60	417	278	-3.92	493	-0.67	-4.59	-5.67	0.08	0.09
8	70	417	278	-3.92	493	-0.67	-4.59	-5.67	0.08	0.09
9	80	417	278	-3.92	493	-0.67	-4.59	-5.67	0.08	0.09
10	90	417	278	-3.92	493	-0.67	-4.59	-5.67	0.08	0.09
11	100	417	278	-3.92	493	-0.67	-4.59	-5.67	0.08	0.09
12	110	417	278	-3.92	493	-0.67	-4.59	-5.67	0.08	0.09
13	120	417	278	-3.92	493	-0.67	-4.59	-5.67	0.08	0.09
14	130	417	280	-3.87	493	-0.67	-4.53	-5.59	0.08	0.09
15	140	417	280	-3.87	493	-0.67	-4.53	-5.59	0.08	0.09
16	150	417	280	-3.87	493	-0.67	-4.53	-5.59	0.08	0.09
17	160	417	280	-3.87	493	-0.67	-4.53	-5.59	0.08	0.09
18	170	417	280	-3.87	493	-0.67	-4.53	-5.59	0.08	0.09
19	180	417	280	-3.87	493	-0.67	-4.53	-5.59	0.08	0.09
20	190	417	280	-3.87	493	-0.67	-4.53	-5.59	0.08	0.09
21	200	417	280	-3.87	493	-0.67	-4.53	-5.59	0.08	0.09
								Consumo/día	1.64	1.93
								Consumo/mes	6.6	7.7

Anexo 7: Modelo térmico de la marmita en la elaboración de quesos que permite cuantificar el consumo de combustible de la alternativa 2 (cambio de aislante térmico).

MODELO TÉRMICO DE LA MARMITA, QUESOS												
No	$m^{TSS,2}$ [kg]	C^F [kJ/kg K]	θ_{k-1}^{TSS2} [K]	θ_k^{TSS2} [K]	Δt_k [min]	Q_k^{u2} [kW]	Q_k^u [kW]	$Q_k^{TL,2}$ [kW]	$Q_k^{TSS2,out}$ [kW]	Q_k^b [kW]	Δm_k [kg/h]	v l/h
1	183.60	3.98	278.00	288.00	0	12.2	12.2	0.00		15.0	1.25	1.47
2	183.60	3.98	288.00	298.00	10	12.2	12.2	-0.01		15.0	1.25	1.47
3	183.60	3.98	298.00	308.00	20	12.2	12.2	-0.02		15.0	1.25	1.47
4	183.60	3.98	308.00	318.00	30	12.2	12.2	-0.03		15.0	1.25	1.47
5	183.60	3.98	318.00	328.00	40	12.2	12.2	-0.04		15.0	1.25	1.47
6	183.60	3.98	328.00	338.00	50	12.2	12.2	-0.05		15.0	1.25	1.47
7	183.60	3.98	338.00	348.00	60	12.2	12.2	-0.06		15.0	1.25	1.47
8	183.60	3.98	348.00	338.00	70	-12.2	0.0	-0.07	-12.1	-15.0	0.00	0.00
9	183.60	3.98	338.00	328.00	80	-12.2	0.0	-0.06	-12.1	-15.0	0.00	0.00
10	183.60	3.98	328.00	318.00	90	-12.2	0.0	-0.05	-12.1	-15.0	0.00	0.00
11	183.60	3.98	318.00	308.00	100	-12.2	0.0	-0.04	-12.1	-15.0	0.00	0.00
12	183.60	3.98	308.00	306.00	110	-2.4	0.0	-0.03	-2.4	-3.0	0.00	0.00
13	183.60	3.98	306.00	306.00	120	0.0	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
14	183.60	3.98	306.00	306.00	130	0.0	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
15	183.60	3.98	306.00	306.00	140	0.0	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
16	183.60	3.98	306.00	308.00	150	2.4	2.5	-0.03		3.0	0.25	0.29
17	183.60	3.98	308.00	310.00	160	2.4	2.5	-0.03		3.0	0.25	0.29
18	183.60	3.98	310.00	312.00	170	2.4	2.5	-0.03		3.0	0.25	0.29
19	183.60	3.98	312.00	314.00	180	2.4	2.5	-0.03		3.0	0.25	0.29
										Consumo/día	9.8	11.5
										Consumo/mes	39.1	46.0
										Consumo (Alternativa 2)	31.6	37.1

Anexo 8: Cálculo del consumo de combustible por las pérdidas por conducción y convección en la elaboración de quesos.

