



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Optimización de variables energéticas en función de la productividad y competitividad de la industria láctea y caracterización energética y tecnológica del sector

Carlos Alberto Bolaños Bolaños

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Bogotá D.C., Colombia
2014

Optimización de variables energéticas en función de la productividad y competitividad de la industria láctea y caracterización energética y tecnológica del sector

Carlos Alberto Bolaños Bolaños

Tesis o trabajo de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería Eléctrica

Director (a):
Ing. Msc. Omar Freddy Prias Caicedo

Línea de Investigación:
Eficiencia Energética Industrial

Grupo de Investigación:
GRISEC - Grupo de Investigación en el Sector Energético Colombiano. Gestión energética para industria, seguimiento al sector y trabajo en redes de conocimiento.

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Bogotá D.C., Colombia
2014

Agradecimientos

Agradezco especialmente la guía y soporte de mi director de tesis Ing. Omar Prias Caicedo, a las invaluables sugerencias y contribuciones de los gerentes y personal técnico de las diferentes plantas de procesamiento de lácteos, especialmente al Ing. Luis Humberto Falla, Ing. Wilson Rojas e Ing. Alvaro Pérez Silva. A los estudiantes del grupo de investigación GRISEC de la Universidad Nacional de Colombia y en general a todos los actores que proporcionaron su granito de arena quienes con su desinteresado apoyo, facilitaron el acercamiento a los gremios y al sector industrial en la búsqueda de la construcción de este aporte académico que apunta al desarrollo productivo y competitivo de la industria de manufactura de nuestro país.

Muchas gracias también al apoyo incondicional de mi familia por los incontables sacrificios y su comprensión durante la elaboración de éste documento, en especial mi esposa Ana Marchena, y a mis hijas Valentina y Nohelia.

También gracias a Dios, mi madre Ruth, mi hermana Jenny y a mi Padre Rodrigo por los constantes apoyos morales y espirituales.

Resumen

Debido a la competitividad del mercado y a la incertidumbre de los empresarios industriales por la sostenibilidad de las empresas manufactureras en Colombia, la eficiencia energética se convierte en una de las herramientas principales para el progreso y el no estancamiento de su desarrollo tecnológico y económico. Por ello se debe incentivar a los empresarios para la búsqueda de soluciones y alternativas que giren en torno a la eficiencia energética de sus procesos. Algunas de ellas se desarrollan en el presente trabajo de investigación y apuntan hacia la optimización de los recursos energéticos presentes en su proceso productivo.

Para el alcance que tenía como objetivo realizar un análisis más profundo acerca de la información energética y tecnológica del sector lácteo, se realizaron 18 visitas de campo previo una selección muestral de 63 empresas con registros aportados por los gremios y actores de toda la cadena de valor incluidos los proveedores de servicios y maquinaria. A todo ello se suma las encuestas virtuales que complementarían la información primaria de las empresas analizadas; de ésta forma, se consolida una aproximación acertada que caracteriza el comportamiento energético y tecnológico del sector lácteo en Colombia.

La matriz energética caracterizada para el sector lácteo a partir de la muestra, identifica el Gas natural como líder en consumo de energéticos con el 62% (Unos 417 Gwh/año), su consumo se asocia a maquinaria para la generación de vapor y aire caliente como calderas pirotubulares y calentadores cerrados, mientras que la energía eléctrica con el 25% (168 Gwh/año) es utilizada para la generación de Aire comprimido, refrigeración, torres de enfriamiento, homogenizadores, centrifugas clarificadoras, sistemas de bombeo de agua recuperada, CIP, motores de Inducción, variadores de frecuencia e iluminación. Todos ellos usados para la producción de lácteos y que además demandan un significativo consumo de energéticos para la transformación de la leche.

La cifra expuesta por el DANE que refiere el consumo de energía eléctrica para sector lácteo en Colombia al año 2012 (1), indica un consumo de 268 Gwh/año, respecto a los 168 Gwh/año de la muestra. De lo anterior se puede concluir que el uso de la energía eléctrica de las empresas visitadas, representa el 63% del gasto total de energía eléctrica que utiliza el sector lácteo nacional para su proceso productivo.

También es importante resaltar que fue recopilada la información del sector lácteo en cuanto a distribución de empresas lácteas por tamaño, producción de leche en Colombia por departamentos, aporte al PIB y su matriz energética, la cual se presenta mediante un balance que consolida la información en unidades equivalentes de energía en Tcal. Este balance energético también se consolidó de manera transversal para toda la industria de manufactura del país incluido el sector lácteo, apoyado en consumos energéticos presentados por la UPME al año 2011, los cuales se presentan en el Capítulo 3.4 del presente documento.

Durante el desarrollo de la caracterización energética y tecnológica del sector, también se identificaron los procesos intensivos en el consumo de energéticos para el procesamiento de leche. Estos procesos lo conforman las plantas de pasteurización y las plantas de pulverización, que en ocasiones también incluyen derivados lácteos. Las plantas de producción que solamente se dedican a la producción de derivados lácteos como la fermentación de Yogurt, la elaboración de: mantequilla, arequipe, helados, y el prensado para la elaboración de quesos, no son representativas en cuanto a volúmenes de producción para el sector y tampoco

en cuanto a consumo de energéticos, todo ello se sustenta y se puede evidenciar en los diagramas de sankey que fueron utilizados para la caracterización tecnológica de las plantas de procesamiento desarrollados en el ítem 4.2.3, por lo tanto, no se incluyen como destacadas en el presente trabajo de investigación. En el Anexo 5, se describe los diferentes procesos intensivos en el consumo de energéticos y que además procesan gran parte de la materia prima que ingresa a una planta de producción de lácteos.

A partir de esta información, se presenta la aplicación para la optimización de variables energéticas inmersas en el proceso productivo, mediante la presentación de indicadores que correlacionan el consumo de energía vs. Producción equivalente en litros para una planta de procesamiento de leche o derivados lácteos. Como consecuencia, la utilización de esta herramienta junto con las estrategias de optimización de variables energéticas, deriva en ahorros para la producción, que a la postre contribuye con la mitigación de tipo ambiental y rentabilidad financiera, es decir, que por los ahorros energéticos obtenidos para el sector, éste será más competitivo, aportando a la mitigación del cambio climático por dejar de consumir combustibles fósiles, derivando una política dentro del sector como una estrategia de sostenibilidad.

Se desarrolla un indicador que integra los procesos productivos en cuanto al consumo de energéticos y materia prima de forma equivalente, este se presenta como el consumo de energía específico CE_{esp}, y se calcula en función de la totalidad de productos derivados y procesados a partir de la leche junto con el total de energéticos utilizados para la transformación de éstos productos. Este coeficiente se presenta como un indicador que mide el consumo total de energéticos en wh necesarios para producir un litro de leche equivalente en una planta de procesamiento de lácteos.

Para concretar el análisis del comportamiento de la producción en la industria y la importancia del sector lácteo a nivel mundial, se construyeron indicadores macro que nacen a partir de una línea base tomada de registros de producción de cada planta. La herramienta utilizada para el desarrollo de éstos indicadores se llama "Benchmarking"; este concepto evalúa los puntos de comparación que se tiene respecto a otros países en cuanto a la competitividad, y puede ser una referencia muy fuerte cuando se quiere determinar si una planta de lácteos se encuentra lista para competir tanto interna como externamente en un mercado que cada vez se torna más exigente y competitivo, en general, esta herramienta reúne y compara aspectos de tipo energético y productivo de una empresa respecto a los líderes o competidores más fuertes del mercado en el mundo (2). De esta forma se obtuvo una línea base que relaciono la producción y el consumo de energéticos para establecer los aspectos de mayor importancia en la competitividad del sector para Colombia en el Capítulo 5.5.

Además se plantean soluciones de tipo tecnológico para el sector, que apuntan a la optimización de las variables energéticas inmersas dentro del proceso de transformación de la leche y que cuantifican las pérdidas del proceso productivo, estas soluciones fueron basadas en la pérdida de producto por los empujes de leche al inicio y al final de producción, y en la pérdida de esterilidad de los equipos de proceso que ocasiona un CIP forzado porque los equipos son sensibles ante perturbaciones de tensión vulnerando su sistema estéril. Estas soluciones se describen en detalle incluido su análisis financiero en el numeral 5.3 del presente documento.

Finalmente se contextualizan los indicadores energéticos de productividad y competitividad que miden el desempeño energético dentro de la producción, los cuales se encuentran altamente ligados a los consumos energéticos, a la materia prima e insumos utilizados para el procesamiento de la leche. Estos indicadores finalmente servirán como herramienta al empresario en la búsqueda de alternativas de choque para hacer más productivo y eficiente su proceso, es así como la eficiencia energética de los procesos, se convierte en un aliado estratégico del empresario para el eficaz desarrollo de la productividad y la competitividad del sector en Colombia y en el mundo.

Palabras clave: Eficiencia energética, Matriz energética, optimización de los recursos energéticos; sector lácteo en Colombia; Benchmarking, diagramas de sankey. Consumo de energía específico CE_{esp} , Indicadores macro, Indicadores energéticos de productividad

Abstract

Due to market competitiveness and the uncertainty of the industrial entrepreneurs about the sustainability of the manufacturing companies in Colombia, energy efficiency becomes in one of the main tools for the progress and not stagnation of its technology and economic development. Therefore, it is important to encourage company owners to look for solutions and alternatives with regard to energy efficiency of their processes. Some of these alternatives are developed in this research work, aiming at the optimization of energy resources in their productive processes.

For the scope that aimed to develop a deeper analysis about energy and technology information in the dairy sector, 18 field visits were made prior to a sample selection of 63 companies with records provided by the business communities and actors across the value chain including service and machinery suppliers. To all of these is added the virtual survey that would complement the primary information of the analyzed companies. In this way, a successful approach that characterizes the energy and technology behavior of the dairy sector in Colombia is consolidated.

The energy matrix, characterized from the sample for the dairy sector, identifies natural Gas as the leader in energy consumption with the 62% (about 417 Gwh/year), its consumption is associated with machinery for the generation of steam and hot air such as fire-tube boilers and closed heaters; while the electric energy with the 25% (168 Gwh/year) is used for generating compressed air, refrigeration, cooling towers, homogenizers, clarifier centrifuges, pump system of recovered water, CIP, induction motors, frequency variators and lighting. All of these are used for the production of dairy products and they also demand meaningful energy consumption for the transformation of milk.

The figure presented by DANE, referring the consumption of electric energy for the dairy sector in Colombia to the year 2012(1), indicates a consumption of 268 Gwh/year compared to the 168 Gwh/year from the sample. Due to all of the above, it can be concluded that the use of electric energy in the visited companies represents the 63% of the total expenses of electric energy that the national dairy sector uses for its productive process.

It is also important to highlight that the information of the dairy sector was gathered regarding the distribution of dairy companies by size, milk production in Colombia in departments, contribution to the GDP and its energy matrix which is presented through a balance sheet that consolidates information in equivalent units of energy in Tcal. This energy balance is also consolidated in a cross way for all the manufacturing industry of the country including the dairy sector, supported by energy consumption presented by the UPME for the year 2011, which are introduced in the 3.4 Chapter of this document.

During the development of the characterization of the energy and technology sector, intensive processes in the consumption of energy for milk processing were also identified. These processes comprise pasteurization and pulverized plants that in some cases also include milk derivatives. Production plants only engaged in the production of milk derivatives like Yogurt fermentation, the production of : butter, arequipe, ice cream and the pressing for the cheese production that are not representative in terms of volume of production for the sector nor regarding the consumption of energy; all of this is supported and can be demonstrated in the sankey diagrams that were used for the technological characterization of the processing plants developed in the item 4.2.3; therefore, it is not included as distinguished in this research work.

In the appendix 5, it is described the different intense processes in the consumption of energy and that also process most of the raw material that enter to a production plan of dairy products.

From this information, it is presented the application for the optimization of energy immersed in the productive process through the presentation of indicators that correlate the consumption of energy vs. the production equivalent in liters for a processing plant of milk products and its dairy derivatives. As a result, the use of this tool, along with the strategies for optimizing energy variables, derives in savings for the production that contributes to the mitigation of environmental type and financial profitability; that is, that thanks to the energy savings obtained by the sector, it will be more competitive, contributing to the mitigation of the climate change as it stops consuming fossil fuels, originating a policy inside the sector with a strategy of sustainability.

It is developed one indicator that integrates the productive processes regarding the consumption of energy and raw material in an equivalent manner; this is presented as the specific energy consumption CE_{esp} , and it is calculated based on the total derivative and processing products from milk together with the total energy used for transformation of these products. This coefficient is presented as an indicator that measures the total energy consumption in wh required to produce a liter of milk equivalent in a processing plant of dairy products

In short, the behavior analysis of production in the industry and the importance of the dairy sector worldwide were built through macro indicators that were born from a base line taken from production records from each plant. The tool used for the development of these indicators is called "Benchmarking"; this concept evaluates the comparison points regarding other countries in terms of competitiveness and can be a very strong reference when you want to determine whether a plan of dairy products is ready to compete both internally and externally in a market that each time is more demanding and competitive; in general, this tool gathers and compares aspects of energy and productive type of a company regarding the strongest leaders or competitors of the market in the world (2). Thus, a base line that connected the energy production and consumption was obtained to establish aspects of importance in the competitiveness of the Colombian sector in Chapter 5.5.

Besides, some solutions of technology type are considered for the sector that look for the optimization of the energy variables immersed in the transformation process of milk and that quantifies the losses of the productive process. These solutions were based on product loss due to the pressure of milk at the beginning and end of production, and in the loss of sterility of the equipment of process that causes a forced CIP because the equipment is sensitive to voltage disturbances violating its sterile system. These solutions are described in detail including its financial analysis in the numeral 5.3 in this document.

Finally, energy indicators of productivity and competitiveness that measure energy performance in production are contextualized, which are highly linked to energy consumption, raw material and goods used for milk processing. These indicators finally will be used as a tool for the business owners in the search of shock alternatives to make its process more productive and efficient, this is how energy efficiency of processes become in an strategic ally for the business entrepreneurs for the effective development of the productivity and competitiveness of the sector in Colombia and in the world.

Keywords: Energy efficiency; Energy matrix, Optimization of energy resources; The dairy sector in Colombia; Benchmarking, The sankey diagrams, the specific energy consumption CEesp, Macro indicators, energy indicators of productivity.

Contenido

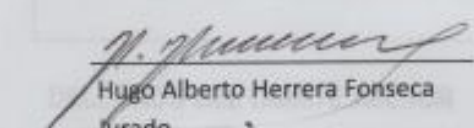
Resumen	4
Abstract	7
Contenido	10
Concepto del Jurado Evaluador.....	11
Lista de Figuras.....	12
Lista de Tablas	13
Convenciones y Abreviaturas	15
Introducción.....	17
1. Objetivos.....	20
1.1. Objetivo General	20
1.2. Objetivos Específicos.....	20
2. Metodología.....	21
3. Estado Del Arte.....	23
3.1. Sector Lácteo en el Mundo.....	23
3.2. Sector Lácteo en Colombia.....	25
3.3. Indicador de Producción PIB – Nacional y Sector Lácteo.....	30
3.4. Balance Energético de la industria Colombiana.....	32
3.5. Contexto de La eficiencia Energética para la Industria Láctea en Colombia 37	
3.6. Procesos de lácteos Intensivos en el consumo de Energéticos	39
3.7. Servicios de Soporte para el procesamiento de Leche.....	39
4. Caracterización Energética y Tecnológica Del Sector	49
4.1. Selección de la Muestra de Empresas	49
4.2. Visitas de Campo a las empresas Seleccionadas	52
4.3. Encuestas virtuales – Análisis de información del sector	67
4.4. Caracterización Tecnológica del sector de lácteos	72
5. Optimización de variables Energéticas en función de la productividad y la competitividad ...	74
5.1. Construcción del Indicador de producción y Energía equivalente para una planta de lácteos (Artículo publicado en IEEE).....	75
5.2. Construcción de Indicadores Micro con enfoque a la Productividad	80
5.3. Pérdidas cuantificadas y soluciones tecnológicas en la productividad.....	84
5.4. Acciones que derivan de la gestión, tecnologías de uso eficiente y Eficiencia Energética de los procesos.....	94
5.5. Indicadores Macro con enfoque a la Competitividad	95
6. Conclusiones	102
7. Recomendaciones.....	103
8. Anexos.....	105
Bibliografía y Documentos de Referencia	163

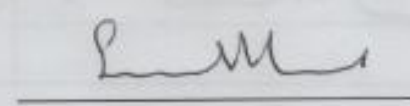
Concepto del Jurado Evaluador

CONCEPTO DEL JURADO EVALUADOR

El Jurado calificador del Trabajo de Maestría: *"Optimización de variables energéticas en función de la productividad y competitividad de la industria láctea y caracterización energética y tecnológica del sector"*, desarrollado por el Ingeniero Carlos Alberto Bolaños Bolaños recibe la calificación de aprobada con los siguientes comentarios:

- El trabajo cumple con el objetivo de caracterizar energética y tecnológicamente el sector lácteo en Colombia logrando definir y cuantificar los indicadores de producción micro y macro identificando y detallando las características y oportunidades de realizar la gestión energética en el sector. Así mismo, se destaca la síntesis lograda para evaluar producción de derivados lácteos y consumo energético por intermedio del coeficiente de consumo específico de energía y el indicador de equivalente energético por litro producido.
- Adicionalmente, desarrolló las alternativas de optimización de las variables energéticas en función de la productividad y competitividad de la industria láctea, aportando un estudio muy profundo de los diferentes procesos, un excelente inventario tecnologías aplicadas en el sector, una matriz energética con estimaciones de consumo y una representación muy ilustrativa mediante los diagramas de *Sankey*
- Se resalta como producto académico el artículo presentado en el Congreso para socializar los resultados de la evaluación energética en el sector industrial lácteo y las condiciones de producción para sensibilizar al grupo técnico y directivo de las empresas sobre la importancia de medir, cuantificar y gestionar los indicadores de producción y consumo de recursos especialmente el de energía.
- Se recomienda realizar una revisión de la edición documento especialmente en el manejo y presentación de tablas y figuras en texto evitando el fraccionamiento de la información en títulos y contenido.


Hugo Alberto Herrera Fonseca
Jurado


Fernando Augusto Herrera León
Jurado

Febrero 4 de febrero del 2015

Lista de Figuras

Figura 1: Metodología de Investigación	22
Figura 2: Análisis de Mercado: Producción Importaciones y Exportaciones mundial 2011 (6)	25
Figura 3: Estructura y valor de la cadena láctea en Colombia 2012 (11).....	26
Figura 4: Estructura Simplificada de la cadena láctea con Actores (14).....	28
Figura 5: Distribución de empresas Lácteas por tamaño en Colombia (9).....	29
Figura 6: Principales Industrias del sector lácteo en ventas año 2007	29
Figura 7: Producción de Leche en Colombia año 2013 (17).....	30
Figura 8: Distribución porcentual de la producción real de alimentos y bebidas 2014	31
Figura 9: Distribución porcentual de energéticos sector Industrial - Colombia.....	33
Figura 10: Distribución porcentual de sectores Industriales por consumo de energéticos (22).....	34
Figura 11: Distribución porcentual de Energéticos para el sector de Alimentos y Bebidas 2011 (22).....	35
Figura 12: Distribución porcentual de Energéticos para el sector de Lácteos 2011	36
Figura 13: Consumo de Energéticos sector Lácteo por Regiones 2011	37
Figura 14: Caldera Piro tubular 400 BHP para la generación de vapor	40
Figura 15: Compresor de Amoniaco para una sistema de Refrigeración	43
Figura 16: Torre de enfriamiento en planta de Lácteos	44
Figura 17: Compresor 88 CFM para Generación de Aire Comprimido (35)	47
Figura 18: Diagrama de una PTAR típica en la industria láctea	48
Figura 19: Entradas y Salidas del Proceso en Planta de Producción de Lácteos – con Pérdidas Asociadas al consumo de Energéticos	53
Figura 20: Distribución porcentual del Costo de energéticos – Empresas Visitadas.....	55
Figura 21: Resultados de costos Energéticos y su peso en la planta de producción – Colanta Funza (36)	56
Figura 22: Resultados de costos Energéticos y su peso en la planta de producción - Alpina (37)	56
Figura 23: Gráfico Consumo Energía Eléctrica Vs Producción para sector Lácteo	60
Figura 24: Grafico Consumo Gas Natural Vs Producción para sector Lácteo	62
Figura 25: Diagrama de Sankey para la Generación de vapor planta UHT	64
Figura 26: Diagrama de Sankey para la Generación de vapor planta Pulverización	64
Figura 27: Diagrama de Sankey para E. Eléctrica planta UHT.....	65
Figura 28: Diagrama de Sankey para E. Eléctrica Planta Pulverización	65
Figura 29: Diagrama de Sankey para Aire C. planta UHT	66
Figura 30: Diagrama de Sankey para Refrigeración planta UHT	66
Figura 31: Resultados de Encuesta, Energéticos vs Costo en la Producción	67
Figura 32: Resultados de Encuesta, Percepción del Empresario en cuanto a Eficiencia Energética sector lácteo	68
Figura 33: Resultados de Encuesta, hay Restricciones o cuellos de botella en el sector?	70
Figura 34: Resultados de Encuesta, Identificación del cuello de botella en el sector lácteo	71
Figura 35: Indicadores de producción sector lácteo – Litros procesados vs Agua.....	81
Figura 36: Indicadores de producción sector lácteo – Litros procesados vs Gas Natural.....	82
Figura 37: Indicadores de producción sector lácteo – Litros procesados vs Energía eléctrica	83
Figura 38: Crioscopia de Empuje Ultrapasteurizador de 16.000 litros/hora (42).....	86
Figura 39: Monitoreo de Pérdidas de leche por Empujes de Inicio de Producción.....	87
Figura 40: Solución Tecnológica para recuperación de empujes de leche	88
Figura 41: Soporte con UPS´s para sostenibilidad ante distorsiones en tensión (44).....	93
Figura 42: Coeficiente de variación Estrato 2 para la Selección de Empresas	115
Figura 43: Coeficiente de variación Estrato 3 para la Selección de Empresas	115
Figura 44: Distribución porcentual del PIB por Ramas de Actividad económica 2013 (19).....	120
Figura 45: Distribución de la producción bruta industrial según área metropolitana - 2012 (48)	120

Figura 46: Diagrama de flujo proceso de Pasteurización (52)	124
Figura 47: Diagrama de flujo proceso de Ultrapasteurización Directa (52).....	126
Figura 48: Diagrama de flujo proceso de Ultrapasteurización Indirecta (52)	127
Figura 49: Calandria en Proceso de Evaporación de la leche (52).....	129
Figura 50: Diagrama de Secado en Una planta de Pulverización (52).....	130
Figura 51: Vistas Modulo CIP (52)	131

Lista de Tablas

Tabla 1: Producción de leche mundial en millones de litros/año 2012 (5) (6).....	23
Tabla 2: Consumo Per cápita de leche mundial en kg/habitante/año	24
Tabla 3: Consumo de Energéticos para el Sector Industrial en Colombia 2011 (22).....	32
Tabla 4: Distribución de Energéticos por sectores Industriales en Tcal – Colombia 2011 (22).....	34
Tabla 5: Consumo de energéticos estimado para el sector de Lácteos en	36
Tabla 6: Monitoreo del consumo de Energéticos para Calderas de 400 y 600 BHP	40
Tabla 7: Costo de Energéticos para la Operación de una caldera de 600 BHP	41
Tabla 8: Costo de Energéticos para la Operación de una caldera de 400 BHP	41
Tabla 9: Cálculo del sistema de Refrigeración para una planta de lácteos en TR	42
Tabla 10: Cálculo de compresor de Aire para una planta de lácteos en CFM.....	46
Tabla 11: Velocidades típicas del aire comprimido por la tubería en m/s (33)	46
Tabla 12: Diámetros de la tubería para el Aire Comprimido en una planta de lácteos	47
Tabla 13: Insumos Asociados al proceso en la PTAR	49
Tabla 14: Registros de Empresas de Lácteos para la muestra.....	50
Tabla 15: Consumo Energético del sector Lácteo – Empresas Visitadas.....	54
Tabla 16: Costo de energéticos para el sector Lácteo – Empresas Visitadas	55
Tabla 17: Empresas visitadas - Producción vs Energéticos Consumidos.....	57
Tabla 18: Comportamiento del Consumo de Energía Eléctrica sector Lácteo	60
Tabla 19: Ecuación del consumo de Energía Eléctrica Sector Lácteo	61
Tabla 20: Comportamiento del Consumo de Gas Natural sector Lácteo	62
Tabla 21: Ecuación del consumo de Gas Natural Sector Lácteo.....	62
Tabla 22: Clasificación de calderas por capacidad y Energético – Sector lácteo.....	72
Tabla 23: Clasificación de los equipos en planta Sector lácteo por Antigüedad en años	73
Tabla 24: Conversión de Energéticos a kwh, usados en plantas de lácteos	76
Tabla 25: Litro procesado/kwh - Línea base de producción equivalente para leche Pasteurizada	77
Tabla 26: Litro procesado/kwh - Línea base de producción equivalente para leche UHT	78
Tabla 27: Producción equivalente Energética de Productos lácteos	78
Tabla 28: Problemas técnicos asociados a la Productividad sector Lácteo	84
Tabla 29: Pérdida en Volumen de Litros por Empujes de Producto al Inicio y final de producción.....	85
Tabla 30: Leche Recuperada en Equipos principales de una planta de lácteos – Pay back.....	88
Tabla 31: Pérdida en Volumen de Litros por caída de Esterilidad o Pérdida de Temperatura	89
Tabla 32: Consumos globales de materia y energía en el proceso de lavado con CIP	90
Tabla 33: Balance de materia para un lavado completo CIP a Ultrapasteurizador de 4000 l/h	91
Tabla 34: Costo estimado de lavado CIP completo a Ultrapasteurizador de 4000 l/h - Precios a 2014	91
Tabla 35: Potencia y Corriente de UPS`s para equipos de envasado y procesos UHT	93
Tabla 36: Producción Recuperada por CIP Innecesario en Equipos principales de una planta de lácteos – Pay back.....	94
Tabla 37: Indicadores Macro para una planta de lácteos utilizando “Benchmarking” (47)	97
Tabla 38: Indicadores Macro para las plantas de lácteos de la muestra utilizando “Benchmarking”	98

Tabla 39: Clasificación por uso de combustible	106
Tabla 40: Tamaño de la muestra sector lácteo en Colombia.....	107
Tabla 41: Clasificación por Consumo de Energéticos equivalentes en kwh/año	109
Tabla 42: Clasificación de Empresas de la muestra por estratos de consumo en kwh/año	110
Tabla 43: Coeficientes de Correlación entre variables de la muestra.....	111
Tabla 44: Datos Estadísticos de la muestra de Empresas por estratos	113
Tabla 45: Cálculo de intervalos para la muestra con una confianza del 95%	116
Tabla 46: Análisis de mercado: Producción Importaciones y Exportaciones mundial 2011 (6)	117
Tabla 47: Producto interno bruto 2013 - Colombia	119
Tabla 48: Factor de Conversión de Unidades originales a Teracalorias (Tcal) (22)	121
Tabla 49: Equivalente de Unidades originales a Unidades conocidas en Colombia (22).....	122
Tabla 50: Conversión de algunos energéticos a kwh (49) (50):.....	123
Tabla 51: Programa de limpieza CIP en plantas de Proceso (53)	132
Tabla 52 Concentraciones de los detergentes para el CIP	133
Tabla 53 Consumo de insumos para el proceso de CIP	133
Tabla 54: BPOE y tecnologías en Sistemas Térmicos – Sector Lácteo	140
Tabla 55: BPOE y tecnologías en Refrigeración – Sector Lácteo.....	142
Tabla 56: BPOE y tecnologías en Fuerza Motriz – Sector Lácteo	144
Tabla 57: BPOE y tecnologías en Iluminación – Sector Lácteo	145
Tabla 58: BPOE y tecnologías en Aire Comprimido – Sector Lácteo	146
Tabla 59: BPOE y tecnologías en Sistemas Eléctricos – Sector Lácteo	147
Tabla 60: Montaje a todo costo de la tecnología propuesta para el sistema de recuperación de Empujes de leche - Precios a 2014.....	150
Tabla 61: Montaje a todo costo de la tecnología propuesta para el sistema de sostenibilidad con UPS` s - Precios a 2014	151

Convenciones y Abreviaturas

AC: Alcohol Carburante

ADEME: Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (Agencia de Medio Ambiente y Gestión de la Energía)

ANH: Agencia Nacional de Hidrocarburos

BZ: Bagazo

Benchmarking: Concepto internacional que especifica la línea base o punto de referencia sobre el cual las empresas comparan algunas de sus áreas.

BID: Banco Interamericano de Desarrollo.

BTU: British Thermal Unit

BPOE: Buenas prácticas operacionales Energéticas.

CAEM: Corporación Ambiental Empresarial, filial de la CCB.

CCB: Cámara de Comercio de Bogotá.

CCEP: Colombia Clean Energy Program

CCEE: Consejo Colombiano de Eficiencia Energética

CFM: Siglas en ingles "cubic feet per minute" para el aire comprimido.

CIU: Clasificación Industrial Internacional Uniforme

CIURE: Comisión Intersectorial para el Uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes No Convencionales de Energía

CIF: Climate Investment Funds.

CIP: Cleaning in place, sistema de limpieza y desinfección.

CL: Carbón Leña

CM: Carbón Mineral

CME: Consejo mundial de Energía

CNPML: Centro Nacional de Producción Más Limpia.

CO₂: Dióxido de Carbono

Codensa: Empresa operadora de red y comercializadora de energía del Departamento de Cundinamarca y Bogotá.

Colciencias: Departamento administrativo de Ciencia, tecnología e Innovación.

COP: Coeficiente de rendimiento en sistemas de refrigeración. (coefficient of performance).

CONPES: Consejo Nacional de Política Económica y Social

CQ: Coque

CREG: Comisión de Regulación de Energía y Gas

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística

DIAGRAMA SANKEY: Tipo específico de diagrama de flujo.

DO: Diesel Oil

e2: Empresa de servicios Energéticos de Colombia.

EE: Energía Eléctrica

ENA: Encuesta Nacional Agropecuaria realizada por el DANE.

EPM: Empresas Públicas de Medellín.

Emgesa: Grupo de Energía de Bogotá que pertenece al grupo Endesa en Colombia.

ESSA: Electrificadora de Santander S.A. E.S.P.

ESCO: Compañía de Servicios Energéticos, por sus siglas en ingles Energy Service Companies.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FEDEGAN: Federación Colombiana de Ganaderos

FO: Fuel Oil

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GI: Gas Industrial

GRISEC: Grupo de Investigación del Sector Energético Colombiano, Universidad nacional de Colombia.

GLP: Gas Licuado de Petróleo

GM: Gasolina Motor

GN: Gas Natural

GR: Gas de Refinería

GWH: Gigawatios

HE: Hidroenergía

ICFES: Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación.

IDE: Índice de Desempeño Energético

IDEAM: Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia

IFC: International Finance Corporation.

INGEOMINAS: Instituto Colombiano de Geología y Minería

KBEP: Miles de barriles equivalentes de petróleo

KBL: Miles de barriles

KJ: Kerosene y Jet Fuel

KTEP: Kilo toneladas equivalentes de Petróleo

KTON: Miles de toneladas

LE: Leña

MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República de Colombia.

MAS: Muestreo Aleatorios Simple

MME: Ministerio de Minas y Energía

MPC: Millones de pies cúbicos

MPCD: Miles de pies cúbicos diarios.

NE: No Energéticos

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

OPEN: Programa de Promoción de Oportunidades de mercado para Energías Limpias y Eficiencia Energética ejecutado por la Cámara de comercio de Bogotá con su filial la CAEM y cofinanciado por el BID.

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PEN-SGIE: Programa Estratégico. Sistema de Gestión Integral de Energía, ejecutado por la Universidad Nacional de Colombia – Grupo GRISEC.

PIB: Producto Interno Bruto

PT: Petróleo

PTAR: Planta de Procesamiento de Aguas Residuales

Producción Equivalente: Unidad final producida que reúne todos los productos procesados con materia prima similar en una planta industrial. Para el presente documento serán litros de leche equivalentes.

RC: Residuos

SCR's: Dispositivo electrónico para UPS's

SDA: Secretaría Distrital de Ambiente Bogotá D.C

SENA: Servicio Nacional de Aprendizaje

SGIE: Sistema de Gestión Integral de Energía

SIMCO: Sistema de Información Minero Colombiano

SUI: Sistema único de Información de servicios Públicos

TCAL: Teracalorías en unidades originales UPME

TIR: Tasa Interna de Retorno

UHT: Ultra high temperature processing (Leche procesada a una alta temperatura)

UPME: Unidad de Planeación Minero Energética

URE: Uso Racional y Eficiente de Energía

VPN: Valor Presente Neto

η : símbolo representativo de la eficiencia.

Introducción

La industria de producción de lácteos en todo el mundo procesa aproximadamente 724 millones de toneladas de litros equivalentes al año. Una gran parte del incremento se debe a la producción de países en vía de desarrollo, especialmente Argentina, Brasil, China y la India (3) (4). Colombia es el cuarto productor de leche en América Latina con un volumen aproximado de 6,5 millones de toneladas anuales, superado por Brasil con 30,7 mill/año, México con 11,3 mill/año y Argentina con 11,1 mill/año (5) (6).

Al analizar la producción de leche en los diferentes países, se puede identificar que la India es el mayor productor mundial de leche, siendo responsable del 24% de la producción mundial, además casi todo el consumo es local (7), pero en cuanto a consumo per cápita mundial ocupa el puesto once con 90 kg.habitante/año, mientras que Colombia tiene un consumo de 153 kg.habitante/año y ocupa el 7 lugar. Los principales productos lácteos que se comercializan en el mundo son: leche pasteurizada, leche UHT, leche concentrada, leche en polvo, mantequilla, crema de leche, queso, lactosuero, yogurt y cuajada.

La producción de Alimentos y bebidas en Colombia representa más del 20% de la industria nacional, y está compuesta por sectores como carnes y pescados, aceites y grasas, productos lácteos, panadería y molinería, productos de café, azúcar, cacao, bebidas alcohólicas y no alcohólicas. La dinámica de esta industria está muy relacionada con el consumo de los hogares, aunque se caracteriza por no tener variación representativa en cuanto al mercado de consumo en los últimos cinco años. Además, este sector se encuentra íntimamente ligado al sector agropecuario, por ser éste la fuente de sus principales materias primas (8). La industria de alimentos y bebidas es un sector que se está adaptando a las crecientes necesidades y exigencias de los consumidores y a la competencia cada vez más fuerte de los mercados internacionales, y a pesar de haber sufrido la ola invernal de Colombia en los últimos años que afecta de forma directa su producción, es un sector que apunta hacia la innovación tecnológica en los procesos, no solo para ofrecer productos diferenciados con mayor valor nutricional, sino también para mejorar sus estrategias en logística, transporte, energía, empaques y procesos de producción. Y no solo este sector se está moviendo y trabaja hacia la elaboración de productos mejorados, sino también hacia nuevos mercados, por ejemplo, el caso de los principales destinos de lácteos tipo exportación en el 2010; el 25% se exporta a Venezuela, el 22% a republica Dominicana, el 14% a Ecuador, el 13% a Estados Unidos y el 9% a Perú (8).

Amerita resaltar, que el sector de bebidas lácteas ha desarrollado en los últimos años una fuerte estrategia de innovación, que se ha traducido en una mayor oferta de productos funcionales con beneficios sobre la salud y una gran variedad de productos derivados de la leche a bajo precio. Esta estrategia ha sido adoptada por muchas empresas del sector y se espera que próximamente el consumo de estos productos se extienda a las regiones más apartadas de Colombia.

La Industria láctea se caracteriza por tener en sus procesos equipamientos para la transformación de la materia prima intensiva en el consumo de energéticos, es por eso que

requieren ser estandarizados ya que su manejo es cada vez más complejo y difícil de controlar si no se dispone de una tecnología y operación adecuada. Estos procesos tienen ciertas características termodinámicas, eléctricas e insumos para su funcionamiento y operación, entre ellas: aire comprimido, agua helada, agua potable, agua recuperada, vapor de agua, energía eléctrica, y las variables dinámicas como el intercambio de temperatura para la reducción de carga microbiana y la mecánica de fluidos.

En cuanto al contexto de la eficiencia energética para el sector lácteo que gira en torno a la productividad y la competitividad, se logró determinar que ésta, no solamente se puede considerar como un aspecto técnico o un simple ajuste operativo, sino que también es una mejora continua en el desempeño energético de toda la cadena de valor que incluye también el proceso de transformación de la leche. Esta visión perimetral que consiste en el manejo eficiente de los recursos energéticos de todas las áreas de la empresa, desde la concepción de la materia prima en las fincas hasta el despacho del producto terminado a la tienda de barrio, es una visión integral del uso eficiente de la energía, que apunta hacia la optimización de los recursos energéticos en las diferentes áreas de trabajo de la planta.

Los servicios de soporte para el procesamiento de la leche que aportan los principales insumos de energéticos a una planta de procesamiento, también fueron identificados y descritos de forma detallada en su utilización para la Generación de vapor, Refrigeración industrial, Generación de aire comprimido, Redes de distribución de energía eléctrica y Plantas de tratamiento de aguas residuales PTAR.

Los resultados de la tesis en desarrollo, permiten identificar y caracterizar los diferentes procesos y tecnologías del sector lácteo intensivos en el consumo de combustibles y energía eléctrica llamados “energéticos”, estos procesos diversos en cuanto a su producción, son además complejos cuando se requiere cuantificar el consumo de los energéticos requeridos en su proceso de transformación, por tanto se requiere de un seguimiento detallado que contenga indicadores de tipo productivo y competitivo en torno a la optimización de estos recursos para el procesamiento de su materia prima. En síntesis, el aprovechamiento eficiente de los recursos energéticos relacionados con los insumos para el procesamiento de lácteos gira en torno a la eficiencia energética.

Los tres aspectos pilares e importantes en el desarrollo de la investigación se basan en: 1. La formulación de indicadores de productividad y competitividad utilizando acciones que derivan de la gestión, tecnologías de uso eficiente y la eficiencia energética de los procesos como las buenas prácticas e implementaciones tecnológicas, 2. El consolidar información primaria y secundaria de sector lácteo, la cual es de vital importancia para el desarrollo de estrategias y políticas sectoriales y 3. Los impactos y las recomendaciones que giran en torno a las pérdidas y actividades operacionales del proceso de transformación de la materia prima “la leche”.

Por tanto la eficiencia energética de estos procesos industriales, debe conglomerar y alinear a todos los equipos inmersos dentro de estas acciones conjuntas, con el fin de obtener correlación eficiente entre la energía utilizada en un periodo de tiempo con respecto a la producción realizada en este mismo periodo.

Los indicadores de productividad y competitividad que sirven como herramienta para realizar ajustes operacionales y determinar pérdidas dentro del proceso de transformación de la leche, fueron construidos con base en la información obtenida las visitas técnicas de campo, sumado con las encuestas realizadas a la cadena láctea del sector y la información secundaria nacional e internacional.

Al final del documento, se desarrolla la formulación de los indicadores micro y macro enfocados a la productividad y competitividad respectivamente, los cuales identifican la caracterización del sector e integran los procesos productivos, tendencias tecnológicas, perfiles tecnológicos, gestión energética y BPOE de la industria láctea. Estos indicadores identifican la forma de optimizar los recursos energéticos de las plantas de producción de lácteos como también la forma de hacer un buen uso de los recursos asociados a la materia prima. También se propone un par de propuestas que tienen como objetivo el mejoramiento de los indicadores de productividad mediante soluciones tecnológicas dentro del proceso de transformación de la leche.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Optimización de variables energéticas en función de la productividad y competitividad de la industria láctea y caracterización energética y tecnológica del sector.

1.2. Objetivos Específicos

- Identificar, evaluar y documentar los diferentes procesos y las tecnologías asociadas para el sector de lácteos y su cadena de valor.
- Análisis de los recientes desarrollos tecnológicos utilizados para la industria láctea en Estados Unidos, Venezuela, Brasil y México a partir de información secundaria con aplicabilidad en el sector objeto de esta investigación.
- Mediante visitas de campo, encuestas virtuales e información secundaria se realizarán inventarios de combustibles y fuentes de energía, para construir la matriz energética y elaborar los diagnósticos energéticos y tecnológicos, con el fin de identificar las oportunidades de mejoramiento en los procesos de transformación.
- Identificar las acciones que desde la gestión energética, además de los aspectos de productividad y competitividad conduzcan a la mitigación al cambio climático como estrategias de sostenibilidad.
- Desarrollo de indicadores Macro para la caracterización del sector que indique las tendencias tecnológicas, perfiles tecnológicos, gestión energética y BPOE, enfocados a la competitividad de la industria láctea.
- Desarrollo de indicadores micro para la caracterización del sector que indique las tendencias tecnológicas, perfiles tecnológicos, gestión energética y BPOE, con énfasis en la productividad de la industria láctea.
- Publicación de un artículo para ser presentado en una revista indexada, el cual debe contener los resultados de la tesis de investigación.

2. Metodología

Para la revisión del estado del arte, se realizó una búsqueda bibliográfica en la cual se incluyó tanto libros como artículos, todos con contenido actual e información relacionada con la investigación, el desarrollo tecnológico, e innovación del sector lácteo en Colombia. Para efectos de abordar la presente investigación, se consolidó mediante un análisis muestral algunas empresas del sector en Colombia con un peso representativo en cuanto al consumo de energéticos, de este análisis se derivaron empresas grandes, medianas y pequeñas a las cuales se les realizó visitas de campo, se identificaron y analizaron las tendencias, perfiles tecnológicos y acciones relacionadas con la gestión energética y las buenas prácticas operacionales.

Adicionalmente se realizó el análisis de una muestra representativa para la estimación de consumos energéticos del sector lácteo con registros e información secundaria existente, aportes e información técnica de las asociaciones gremiales, catálogos de proveedores de servicios y tecnologías asociadas a los procesos de transformación de la leche, estudios preliminares que analizan el comportamiento de los sectores de manufactura en Colombia, y las emisiones calculadas para éstos estimadas por entidades oficiales de gran importancia para los sectores intensivos en el consumo de energéticos.

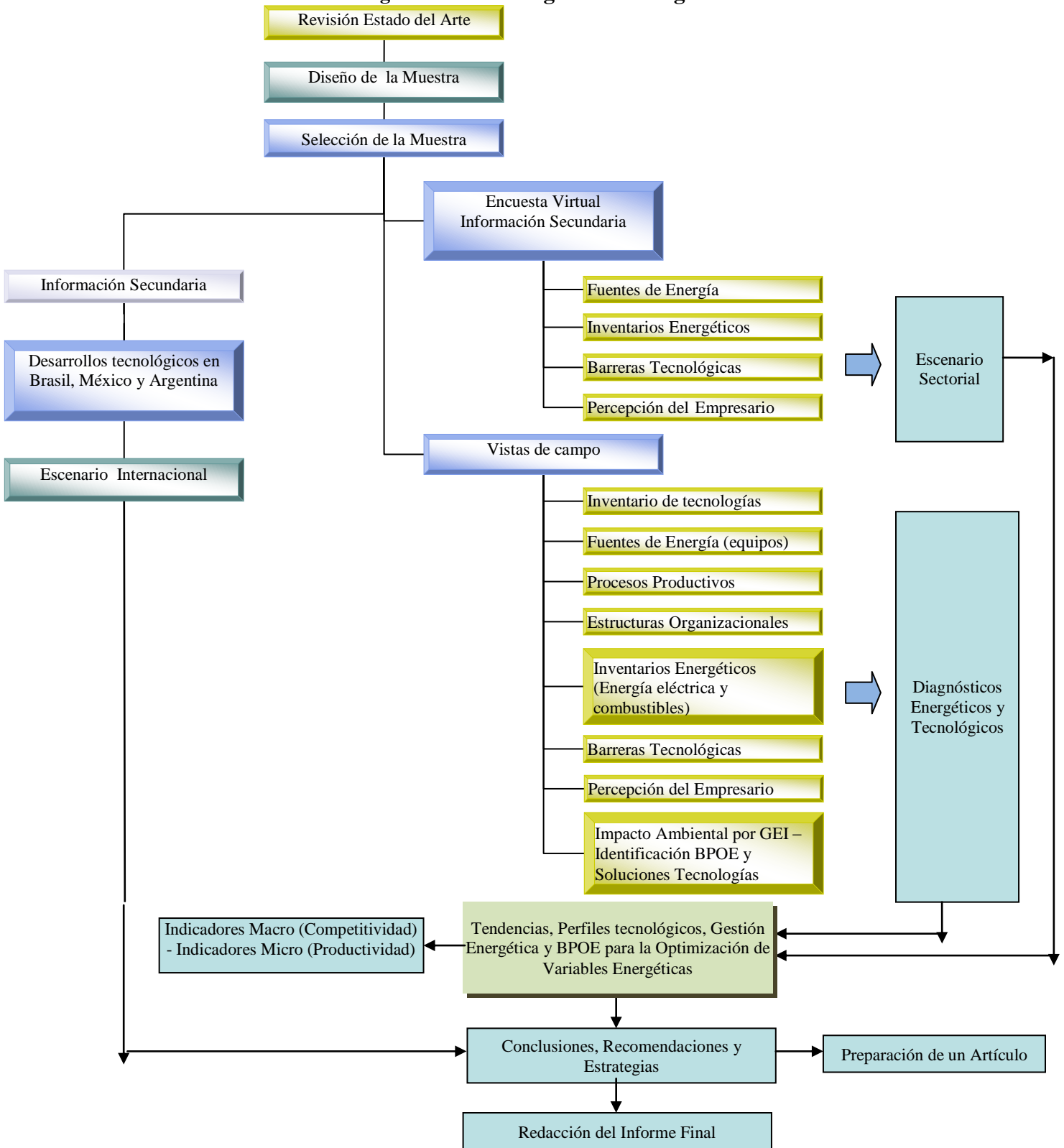
A través de encuestas virtuales e información secundaria se obtuvieron los datos requeridos para construir un escenario sectorial energético y tecnológico, con la finalidad de poder establecer comparativos e indicadores entre el estado del arte a nivel nacional y las empresas seleccionadas en la muestra, así mismo, mediante información secundaria, bibliografía especializada y revistas técnicas, se obtuvo los recientes desarrollos tecnológicos utilizados para la industria láctea en Brasil, México y Argentina.

Para el cumplimiento de los objetivos se realizaron las visitas de campo, en las cuales se efectuaron diagnósticos de recorrido y aplicativos con la finalidad de obtener la información relacionada con el inventario de energéticos, procesos productivos, estructuras organizacionales, identificación de fuentes de energía, inventario tecnológico y percepción de los empresarios.

Finalmente unificando la información del sector nacional e internacional, se consolidaron las tendencias, perfiles tecnológicos, gestión energética y BPOE para la optimización de las variables energéticas en función de la productividad y la competitividad del sector, apoyado con indicadores macro y micro para la industria láctea respectivamente.

A continuación se presenta la metodología a desarrollar resumida en un diagrama de flujo:

Figura 1: Metodología de Investigación



Fuente: Elaboración propia

3. Estado Del Arte

3.1. Sector Lácteo en el Mundo

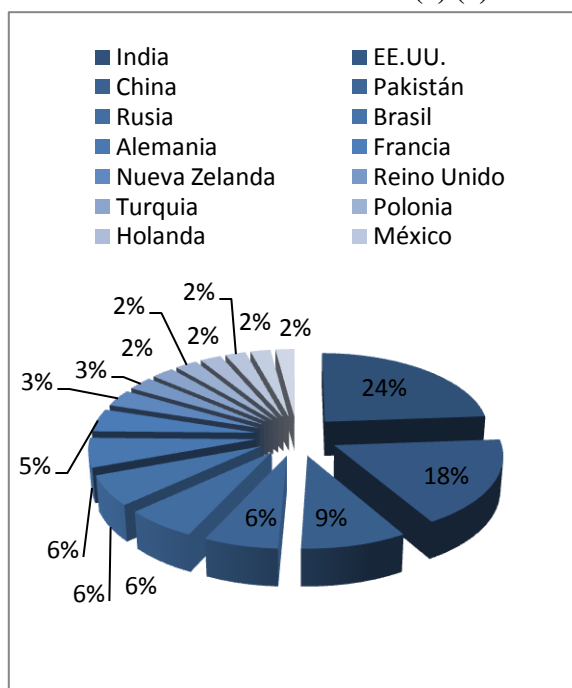
Se realizó un análisis de la dinámica e importancia del sector lácteo a nivel mundial con el fin de construir los principales indicadores relacionados con el “Benchmarking” que puede definirse como el proceso mediante el cual se recopila información y se obtienen nuevas ideas, mediante la comparación de aspectos de una empresa con los líderes o competidores más fuertes del mercado (2), y obtener una línea base que relacione la producción y el consumo de energéticos para establecer los aspectos de mayor importancia en la competitividad del sector (Capítulo 5.5).