PÉRDIDA DE CALOR POR CONDUCCIÓN Y CONVECCIÓN										
No	Δt_k	$T_{\infty 1}$	$T_{\infty 2}$	Q_k^{TL1}	$T_{\infty 3}$	Q_k^{TL2}	$Q_k^{TL1.total}$	QB	m	v
	[min]	[K]	[K]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	kg/h	lt/h
1	0	278	278	0.00	493	-0.67	-0.67	-0.83	0.01	0.01
2	10	297	278	-0.60	493	-0.67	-1.28	-1.57	0.02	0.03
3	20	321	278	-1.37	493	-0.67	-2.04	-2.51	0.03	0.04
4	30	345	278	-2.13	493	-0.67	-2.80	-3.46	0.05	0.06
5	40	368	278	-2.89	493	-0.67	-3.56	-4.40	0.06	0.07
6	50	392	278	-3.66	493	-0.67	-4.33	-5.34	0.07	0.09
7	60	413	278	-4.33	493	-0.67	-5.00	-6.17	0.09	0.10
8	70	413	278	-4.33	493	-0.67	-5.00	-6.17	0.09	0.10
9	80	413	278	-4.33	493	-0.67	-5.00	-6.17	0.09	0.10
10	90	413	278	-4.33	493	-0.67	-5.00	-6.17	0.09	0.10
11	100	413	278	-4.33	493	-0.67	-5.00	-6.17	0.09	0.10
12	110	413	278	-4.33	493	-0.67	-5.00	-6.17	0.09	0.10
13	120	413	278	-4.33	493	-0.67	-5.00	-6.17	0.09	0.10
14	130	413	278	-4.33	493	-0.67	-5.00	-6.17	0.09	0.10
15	140	413	278	-4.33	493	-0.67	-5.00	-6.17	0.09	0.10
16	150	413	278	-4.33	493	-0.67	-5.00	-6.17	0.09	0.10
17	160	413	278	-4.33	493	-0.67	-5.00	-6.17	0.09	0.10
18	170	413	278	-4.33	493	-0.67	-5.00	-6.17	0.09	0.10
19	180	413	278	-4.33	493	-0.67	-5.00	-6.17	0.09	0.10
20	190	413	280	-4.26	493	-0.67	-4.93	-6.08	0.08	0.10
21	200	413	280	-4.26	493	-0.67	-4.93	-6.08	0.08	0.10
22	210	413	280	-4.26	493	-0.67	-4.93	-6.08	0.08	0.10
23	220	413	280	-4.26	493	-0.67	-4.93	-6.08	0.08	0.10
24	230	413	280	-4.26	493	-0.67	-4.93	-6.08	0.08	0.10
25	240	413	280	-4.26	493	-0.67	-4.93	-6.08	0.08	0.10
								Consumo/día	1.87	2.20
								Consumo/mes	7.5	8.8

Anexo 9: Cálculo del consumo de combustible en la marmita para la alternativa 2 (cambio de aislante térmico).