La producción anual de leche es la mayor en el mundo dentro de todos los géneros agropecuarios, el valor total de producción mundial en su equivalente de litros, para el año 2009 ascendió a los U\$300 millones de dólares. Entre el 12% y el 14% de la población mundial vive en granjas lecheras, con un promedio de 2 vacas por granja y 11 litros diarios de producción, en los países en vía de desarrollo se generaron 200 empleos por cada millón de litros producidos, mientras que en los países desarrollados tan solo 5. De allí la enorme importancia de todas las cadenas de producción y distribución asociadas al proceso de transformación de la leche. (7)

Los precios internacionales de los productos lácteos, oscilan y dependen mucho de las condiciones atmosféricas. La FAO presento cifras sobre la producción mundial de productos lácteos en 2011, la cifra de producción aumento a 724 millones de toneladas, una gran parte del incremento se debe a la producción de países en vía de desarrollo, especialmente Argentina, Brasil, China y la India, pero el sector también avanzó en los países desarrollados, encabezado por la UE, Nueva Zelanda y los Estados Unidos. (3), (4)

Tabla 1: Producción de leche mundial en millones de litros/año 2012 (5) (6)

Producción de Leche en miles de Millones de litros/año	
India	119,40
EE.UU.	88,60
China	45,60
Pakistán	32,00
Rusia	31,10
Brasil	30,70
Alemania	29,62
Francia	23,30
Nueva Zelanda	17,20
Reino Unido	13,96
Turquía	12,48
Polonia	12,28
Holanda	11,63
México	11,30
Argentina	11,10
Italia	10,50



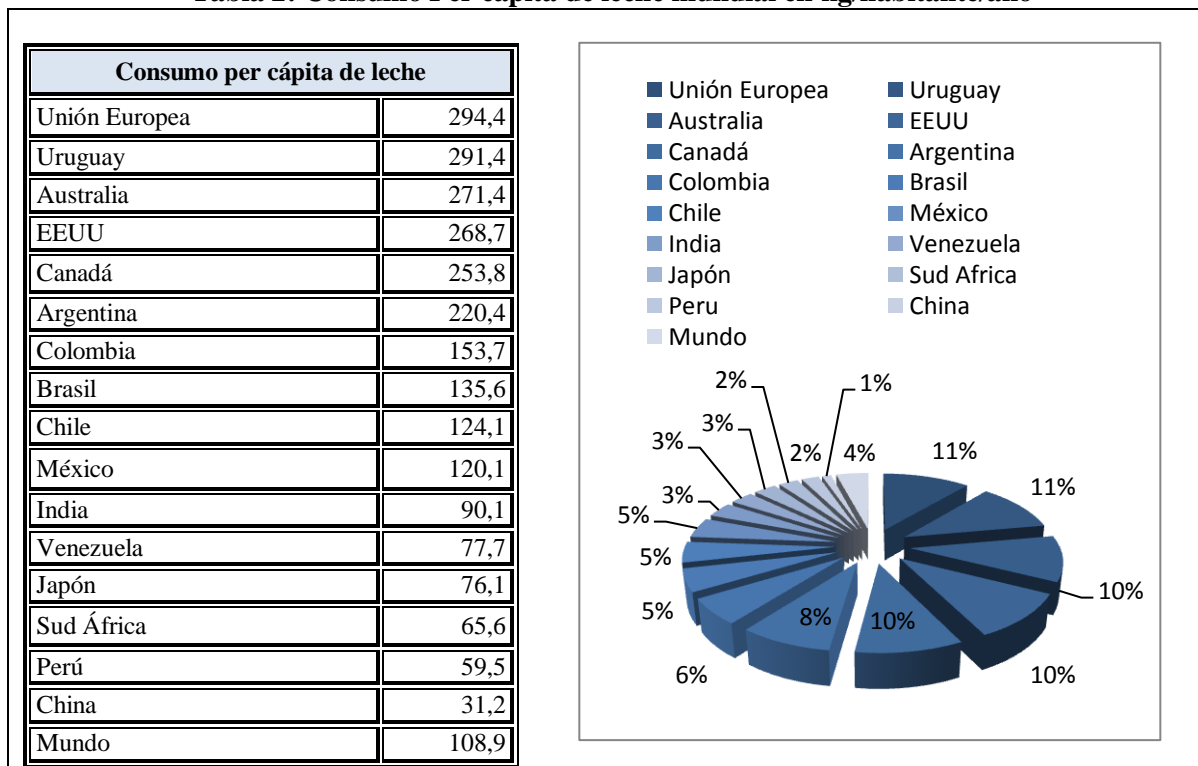
Fuente: FAO 2012

Al analizar la producción de leche en los diferentes países, se puede identificar que la India es el mayor productor mundial de leche, siendo responsable del 24% de la producción mundial, además casi todo el consumo es local (7). Los principales productos lácteos que se comercializan en el mundo son: leche pasteurizada, leche UHT, leche concentrada, leche en polvo, mantequilla, crema de leche, queso, lactosuero, yogurt y cuajada. En los últimos años ha crecido la demanda de productos lácteos, especialmente de yogurt y helados, en cambio la demanda de mantequilla y queso que tienden a disminuir debido al alto contenido de grasa y colesterol, estos productos están siendo sustituidos por algunos de origen vegetal. El mayor consumidor de leche en el mundo es Estados Unidos; como se puede observar a datos estadísticos del año 2012, este país es un importante productor de leche y lácteos en general, y con su producción suplir su demanda interna siendo marginales las importaciones de lácteos. Para la leche en polvo, la cual es el lácteo que más se comercializa internacionalmente, Estados Unidos produce lo suficiente para autoabastecerse y para exportar, caso contrario pasa con el queso y la mantequilla, productos en los cuales este país aunque es un gran productor es un importador neto. (9)

3.1.1 Consumo Per cápita Mundial de leche

En la siguiente tabla, se presenta el consumo per cápita de leche de algunos países para el año 2005, la información destaca un promedio del mundo de 108.9 kg/habitante/año, estos son unos 105 litros de leche por habitante consumidos al año. Dentro de los principales países más consumidores de leche se destacan: La Unión Europea 294.4, Uruguay con 291,4, Australia con 271,4, EEUU con 268,7 kg/hab/año y Colombia consume 153.7 kg/hab/año. (10)

Tabla 2: Consumo Per cápita de leche mundial en kg/habitante/año

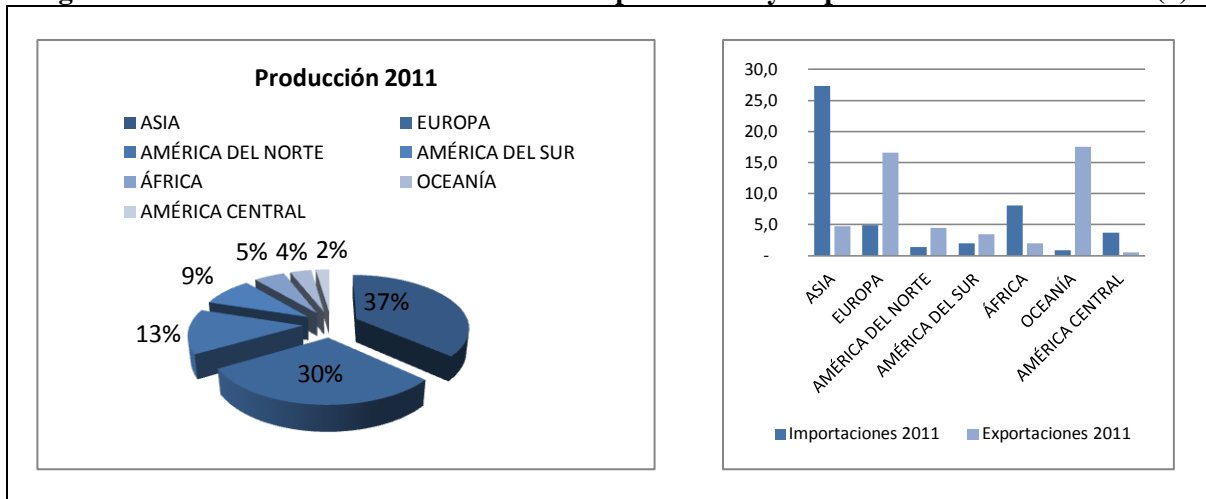


Fuente: FAO 2012, Ministerio de Agricultura – Perú 2010

3.1.2 Importaciones y exportaciones del sector Lácteo

La FAO pronosticó las importaciones y exportaciones para el año 2011 respecto a la producción en los cinco continentes, la demanda mundial de importaciones impulsaría el comercio de productos lácteos en un 5% a 48,3 millones de toneladas en equivalente de leche líquida. (6), las cifras que corresponden al análisis de mercado que referencia la producción en cuanto a las importaciones y exportaciones por continente, se presentan en el Anexo 2 del presente documento al año 2011. Los resultados son los siguientes:

Figura 2: Análisis de Mercado: Producción Importaciones y Exportaciones mundial 2011 (6)



Fuente: FAO 2011

El continente Asiático es el que lidera en producción con el 37% e importaciones con el 56% debido al papel de India, mientras que Oceanía gracias a Nueva Zelanda puntea en exportaciones con el 36%.

3.2. Sector Lácteo en Colombia

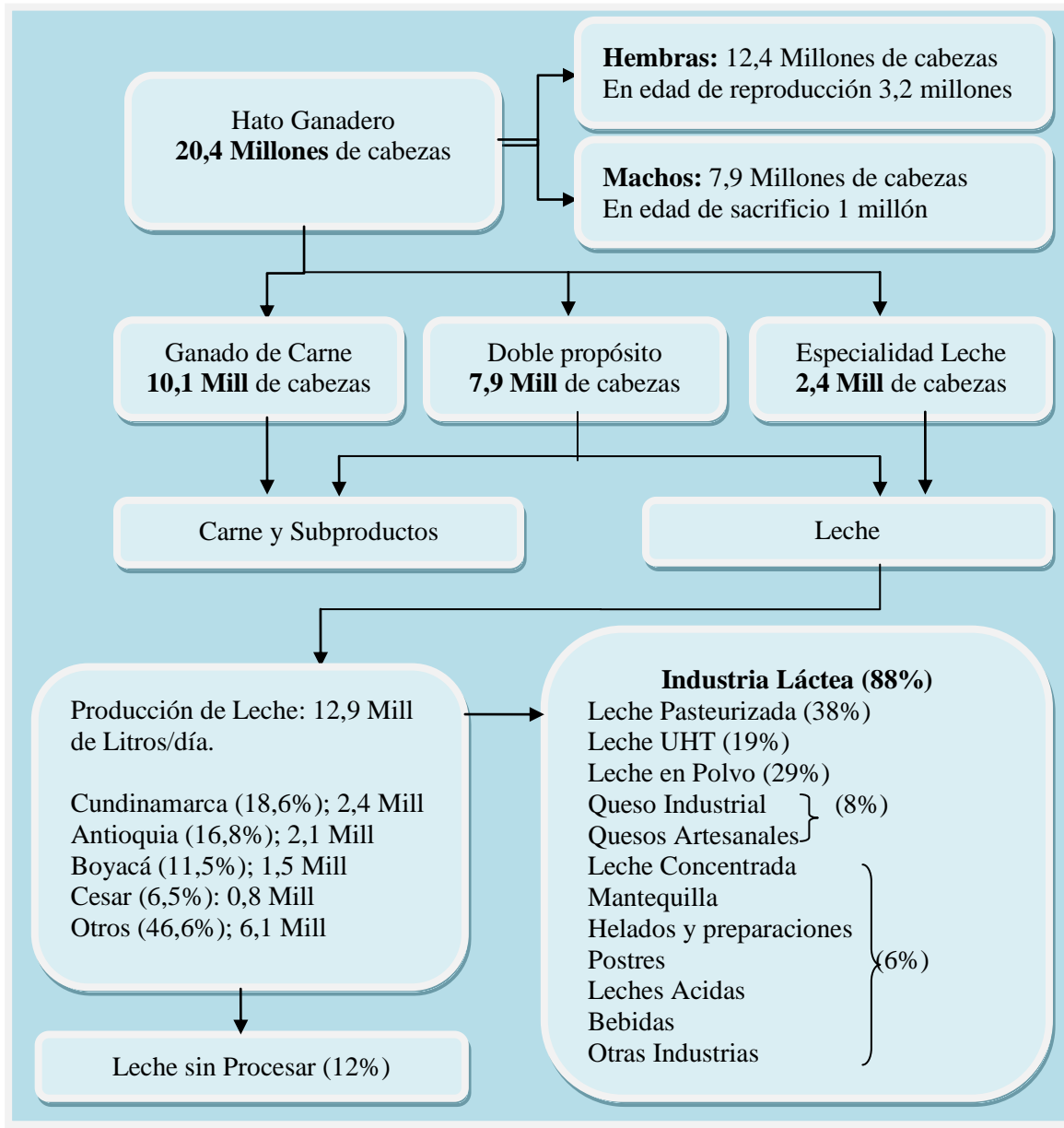
El sector ha desarrollado en los últimos años una fuerte estrategia de innovación e inversión en la maquinaria con la que se procesa la leche en su transformación, este trabajo se traduce en una oferta mayor de productos con beneficio para la salud, bajos en grasa, deslactosados y ligeros en azúcar. Esta estrategia ha sido adoptada por muchas empresas del sector y se espera que próximamente el consumo de estos productos se extienda también a los estratos más bajos.

Según datos de la Encuesta Nacional Agropecuaria del año 2012 (ENA-DANE), se estimó la distribución para la producción de carne y leche, también el tamaño del hato ganadero en Colombia y su participación dentro del eslabón industrial de esta Cadena.

El total de la producción para el año 2012 se estima en 12,9 millones de litros al día. La mayor parte de la leche producida en el país se utilizan como insumo para la elaboración industrial de productos tales como: leche pasteurizada, quesos industriales, quesos artesanales, leche concentrada, mantequilla, helados, postres, leches ácidas y bebidas. (11)

Los resultados de la siguiente figura señalan que para el año 2012 la población de ganado bovino en Colombia ascendió a las 20,4 millones de cabezas, de los cuales 2,4 millones se dedican a la producción de leche, 7,9 millones se explotan en sistema de doble propósito y 10,1 millones se dedican a la producción de carne. (12)

Figura 3: Estructura y valor de la cadena láctea en Colombia 2012 (11)



Fuente: Encuesta Nacional Agropecuaria DANE, 2012, Elaboración propia

Proexport Colombia, presenta en un documento del año 2011, información relevante sobre el sector lácteo en Colombia, algunas de las razones expuestas son las siguientes: Colombia es el cuarto productor de leche en América Latina con un volumen aproximado de 6.500 millones de litros anuales, superado sólo por Brasil (30.700 mill/año), México (11.300 mill/año) y Argentina (11.100 mill/año) (5) (6).

En cuanto a la calidad de la leche producida supera los porcentajes de proteína y grasa de los más importantes productores mundiales como Nueva Zelanda, Alemania, Suiza, Canadá y EE.UU, los 6.500 millones de litros de leche producidos anualmente incluyen 2.600 millones de litros de leche fresca disponibles para el procesamiento por parte de nuevas industrias, cantidad que actualmente no entra al canal formal de transformación, Colombia es el tercer mercado en ventas de lácteos en América Latina, con un valor anual US\$ 2.862 millones, nacen potenciales socios estratégicos y empresas dedicadas a la producción, transformación y comercialización de lácteos con gran conocimiento del consumo y las redes de distribución nacionales, desde el año 2009 todo el territorio nacional se encuentra libre de aftosa con vacunación y finalmente el país tiene acceso preferencial en mercados como la CAN, Mercosur, Chile, Cuba, Canadá, México, UE y el TLC con EE.UU. (13)

La leche procesada en la Industria, en su mayoría se destina a la producción de leche pasteurizada (38%), seguido por la producción de leche en polvo con el 29%, leche UHT 19%, quesos 8% y el restante de productos con el 6%. (4)

La normatividad y marco legal para el procesamiento de lácteos se enmarca en políticas, decretos y convenios los cuales son de cuidado en el momento de analizar la incidencia sobre las variables importantes que afectan la productividad y competitividad. Los más destacados se referencian en el Anexo 6 del presente documento.

3.2.1 Descripción de la cadena Productiva de lácteos en Colombia

La cadena agroindustrial de lácteos comprende la producción de leche cruda, el proceso de pasteurización y la producción de leches ácidas y quesos. Está compuesta por siete eslabones productivos: leche fresca; leche pasteurizada; grasas, cremas y mantequillas; queso; leche azucarada, helados y postres; leches ácidas fermentadas, y leche en polvo. La leche fresca es el insumo para la producción de los demás eslabones. Múltiples actores institucionales participan activamente en esta cadena productiva, en representación de los ganaderos, los productores de leche y la industria de productos lácteos.

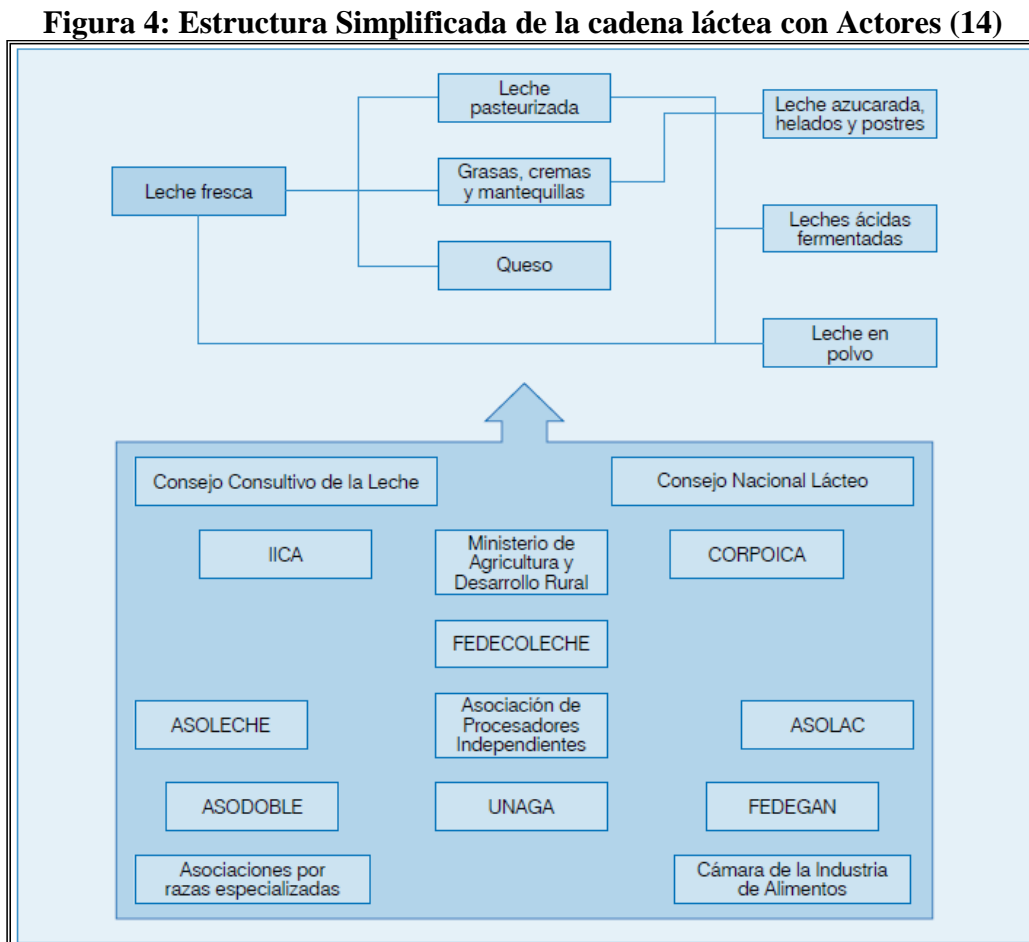
En representación de los primeros se encuentran: la Federación Nacional de Ganaderos–FEDEGAN, las asociaciones por razas especializadas como ASOCEBU y ASOHOLSTEIN, entre otras; la Unión de Asociaciones Ganaderas Colombianas–UNAGA, y ASODOBLE que asocia a los productores de doble propósito, carne y leche. Los productores de leche están representados por la Federación Colombiana de Cooperativas de Productores de Leche –FEDECOLECHE, que afilia numerosas cooperativas y la Asociación Nacional de Productores Lácteos - ANALAC, que representa a productores de zonas especializadas en la producción de leche.

En representación del componente industrial de la cadena se encuentran la Cámara de la Industria de Alimentos de la ANDI, que agremian a las grandes industrias, la Asociación de Industriales de la Leche –ASOLECHE y la Asociación de Procesadores Independientes, que agremian a la pequeña y mediana industria.

Desde el sector público se encuentran el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el Consejo Consultivo de la Leche, el Consejo Nacional Lácteo y CORPOICA. Por su parte,

el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura es un organismo especializado de carácter multilateral que ofrece apoyo para el desarrollo agrícola y el bienestar en las áreas rurales de sus países miembros. (14).

A continuación se presenta la estructura de la cadena de valor que incluye los actores descritos anteriormente:



Fuente: DNP Agenda Interna Sector Agroindustrial 2007

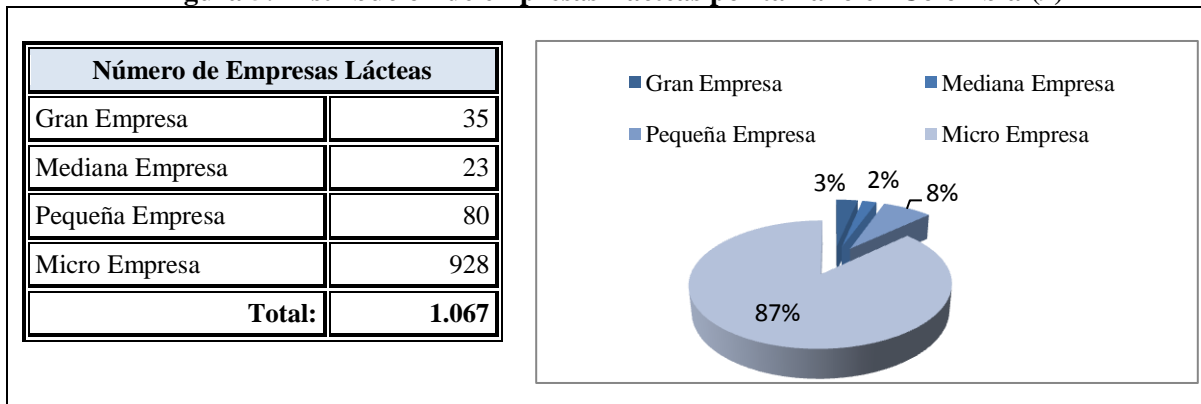
3.2.2 Distribución de empresas Lácteas por tamaño en Colombia

El sector lácteo en Colombia tiene una participación dentro de la industria manufacturera en el país representada en un 3,5% del total, y ocupa el puesto 11 dentro de las 61 industrias clasificadas por el DANE en la EAM. En materia de consumo los productos lácteos ocupan el segundo lugar en la canasta familiar de los colombianos representado en un 10,5%.

Al año 2011 se existían en el país 1067 establecimientos dedicados a la elaboración de productos lácteos, de los cuales el 95% lo constituyen las micro y pequeñas empresas, no obstante el 93% de la producción de leche es procesada por las grandes empresas que son 35 (7), entre las cuales se destaca la participación en ventas de: Alpina S.A, Colanta Ltda, Alquería - Danone, D.P.A Dairy Partners Americas, Parmalat Colombia Ltda, Proleche S.A, Inducolsa, Nestle de Colombia S.A, Algarra S.A, Productos lácteos andina Ltda. y

Freska-leche. Para el año 2006 las ventas promedio anuales de las 35 empresas catalogadas como grandes ascendían a \$956.468.871.000 pesos (93,4%), frente a la pequeña industria que facturó \$63.603.974.000 (6,6%). (15) (13) (16)

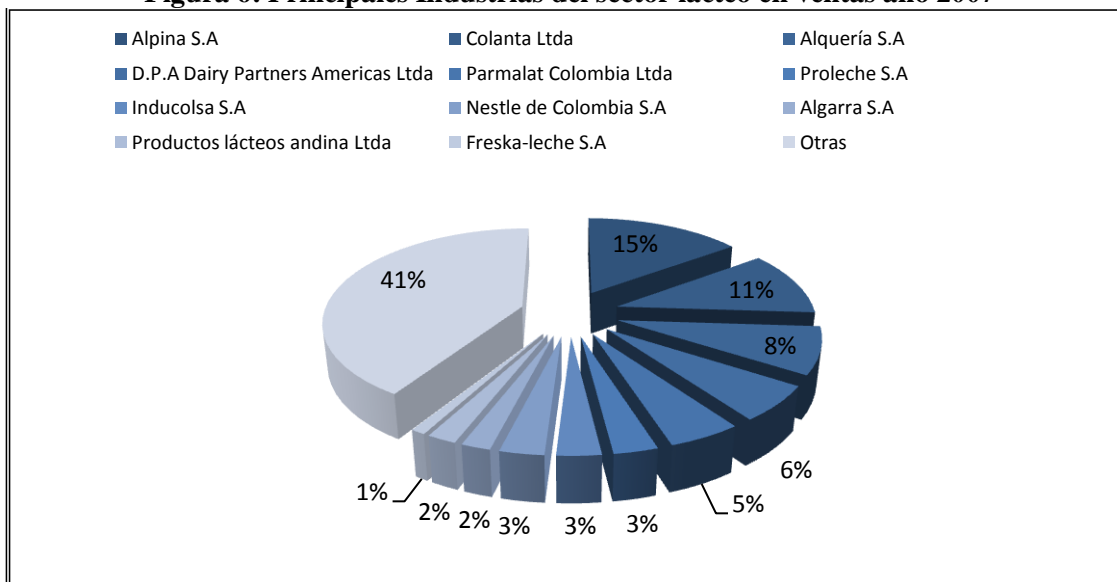
Figura 5: Distribución de empresas Lácteas por tamaño en Colombia (9)



Fuente: Ministerio de Agricultura 2008

El sector lácteo se encuentra representado con el 87% en micro-empresas, las cuales poseen procesos artesanales para la pasteurización y transformación de la leche en derivados lácteos, contrario a las grandes (3%) y medianas (2%) que son poseedoras de alta tecnología.

Figura 6: Principales Industrias del sector lácteo en ventas año 2007



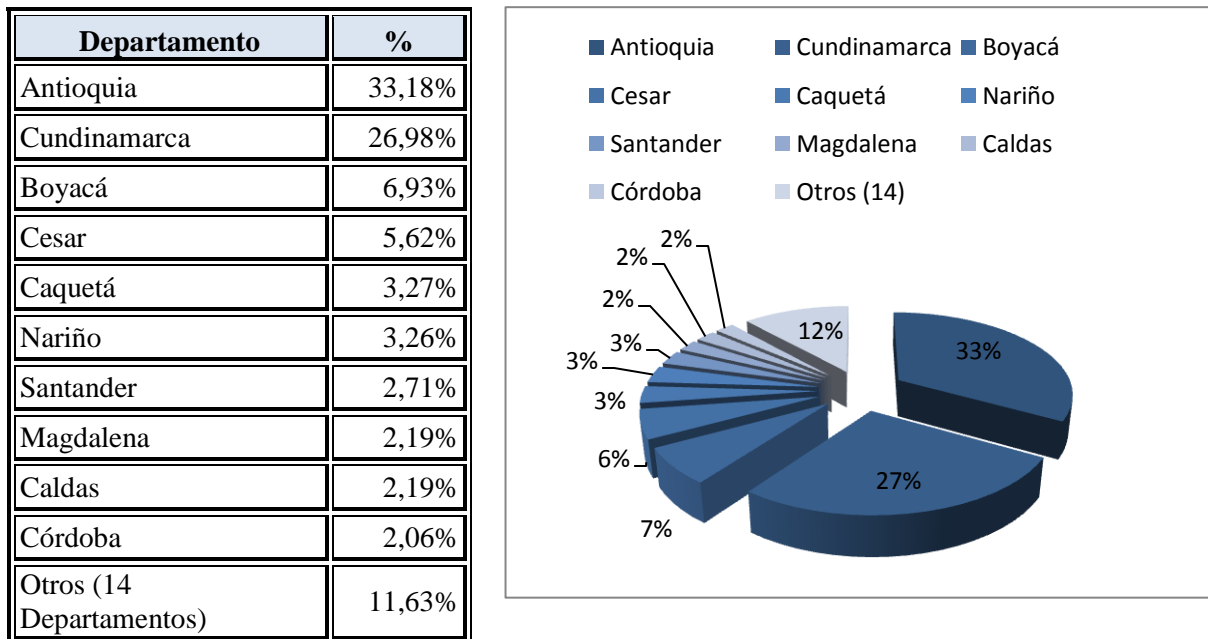
Fuente: Proexport Colombia 2007

Colombia cuenta con un amplio portafolio de empresas dedicadas a la producción, transformación y comercialización de lácteos, estas se encuentran distribuidas a lo largo del territorio nacional concentradas cerca de las capitales, y poseen un gran conocimiento del consumo de su mercado, factores que hacen de las empresas colombianas potenciales socios estratégicos para las compañías extranjeras que decidan adelantar un plan de negocios en nuestro país. (13) (16)

3.2.3 Producción de leche en Colombia por Departamentos

El departamento de Antioquia en el 2013 se escaló al primer lugar en la producción de leche en Colombia con el 33% de la producción total, convirtiéndose en la cuenca lechera más importante del país, seguido de Cundinamarca con el 27%, Boyacá con el 7% y Cesar con el 6%. (17)

Figura 7: Producción de Leche en Colombia año 2013 (17)



Fuente: Consejo Nacional Lácteo. CNL. Modificada por Beltrán- Barreiro Y. *et al.*

Al año 2012, según FEDEGAN, Colombia es el productor número 21 de leche a nivel mundial y el 4to en América Latina. En 2011 Colombia produjo 6452 millones de litros de leche, de los cuales aproximadamente el 10% fueron procesados en finca, el 8% fueron de autoconsumo, el 45% en acopio formal y 37% en sector informal; 2861 millones de litros correspondieron a lechería especializada y 3498 millones de litros de leche fueron de doble propósito, además el sector lácteo colombiano genera 589 mil empleos al año. (18)

De acuerdo con la gráfica anterior que referencia el año 2013, Antioquia se consolida y lidera la producción lechera del país con el 33,18%, seguido de Cundinamarca con el 27% y Cesar con el 7%. La producción de cada región dependerá de varios factores asociados a los hatos lecheros, entre ellas las condiciones climáticas y las pestes de origen animal.

3.3. Indicador de Producción PIB – Nacional y Sector Lácteo

Es importante realizar una descripción del comportamiento del PIB cuando se tiene como horizonte desarrollar un análisis energético dentro del proceso de transformación de un producto u otro tipo de acción que devengue consumo de energía, puesto que finalmente, es el dato que más correlación tiene con la producción neta de un conjunto de bienes ó servicios producidos en un país durante un periodo de tiempo. Este producto crece junto con el consumo de energéticos cuando el proceso de la empresa aumenta, y baja cuando la producción asociada al proceso decrece. El PIB en Colombia para el año 2013 fue de

\$706,7 billones de pesos (19). El valor de la producción bruta total del sector industrial en el año 2012 ascendió a \$201,3 billones. El 60,8% de esta producción fue realizada por los establecimientos que funcionan como sociedades anónimas, seguida por las sociedades industriales y comerciales del estado, con 12,9% (20).

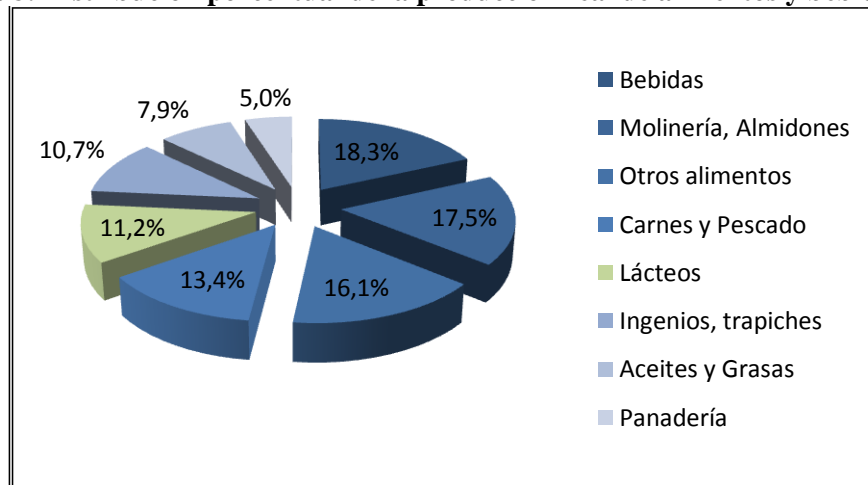
Hacia el año 2013, la elaboración de productos lácteos representó el 1,96% del total del PIB para el sector Industrial, estos son unos 1,5 Billones de pesos de los 79,6 billones que corresponden a la industria de manufactura en Colombia (21). En el Anexo 3 del presente documento, para los años 2012 y 2013 en miles de millones de pesos, se presenta la distribución del producto interno bruto PIB, como también su distribución porcentual por ramas de la actividad económica y el aporte de las regiones de Colombia.

Indicador de producción para el sector de Lácteos

La industria de alimentos y bebidas se encuentra compuesta por subsectores como: Bebidas alcohólicas y no alcohólicas, molinería y almidones, carnes y pescados, productos lácteos, ingenios y trapiches, aceites y grasas, panadería, productos de café, azúcar, cacao y sus productos.

De acuerdo con lo expuesto en el Balance sector Industrial 2011 presentado por el departamento nacional de Planeación (DNP), el subsector de Alimentos y bebidas representa en su PIB más del 20% de la industria total nacional (8), y en la distribución planteada por el DANE a cierre de Febrero del año 2014, se presenta la distribución porcentual de la producción real de alimentos y bebidas según actividad industrial (20), la cual se presenta en la siguiente figura:

Figura 8: Distribución porcentual de la producción real de alimentos y bebidas 2014



Fuente: DANE 2014, Elaboración propia

El sector de lácteos ocupa el quinto lugar con el 11,2%, posicionándose como importante dentro de los subsectores que componen el sector de alimentos y bebidas en el país.

3.4. Balance Energético de la industria Colombiana

El balance energético de la industria nacional, identifica los recursos potenciales que finalmente se convertirán en energía de tipo térmico o eléctrico de un sistema dinámico inmerso en una aplicación industrial. El consumo de energéticos se especifica en distintas unidades originales de medida que finalmente se unifican a una misma unidad de energía.

En la Tabla 3, se presenta el consumo de energéticos para el sector nacional en Tcal de forma ordenada a manera de “rankine”, también expresado con sus unidades originales.

Tabla 3: Consumo de Energéticos para el Sector Industrial en Colombia 2011 (22)

Energético	Consumo Nacional 2011 (Tcal)	Unidades Originales	Cantidad en Unidades Originales
Gas Natural	21.121	MPC	90.261
Carbón Mineral	18.664	kTON	2.871
Energía Eléctrica	12.834	GWH	14.924
Bagazo	5.376	kTON	2.954
Diesel Oil	1.784	kBL	1.293
Residuos	1.442	TCAL	1.442
Coque	658	kTON	137
Gas licuado del Petróleo	626	kBL	659
Gas Industrial	413	TCAL	413
Kerosene y Jet Fuel	331	kBL	249
Fuel Oil	227	kBL	153
Leña	104	kTON	29
Carbón Leña	98	kTON	15
No Energéticos	33	kBL	24
Total	63.711		

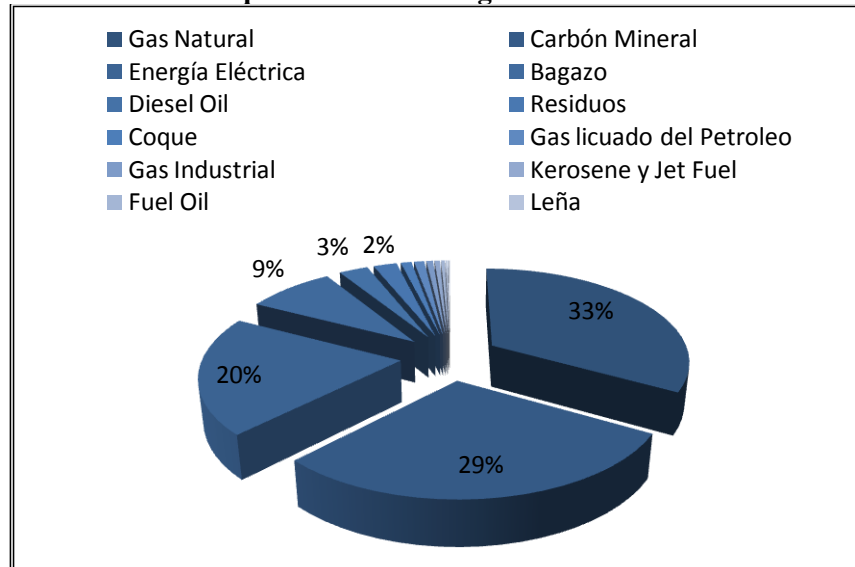
Fuente: UPME 2011, Elaboración propia

Este balance muestra el consumo de energéticos primarios y secundarios que presenta como líder en consumo al Gas natural con 21.121 Tcal, unos 90.261 Millones de pies cúbicos (MPC) equivalentes a 2.566 Millones de m³, seguido del carbón mineral con un consumo de 18.664 Tcal, unos 2.871 miles de toneladas (KTON), es decir, unas 2.871.000 toneladas de carbón.

Para presentar el consumo nacional en unidades equivalentes de energía en Tcal, fue necesario desarrollar un factor de conversión descrito en el Anexo 4. Esta herramienta sirvió para expresar las unidades originales de los combustibles (kBL, kton, Mpc, Galones y m³) y de energía eléctrica (Gwh), a unidades energéticas equivalentes en Tcal, es así como se logró consolidar la información para el total de los sectores industriales que se presentan en este balance energético nacional.

La Figura 9 presenta la distribución porcentual del total de energéticos utilizados para el proceso de transformación de la materia prima procesada en la industria Colombiana.

Figura 9: Distribución porcentual de energéticos sector Industrial - Colombia



Fuente: UPME 2011, Elaboración propia

La distribución indica que el 91% de los energéticos, corresponde a cuatro importantes que son: El Gas natural (33%), carbón mineral (29%), energía eléctrica (20%) y el bagazo (9%).

3.4.1 Distribución de Energéticos por sectores industriales

El consumo de energéticos para el sector industrial se encuentra desagregado para: Alimentos bebidas y tabaco, Textil y confecciones, Calzado y cueros, Maderas y muebles, Papel e Imprenta, Químicos, Cemento, Piedras vidrio y cerámica, Hierro acero y no ferrosos, Maquinaria y equipos entre otros, de la última información disponible por la UPME y que refiere el año 2011, el subsector industrial de mayor consumo energético era el sector cementero con 15.592 Tcal (25%), seguido por el sector de químicos con 12.568 Tcal (20%), Alimentos y bebidas con 11.129 Tcal (17%), Hierro acero y no ferrosos con 7.613 (12%) y Papel e imprenta con 6.843 (11%) (22). La Tabla 4 presenta la distribución en forma de matriz energética para los subsectores industriales en importancia de consumo:

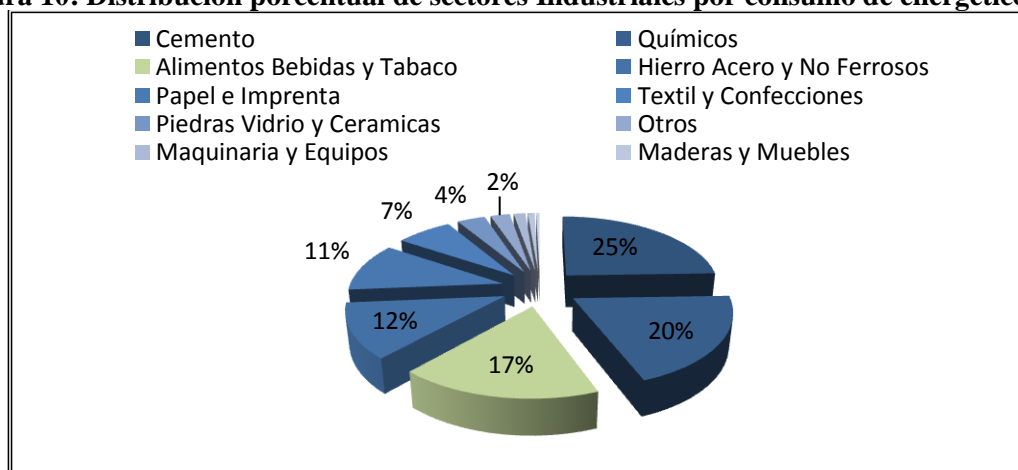
Tabla 4: Distribución de Energéticos por sectores Industriales en Tcal – Colombia 2011 (22)

Sectores industriales	Gas Natural	Carbón Mineral	Energía Eléctrica	Bagazo	Diesel Oil	Residuos	Coque	GLP	Gas Industrial	Kerosene y Jet Fuel	Fuel Oil	Leña	Carbón Leña	Total
Alimentos Bebidas y Tabaco	1.334	1.399	2.394	5.172	517	1	-	179	-	20	21	92	-	11.129
Textil y Confecciones	148	2.269	1.800	-	115	11	-	42	-	23	9	-	-	4.416
Calzado y Cueros	72	34	161	-	3	-	-	2	-	1	1	-	-	273
Maderas y Muebles	355	6	186	-	7	-	-	-	-	7	-	-	-	561
Papel e Imprenta	1.008	3.154	1.083	205	25	1.299	-	35	-	7	28	-	-	6.843
Químicos	8.906	1.056	2.038	-	190	132	38	60	-	46	6	-	98	12.568
Cemento	7.875	6.323	1.210	-	180	-	-	-	-	3	2	-	-	15.592
Piedras Vidrio y Ceramicas	213	1.034	542	-	59	-	-	176	-	188	-	10	-	2.224
Hierro Acero y No Ferrosos	587	3.386	2.362	-	101	-	613	114	413	36	-	1	-	7.613
Maquinaria y Equipos	91	2	574	-	69	-	7	18	-	-	160	1	-	922
Otros	533	1	485	-	519	-	-	-	-	-	-	-	-	1.537
Total en Tcal:	21.121	18.664	12.834	5.376	1.784	1.442	658	626	413	331	227	104	98	63.678

Fuente: UPME 2011, Elaboración propia

El sector de alimentos y bebidas consume en total 11.129 Tcal, muy cerca de los grandes consumidores industriales como el sector de Químicos con 12.568 Tcal y el sector cementero con 15.592 Tcal. La distribución porcentual de los sectores intensivos en el consumo de energéticos se presenta en la siguiente figura:

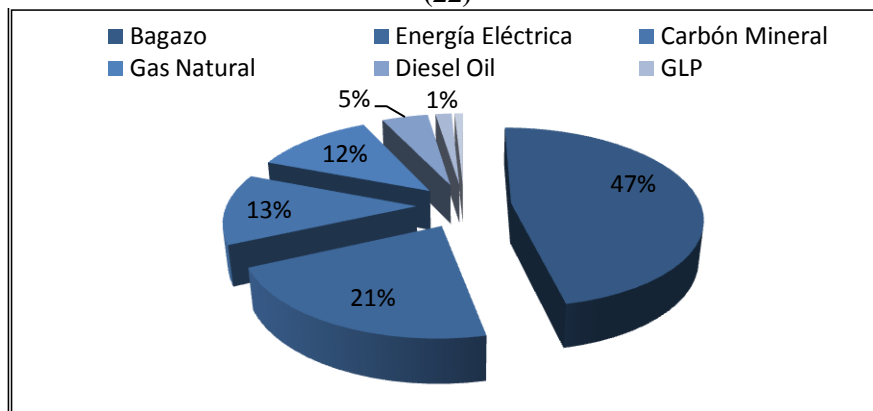
Figura 10: Distribución porcentual de sectores Industriales por consumo de energéticos (22)



Fuente: UPME 2011, Elaboración propia

La industria de alimentos y bebidas representa el 17% en cuanto a consumo de energéticos a nivel nacional, y en producción en PIB tiene más del 20% del total de la industria (8). Sin embargo para el sub sector Lácteo no se tiene cifras precisas que indiquen el consumo de energéticos. A continuación se presenta la distribución porcentual de Energéticos para el sector de alimentos y bebidas expuesto por la UPME en el balance energético a 2011. La distribución porcentual respecto a éste 17% de consumo de energéticos para este sector es la siguiente:

Figura 11: Distribución porcentual de Energéticos para el sector de Alimentos y Bebidas 2011
(22)



Fuente: UPME 2011, Elaboración propia

El bagazo representa el 47% del total de energéticos para el sector de alimentos y bebidas, este residuo agroindustrial es indudablemente el energético más representativo, su origen proviene del desecho de la caña de azúcar y su poder calorífico es de 8.895 kJ/kg. Su gran porcentaje de aporte de energéticos a la matriz se concentra en los 13 grandes ingenios, localizados en el Valle del Cauca, estos son los mayores productores de residuos de cosecha y de bagazo de caña del país, la producción de residuos de caña varía entre 46 y 50% de la producción total de caña. En estos ingenios se produce, en promedio, 11.500.000 toneladas de residuos de cosecha y 400.000 toneladas de bagazo por año. De una tonelada de caña se obtienen 0.306 toneladas de bagazo, la relación de producción de bagazo con respecto a la producción de caña de azúcar varía entre el 26 y 31 % de la producción total.
(23)

3.4.2 Distribución de Energéticos para el sector Lácteo

Para el sector de Lácteos en Colombia no se cuenta con una fuente de consulta que relacione la distribución de los energéticos asociados a éste sector industrial, en fuentes ligadas a los actores que componen al sector lácteo como: La cámara de la industria de alimentos, Fedegan, Asolac, Unaca, Ministerio de Agricultura y desarrollo rural, Corpoica, Consejo nacional lácteo, ICA, Asodoble y Asoleche, se puede estimar datos muy aproximados de producto terminado mas no del consumo de energéticos.

El consumo de energía eléctrica para el sector lácteo en Colombia se encuentra dispuesto por el DANE para el año 2012 como anexo preliminar de la EAM, éste informe indica que la energía eléctrica consumida para el sector es de: 268,6 Gwh/año (24). También se encuentra disponible algunos monitoreos efectuados por la UPME realizados algunas empresas del sector lácteo que referencian consumo de energéticos para el año 2011, este documento afirma que “en la zona de Bogotá y su área de influencia, se encuentran las más grandes industrias del sector” (25). Para la estimación del consumo a una misma unidad equivalente de energéticos expresados en kwh,

De los registros efectuados a 13 empresas en todo el país durante cinco meses, se puede estimar el comportamiento anual del consumo de energéticos expresados en kwh utilizando las conversiones de energéticos relacionadas en el Anexo 4 de la siguiente forma:

Tabla 5: Consumo de energéticos estimado para el sector de Lácteos en kwh – Equivalentes 2011

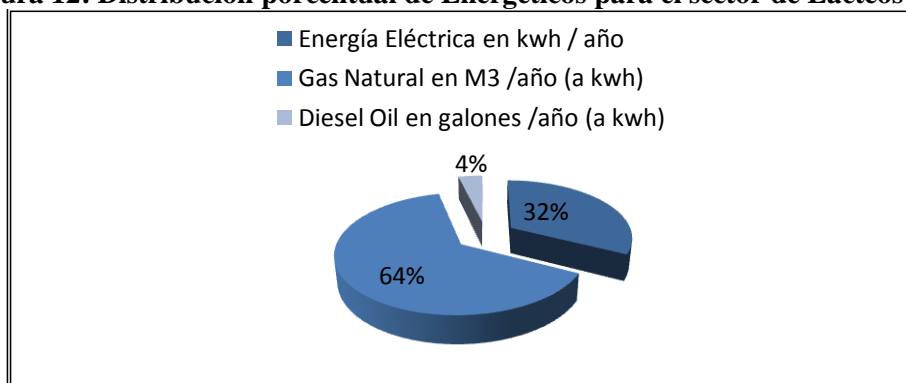
Empresa	Ubicación	Energía Eléctrica en kwh / año	Gas Natural en M3 /año	Diesel Oil galones /año	Gas Natural en M3 /año (a kwh)	Diesel Oil en galones /año (a kwh)	Total consumo en kwh / año
608	B/quilla	9.120.000	204.000	72.000	2.133.840	2.894.400	14.148.240
708	B/quilla	1.380.000	444.000	-	4.644.240	-	6.024.240
808	B/quilla	768.000	-	-	-	-	768.000
411	Bogotá	5.280.000	-	-	-	-	5.280.000
511	Bogotá	11.340.000	2.820.000	-	29.497.200	-	40.837.200
611	Bogotá	7.080.000	2.400.000	-	25.104.000	-	32.184.000
711	Bogotá	29.280.000	6.960.000	58.800	72.801.600	2.363.760	104.445.360
676	Cali	2.760.000	576.000	70.200	6.024.960	2.822.040	11.607.000
776	Cali	7.020.000	1.140.000	-	11.924.400	-	18.944.400
876	Cali	2.460.000	528.000	61.200	5.522.880	2.460.240	10.443.120
205	Medellín	1.104.000	120.000	-	1.255.200	-	2.359.200
305	Medellín	4.380.000	1.728.000	-	18.074.880	-	22.454.880
405	Medellín	8.520.000	51.600	-	539.736	-	9.059.736
Total:		90.492.000	16.971.600	262.200	177.522.936	10.540.440	278.555.376

Fuente: UPME 2011, Elaboración propia

El consumo total de energía para las empresas monitoreadas por la UPME es de 90,5 Millones de kwh/año, si éste se compara con el registro consolidado que indica el DANE para el sector en consumo de energía eléctrica (268,6 Millones de kwh/año), se estima que se tiene el 34% del sector identificado en cuanto a consumo de energía eléctrica.

De los resultados se puede consolidar los consumos para las 13 empresas a un equivalente energético de kwh/año, los resultados en su distribución porcentual se identifican así:

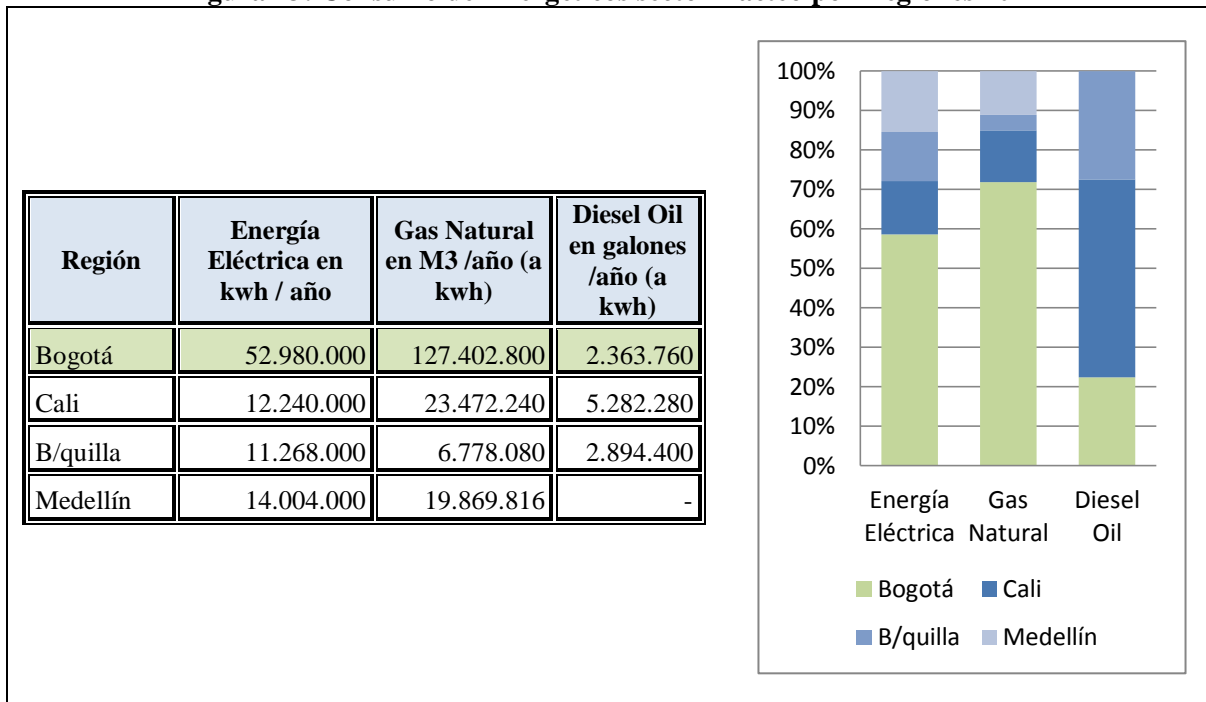
Figura 12: Distribución porcentual de Energéticos para el sector de Lácteos 2011



Fuente: UPME 2011, Elaboración propia

El consumo de energéticos se encuentra liderado en gran proporción por el Gas natural con un consumo del 64%, todo utilizado para la generación de vapor y aire caliente.

Figura 13: Consumo de Energéticos sector Lácteo por Regiones 2011



Fuente: UPME 2011, Elaboración propia

El consumo de energéticos en Bogotá es muy representativo respecto a las otras áreas metropolitanas del país, las cuales registran consumos muy similares entre regiones.

3.5. Contexto de La eficiencia Energética para la Industria Láctea en Colombia

En la industria láctea, cada empresa productora fábrica unidades finales por litros producidos o si estos productos son derivados de la leche en Toneladas, cada empresa pueden llegar a disminuir su consumo de energéticos por unidad de producción con tecnologías de mayor eficiencia, pero al final este consumo no es un indicador visible si se compara con otra empresa similar del sector industrial, esto puede ocurrir debido a un aumento en la producción de la empresa o si éste consumo se compara con otra de mayor producción intensiva en el consumo de energéticos.

La eficiencia energética no solo se puede definir como un aspecto técnico cuando se sustituye una maquina por otra de mejor desempeño, también es una mejora continua en el desempeño energético de toda la cadena de valor que incluye también el proceso de transformación de la leche. Esta visión perimetral consiste en el manejo eficiente de los recursos energéticos en todas las áreas de la empresa, desde la concepción de la materia prima en las fincas hasta el despacho del producto terminado a la tienda de barrio.