MODELO TÉRMICO DE LA MARMITA, YOGURT												
	$m^{TSS,2}$	C^f	θ_{k-1}^{TSS2}	θ_k^{TSS2}	Δt_k	Q_k^{u2}	Q_k^u	$Q_k^{TL,2}$	$Q_k^{TSS2,out}$	Q_k^b	Δm_k	v
No	[kg]	[kJ/kg K]	[K]	[K]	[min]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kg/h]	lt/h
1	132.60	3.98	279.00	291.00	0	10.55	10.6	0.00		13.0	1.08	1.28
2	132.60	3.98	291.00	303.00	10	10.55	10.6	-0.01		13.0	1.09	1.28
3	132.60	3.98	303.00	315.00	20	10.55	10.6	-0.02		13.0	1.09	1.28
4	132.60	3.98	315.00	327.00	30	10.55	10.6	-0.03		13.1	1.09	1.28
5	132.60	3.98	327.00	339.00	40	10.55	10.6	-0.05		13.1	1.09	1.28
6	132.60	3.98	339.00	351.00	50	10.55	10.6	-0.06		13.1	1.09	1.28
7	132.60	3.98	351.00	363.00	60	10.55	10.6	-0.07		13.1	1.09	1.28
8	132.60	3.98	363.00	351.00	70	-10.55	0.0	-0.08		0.0	0.00	0.00
9	132.60	3.98	363.00	351.00	80	-10.55	0.0	-0.08	-10.5	0.0	0.00	0.00
10	132.60	3.98	340.50	318.00	90	-19.79	0.0	-0.06	-19.7	0.0	0.00	0.00
11	132.60	3.98	318.00	318.00	100	0.00	0.0	-0.04		0.0	0.00	0.00
12	132.60	3.98	318.00	318.00	170	0.00	0.0	-0.04		0.0	0.00	0.00
13	132.60	3.98	318.00	318.00	240	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
14	132.60	3.98	318.00	318.00	310	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
15	132.60	3.98	318.00	318.00	380	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
16	132.60	3.98	318.00	318.00	450	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
17	132.60	3.98	318.00	318.00	520	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
18	132.60	3.98	318.00	318.00	590	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
19	132.60	3.98	318.00	318.00	660	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
20	132.60	3.98	318.00	278.00	730	-35.18	0.0	-0.03	-35.2	-43.4	0.00	0.00
21	132.60	3.98	278.00	278.00	740	0.00	0.0	0.01		0.0	0.00	0.00
										Consumo/ día	7.62	8.96
										Consumo/mes	30.5	35.9
										Consumo (alternativa2)	23.2	27.3

Anexo 10: Cálculo del consumo de combustible por pérdidas de calor por conducción y convección en el proceso de yogurt.

PÉRDIDAS DE CALOR POR CONDUCCIÓN Y CONVECCIÓN DE LA MARMITA										
No	Δt_k	$T_{\infty 1}$	$T_{\infty 2}$	Q_k^{TL1}	$T_{\infty 3}$	Q_k^{TL2}	$Q_k^{TL1, total}$	QB	m	V
	[min]	[K]	[K]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	kg/lt	lt/h
1	0	417	278	-4.44	493	-0.67	-5.11	-6.30	0.09	0.10
2	10	417	278	-4.44	493	-0.67	-5.11	-6.30	0.09	0.10
3	20	417	278	-4.44	493	-0.67	-5.11	-6.30	0.09	0.10
4	30	417	278	-4.44	493	-0.67	-5.11	-6.30	0.09	0.10
5	40	417	278	-4.44	493	-0.67	-5.11	-6.30	0.09	0.10
6	50	417	278	-4.44	493	-0.67	-5.11	-6.30	0.09	0.10
7	60	417	278	-4.44	493	-0.67	-5.11	-6.30	0.09	0.10
8	70	417	278	-4.44	493	-0.67	-5.11	-6.30	0.09	0.10
9	80	417	278	-4.44	493	-0.67	-5.11	-6.30	0.09	0.10
10	90	417	278	-4.44	493	-0.67	-5.11	-6.30	0.09	0.10
11	100	417	278	-4.44	493	-0.67	-5.11	-6.30	0.09	0.10
12	110	417	278	-4.44	493	-0.67	-5.11	-6.30	0.09	0.10
13	120	417	278	-4.44	493	-0.67	-5.11	-6.30	0.09	0.10
14	130	417	280	-4.37	493	-0.67	-5.04	-6.22	0.09	0.10
15	140	417	280	-4.37	493	-0.67	-5.04	-6.22	0.09	0.10
16	150	417	280	-4.37	493	-0.67	-5.04	-6.22	0.09	0.10
17	160	417	280	-4.37	493	-0.67	-5.04	-6.22	0.09	0.10
18	170	417	280	-4.37	493	-0.67	-5.04	-6.22	0.09	0.10
19	180	417	280	-4.37	493	-0.67	-5.04	-6.22	0.09	0.10
20	190	417	280	-4.37	493	-0.67	-5.04	-6.22	0.09	0.10
21	200	417	280	-4.37	493	-0.67	-5.04	-6.22	0.09	0.10
								Consumo/día	1.83	2.15
								Consumo/mes	7.32	8.6

Anexo 11: Modelo térmico de la marmita en el proceso de elaboración de quesos que permite calcular el consumo de combustible en la alternativa 3 (retorno de condensados) en el proceso de elaboración de quesos.