La visión integral del uso eficiente de la energía, apunta hacia la optimización de los recursos energéticos en las diferentes áreas de trabajo de la planta, inclusive en su caracterización, se encuentra problemas de tipo operativo asociados a la producción los

cuales se pueden corregir con simples buenas prácticas operativas, que finalmente inciden en la eficiencia del proceso productivo. Algunas de ellas para los diferentes usos finales como el aire comprimido, generación de vapor, refrigeración, sistemas de bombeo, sistemas de enfriamiento de agua, PTAR, sistemas de combustión e iluminación, se presentan entre la **Anexo 8: BPOE y tecnologías propuestas para el sector lácteo**

Volver a los anexos

Tabla 54 y la **Tabla 59** del presente documento.

En las empresas del sector lácteo de pequeño tamaño, las cuales son el 93% de los establecimientos en Colombia, generalmente tienen la práctica de disminuir el consumo de energéticos realizando operaciones con las que se puede lograr un menor consumo dentro del proceso productivo. Estas actividades apuntan a la reducción de consumo de energía alterando los requerimientos mínimos exigidos para el logro de un producto de excelente calidad, algunas de éstas operaciones son: Reducir la temperatura en los procesos de pasteurización y los tiempos de retención de ésta temperatura, Disminuir la presión en variables críticas para la homogenización del producto, Obviarse el proceso de limpieza de la leche por el consumo elevado de energía eléctrica de una estandarizadora de leche, Adición de azúcar y de químicos con peso excesivo de forma manual en licuadora industrial, Estibar de forma manual unidades con pesos superiores a 15 kilogramos para conseguir estiba de 1000 kilogramos, Retirar iluminación de un sitio de la producción porque no es necesaria, Inhabilitar extractores de los sitios con elevada temperatura en donde se encuentran operadores “alterando su confort”, Lavado manual de CIP en carrotanques con consumos desmesurados de agua, realizar paros de la maquinaria en donde la misma actividad se puede realizar de forma manual, en fin, un sinnúmero de operaciones que alteran de forma directa o indirecta la calidad del producto terminado y el manejo eficiente de los recursos energéticos.

Por el contrario las empresas lácteas de gran tamaño en Colombia, identifican factores operativos y energéticos que afectan la calidad del producto terminado y apuntan hacia la utilización de técnicas eficientes que hacen de su producción una ventaja competitiva en el mercado.

En los aspectos organizacional y económico, la eficiencia energética se convierte en un aliado estratégico de la dirección general y de la parte financiera, puesto que sirve como herramienta al empresario en la búsqueda de alternativas de choque para hacer más productivo y eficiente su proceso. Esto puede estar orientado a que la organización apunta hacia el objetivo de logros centrados en la confiabilidad y mejora continua de sus procesos, utilizando estrategias de sostenibilidad basadas en decisiones conjuntas para la inclusión de cambios tecnológicos orientados desde la dirección general, estrategias de mercado ligadas a la productividad, decisiones financieras en torno a la eficiencia de los equipos, políticas institucionales de uso eficiente de los recursos energéticos y lineamientos para la mitigación e impacto ambiental desde el aprovechamiento máximo de los recursos y de materia prima.

La agencia de medio ambiente y gestión de la energía (ADEME) junto con el Consejo mundial de energía (CME), presenta un estudio mundial en el cual se describen las

tendencias, indicadores, políticas, impacto ambiental y evaluación de los aspectos involucrados en eficiencia energética alrededor de la industria, en el estudio se afirma que las reducciones en energéticos no necesariamente dan como resultado una mayor eficiencia energética, tampoco se puede centralizar en la sustitución tecnológica o de combustibles, ni en la adecuación de nueva maquinaria. “Para los economistas, la eficiencia energética tiene un sentido más amplio que el que generalmente entienden los ingenieros que piensan sólo en términos de eficiencia tecnológica. En términos económicos, abarca todos los cambios que surgen de disminuir la cantidad de energía utilizada para producir una unidad de actividad económica (por ejemplo, la energía utilizada por unidad de PIB o valor agregado) o para satisfacer los requisitos energéticos para un nivel de confort dado”. (26)

3.6. Procesos de lácteos Intensivos en el consumo de Energéticos

En el sector lácteo existen diversas aplicaciones y procesos para la transformación de la leche en productos de consumo diario, pero no todos estos procesos son grandes consumidores de energéticos. La industria para la elaboración de lácteos tiene dos procesos en los cuales se destaca la intensidad del consumo de energéticos y volumen de producción, estos procesos lo conforman las plantas de pasteurización y las plantas de pulverización, que en ocasiones también incluyen derivados lácteos. Las plantas de producción que solamente se dedican a la producción de derivados lácteos como la fermentación de Yogurt, la elaboración de productos como: mantequilla, arequipe, helados, y el prensado para la elaboración de quesos, no son representativas en cuanto a volúmenes de producción para el sector y tampoco en cuanto a consumo de energéticos, por lo tanto no se incluyen como destacadas en el presente trabajo de investigación.

En el Anexo 5, se describe los diferentes procesos intensivos en el consumo de energéticos y que además procesan gran parte de la materia prima que ingresa a una planta de producción de lácteos.

3.7. Servicios de Soporte para el procesamiento de Leche

Los servicios industriales para un proceso de manufactura en general, son los principales insumos energéticos que requiere cualquier proceso de transformación de la materia prima, para el caso del procesamiento de lácteos, estos usos finales de los energéticos son utilizados en: Generación de vapor, Refrigeración industrial, Generación de aire comprimido, Sistemas de bombeo, Sistemas de enfriamiento de agua, Sistemas de combustión, transporte de energía eléctrica y circuitos de iluminación.

Los anteriores usos finales son utilizados en la maquinaria dentro del proceso, que a su vez generan contaminación atmosférica puesto que se encuentran en la cadena de la transformación de la energía para la utilización eléctrica y térmica dentro de sus procesos finales de transformación. A continuación se presenta algunos de los usos finales de mayor relevancia dentro del sector lácteo.

3.7.1 Generación de vapor

La generación de vapor se produce mediante calderas pirotubulares, el sistema principal se encuentra compuesto por caldera pirotubular, distribuidor de vapor, ciclones y chimenea, su

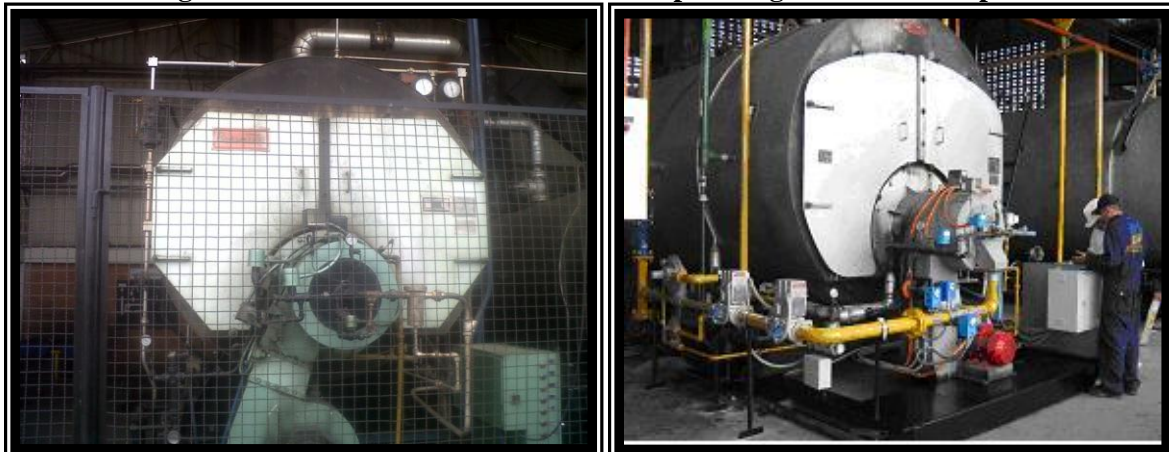
aplicación se utiliza para el calentamiento directo, indirecto y esterilización de la leche. Su operación se centraliza en el calentamiento del agua para ser utilizada en los pasteurizadores y ultrapasteurizadores. La transferencia de temperatura se realiza a los productos de forma indirecta mediante intercambiadores de placas y tubulares, mientras que la transferencia directa se realiza por inyectores de vapor. La presión de trabajo se encuentra entre los rangos de 100 y 135 psi (6,9-9,3 bares), cuando la caldera se encuentra operando a fuego lento es distinto que cuando esta opera a fuego alto, su operación en fuego alto se utiliza cuando la caldera se requiere a la máxima capacidad nominal, mientras que a fuego bajo mantiene la llama en el hogar para mantener la presión del sistema sin consumo de vapor (es como una operación en vacío). Su eficiencia es determinante para el óptimo funcionamiento en su sistema de combustión.

El cálculo necesario para el requerimiento de una caldera de generación de vapor se encuentra especificado en kg / hora, y para ello se deberá tener en cuenta las especificaciones nominales de los equipos finales de consumo y la distancia a la cual se instalará la caldera pirotubular.

La infraestructura para la instalación de Gas natural en una caldera que utiliza fuel oil es de gran envergadura, sin embargo la rentabilidad del proyecto en el tiempo es acelerada; esto se conoce en eficiencia energética como proyectos de mitigación para la reducción de gases por efecto invernadero por sustitución de combustibles. Para corroborar el ejemplo anterior, se realizó el monitoreo de consumo de energéticos para calderas de fuel oil y gas natural, de 600 y 400 BHP para tres de las plantas del sector lácteo contenidas en la muestra.

A continuación se presenta las ilustraciones por cortesía de las plantas visitadas:

Figura 14: Caldera Pirotubular 400 BHP para la generación de vapor



Cortesía: Algarra S.A (Fuel oil 400 BHP)

Cortesía: Colanta Ltda. (Gas Natural 400 BHP)

Los resultados de estos monitoreos, identifican consumos de combustible para calderas similares operando a fuego lento (en vacío) y a fuego alto (plena carga).

Tabla 6: Monitoreo del consumo de Energéticos para Calderas de 400 y 600 BHP

Descripción de Energéticos				
Poder Calorífico Fuel Oil	43	MJ/Kg		

Descripción de Energéticos				
Densidad Fuel Oil	994	Kg/m ³		
Poder Calorífico Gas Natural	35.000	BTU/m ³		
Densidad Gas Natural	0,60	Kg/m ³		
Equivalente Gas Natural	1,67	m ³ /Kg		
Consumo de Combustible				
	Fuego bajo		Fuego Alto	
Calderas con Fuel Oil	gal/h	kw/h	gal/h	kw/h
600 BHP (gal/h)	33	1.461	162	7.301
400 BHP (gal/h)	22	971	108	4.864
Total:	54	2.432	271	12.165
	Fuego bajo		Fuego Alto	
Calderas con Gas Natural	m3/h	kw/h	m3/h	kw/h
600 BHP (m3/h)	56	573	280	2.866
400 BHP (m3/h)	17	174	96	982
Total:	73	747	376	3.848

Fuente: Elaboración propia

En síntesis, se puede comprobar el bajo consumo del gas natural respecto a la utilización del fuel oil a plena carga, ya que para fuego alto en una caldera de 600BHP, el consumo equivalente en una hora de trabajo con Fuel oil es de 7.301 kwh (162 gal/h), mientras que con gas natural es de 2.866 kwh (280m3).

Traducido lo anterior a costos, se presenta la relación de los energéticos dispuestos en Bogotá con el fin de orientar al empresario en una toma de decisiones basada en los monitoreos efectuados:

Tabla 7: Costo de Energéticos para la Operación de una caldera de 600 BHP

Operación a fuego alto caldera 600 BHP				
Energético	Unidad	Valor Unitario pesos COP	Cantidad	Vr Total/hora pesos COP
Fuel Oil	Galones	\$3.924	162	\$637.258
Gas Natural	M3	\$562	280	\$157.360

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: Costo de Energéticos para la Operación de una caldera de 400 BHP

Operación a fuego alto caldera 400 BHP				
Energético	Unidad	Valor Unitario pesos COP	Cantidad	Vr Total/hora pesos COP
Fuel Oil	Galones	3.924	108	424.577
Gas Natural	M3	562	96	53.952

Fuente: Elaboración propia

El costo de producir vapor a plena carga con calderas pirotubulares usando Gas Natural, es menor respecto a la utilización del fuel oil. Su relación es de 4,05 veces con calderas de 600BHP y 7,87 veces con calderas de 400BHP.

3.7.2 Sistemas de Refrigeración y Enfriamiento

Refrigeración: Los sistemas de refrigeración y de enfriamiento que necesitan agua helada o conservación mediante frío, son equipos compuestos por circuitos cerrados de circulación de gases refrigerantes los cuales tienen variación en presiones y temperaturas. Estos sistemas contienen motores de inducción, compresores de tornillo o reciprocantes, tanques acumuladores, válvulas de expansión, bancos de hielo y acumuladores de frío. Su aplicación en planta es requerida en las cavas de conservación de alimentos a 4°C y en los equipos intercambiadores de calor tubular y de placas existentes en los pasteurizadores que requieren temperaturas hasta de 2°C, su aplicación también se utiliza para la conservación del producto en los silos de almacenamiento a 4°C.

El cálculo final para el requerimiento de frío exigido por una planta de procesamiento de lácteos se encuentra especificado en toneladas de refrigeración (TR), éste concepto térmico es la unidad nominal de potencia empleada en algunos países, especialmente de Norteamérica, para referirse a la capacidad de extracción de carga térmica (enfriamiento) de los equipos frigoríficos y de aire acondicionado. También se define como la proporción del intercambio de calor de 12000 BTU por hora, 200 BTU por min; 3024 kcal/hr (27).

A continuación se presenta el cálculo de refrigeración para una planta que procesa 225.000 litros al día y que tiene varias cavas de conservación en la cual mantiene una temperatura de trabajo de 4°C.

Tabla 9: Cálculo del sistema de Refrigeración para una planta de lácteos en TR

Item	Descripción	Litros/día	Temperatura de entrada	Temperatura de salida	dT	densidad del Producto	Calor Especifico kcal/kg °C	Qs= kilocalorias/día	Horas de trabajo al día	TR
1	Camisa para leche fría tanques recibo	72.000	8	4	-4	1,03	0,93	-276.411	24	-3,84
2	Enfriador de Crema cruda	5.000	14	4	-10	0,993	0,68	-33.762	10	-1,13
3	Pasteurizador crema	11.000	1	6	-5	0,993	0,68	-37.138	4	-3,09
4	Enfriador de Placas bancos de hielo	128.000	9	2	-7	1,00	1,00	-896.000	18	-16,59
5	Pasteurizador de leche	225.000	1	4	-3	1,03	0,93	-647.838	10	-21,59
6	Pasteurizador de leche pasteurizando agua	100.000	1	8	-7	1,00	1,00	-700.000	6	-38,89
7	Enfriador placas recibo	235.000	12	4	-8	1,03	0,93	-1.800.852	12	-50,02
8	Enfriador placas recibo leche concentrada	30.000	12	4	-8	1,11	0,80	-213.120	7	-10,15
9	Etapas frío Ultrapasteurizador Directo	60.000	27	15	-12	1,03	0,93	-691.027	15	-15,36
10	Tanques de mezcla	20.000	8	4	-4	1,03	1,00	-82.560	24	-1,15
11	Prensas de sellado envasadoras	4.000	12	4	-8	1,03	1,00	-33.024	20	-0,55
12	Difusor 1 cava						0,93	-775.968	20	-12,93
13	Difusor 2 cava						0,93	-775.968	20	-12,93
14	Difusor 3 cava						0,93	-446.400	20	-7,44
15	Difusor 4 cava						0,93	-446.400	20	-7,44
16	Enfriador devoluciones	8.000	12	4	-8	1,03	0,93	-61.425	4	-5,12
17	Tanque devoluciones	5.000	12	4	-8	1,042	0,93	-38.762	24	-0,54
Se realiza el cálculo para los pasteurizadores solamente con la zona de frío del intercambiador									TOTAL	-208,76

Fuente: Elaboración propia

En la tabla se realiza los cálculos para obtener la capacidad en Toneladas de refrigeración (TR) del compresor existente, para ello se encuentra el calor sensible a extraer que debe enfriar el producto desde su temperatura inicial hasta la deseada en Kcal/día (28),

posteriormente se pondera las horas de trabajo del equipo que utilizará el sistema de frío y se encuentra las Toneladas de refrigeración que deberá entregar el compresor y los bancos de hielo para soporte del sistema.

$$Q_s = m \times C_e \times (t_s - t_e)$$

Donde:

Q_s = Calor sensible en Kcal/día.

m = Masa del producto a enfriar en kg/día, para nuestro caso leche o crema, se utiliza litros/día y su densidad.

C_e = El calor específico de la leche es variable según su contenido graso. El valor medio para la leche entera es de 0.93 cal/g °C, para la leche desnatada de 0.95 cal/g °C y para la nata con un 40 % de materia grasa de 0.68 cal/g °C. (29)

t_e =Temperatura de entrada del producto en °C.

t_s =Temperatura de salida del producto en °C.

$$TR = \frac{\frac{Q_s}{\text{Horas de trabajo al día}} \times 4}{12000}$$

Figura 15: Compresor de Amoniaco para una sistema de Refrigeración



Cortesía: Colanta 220TR – Tornillo; COP: 3,5



Cortesía: Pippo S.A 70TR – Reciprocante; COP: 3,1

La Capacidad requerida del sistema de refrigeración calculada en el ejemplo, requiere de al menos un compresor de 210TR, con dos acumuladores de hielo que alberguen agua helada la cual posteriormente se utilizará en el proceso. La capacidad de los acumuladores de hielo deberá ser estimada de acuerdo al tiempo de operación de los equipos durante el día de trabajo.

La potencia del motor eléctrico necesaria para suministrar al compresor las TR requeridas, estará ligada al coeficiente de rendimiento COP (coefficient of performance). Este coeficiente se encuentra muy relacionado con la eficiencia energética y se define como la relación entre la cantidad de refrigeración obtenida y la capacidad de compresión necesaria para conseguir esta refrigeración (30). Por ejemplo si se tienen 50 kw eléctricos de potencia en un motor para mover un compresor de refrigeración que tiene factor COP de 3.8, su potencia se multiplica por 3,8 veces en rendimiento, es decir que se tendría 190 kw de potencia frigorífica.

Para el ejemplo se tiene que:

$P_{(kw)} = 3.5 P_{(TR)}$, siendo 3,5 el factor COP del compresor, que requiere generar 220TR con un motor de inducción de 219kw (300HP). En este cómputo no se incluyen los consumos auxiliares de energía eléctrica necesarios para el funcionamiento de bombas y ventiladores.

Enfriamiento: Los sistemas de enfriamiento utilizados en la industria láctea, son circuitos cerrados de agua potable tratada, este sistema es utilizado para el enfriamiento en las etapas regenerativas de los pasteurizadores y ultrapasteurizadores utilizados en producción. Los equipos son torres de enfriamiento que por medio de una turbina extraen calor absorbido del agua utilizada en ellos durante los tiempos de producción, estos equipos tienen asociado al circuito un sistema de bombeo el cual se encuentra dimensionado por la cantidad de litros / hora utilizados las etapas de enfriamiento de la leche.

Figura 16: Torre de enfriamiento en planta de Lácteos



Cortesía: Colanta Ltda.

El sistema puede llegar a tener pérdidas de agua por evaporación de 1300 m³ al mes, en una planta procesadora de leche UHT y derivados con producciones equivalentes a 320.000 litros al día y temperaturas ambiente que oscilan entre los 12 y 19°C.

3.7.3 Generación de Aire comprimido

El aire comprimido necesario para el funcionamiento de los equipos de producción en la industria láctea se expresa en CFM (siglas en inglés: cubic feet per minute), y básicamente su aplicación se encuentra diversificada en usos finales como: Activar cilindros neumáticos para llenadoras, equipos finales de empaquetado y pasteurizadores, control de presión del flujo en tuberías mediante válvulas accionadas con aire comprimido, presurización de tanques para el empuje de producto, agitación en sistemas para homogenización de un líquido y en la utilización de herramientas como taladros, martillos, picadores, entre otros. La única incidencia directa con el producto en el proceso de producción, se encuentra en la presurización de un tanque aséptico para el empuje de producto o en su enfriamiento cuando éste se encuentra en etapa de esterilización, las demás aplicaciones son indirectas.

El sistema principal de generación de aire comprimido se encuentra compuesto por: Compresores, filtros, secadores, tanques pulmón o de almacenamiento de aire, drenadores, válvulas y presostatos, mientras que las redes de distribución de aire se distribuyen mediante sistemas en anillo con bajantes tipo “cuello de ganso” para las aplicaciones

finales, en otras empresas del sector las redes también se distribuyen como una espina de pescado apoyadas de tanques pulmón para no tener una caída de presión drástica en el sistema. Para estas distribuciones las caídas de presión no deben superar los 0,3 bar desde el punto de generación del aire comprimido hasta el punto más lejano.

Eficiencia energética para optimización del aire comprimido generado (31):

Recuperación de calor: El principio termodinámico de los compresores utilizados para la generación de aire comprimido es muy ineficiente, tanto así que el calor disipado cuando el compresor se encuentra en funcionamiento es del 94% hacia la atmósfera y solo el 6% permanece como energía neumática junto con el aire comprimido dentro de la tubería de conducción. El calor disipado hacia la atmósfera puede recuperarse hasta en un 90% para ser integrado a un nuevo proceso que puede generar agua caliente hasta con temperaturas que alcanzan los 80°C.

Para el cálculo del consumo real se debe tener en cuenta el factor de carga asociado al sistema, este factor es la relación entre la presión de trabajo del compresor y la presión de trabajo del equipo de consumo de todo el sistema. Si el resultado de la operación no está entre el rango del 50 y el 80%, hay que realizar ajustes al sistema ya sea en la generación o en la carga.

El aire aspirado debe estar limpio y frío, por cada 4°C. de aumento de temperatura equivale a un aumento de consumo de energía en un 1%, el aire debe aspirarse preferiblemente del exterior y cada 25 mbar de pérdida de carga en la succión provoca una reducción de un 2% en el rendimiento.

A continuación se presenta el cálculo de un sistema de compresores de aire necesarios para una planta típica que procesa 30.000 litros al día, esta planta cuenta con maquinas llenadoras, pasteurizadores y sistemas de agitación para la planta de tratamiento en la homogenización del lodo que envía producción como agua-leche. La presión de los equipos de consumo de aire comprimido en CFM, debe mantenerse a una presión que oscila entre los 6 y 10 bares.

$$Q_{CFM} = Q_{CFMnominal} \times F.C$$

Donde:

$Q_{CFMnominal}$ = Consumo en CFM Nominal de placa

$F.C$ = Factor de carga (32)

Tabla 10: Cálculo de compresor de Aire para una planta de lácteos en CFM

Item	Descripción	Consumo en CFM Nominal de placa	Presión de trabajo (bar)	Presión de trabajo del compresor (bar)	factor de carga	Caudal CFM
1	Pasteurizador APV 3000l/h	4	4,5	8,2	0,5	2,2
2	Pasteurizador Cherry Burrell 5000l/h	4	4,5	8,2	0,5	2,2
3	Pasteurizador 6000 l/h	3	4,5	8,2	0,5	1,6
4	Ultrapasteurizador APV 6000l/h	12	7,0	8,2	0,9	10,2
5	Envasadora Aséptica ESS1 3 cabezales	22	7,0	8,2	0,9	18,8
6	Envasadra Prepac IS2 (1 cabezal) #1	6	6,0	8,2	0,7	4,4
7	Envasadra Prepac IS2 (1 cabezal) #2	6	6,0	8,2	0,7	4,4
8	Envasadra Prepac IS2 (1 cabezal) #3	6	6,0	8,2	0,7	4,4
9	Envasadora Solpak (2 cabezales) #1	9	7,0	8,2	0,9	7,7
10	Envasadora Solpak (2 cabezales) #2	9	7,0	8,2	0,9	7,7
11	Enfriador placas recibo 3000l/h	1	4,5	8,2	0,5	0,5
12	Blower para agitación en PTAR	15	7,0	8,2	0,9	12,8
Total:		97				77,0

Fuente: Elaboración propia

Para el funcionamiento del sistema a plena carga son requeridos como mínimo 77CFM (0,0363m³/s), los cuales están sujetos a mantenerse en la distancia de recorrido de la tubería debido a las pérdidas del circuito, su cálculo dependerá del diámetro de la tubería, y para ello deberá especificarse las siguientes velocidades del aire comprimido, típicas en este tipo de conductos:

Tabla 11: Velocidades típicas del aire comprimido por la tubería en m/s (33)

Tubería	Velocidades m/s
Línea principal	6 a 10 m/s
Acometidas	15 a 20 m/s

Con la siguiente ecuación podemos determinar el diámetro de la tubería para todo el circuito de aire comprimido.

$Q = v \times A = v \times \frac{\pi \cdot D^2}{4}$; y evaluando para Diámetro (D) para las velocidades tenemos:

$$D_{Máximo} = \sqrt{\frac{Q \cdot 4}{v \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{0,0363m^3/s \cdot 4}{10m/s \cdot \pi}} = 0,068m = 68mm \text{ para: Línea principal.}$$

De esta forma calculamos el diámetro de la tubería para todos los puntos de conexión existentes en la planta.

Tabla 12: Diámetros de la tubería para el Aire Comprimido en una planta de lácteos

Item	Descripción	Caudal CFM	Caudal en m3/s	Dimensión de tubería en mm para v=20m/s
1	Pasteurizador APV 3000l/h	2,2	0,00104	8,12
2	Pasteurizador Cherry Burrell 5000l/h	2,2	0,00104	8,12
3	Pasteurizador 6000 l/h	1,6	0,00078	7,04
4	Ultrapasteurizador APV 6000l/h	10,2	0,00484	17,55
5	Envasadora Aséptica ESSI 3 cabezales	18,8	0,00887	23,76
6	Envasadra Prepac IS2 (1 cabezal) #1	4,4	0,00207	11,49
7	Envasadra Prepac IS2 (1 cabezal) #2	4,4	0,00207	11,49
8	Envasadra Prepac IS2 (1 cabezal) #3	4,4	0,00207	11,49
9	Envasadora Solpak (2 cabezales) #1	7,7	0,00363	15,20
10	Envasadora Solpak (2 cabezales) #2	7,7	0,00363	15,20
11	Enfriador placas recibo 3000l/h	0,5	0,00026	4,06
12	Blower para agitación en PTAR	12,8	0,00605	19,62
Total:		77,0	0,03635	

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se especifica el cálculo realizado para el Blower del tanque de agitación.

$$\text{Acometidas: } D_{\text{Máximo}} = \sqrt{\frac{Q \cdot 4}{v \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{0,00605 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 4}{20 \text{ m/s} \cdot \pi}} = 0,019 \text{ m} = 19 \text{ mm}$$

El equivalente en Potencia del motor eléctrico se encuentra ligado al consumo en CFM total del sistema. Para el ejemplo, se requiere hallar la potencia eléctrica de un motor que genere un caudal de 77CFM, entonces sí: 1 CFM = 0.207 Kw, se requiere para el sistema un motor eléctrico de 16kw (22HP). (Esta relación solo se utiliza para motores con eficiencia superior al 90%) (34)

Figura 17: Compresor 88 CFM para Generación de Aire Comprimido (35)



Cortesía: Ceuco de Colombia Ltda.

3.7.4 Planta de tratamiento de Aguas residuales –PTAR

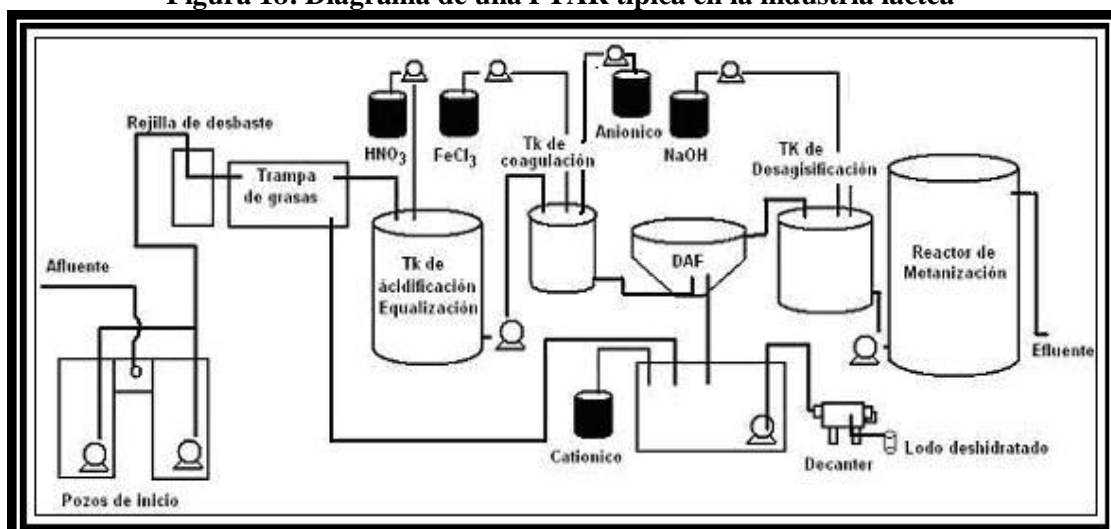
Este proceso recibe las aguas provenientes del lavado de los equipos de producción, recibo de leche, envasado, devoluciones y cuarto de reciclaje.

- El proceso inicia en los pozos de inicio que tiene como función regular el caudal y el pH de entrada, el cual oscila entre 2 y 11, manteniéndose en un promedio de 10, previamente se realiza el desbaste de sólidos gruesos.
- El agua es bombeada hacia la rejilla de desbaste fino y posteriormente a la trampa de grasas, unidad diseñada para remover del 50 al 70% las grasas no emulsionadas y de 50 a 70% los sólidos suspendidos.
- Seguidamente, el caudal es dirigido hacia el tanque de equalización-acidificación, en este punto mediante un pH-metro en línea o manualmente, es dosificado el ácido nítrico (HNO_3) para estabilizar el pH entre 3.6 - 4.0, necesario para el óptimo funcionamiento del cloruro férrico.
- El cloruro férrico es adicionado en el proceso de coagulación-floculación del DAF, el cual remueve entre un 80 y 90% el restante de sólidos.
- En el tanque de desgasificación es adicionada la soda cáustica para neutralizar el pH de 3.6 a 7.0, con el objetivo de acondicionar el agua para la entrada del reactor de metanización, el cual es un proceso biológico y el pH constituye un factor determinante para la supervivencia de los microorganismos.

Como resultado del proceso de tratamiento de las aguas residuales se generan cantidades significativas de lodos, entre 1000 y 1500 Kilogramos diarios para una planta que procesa aproximadamente 300.000 litros al día, estos residuos son ricos en materia orgánica y nutriente.

Este proceso está estrechamente relacionado con el proceso de CIP y los empujes de leche realizados en producción. En la siguiente gráfica se muestra un diagrama de flujo de la PTAR en la cual se especifican las principales operaciones e insumos asociados a este proceso.

Figura 18: Diagrama de una PTAR típica en la industria láctea



Cortesía: Colanta Planeta Rica

Esta es una planta típica PTAR en la cual se realiza el proceso completo al agua-leche desechada en producción, es aquí donde se produce la separación de sólidos contenidos en el agua y así terminar en el efluente hacia el alcantarillado exterior de la planta. Los insumos para éste procedimiento se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 13: Insumos Asociados al proceso en la PTAR

Operación	Efecto Ambiental		Volumen / Cantidad
	Entrada	Salida	
Acidificación	Ácido Nítrico HNO ₃ (51%)	----	20.627 kg/mes
Coagulación	Cloruro Férrico	----	890 kg/mes
	Polímetro Aniónico	----	45 kg/mes
Neutralización	Soda Cáustica NaOH (49%)	----	2.109 kg/mes
Deshidratación de Lodos	Polímetro Catiónico	----	247 kg/mes
	-----	Lodos	1.700 kg/día
Aseo y limpieza	Agua Potable	----	35 m ³
Operación de bombas y motores	Energía eléctrica	----	156 kwh/día

Fuente: Elaboración propia

4. Caracterización Energética y Tecnológica Del Sector

En la revisión del estado del arte, se realizó una búsqueda bibliográfica que incluyó tanto libros como artículos, con contenido actualizado. Para efectos de la presente investigación se diseñó un modelo estadístico en la cual se incluye una muestra representativa del sector lácteo en la cual se encuentran empresas grandes, medianas y pequeñas a las cuales se les realizó encuestas, visitas de campo y en general un análisis mediante el cual se identificó las tendencias, perfiles tecnológicos y acciones relacionadas con la gestión energética y las buenas prácticas operacionales.

La selección de la muestra representativa se realizó mediante una metodología que contiene la estimación de los consumos energéticos para el sector de lácteos el cual será sustentado detalladamente y estará soportado por aspectos técnicos actualizados.

4.1. Selección de la Muestra de Empresas

Para efectuar la selección de las empresas más representativas del sector de lácteos se utilizaron las siguientes bases de datos:

Tabla 14: Registros de Empresas de Lácteos para la muestra

Base de datos sector Lácteos	# Registros
Asoleche – Fedegan - Otros Gremios	31
CCB - CAEM - OPEN	14
Proveedores de tecnología y servicios - Sector Lácteo	18
Total:	63

Metodología para la selección de la muestra del sector lácteo: La metodología para la selección de la muestra representativa de pequeñas, medianas y grandes empresas de Colombia, se fundamenta en la experiencia de programas desarrollados y aplicados a la industria de manufactura en Colombia, con enfoque a la eficiencia energética como: OPEN financiado por el BID ejecutado por la CAEM filial de la cámara de comercio de Bogotá y el PEN-SGIE financiado por Colciencias, la UPME, Codensa, Emgesa, e2, ESSA del grupo EPM y EPM.

Para el Procesamiento de la información del sector lácteo, se procedió a la depuración de las bases de datos procedentes de diferentes fuentes: Asoleche, CCB - CAEM – OPEN, fedegan y los proveedores de tecnología y servicios del Sector Lácteo, los cuales tiene información secundaria de gran importancia para una adecuada selección muestral a partir de un universo cualificado.

Como complemento a ello se consultaron:

- Los aportes de información técnica de las asociaciones gremiales como Asoleche, Fedegan la Cámara de la Industria de alimentos, Consejo nacional lácteo y el ministerio de Agricultura y desarrollo Rural.
- Las tecnologías asociadas a los procesos de transformación de la leche que aportan proveedores como: TetraPak, ESSI, Buanlir, APV, AlfaLaval, Elecster, Techgen, KMA, Niro y Prepac, todas ellas relacionadas con el sector Lácteo.
- Las fuentes fijas (hornos y calderas) de la ciudad de Bogotá elaborada por la Universidad de Los Andes en el año 2008, y los análisis del comportamiento de los sectores de manufactura industriales en PyME desarrollado por el programa OPEN.
- Las emisiones calculadas para los sectores de industria y comercio efectuadas por la SDA, el IDEAM y la CAEM. En éste se toma aportes de gran importancia para el sector lácteo.

Las Empresas fueron seleccionadas teniendo en cuenta las siguientes variables: Número de fuentes (equipos generadores de vapor - calderas), tipo de combustibles utilizados en su proceso, volumen de consumo y la edad de los equipos. Lo anterior debido a que se tiene información de registros que refieren fuente de unidades generadoras de vapor, y edad de los equipos en planta.

La metodología utilizada para la selección de las empresas, indica el procesamiento del universo de la muestra para 63 empresas del sector, estadística descriptiva de la base de datos y diseño muestral. Para desarrollo de lo anterior, inicialmente se clasificó los combustibles utilizados para la generación de energía térmica como el gas natural, carbón

mineral, diesel, fuel oil y GLP, seguido de una clasificación por capacidad en BHP para la generación de vapor en calderas, consumo de energéticos equivalentes en kwh/año y la clasificación por años de antigüedad de los equipos en planta.

Luego del análisis muestral se obtuvo la Correlación entre las variables antes expuestas, obteniendo como resultado una relación directa entre la variable de consumo equivalente en kwh/año y la variable de potencia en BHP instalada en calderas, y es así, porque se espera que entre más fuentes de generación de vapor tenga una empresa, mayor consumo de combustible por año debe presentar. Esta relación es del 83% aproximadamente, y se puede asegurar que las variables en estudio se encuentran muy ligadas entre sí. El cálculo de los coeficientes de correlación entre las variables, se presenta en la Tabla 43 que corresponde al Anexo 1 del presente documento.

En el Anexo 1 también se presenta de forma detallada el análisis muestral, que incluyó un modelo estadístico que correlaciona las variables expuestas anteriormente con una confiabilidad en la muestra del 87%.

El listado de empresas por estratos y consumos equivalentes en (kwh/año), que se obtuvo como resultado del análisis muestral se presenta a continuación:

Estrato 1 (Consumo superior a 20 millones de kwh/año):

- Alpina S.A. Sopo (109.209.641 kwh/año)
- Colanta Ltda. – Funza (35.586.921 kwh/año)
- Colanta Ltda. – Medellín (52.456.329 kwh/año)
- Colanta Ltda. - San Pedro de Los Milagros (297.655.667 kwh/año)
- Colanta Ltda. - Planeta Rica (82.636.054 kwh/año)
- Alquilería S.A. – Cajicá (36.183.407 kwh/año)
- Algarra S.A. – Cogua (20.326.176 kwh/año)
- Alimentos del Valle S.A (Inducolsa S.A). – Cali (21.000.000 kwh/año)
- Coolechera Ltda. - Barranquilla. (22.900.000 kwh/año)

Estrato 2 y 3 (Consumos entre 0,1 y 20 millones de kwh/año):

- Parmalat Colombia Ltda. – Chía (13.468.320 kwh/año)
- El Recreo S.A – Zipaquirá (4.026.939 kwh/año)
- Meals de Colombia SAS - Bogotá (17.326.604 kwh/año)
- El Pomar S.A – Cajicá (8.780.545 kwh/año)
- Coolesar S.A – Valledupar (4.988.641kwh/año)
- Central Lechera de Manizales – CELEMA (12.990.000 kwh/año)
- Aerodelicias Ltda. – Alimentos Pippo S.A – Guasca (2.714.976 kwh/año)
- Lácteos Rionegro – Rionegro (1.022.196 kwh/año)
- Prodilacteos Ltda. – Cajicá (3.749.290 kwh/año)
- Ceuco de Colombia Ltda. – Cogua (1.004.248 kwh/año)
- Colfrance C P S EN C – Ubaté (3.003.518 kwh/año)
- Lácteos El Galán – Rionegro (2.262.093 kwh/año)

4.2. Visitas de Campo a las empresas Seleccionadas

Los procesos de transformación para la producción de lácteos en Colombia, se han tecnificado efectuando innovaciones para la obtención de calidad en su producto terminado, aumento de la competitividad en el mercado, disminución de costos, desarrollo de nuevos productos y apuntar hacia la mitigación de los GEI que inciden en el cambio climático del planeta. La Industria de lácteos se caracteriza por tener dentro de su proceso, equipamientos modernos e innovaciones tecnológicas para la transformación de la materia prima, la gran diversidad en aplicaciones de uso final tanto de tipo térmico como eléctrico lo hacen intensivo en el consumo de energéticos, es por eso, que estos procesos requieren ser estandarizados ya que su manejo es cada vez más complejo y difícil de controlar si no se dispone de una tecnología y operación adecuada.

Estos procesos tienen ciertas características termodinámicas, eléctricas e insumos para su funcionamiento y operación, entre ellas: Energía eléctrica, aire comprimido, agua helada, agua potable, agua recuperada, vapor de agua, y las variables dinámicas como el intercambio de temperatura para la reducción de carga microbiana y aplicación de la mecánica de fluidos en intercambiadores de calor.

Por tanto la eficiencia energética de estos procesos industriales, debe conglomerar y alinear a todos los equipos inmersos dentro de estas acciones conjuntas, con el fin de obtener correlación eficiente entre la energía utilizada en un periodo de tiempo con respecto a la producción realizada en este mismo periodo.

Dentro de las inspecciones realizadas en las visitas de campo, a continuación se hace un balance de los usos energéticos focalizados en las pérdidas durante la producción. Este balance se presenta a manera de flujo de proceso en el cual se representa esquemáticamente las entradas y salidas para la transformación de la leche en producto estandarizado y Pasteurizado:

Figura 19: Entradas y Salidas del Proceso en Planta de Producción de Lácteos – con Pérdidas Asociadas al consumo de Energéticos

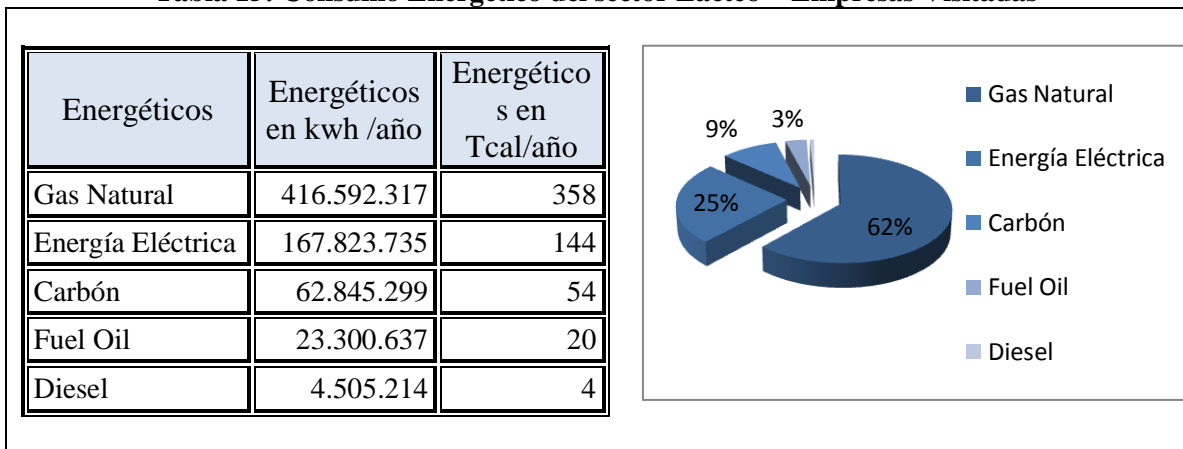


Fuente: Elaboración propia

4.2.1 Matriz Energética del sector Lácteo - Empresas de la Muestra

Para efectos de la caracterización de la matriz energética del sector lácteo, se realizó el inventario del total de combustibles y energía eléctrica consumida a su equivalente en kwh/año y Tcal /año. En la siguiente tabla se observa la matriz energética del sector para la muestra.

Tabla 15: Consumo Energético del sector Lácteo – Empresas Visitadas



Fuente: Elaboración propia

El energético de mayor utilización es el Gas Natural con un 62% (416,6 Gwh/año) asociado a tecnologías que usan este tipo de energético principalmente calderas pirotubulares y calentadores de aire, la energía eléctrica con el 25% (167,8 Gwh/año) representa el consumo para la generación de Aire comprimido, refrigeración, torres de enfriamiento, homogenizadores, centrifugas clarificadoras, sistemas de bombeo de agua recuperada, CIP, motores de Inducción, variadores de frecuencia e iluminación. Todos ellos usados para la producción de lácteos y que demandan alta potencia para el proceso de transformación de la leche.

Al realizar un comparativo entre las cifras de referencia que se tiene en el estado del arte para el sector expuestas por el DANE que refieren consumo de Energía eléctrica año 2012, la cual es de 268 Gwh/año (24), y entre la muestra que tiene un consumo agregado de energía eléctrica de 168 Gwh, esta representa el 63%, lo que puede afirmar una aproximación al comportamiento del sector lácteo nacional, claro está que los datos de referencia son para el año 2012 y la muestra fue trabajada entre los años 2013 y 2014.

La matriz energética del sector, indica que los procesos son intensivos en el consumo de energía térmica debido a la utilización del gas natural en un 62% y otros energéticos que cumplen el mismo objetivo de generar vapor con otro 13%. Estos resultados enfocan a realizar una propuesta de integrar al proceso un sistema de cogeneración mediante turbinas y utilizar intercambiadores de calor para ser integrados a los procesos de pasteurización como energía térmica. Claro está que esta opción sería interesante en instalaciones donde el consumo térmico sea elevado puesto que la retribución de la inversión en el tiempo sería acelerada, es decir, para plantas que procesen más de 200.000 litros diarios que son factor común dentro de las plantas de procesamiento contenidas en la muestra.

También se realizó una estimación del consolidado de costos por Energético y su total asociados al consumo en las plantas de producción, el precio de su unidad original en pesos Colombianos fueron estimados con el promedio de lo expuesto por las empresas de la muestra, y los resultados fueron los siguientes:

Tabla 16: Costo de energéticos para el sector Lácteo – Empresas Visitadas

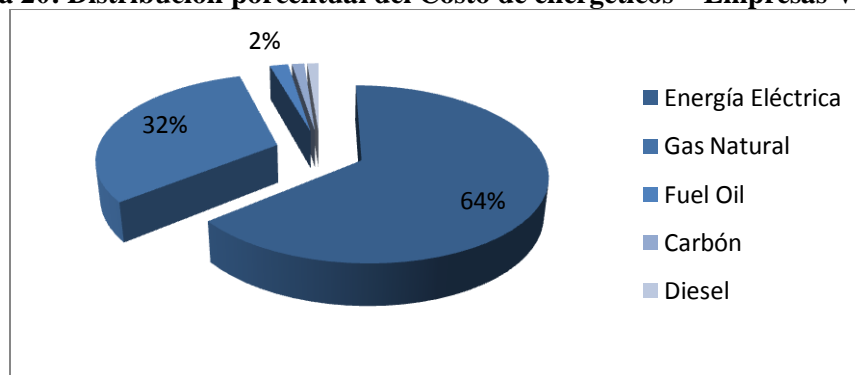
Energéticos	Precio base del Energético por unidad original - 2014	Unidad Original	Cantidad en unidades Originales / año	Costo en pesos Colombianos / año
Energía Eléctrica	\$ 291	kwh	167.823.735	\$ 48.892.648.117
Gas Natural	\$ 599	M3	40.015.704	\$ 23.969.406.917
Fuel Oil	\$ 3.924	Galones	379.093	\$ 1.487.560.932
Carbón	\$ 120	Kg	8.313.970	\$ 997.676.400
Diesel	\$ 8.100	Galones	112.070	\$ 907.767.000

Fuente: Elaboración propia

El costo de la energía eléctrica fue superior al total de energéticos como factor común en todas las plantas de producción. El precio del kwh se estimó con el promedio total de las empresas visitadas para los diferentes niveles de tensión I, II y III (34,5 kv; 13,2 kv y 1,0 kv) respectivamente. Lo mismo para el resto de energéticos en sus unidades originales.

Para observar la distribución porcentual del consumo de energéticos por precio en el mercado, se presenta la siguiente figura:

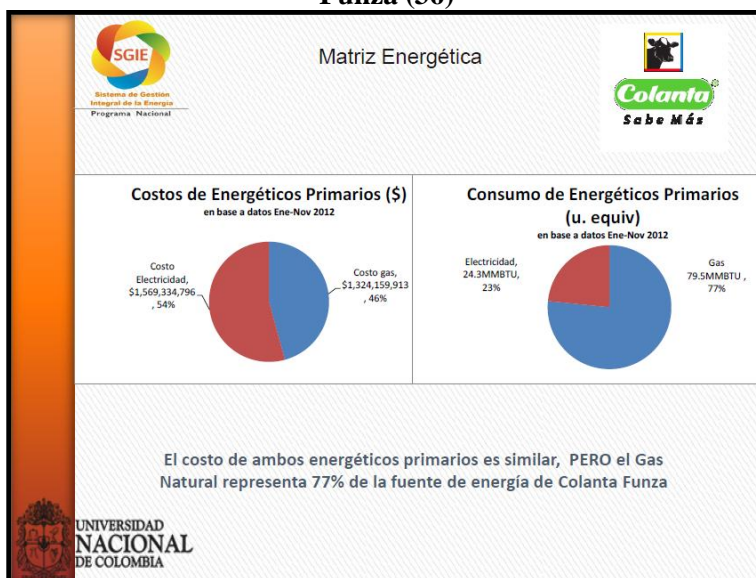
Figura 20: Distribución porcentual del Costo de energéticos – Empresas Visitadas



Fuente: Elaboración propia

De la anterior gráfica se puede concluir que el consumo de energía eléctrica para el sector, es el energético que devenga mayor costo para el proceso de producción con el 64%, seguido del Gas natural con el 32%. La aproximación de éstos resultados fue presentada por el grupo GRISEC de la Universidad Nacional de Colombia, en desarrollo del programa PEN-SGIE.

Figura 21: Resultados de costos Energéticos y su peso en la planta de producción – Colanta Funza (36)



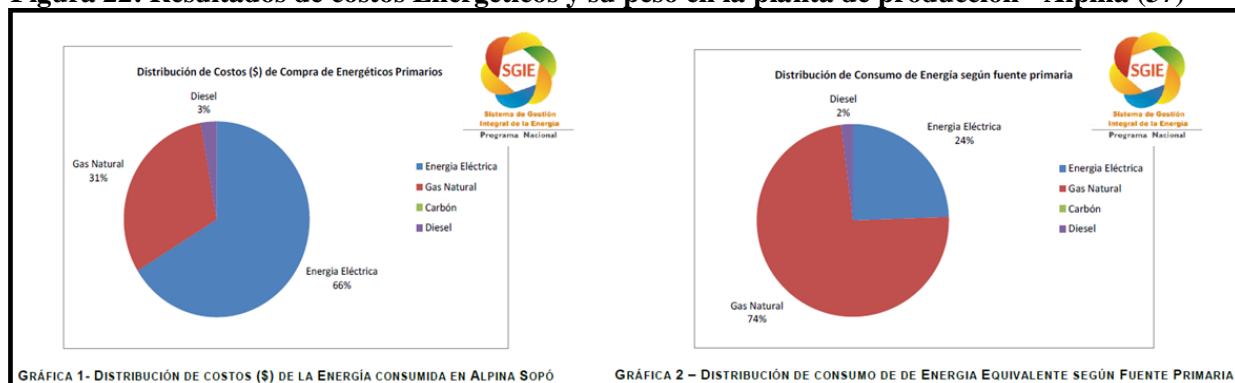
Fuente: Programa PEN-SGIE 2013

Para la planta de Colanta UHT ubicada en Funza, el costo de energéticos primarios son similares al final del año, sin embargo el gas Natural representa el 77% del poder energético de suministro a la planta.

En resumen, la energía eléctrica aunque tiene un gran costo dentro de la matriz energética de la planta, no representa el aporte energético esperado para el proceso de transformación de la leche, caso contrario sucede con el gas natural que al final del año es menos costoso en la matriz y aporta gran poder energético dentro del proceso de producción. Lo anterior es un factor común para las plantas visitadas del sector.

De igual forma se presentaron resultados para otra de las plantas contenidas en la muestra:

Figura 22: Resultados de costos Energéticos y su peso en la planta de producción - Alpina (37)



Fuente: Programa PEN-SGIE 2013

Para la planta de Alpina ubicada en Sopo, el costo de la energía eléctrica como energético primario es del 66% del total de energéticos, seguido del gas natural con el 31%, pero el Gas natural al igual que la planta anterior también representa la mayoría de aporte energético con el 74% para el suministro total de la planta. Lo anterior fue presentado en el

informe de desarrollo de la etapa de decisión Estratégica para Alpina S.A, elaborado por el programa PEN-SGIE de la Universidad nacional de Colombia (37).

4.2.2 Indicadores de desempeño Energético para las empresas de la Muestra:

En algunas plantas que integran diferentes procesos en la etapa de transformación de la materia prima, solamente se tiene en cuenta el indicador para la energía eléctrica de kilovatio-hora por tonelada producida ó kilovatio-hora por litro producido. Lo ideal dentro de un proceso para tener certeza del rendimiento o la eficiencia de éstos, sería evaluar un indicador que integre todas las unidades de consumo de energía en una sola unidad energética vs la cantidad de litros en leche producidos en forma equivalente, puesto que la leche es el producto primario que se tiene como insumo principal para todos los procesos.