MODELO TÉRMICO DE LA MARMITA, QUESOS												
	$m^{TSS,2}$	C^F	θ_{k-1}^{TSS2}	θ_k^{TSS2}	Δt_k	$Q_k^{u,2}$	Q_k^u	$Q_k^{TL,2}$	$Q_k^{TSS2,out}$	Q_k^b	Δm_k	v
No	[kg]	[kJ/kg K]	[K]	[K]	[min]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kg/h]	l/h
1	183.60	3.98	278.00	288.00	0	12.2	12.2	0.00		15.0	1.25	1.47
2	183.60	3.98	288.00	298.00	10	12.2	12.2	-0.01		15.0	1.25	1.47
3	183.60	3.98	298.00	308.00	20	12.2	12.2	-0.02		15.0	1.25	1.47
4	183.60	3.98	308.00	318.00	30	12.2	12.2	-0.03		15.0	1.25	1.47
5	183.60	3.98	318.00	328.00	40	12.2	12.2	-0.04		15.0	1.25	1.47
6	183.60	3.98	328.00	338.00	50	12.2	12.2	-0.05		15.0	1.25	1.47
7	183.60	3.98	338.00	348.00	60	12.2	12.2	-0.06		15.0	1.25	1.47
8	183.60	3.98	348.00	338.00	70	-12.2	0.0	-0.07	-12.1	-15.0	0.00	0.00
9	183.60	3.98	338.00	328.00	80	-12.2	0.0	-0.06	-12.1	-15.0	0.00	0.00
10	183.60	3.98	328.00	318.00	90	-12.2	0.0	-0.05	-12.1	-15.0	0.00	0.00
11	183.60	3.98	318.00	308.00	100	-12.2	0.0	-0.04	-12.1	-15.0	0.00	0.00
12	183.60	3.98	308.00	306.00	110	-2.4	0.0	-0.03	-2.4	-3.0	0.00	0.00
13	183.60	3.98	306.00	306.00	120	0.0	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
14	183.60	3.98	306.00	306.00	130	0.0	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
15	183.60	3.98	306.00	306.00	140	0.0	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
16	183.60	3.98	306.00	308.00	150	2.4	2.5	-0.03		3.0	0.25	0.29
17	183.60	3.98	308.00	310.00	160	2.4	2.5	-0.03		3.0	0.25	0.29
18	183.60	3.98	310.00	312.00	170	2.4	2.5	-0.03		3.0	0.25	0.29
19	183.60	3.98	312.00	314.00	180	2.4	2.5	-0.03		3.0	0.25	0.29
										Consumo/día	9.8	11.5
										Consumo/mes	39.1	46.0
										Consumo (alternativa 3)	34.2	40.2

Anexo 12: Cálculo del consumo de combustible por las pérdidas de calor por condensados en el proceso de quesos.