De esta forma, el indicador obtenido puede acoplarse fácilmente a todos los indicadores que se manejan en los diferentes procesos de la planta. La inclusión del indicador por producción equivalente, es decir, llevar a litros de leche procesados cualquier producto terminado y a unidades de energía todos los insumos energéticos requeridos para el procesamiento, lograría tener mayor control sobre los procesos, incluso identificar las cantidades de insumos y de energía estrictamente necesarios para la producción.

Para el ejercicio se logró determinar el consumo de energéticos de las empresas visitadas mediante la recopilación de los datos de facturación en el periodo consolidado para 12 meses. Los datos de consumo energético se correlacionaron con la producción en litros de leche producidos diariamente, pero sin consolidar en producción equivalente.

A continuación se presenta los registros de las plantas contenidas en la muestra que relaciona la producción, los energéticos más importantes y su consumo por año:

Tabla 17: Empresas visitadas - Producción vs Energéticos Consumidos

ítem	Empresa	Ubicación	Producción en Litros/día Aproximada	Energético y unidad original	Consumo de Energéticos en unidades originales por AÑO
1	Alpina S.A	Sopo	527.309	Gas natural en m3	7.439.978
				Diesel Galones	53.670
				Energía Eléctrica kwh	29.229.937
2	Colanta Ltda	Funza	350.000	Gas natural en m3	2.642.397
				Fuel Oil Galones	2.250
				Energía Eléctrica kwh	7.855.086
3	Colanta Ltda. Medellín	Medellín	700.000	Gas natural en m3	3.963.596
				Energía Eléctrica kwh	11.782.629
4	Colanta San Pedro de	San Pedro	1.560.000	Gas natural en m3	18.048.644

ítem	Empresa	Ubicación	Producción en Litros/día Aproximada	Energético y unidad original	Consumo de Energéticos en unidades originales por AÑO
	Los Milagros			Energía Eléctrica kwh	70.908.911
5	Colanta Planeta Rica	Planeta Rica	305.000	Gas natural en m3	5.048.400
				Energía Eléctrica kwh	5.940.000
6	Alquería S.A	Cajicá	528.767	Fuel Oil Galones	188.523
				Carbón kg	7.007.920
				Energía Eléctrica kwh	13.100.115
7	Parmalat Colombia Ltda	Chia	120.000	Gas natural en m3	960.323
				Energía Eléctrica kwh	2.814.365
8	Algarra S.A	Cogua	350.000	Fuel Oil Galones	367.920
				Energía Eléctrica kwh	5.223.060
9	El Recreo S.A	Zipaquirá	200.000	Carbón kg	336.000
				Diesel Galones	58.400
				Energía Eléctrica kwh	900.195
10	Meals de Colombia SAS	Bogotá	29.589	Gas natural en m3	530.244
				Fuel Oil Galones	6.023
				Energía Eléctrica kwh	11.533.008
11	Aerodelicias Ltda - Alimentos Pippo S.A	Guasca	45.000	Carbón kg	192.000
				Energía Eléctrica kwh	1.263.648
12	El Pomar S.A	Cajicá	80.000	Gas natural en m3	625.000
				Fuel Oil Galones	2.900
				Energía Eléctrica kwh	2.124.000
13	Ceuco de Colombia Ltda	Cogua	16.000	Carbón kg	72.000
				Energía Eléctrica kwh	460.000
14	Colfrance C P S EN C	Ubaté	40.000	Carbón kg	189.000
				Energía Eléctrica kwh	1.207.500
15	Prodilacteos Ltda. (Hacienda San Mateo)	Cajicá	70.000	Carbón kg	286.650
				Energía Eléctrica kwh	1.851.500
16	Lácteos El Galán	Entrerios	45.000	Carbón kg	230.400
				Energía Eléctrica kwh	520.500
17	Coolesar	Valledupar	25.000	Gas natural en m3	416.000
				Energía Eléctrica kwh	637.281

ítem	Empresa	Ubicación	Producción en Litros/día Aproximada	Energético y unidad original	Consumo de Energéticos en unidades originales por AÑO
18	Lácteos Rionegro	Rionegro	40.000	Gas natural en m3	152.600
				Energía Eléctrica kwh	472.000

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior, se desarrolló un análisis que indica el comportamiento de los energéticos más importantes del sector (Energía Eléctrica y Gas natural), en torno a su producción.

Basados en el indicador de desempeño energético el cual se representa mediante la ecuación de una línea recta y que indica una tendencia E vs. P (Energía vs Producción). Se toma los datos de producción (P) y los datos de consumo de Energía (E), y mediante una regresión lineal se propone una aproximación a una recta de la forma $E=mP+E_0$. Este ejercicio se puede realizar para el consumo global de energía, o para cada uno de los energéticos primarios por separado.

La ecuación $E = mP + E_0$ se mide de la siguiente forma:

E₀: Es la energía no asociada con la producción. Este valor se visualiza gráficamente como el intersección de la recta propuesta con el eje de las ordenadas (E) en el plano Evs.P.

m: Es el consumo de energía por unidad producida. Este valor se visualiza gráficamente como la pendiente de la recta propuesta en el plano E vs. P.

Correlación R² de la recta E=mP+E₀:

Es el cuadrado del coeficiente de correlación de la nube de puntos E vs P con la recta propuesta tras la regresión lineal. Un valor muy bajo del factor R² indica una variabilidad muy alta del proceso. El valor R² debe aumentar mediante la gestión energética, especialmente en el frente de la medición de las variables E y P, y la modernización de máquinas de proceso, soporte, control y automatización de la medición de las variables E y P. (38)

A continuación se realiza un análisis de desempeño para los dos energéticos más importantes del sector lácteo en Colombia, La energía eléctrica y el Gas Natural.

Análisis de datos con Energía Eléctrica:

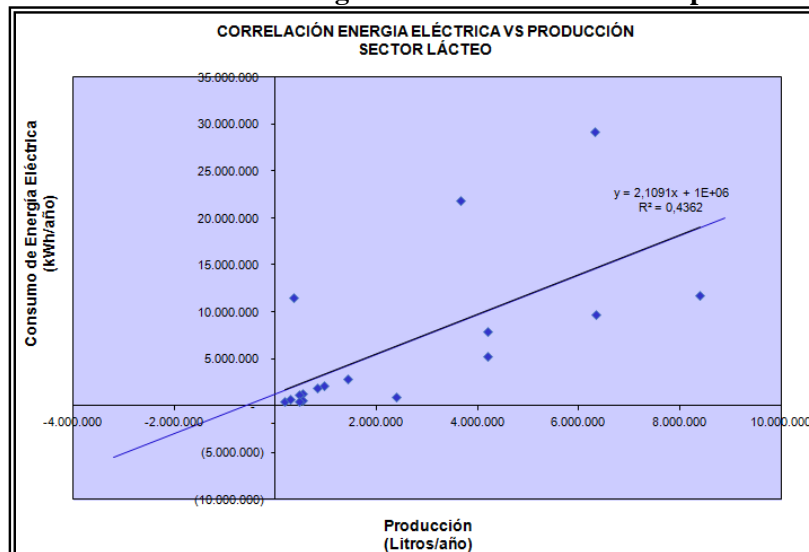
De los valores anteriores podemos correlacionar producción en litros de leche /año contra Energía Eléctrica para todas las plantas tomando como referencia el dato de un año base.

Tabla 18: Comportamiento del Consumo de Energía Eléctrica sector Lácteo

Empresa	Producción (P)	Consumo de Energía Eléctrica (E.E)
	Litros de Leche/año	kwh/año
1	6.327.713	29.229.937
2	4.200.000	7.855.086
3	8.400.000	11.782.629
4	18.720.000	70.908.911
5	3.660.000	21.854.157
6	6.345.204	9.708.886
7	1.440.000	2.814.365
8	4.200.000	5.223.060
9	2.400.000	900.195
10	355.068	11.533.008
11	540.000	1.263.648
12	960.000	2.124.000
13	192.000	460.000
14	480.000	1.207.500
15	840.000	1.851.500
16	540.000	520.500
17	300.000	637.281
18	480.000	472.000

Gráficamente la ecuación que mide el indicador de desempeño de Energía eléctrica comparado con la producción es la siguiente:

Figura 23: Gráfico Consumo Energía Eléctrica Vs Producción para sector Lácteo



Fuente: Elaboración propia

El coeficiente de determinación R^2 es igual a 0,44 (número menor a 0,8). Esto significa que el consumo de energía eléctrica de las empresas no explica el comportamiento de la producción, lo anterior debido a la diferencia que existe entre los procesos entre una planta y otra, ya que los datos de producción no se encuentran expresados en producción equivalente de litros, o los registros de producción entre plantas se encuentran muy dispersos.

La producción equivalente es la cantidad de unidades finales que reúne todos los productos procesados con una misma materia prima después de sufrir un proceso de transformación utilizando energéticos. La unidad de producto terminado equivalente para el sector lácteo son litros de leche procesados como se profundiza en el capítulo 5.1 del presente documento.

El análisis correlaciona las dos variables E vs P (Producción utilizando energía eléctrica) con el fin de elaborar el indicador de desempeño energético tomando como referencia los registros de las plantas contenidas en la muestra, además se puede determinar el potencial de ahorro energético estimado del sector cuando $P=0$ en el intercepto b.

Tabla 19: Ecuación del consumo de Energía Eléctrica Sector Lácteo

CONSUMO ACTUAL (ENERGÍA ELÉCTRICA)	
Coeficiente de determinación (R^2)	0,44
$y = m * x + b$ ó $E = m * P + b$	
Pendiente (m)	2,1091
Intercepto (b)	1.268.870

El intercepto b, indica la energía no asociada a la producción para el sector, y establece el punto de consumo energético donde el valor de producción es igual a cero (cuando $P=0$). De la gráfica se puede extraer este consumo, y se obtiene; $E=E_0=1.268.870$ kwh/año, este valor representa el 20% de pérdidas de energía eléctrica en promedio para las empresas del sector contenidas en la muestra. Para contrarrestar estas pérdidas se debe utilizar buenas prácticas operacionales energéticas (BPOE), las cuales pueden traducirse en un ahorro significativo del 3% equivalente a 38.066kwh/año. Estas actividades se presentan de forma detallada en el Anexo 8 y Tabla 59.

El ahorro estimado por BPOE del 3% para las empresas Industriales de manufactura en el país, fue uno de los resultados expuestos durante el desarrollo del proyecto OPEN ejecutado por la Cámara de comercio de Bogotá y el BID entre los años 2009 y 2012 en la ciudad de Bogotá (39).

Análisis de datos con Gas Natural:

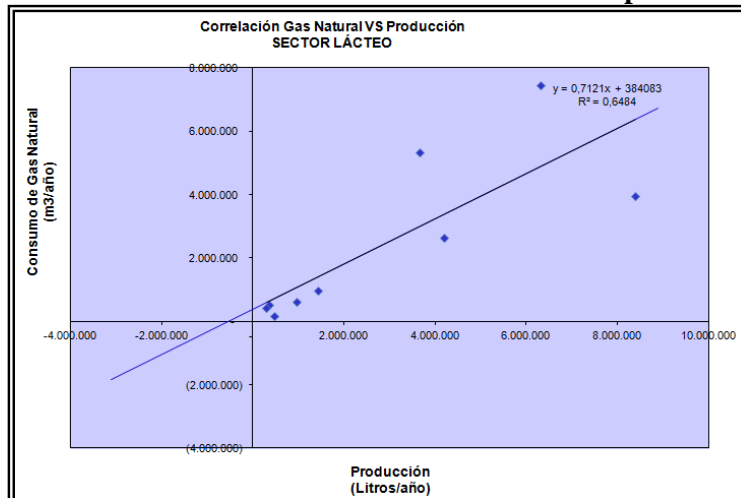
De los valores también podemos correlacionar producción en litros de leche /año con Gas Natural para todas las plantas tomando como referencia el dato de un año base y solo para las plantas que consumen Gas Natural.

Tabla 20: Comportamiento del Consumo de Gas Natural sector Lácteo

Empresa	Producción (P)	Consumo de Gas Natural
	Litros de Leche/año	m3/año
1	6.327.713	7.439.978
2	4.200.000	2.642.397
3	8.400.000	3.963.596
4	18.720.000	70.908.911
5	3.660.000	5.328.385
7	1.440.000	960.323
10	355.068	530.244
12	960.000	625.000
17	300.000	416.000
18	480.000	152.600

Gráficamente la ecuación que mide el indicador de desempeño de consumo de Gas natural comparado con la producción en litros de leche procesados es la siguiente:

Figura 24: Grafico Consumo Gas Natural Vs Producción para sector Lácteo



Fuente: Elaboración propia

El coeficiente de determinación R^2 es igual a 0,65 (número menor a 0,8), y similar al análisis expuesto para el consumo de energía eléctrica, la causa se encuentra muy ligada a la producción no expresada en unidades equivalentes de litros.

Tabla 21: Ecuación del consumo de Gas Natural Sector Lácteo

CONSUMO ACTUAL (Gas Natural)	
Coefficiente de determinación (R2)	0,65
$y = m * x + b$ ó $E = m * P + b$	
Pendiente (m)	0,7121
Intercepto (b)	384.083

El intercepto b , indica la energía no asociada a la producción para las plantas de la muestra, cuando $(P=0)$, la $E=E_0=384.083$ m³/año, lo cual representa el 16% del consumo promedio del total de las empresas contenidas en la muestra del sector. El ahorro energético por buenas prácticas operacionales energéticas (BPOE), también se aplica para el caso del gas natural y se estima en un 3% por la ejecución de actividades no relacionadas con la producción equivalente a 11.522 m³/año. Estas actividades se presentan en el Anexo 8 y Tabla 54 del presente documento.

El ahorro por ejecución de las BPOE que optimiza el recurso energético asociado al gas natural del 3%, también fue resultado del proyecto OPEN para empresas del sector industrial en Colombia. (39)

En síntesis, se puede concluir que es necesario realizar un estudio más profundo que consolide la producción única de un proceso como producción equivalente, para éste caso en litros procesados. De lo contrario no se lograría determinar con certeza el ahorro energético de los procesos utilizando los indicadores de desempeño energético en desarrollo. Sin embargo en el capítulo 5.1, se presenta un estimado de la producción equivalente en litros para el sector de lácteos en Colombia que congrega diferentes procesos y derivados lácteos.

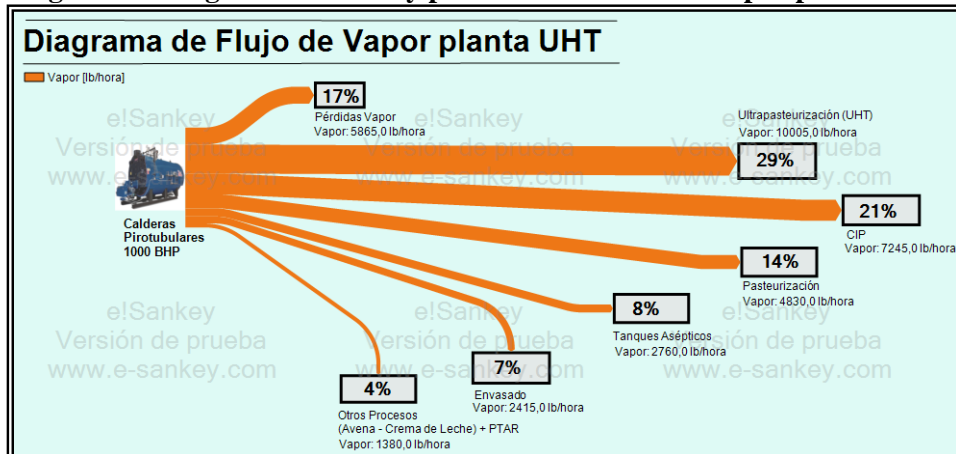
4.2.3 Diagramas de Sankey por Uso final de Energéticos

Para la determinación del uso final de energéticos, se trabajó con el software e!Sankey “**UMBERTO**”, el cual permite visualizar flujos de energía y materiales a través de diagramas Sankey de una manera muy sencilla. En estos diagramas se visualiza de forma clara la cantidad de energéticos asociados a los procesos productivos que involucran transformación de la materia prima y que además son intensivos en el consumo de energía. (40)

Los diagramas de Sankey utilizados para la caracterización del proceso, fueron construidos con los datos de placa de los equipos y con algunos registros existentes que identifican los consumos asociados a los procesos industriales mediante mediciones que fueron realizadas en cada planta. Estos flujos identifican los usos finales asociados al proceso productivo como son: Generación de vapor, Energía eléctrica, Aire comprimido y Refrigeración.

A continuación se representa los diagramas típicos de dos plantas de lácteos que procesan 350.000 y 305.000 litros/día, de Ultrapasteurización (UHT) y Pulverización respectivamente, las dos con procesos diferentes que relacionan equipos y su consumo de energía dentro de la producción.

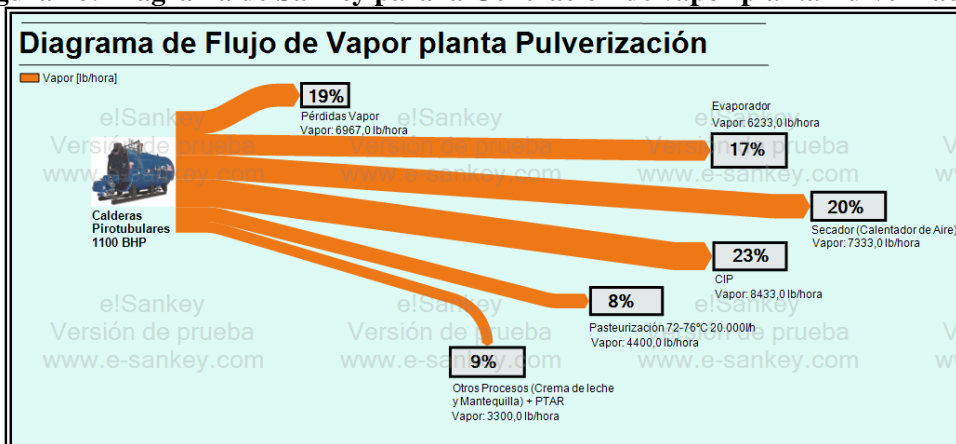
Figura 25: Diagrama de Sankey para la Generación de vapor planta UHT



Fuente: Elaboración propia

El diagrama indica que el proceso de Ultrapasteurización es el más intensivo en cuanto a consumo de vapor saturado de la planta con un 29%, seguido por el lavado CIP con el 21% y el proceso de Pasteurización con el 14%. La capacidad instalada en Generación de vapor para esta planta que procesa 350.000 litros/día es de 1000BHP (34.500lb/h), con un consumo de gas natural de 2.642.397 m³/año, equivalentes a 27.639.473 kwh/año y 2.250 galones de fuel oil que son unos 92.363 kwh/año, para ello se utilizó la conversión equivalente de energéticos expuesta en el Anexo 4. En otras plantas de pasteurización el energético utilizado para este propósito son el Carbón mineral y el Diesel.

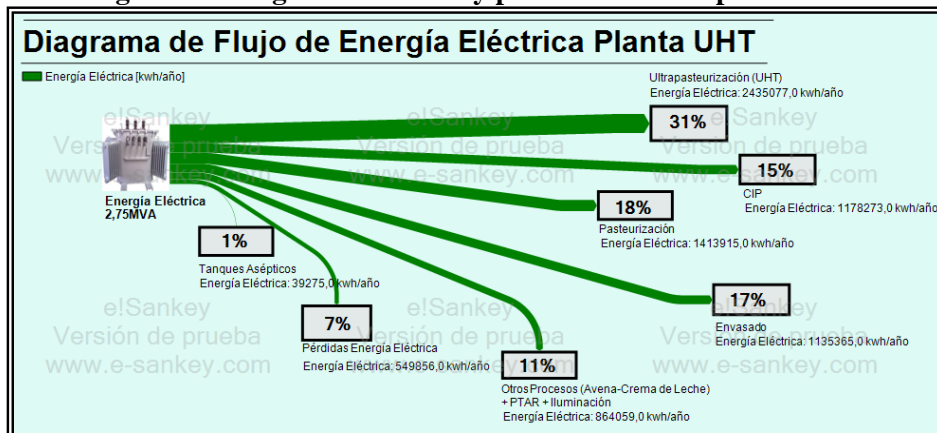
Figura 26: Diagrama de Sankey para la Generación de vapor planta Pulverización



Fuente: Elaboración propia

La capacidad instalada en Generación de vapor para la planta que procesa 305.000 litros/día es de 1100BHP (36.667lb/h), con un consumo de gas natural de 5.048.400m³/año, equivalentes a 52.806.264 kwh/año, también utilizando la conversión equivalente de energéticos expuesta en el Anexo 4. El diagrama indica que el proceso de CIP de lavado es el más consumidor de vapor de la planta con un 23%, seguido del proceso de secado en el cual se pulveriza la leche con el 20% y el de Evaporación en la cual se condensa la leche con el 17%. El energético utilizado en esta planta para la generación de vapor y calentamiento del aire es exclusivamente Gas natural.

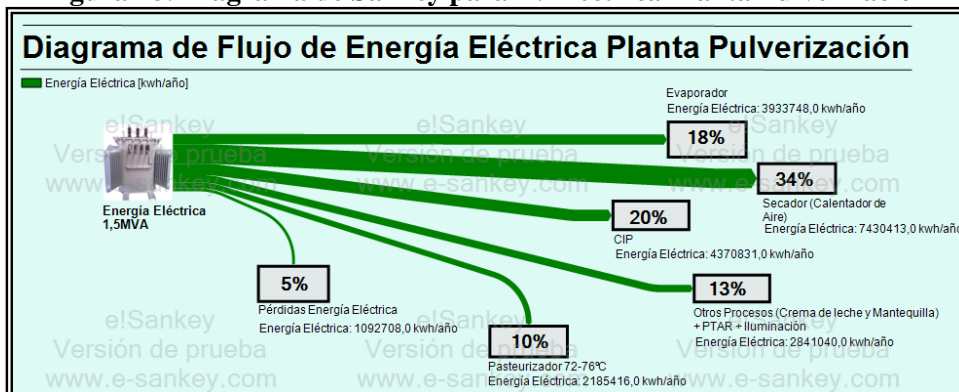
Figura 27: Diagrama de Sankey para E. Eléctrica planta UHT



Fuente: Elaboración propia

La capacidad instalada en la Subestación para la planta que procesa 350.000 litros/día es de 2,75MVA, y su consumo de energía eléctrica anual asciende a los 7,85Mwh/año. La energía eléctrica conglomerar varios usos finales, entre ellos la refrigeración, sistemas de bombeo, iluminación y aire comprimido. El diagrama indica que el proceso de Ultrapasteurización es el que mayor consumo tiene en cuanto a energía eléctrica de la planta con el 31%, seguido del proceso de Pasteurización con el 18% y Envasado de la leche con el 17%.

Figura 28: Diagrama de Sankey para E. Eléctrica Planta Pulverización

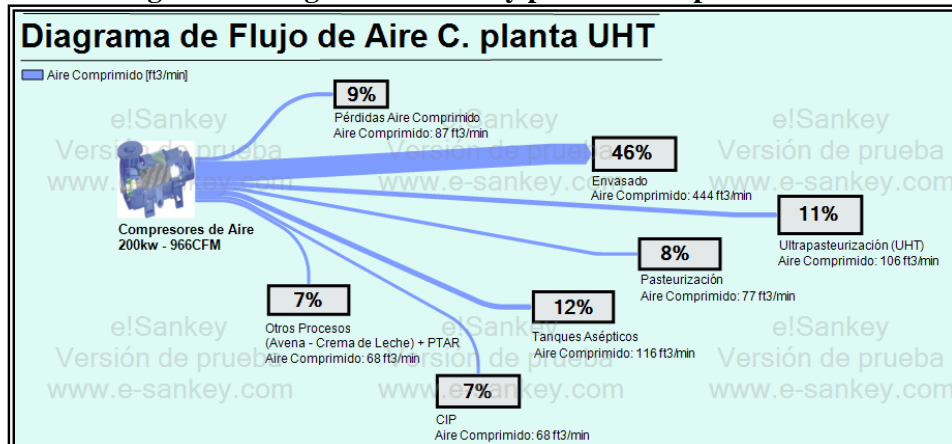


Fuente: Elaboración propia

La capacidad instalada en la Subestación para la planta que procesa 305.000 litros/día es de 1,5MVA, y su consumo de energía eléctrica anual asciende a los 5,94Mwh/año. La energía eléctrica reúne varios usos finales, entre ellos la refrigeración, sistemas de bombeo, iluminación y aire comprimido. El diagrama indica que el proceso de secado de la leche es el más intensivo en consumo de energía eléctrica con el 34%, debido al motor principal de la planta de procesos asociado al atomizador del equipo de secado, seguido del lavado CIP con el 20% y el proceso de evaporación con el 18%.

Uno de los usos finales que derivan de la energía eléctrica es el Aire comprimido, su distribución de flujo en unidades de CFM para la planta de 350.000 litros/día se presenta de la siguiente forma.

Figura 29: Diagrama de Sankey para Aire C. planta UHT

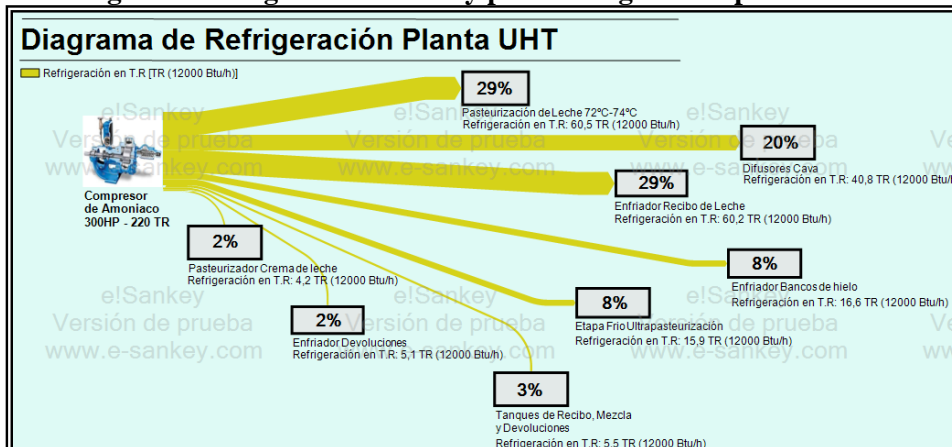


Fuente: Elaboración propia

La capacidad instalada en el cuarto de compresores de aire para la planta en mención es de 200kw que corresponden a unos 966CFM, de este flujo entregado el 46% le corresponde al salón de envasado de leche, seguido de los tanques asépticos con el 12% y el proceso de Ultrapasteurización con el 11%.