PÉRDIDA DE CALOR DE CONDENSADOS, QUESOS									
No	θ_k^{TSS2}	$m^{TSS2,out}$	$m^{TSS2,out flash}$	$Q_k^{TSS2,out flash}$	Δt_k	$Q_k^{TSS2,out1}$	$Q_k^{TSS2,out}$	m	v
	[K]	[kg]	[kg]	[kW]	[min]	[kW]	[kW]	[kg/h]	[lt/h]
1	278.00	20.6	1.0	-0.75	0	-12.2	12.9	0.00	0.00
2	288.00	20.6	1.00	-0.75	10	-12.2	-12.9	0.18	0.21
3	298.00	20.6	1.00	-0.75	20	-12.2	-12.9	0.18	0.21
4	308.00	20.6	1.00	-0.75	30	-12.2	-12.9	0.18	0.21
5	318.00	20.6	1.00	-0.75	40	-12.2	-12.9	0.18	0.21
6	328.00	20.6	1.00	-0.75	50	-12.2	-12.9	0.18	0.21
7	338.00	20.6	1.00	-0.75	60	-12.2	-12.9	0.18	0.21
8	348.00	-20.6	-1.00	0.75	70	12.2	12.9	0.00	0.00
9	338.00	-20.6	-1.00	0.75	80	12.2	12.9	0.00	0.00
10	328.00	-20.6	-1.00	0.75	90	12.2	12.9	0.00	0.00
11	318.00	-20.6	-1.00	0.75	100	12.2	12.9	0.00	0.00
12	308.00	-4.1	-0.20	0.15	110	2.4	2.6	0.00	0.00
13	306.00	0.0	0.00	0.00	120	0.0	0.0	0.00	0.00
14	306.00	0.0	0.00	0.00	130	0.0	0.0	0.00	0.00
15	306.00	0.0	0.00	0.00	140	0.0	0.0	0.00	0.00
16	306.00	4.1	0.20	-0.15	150	-2.4	-2.6	0.04	0.04
17	308.00	4.1	0.20	-0.15	160	-2.4	-2.6	0.04	0.04
18	310.00	4.1	0.20	-0.15	170	-2.4	-2.6	0.04	0.04
19	312.00	4.1	0.20	-0.15	180	-2.4	-2.6	0.04	0.04
							Consumo/día	1.22	1.44
							Consumo/mes	4.9	5.7

Anexo 13: Modelo térmico de la marmita que permite calcular el consumo de combustible de la alternativa 3 (retorno de condensados) en el procesamiento de yogurt.

MODELO TÉRMICO DE LA MARMITA, YOGURT												
	$m^{TSS,2}$	C^f	$\theta_{k-1}^{TSS,2}$	$\theta_k^{TSS,2}$	Δt_k	$Q_k^{u,2}$	Q_k^u	$Q_k^{TL,2}$	$Q_k^{TSS,2,out}$	Q_k^b	Δm_k	v
No	[kg]	[kJ/kg K]	[K]	[K]	[min]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kg/h]	lt/h
1	132.60	3.98	279.00	291.00	0	10.55	10.6	0.00		13.0	1.08	1.28
2	132.60	3.98	291.00	303.00	10	10.55	10.6	-0.01		13.0	1.08	1.28
3	132.60	3.98	303.00	315.00	20	10.55	10.6	-0.02		13.0	1.08	1.28
4	132.60	3.98	315.00	327.00	30	10.55	10.6	-0.03		13.0	1.08	1.28
5	132.60	3.98	327.00	339.00	40	10.55	10.6	-0.05		13.0	1.08	1.28
6	132.60	3.98	339.00	351.00	50	10.55	10.6	-0.06		13.0	1.08	1.28
7	132.60	3.98	351.00	363.00	60	10.55	10.6	-0.07		13.0	1.08	1.28
8	132.60	3.98	363.00	351.00	70	-10.55	0.0	-0.08		-13.0	0.00	0.00
9	132.60	3.98	363.00	351.00	80	-10.55	0.0	-0.08	-10.5	-13.0	0.00	0.00
10	132.60	3.98	340.50	318.00	90	-19.79	0.0	-0.06	-19.7	-24.4	0.00	0.00
11	132.60	3.98	318.00	318.00	100	0.00	0.0	-0.04		0.0	0.00	0.00
12	132.60	3.98	318.00	318.00	170	0.00	0.0	-0.04		0.0	0.00	0.00
13	132.60	3.98	318.00	318.00	240	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
14	132.60	3.98	318.00	318.00	310	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
15	132.60	3.98	318.00	318.00	380	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
16	132.60	3.98	318.00	318.00	450	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
17	132.60	3.98	318.00	318.00	520	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
18	132.60	3.98	318.00	318.00	590	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
19	132.60	3.98	318.00	318.00	660	0.00	0.0	-0.03		0.0	0.00	0.00
20	132.60	3.98	318.00	278.00	730	-35.18	0.0	-0.03	-35.2	-43.4	0.00	0.00
21	132.60	3.98	278.00	278.00	740	0.00	0.0	0.01		0.0	0.00	0.00
										Consumo/ día	7.59	8.94
										Consumo/mes	30.4	35.7
										Consumo (alternativa 3)	25.0	29.4

Anexo 14: Cálculo del consumo de combustible por pérdidas de calor por condensados en el proceso de producción de yogurt.

PÉRDIDAS DE CALOR POR CONDENSADOS, YOGURT									
θ_k^{TSS2}	$m^{TSS2,out}$	$m^{TSS2,out flash}$	$Q_k^{TSS2,out flash}$	Δt_k	$Q_k^{TSS2,out1}$	$Q_k^{TSS2,out}$	QB	m	V
[K]	[kg]	[kg]	[kW]	min	[kW]	[kW]	[kW]	kg/h	lt/h
279.00	17.8	0.9	-0.65	0	-10.55	-11.20	-13.81	0.19	0.23
291.00	17.8	0.87	-0.65	10	-10.55	-11.20	-13.81	0.19	0.23
303.00	17.8	0.87	-0.65	20	-10.55	-11.20	-13.81	0.19	0.23
315.00	17.8	0.87	-0.65	30	-10.55	-11.20	-13.81	0.19	0.23
327.00	17.8	0.87	-0.65	40	-10.55	-11.20	-13.81	0.19	0.23
339.00	17.8	0.87	-0.65	50	-10.55	-11.20	-13.81	0.19	0.23
351.00	17.8	0.87	-0.65	60	-10.55	-11.20	-13.81	0.19	0.23
363.00	-17.8	-0.87	0.65	70	10.55	11.20	13.81	0.00	0.00
363.00	-17.8	-0.87	0.65	80	10.55	11.20	13.81	0.00	0.00
340.50	-33.4	-1.62	1.22	90	19.78	21.00	25.90	0.00	0.00
318.00	0.0	0.00	0.00	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
318.00	0.0	0.00	0.00	170	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
318.00	0.0	0.00	0.00	240	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
318.00	0.0	0.00	0.00	310	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
318.00	0.0	0.00	0.00	380	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
318.00	0.0	0.00	0.00	450	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
318.00	0.0	0.00	0.00	520	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
318.00	0.0	0.00	0.00	590	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
318.00	0.0	0.00	0.00	660	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
318.00	-59.4	-2.89	2.17	730	35.16	37.33	46.04	0.00	0.00
278.00	0.0	0.00	0.00	740	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
							Consumo/día	1.34	1.58
							Consumo/mes	5.4	6.3

Anexo 15: Modelo térmico que representa los flujos de calor o potencia del caldero en la elaboración de quesos.

MODELO TÉRMICO DEL CALDERO, QUESOS										
	$m^{TSS1,purga}$	$m^{TSS1,vapor}$	θ_k^{TSS}	θ_{k-1}^{TSS}	Δt_k	Q_k^b	Q_k^u	$Q_k^{TL1,total}$	$Q_k^{TSS,out}$	Qcaldero
No	[kg/h]	[kg/h]	[K]	[K]	[min]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
1	0	0	278	278	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0	0	297	278	10	69.49	-28.76	-0.78	-39.95	0.00
3	0	0	321	278	20	69.49	-28.76	-0.91	-39.82	0.00
4	0	0	345	278	30	69.49	-28.76	-1.05	-39.68	0.00
5	0	0	368	278	40	69.49	-28.76	-1.18	-39.55	0.00
6	0	0	392	278	50	69.49	-28.76	-1.31	-39.42	0.00
7	0.53	20.6	416	278	60	15.0	-12.2	-1.43	-1.41	0.00
8	0.53	20.6	416	278	70	16.2	-13.1	-1.43	-1.64	0.00
9	0.53	20.6	416	278	80	17.4	-14.1	-1.43	-1.87	0.00
10	0.53	20.6	416	278	90	18.6	-15.1	-1.43	-2.09	0.00
11	0.53	20.6	416	278	100	19.8	-16.0	-1.43	-2.32	0.00
12	0.53	20.6	416	278	110	21.0	-17.0	-1.43	-2.54	0.00
13	0.53	20.6	416	278	120	22.2	-18.0	-1.43	-2.77	0.00
14	-0.53	-20.6	416	278	130	0.0	0.0	-1.43	0.00	-1.43
15	-0.53	-20.6	416	278	140	0.0	0.0	-1.43	0.00	-2.86
16	-0.53	-20.6	416	278	150	0.0	0.0	-1.43	0.00	-4.29
17	-0.53	-20.6	416	278	160	0.0	0.0	-1.43	0.00	-5.72
18	-0.11	-4.1	416	278	170	0.0	0.0	-1.43	0.00	-7.15
19	0.00	0.0	416	278	180	0.0	-2.7	-1.43	0.00	-11.29
20	0.00	0.0	416	278	190	0.0	-2.5	-1.43	0.00	-15.23
21	0.00	0.0	416	278	200	11.6	-2.5	-1.43	0.00	-7.58
22	0.11	4.1	416	278	210	0.0	-4.9	-1.43	-1.43	-15.39
23	0.11	4.1	416	278	220	0.0	-5.1	-1.43	0.00	-21.96
24	0.11	4.1	416	278	230	11.6	-5.3	-1.43	-0.77	-17.89
25	0.11	4.1	416	278	240	6.8	-5.5	-1.43	0.00	-18.03
						11.6				
						-9.2				

Anexo 16: Modelo térmico que representa los flujos de calor o potencia en el caldero para la elaboración del yogurt.

MODELO TÉRMICO DEL CALDERO, YOGURT										
	$m^{TSS1,purga}$	$m^{TSS1,vapor}$	θ_k^{TSS}	θ_{k-1}^{TSS}	Δt_k	Q_k^b	Q_k^u	$Q_k^{TL1,total}$	$Q_k^{TSS,out}$	Qcaldero
No	[kg/h]	[kg/h]	[K]	[K]	[min]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
1	0.46	17.82	416.00	278.00	0	13.02	-10.6	-1.45	-1.02	0.00
2	0.46	17.82	416.00	278.00	10	13.03	-10.57	-1.45	-1.02	0.00
3	0.46	17.82	416.00	278.00	20	13.05	-10.58	-1.45	-1.02	0.00
4	0.46	17.82	416.00	278.00	30	13.06	-10.59	-1.45	-1.02	0.00
5	0.46	17.82	416.00	278.00	40	13.08	-10.60	-1.45	-1.03	0.00
6	0.46	17.82	416.00	278.00	50	13.09	-10.61	-1.45	-1.03	0.00
7	0.46	17.82	416.00	279.00	60	13.11	-10.62	-1.45	-1.03	0.00
8	-0.46	-17.82	416.00	279.00	70	0.00	0.00	-1.45	-1.45	-2.90
9	-0.46	-17.82	416.00	279.00	80	0.00	0.00	-1.45	0.00	-4.35
10	-0.86	-33.40	416.00	279.00	90	0.00	0.00	-1.45	0.00	-5.80
11	0.00	0.00	416.00	279.00	100	0.00	-0.04	-1.45	0.00	-7.28
12	0.00	0.00	416.00	279.00	170	0.00	-0.04	-1.45	0.00	-8.77
13	0.00	0.00	416.00	279.00	240	11.60	-0.03	-1.45	0.00	1.35
14	0.00	0.00	416.00	279.00	310	0.00	-0.03	-1.45	0.00	-0.14
15	0.00	0.00	416.00	279.00	380	0.00	-0.03	-1.45	0.00	-1.62
16	0.00	0.00	416.00	281.00	450	0.00	-0.03	-1.45	0.00	-3.11
17	0.00	0.00	416.00	281.00	520	0.00	-0.03	-1.45	0.00	-4.59
18	0.00	0.00	416.00	281.00	590	11.60	-0.03	-1.45	0.00	5.53
19	0.00	0.00	416.00	283.00	660	0.00	-0.03	-1.45	0.00	4.05
20	-1.52	-59.38	416.00	283.00	730	0.00	0.00	-1.45	0.00	2.60
21	0.00	0.00	416.00	283.00	740	0.00	0.01	-1.45	0.00	1.15
						11.58				
						-9.23				