Otro uso final que se deriva de la Energía Eléctrica es la Generación de Frio o Refrigeración, su distribución se encuentra referenciada en Toneladas de Refrigeración (TR), la cual es equivalente a 12.000 Btu/hora, esta generación de frio es proporcionada por compresores que tienen como refrigerante principal el Amoniaco en la mayoría de plantas de procesamiento de leche, su distribución en TR para la planta de 350.000 litros/día se presenta de la siguiente forma.

Figura 30: Diagrama de Sankey para Refrigeración planta UHT



Fuente: Elaboración propia

La capacidad instalada en Refrigeración Industrial para la planta en mención es de 220TR, soportado con dos acumuladores de hielo y un compresor monotornillo de amoniaco de 300HP. La Refrigeración entregada a la planta se representa significativamente en el pasteurizador de leche de 30.000l/h y el enfriador de recibo de leche, cada uno con el 29% de consumo sobre el total generado, seguido por los difusores de la cava con el 20%.

4.3. Encuestas virtuales – Análisis de información del sector

Paralelamente a las visitas de campo se realizaron encuestas virtuales las cuales fueron un complemento de la información primaria obtenida en las visitas de campo, esta información sirvió para corroborar las características de la producción y las tendencias en el consumo de energéticos, también para identificar la percepción del empresario en cuanto al estado tecnológico de su maquinaria, el peso de los energéticos dentro de los costos financieros de la empresa, principal insumo energético o actor para su producción, cuellos de botella tecnológicos e identificación de su origen y la utilización de su capacidad Instalada.

El desarrollo de la encuesta virtual contiene 9 preguntas y su diligenciamiento se realizó vía on line. La encuesta fue diligenciada por 16 empresas del sector las cuales no necesariamente estaban dentro de la muestra, ésta junto con sus preguntas fueron enviadas a todo el universo de empresas potenciales interesadas en participar de la caracterización energética y tecnológica, pero desafortunadamente no se contó con la aceptación para su diligenciamiento como se esperaba.

El link en donde se puede diligenciar la encuesta vía on line es el siguiente:

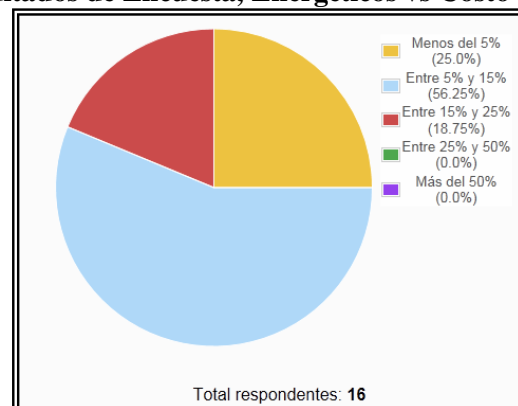
<http://www.e-encuesta.com/answer?testId=yi5kz+LbLSY=>

Para observar sus resultados en detalle, se anexa en formato.pdf la encuesta para cada uno de los sectores y el informe de resultados de la caracterización Energética y Tecnológica realizada vía on line.

Después de depurar los archivos magnéticos arrojados por la encuesta, se concluye que para el sector Lácteo respondieron 16 empresas que corresponden a las ciudades de Bogotá D.C, Medellín y la Sabana de Bogotá, las 16 empresas no completaron en su totalidad el formulario propuesto vía *on line*, pero a pesar de ello si se presentaron resultados interesantes en las respuestas efectuadas por los empresarios, entre ellas podemos destacar las siguientes:

A la pregunta No 3: Qué porcentaje le asignaría usted a los Energéticos (Carbón, Gas, Energía eléctrica, otros) en los costos totales de producción?.

Figura 31: Resultados de Encuesta, Energéticos vs Costo en la Producción

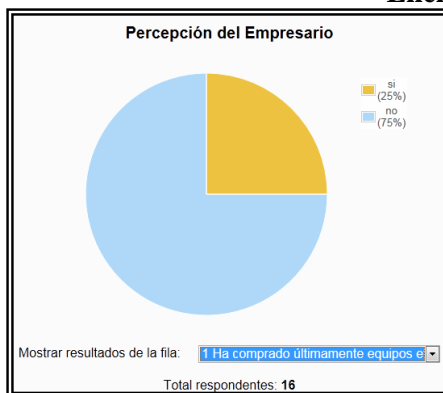


Fuente: Elaboración propia

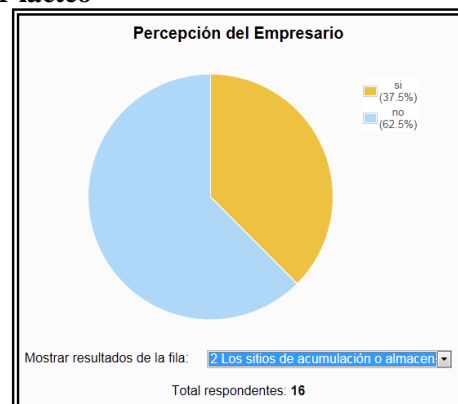
A ésta pregunta respondieron todas la empresas de las cuales el 56% (9 empresas) manifestaron que los energéticos no son de gran peso en cuanto a los costos dentro de la producción (solo entre el 5 y 15%). No obstante, el manejo inadecuado de los recursos energéticos de una empresa, puede afectar otros aspectos de la producción como se presenta en el capítulo 5.3 del presente documento. Estos costos no están discriminados a la hora de cuantificar las pérdidas asociadas a ellos como en el caso de: Cortes de energía, desperdicio de materia prima por equipos sobredimensionados y mal instalados, Operación de los equipos en vacío y Personal sin actividades por puesta a punto de los equipos de forma tardía.

La pregunta No 4: Refiere la percepción del empresario en cuanto a su estado tecnológico y el aprovechamiento de recursos energéticos para ser más eficiente y competitivo, ellos respondieron:

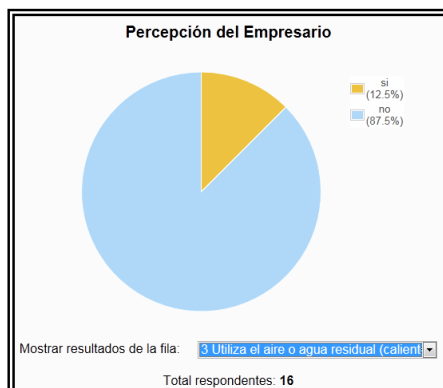
Figura 32: Resultados de Encuesta, Percepción del Empresario en cuanto a Eficiencia Energética sector lácteo



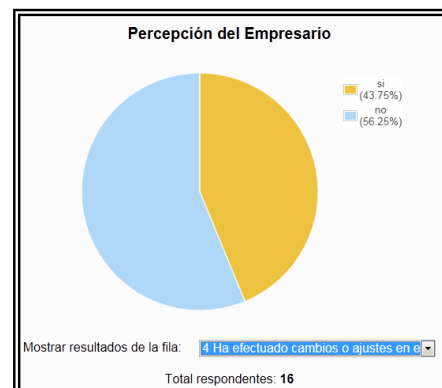
1) Ha comprado últimamente equipos eficientes desde el punto de vista energético?, si: 25%, no:75%



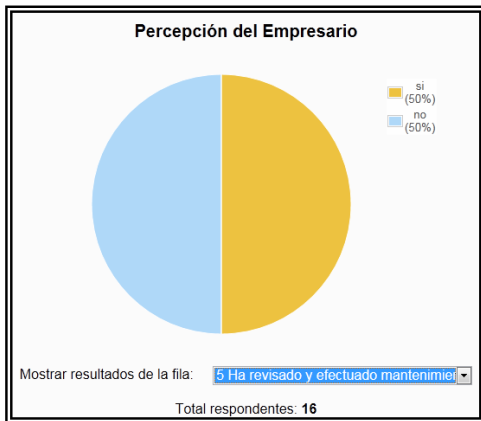
2) Los sitios de acumulación o almacenamiento de la materia prima (patios, embarcaderos, tolvas, etc.) Han sido reestructurados y organizados para evitar desperdicios y contaminación?, si: 37%, no: 62%.



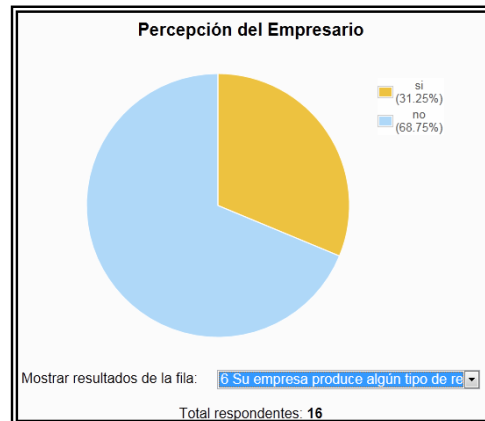
3) Utiliza el aire o agua residual (caliente o frío) para inducir, complementar y/o mejorar otros procesos industriales?, si: 12%, no:87%.



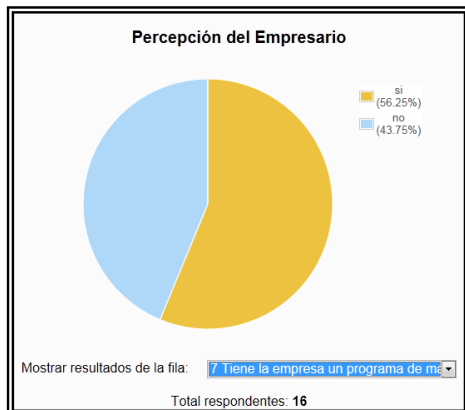
4) Ha efectuado cambios o ajustes en el sistema de quemadores para combustibles (líquidos, sólidos o gaseosos)?, si: 43%, no:56%.



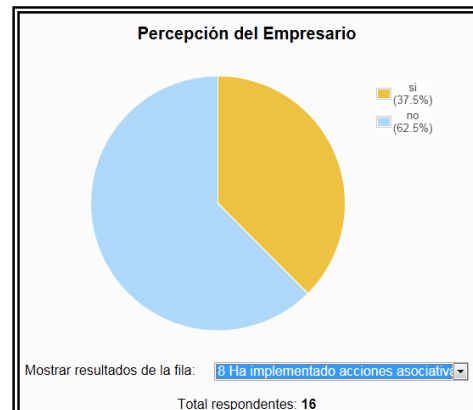
5) Ha revisado y efectuado mantenimiento al sistema eléctrico para los motores (conexión de alimentación, polo a tierra, etc.)?, si: 50%, no:50%.



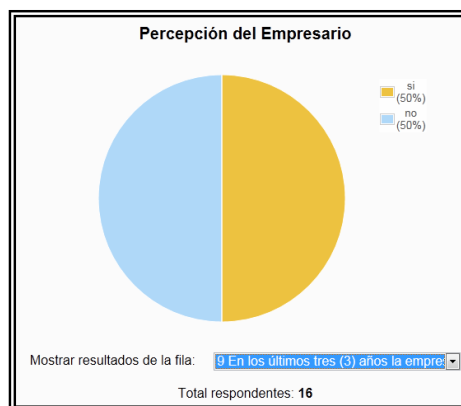
6) Su empresa produce algún tipo de residuos que sea aprovechable como combustible)?, si: 31%, no:68%.



7) Tiene la empresa un programa de manejo preventivo a las instalaciones, maquinaria, equipos y vehículos?, si: 56%, no:43%.



8) Ha implementado acciones asociativas (gremiales) para acometer proyectos que mejoren su productividad y competitividad)?, si: 37%, no:62%.



9) En los últimos tres (3) años la empresa ha crecido en volumen de ventas?, si: 50%, no:50%.

Fuente: Elaboración propia

A ésta pregunta que refiere la percepción del empresario, también respondieron todas las empresas relacionadas en la encuesta. Las respuestas que fueron afirmativas con un sí, responden a una gestión del empresario por el aprovechamiento al máximo de los recursos y una visión de eficiencia en cuanto a sus procesos productivos con visión de competitividad y sostenibilidad en el mercado. Las que responden con un no, muestran la debilidad del sector en la tendencia de seguir sosteniendo tecnologías obsoletas, de uso ineficiente, y sin aprovechamiento de los recursos energéticos.

Los bajos niveles de planeación y de desarrollo tecnológico, la falta de transferencia de tecnología, la dependencia tecnológica de empresas multinacionales y una seria proyección hacia el mercado global, no permiten avanzar significativamente en una mayor competitividad del sector lácteo (9), bajo esta consideración y las diferentes percepciones del empresario en cuanto a eficiencia energética dentro de sus procesos, se puede afirmar que el problema de competitividad radica en la falta de utilización de herramientas que involucran el consumo eficiente de energéticos, la falta de innovación tecnológica como fortaleza para el aprovechamiento de recursos, y la no utilización de indicadores energéticos como control a los procesos. La implementación de todas estas actividades, permitirá al empresario escalar en tener un proceso más eficiente y competitivo frente a otras empresas similares de su sector. Esto debe partir desde la formación ofertada por los entes educativos en el país, los cuales deben promover profesionales preparados con éste tipo de herramientas y dispuestos a interactuar con la industria.

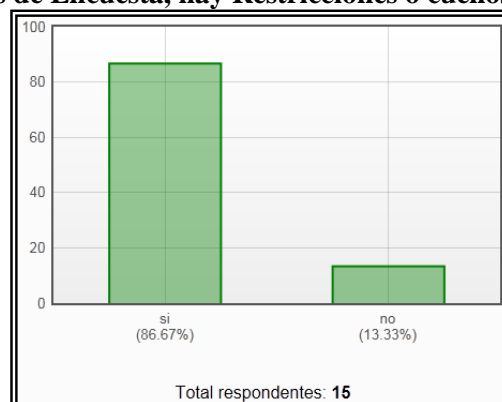
Las preguntas No 6 y No7:

6. Tiene usted algún equipo que constituya una restricción a la utilización máxima de la capacidad de su planta?(cuello de botella), o si se para este equipo se convierte en un problema para la producción de todas las líneas?. y

7. Si su respuesta anterior fue SI, por favor especifique en donde se encuentra su restricción (cuello de botella).

Estas preguntas refieren el estado tecnológico dentro del proceso de transformación del producto, y presentan los siguientes resultados:

Figura 33: Resultados de Encuesta, hay Restricciones o cuellos de botella en el sector?













Fuente: Elaboración propia

Más del 86% de las empresas encuestadas presenta una restricción en su maquinaria, es decir, que su flujo de proceso se ve afectado por la falla en uno de sus equipos, entonces la capacidad máxima de producción depende de un equipo en particular, y es precisamente este cuello de botella el cual hace que el proceso de transformación de la leche sea interrumpido.

Las razones por lo cual ocurre éste evento, se puede explicar en el estancamiento tecnológico del sector o la falta de gestión para lograr altos estándares de competitividad que no dependan de una variable de producción. Esto apunta a que el sector deberá utilizar nuevas herramientas de repunte tecnológico y de gestión empresarial, las cuales permiten el óptimo aprovechamiento de los recursos energéticos, entre ellas podemos mencionar: Buenas prácticas operacionales energéticas BPOE, Gestión energética, Sustitución de tecnología, Identificación de equipos sobredimensionados, Sustitución de combustibles poco amigables ambientalmente por más eficientes, Aprovechamiento de la energía disipada en los procesos de transformación y Herramientas para el monitoreo de pérdidas de materia prima y optimización de recursos energéticos.

La siguiente figura muestra la distribución o identificación de los cuellos de botella expuestos por los empresarios que diligenciaron la encuesta, en total 13 empresas respondieron a ésta pregunta:

Figura 34: Resultados de Encuesta, Identificación del cuello de botella en el sector lácteo

Opción	Distribución	Porcentaje	Total
En Generación de vapor (Calderas)		15,38%	2
Generación de frío (Refrigeración)		7,69%	1
Aire Comprimido (Compresores)		0%	0
En el suministro de Energía eléctrica		15,38%	2
En el suministro de Gas natural		0%	0
En el suministro de materia prima		7,69%	1
En el suministro de agua		7,69%	1
En Procesos de la leche o derivados		30,77%	4
En envasado de la leche o derivados		0%	0
En la planta de Tratamiento		15,38%	2
Total Respondentes			13
Filtros aplicados			0

Fuente: Elaboración propia

El 30% de los encuestados identifica que el cuello de botella se encuentra en el proceso de transformación de la leche, éste evento puede estar relacionado con los equipos que requieren sustitución tecnológica por obsolescencia ó que se deben repotenciar para aumentar su capacidad de producción, o también que son muy sensibles en cuanto a su estado de variables físicas (temperatura, presión y caudal.) las cuales se pueden descompensarse en cualquier momento por cambios drásticos en el proceso y por eso fallan. El resultado de la encuesta también muestra que el proceso de generación de vapor en calderas es uno de los más delicados e inestables, puesto que el 15% de los encuestados identificó su punto débil en ésta parte del proceso.

4.4. Caracterización Tecnológica del sector de lácteos

Dentro de las visitas de campo efectuadas a las empresas contenidas en la muestra para verificar su estado tecnológico, el sector lácteo se caracteriza por tener una amplia variedad de actividades. Los procesos de Pasteurización, pulverización y elaboración de leche UHT, presentan un comportamiento diferente a los procesos de producción de mantequilla, yogurt, helado, arequipe, postres y quesos. En términos generales, la industria láctea se puede clasificar en dos grandes grupos: Procesamiento de leche y derivados lácteos. Para cada uno de estos grupos hay procedimientos, aplicaciones, maquinaria, y variables físicas distintas dentro de su proceso las cuales difieren en el consumo de energéticos. Cabe destacar, que la cadena de valor del sector lácteo, presenta un impacto ambiental importante puesto que la exigencia térmica que deriva en las emisiones de gases de combustión por la generación de vapor y las emisiones de refrigerantes contaminantes de tipo ambiental por el enfriamiento de la leche, inciden directamente sobre el indicador de emisiones para el sector industrial de manufactura.

Se identifica a continuación, las tecnologías existentes para el sector lácteo en el que se presenta un inventario tecnológico de la maquinaria que incide directa e indirectamente en el proceso de transformación de la materia prima.

4.5.1 Identificación de los equipos Generadores de vapor (Calderas)

De acuerdo con los registros obtenidos con la información primaria y secundaria, se obtuvo la clasificación por capacidad en BHP¹ de las calderas y el energético utilizado para la generación de vapor. Para las calderas que tienen la opción de trabajar con dos combustibles “tipo dual”, se tomó como combustible principal el de mayor consumo. A continuación se indica la clasificación de calderas por capacidad en BHP y el uso de energético para 45 Empresas del sector que luego fueron tomadas para la selección de la muestra.

Tabla 22: Clasificación de calderas por capacidad y Energético – Sector lácteo

Capacidad en BHP de 45 Empresas						
Energético	Entre 20 y 50	Entre 50 y 100	Entre 100 y 200	Entre 200 y 500	Entre 500 y 1000	Total
Gas Natural	12	4	4	3	9	32
Carbón mineral	2	3	2	5	1	13
Diesel	2	2	-	-	-	4
Fuel Oil	-	-	1	2	-	3
GLP	-	1	-	-	-	1
Total:						53

Fuente: Elaboración propia

¹ Caballo de fuerza de caldera “en inglés: Boiler horsepower BHP”, Un BHP equivale a 33475 BTU por hora ó 745,6 vatios instalados.

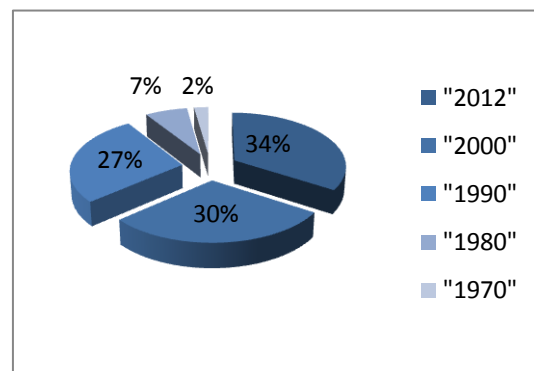
En total se tiene el registro de 53 calderas para 45 empresas, los resultados muestran la tendencia en porcentaje de la utilización del Gas Natural sobre los demás energéticos en un 60%, seguido del carbón mineral con el 24%.

4.5.2 Clasificación de Antigüedad de los equipos en plantas de procesamiento (Promedio en años):

Esta variable indica la edad promedio de los equipos en planta lo cual toma importancia cuando se trata de identificar oportunidades para efectuar reconversiones tecnológicas. El periodo elegido fue la década por cuanto los cambios tecnológicos en este sector no son frecuentes. En la siguiente tabla se puede observar que la mayoría de las empresas del sector lácteo poseen equipos relativamente nuevos, y un porcentaje pequeño posee equipos que datan desde la década de los años sesenta.

Tabla 23: Clasificación de los equipos en planta Sector lácteo por Antigüedad en años

Década	"Año referencia"	Empresas
Años 2000 a 2012	"2012"	15
Años 1990 a 1999	"2000"	13
Años 1980 a 1989	"1990"	12
Años 1970 a 1979	"1980"	3
Años 1960 a 1969	"1970"	1
Total:		44



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que para 44 de las 63 plantas que presentan registros con antigüedad en sus equipos, el 34% de ellas cuenta con una maquinaria fabricada en el siglo XXI, mientras que el 9% se podría decir que es obsoleta.

4.5.3 Equipos de procesos intensivos en el consumo de energéticos y caracterización del proceso

De acuerdo con los registros obtenidos en las visitas de campo, se obtuvo la clasificación por capacidad en litros/hora de los equipos de producción y los energéticos utilizados para el uso final necesarios para el funcionamiento de los procesos tal como se presenta en la Tabla 29 y los diagramas de sankey desarrollados en el capítulo 4.2.3. La caracterización del proceso se especifica en el Anexo 5 del presente documento para las 18 empresas contenidas en la muestra.

4.5.4 Proveedores de Tecnología para el Procesamiento de Leche

Actualmente TetraPak (Suecia), lidera el mercado Colombiano en cuanto a empaque de cartón brik que se utiliza para la producción de la leche y sus derivados. “Colombia creció alrededor del 10% en el año 2013, la producción local de envases alcanza las 700 millones de

unidades al año y la meta es que en unos dos años pueda llegar a los 1.000 millones, en vista del buen ritmo del mercado.”, afirma la Directora general de Tetra Pak de la región Andina Tatiana Liceti”. Este empaque es fabricado actualmente en Brasil y también no se descarta que en la medida en que el mercado sea creciente, Colombia pueda ser sede de una planta de producción como se tenía entre los años de 1995 y 2001. (41).

Tetra Pak también es fabricante y distribuye la maquinaria utilizada en toda la línea de procesamiento de leche que incluye: Ultrapasteurizadores, homogenizadores, estandarizadoras-centrifugas, tanques asépticos, Licuadoras industriales “mixers”, intercambiadores de placas y tubulares.

El llenado en empaque flexible está también fuertemente posicionado en el mercado por su bajo costo, en cuanto a empaque de polietileno, las empresas que lo fabrican y distribuyen son: Flexo spring, Dupont, Prepac, Plastilene y Carpak, todas con planta de producción en Colombia.

Las marcas más representativas en cuanto a máquinas y equipos de procesos con polietileno son: ESSI (Colombia), Elecster (Finlandia), Solpak (Colombia), Thimonnier (Francia), Buanlir (Uruguay), Prepac (Francia), Peralisi (Italia), KMA (Alemania) y Techgen (China), mientras que para el proceso de evaporación y secado para la leche pulverizada se destacan: GEA Niro (Argentina) y Alfa laval (Inglaterra).

5. Optimización de variables Energéticas en función de la productividad y la competitividad

Las acciones encaminadas a realizar actividades centralizadas bajo los criterios fundamentados en la eficiencia y gestión energética, conducen al fortalecimiento de las empresas en aspectos como la productividad y la competitividad. Los sectores de manufactura que tengan claro este tipo de acciones, tendrán el horizonte despejado en el cual se encontrará soluciones de tipo tecnológico, científico, de investigación y desarrollo y herramientas para su sostenibilidad financiera.

En el sector manufacturero de procesamiento de lácteos, la eficiencia energética se puede considerar como el aprovechamiento máximo de los recursos energéticos para la transformación de la materia prima, lo anterior ligado a factores que permiten caracterizar el desempeño energético de una empresa mediante indicadores que relacionan la producción y el consumo de éstos energéticos. A la postre estos ahorros convertidos en producción eficiente, desencadenan además del aporte ambiental, la rentabilidad financiera para la empresa, es decir, que por los ahorros energéticos obtenidos serán más competitivas, aportando a la mitigación del cambio climático por dejar de consumir combustibles fósiles, derivando una política dentro de la empresa como estrategia de sostenibilidad.

Para estimar el consumo energético que caracteriza el sector lácteo y la actualización de otras variables de interés como el inventario tecnológico, fue necesario realizar actividades de difusión, socialización y sensibilización de las empresas a intervenir, para ello se contó

con el apoyo del grupo de investigación GRISEC - de la universidad nacional de Colombia. La caracterización realizada incluyó factores como el tamaño de las empresas, su ubicación geográfica, el grado de formalidad o informalidad, un estricto y amplio conocimiento de las bases de datos, la identificación de la cadena de valor y por supuesto sus consumos energéticos. Este estudio de investigación dentro del sector analizado involucró de manera proactiva a las empresas del sector y a los gremios que lo conforman.

Paralelamente a toda la gestión realizada, se elaboró un plan de trabajo que tuvo como resultado una aproximación a los factores o variables que intervienen en el proceso de transformación de la leche y su caracterización energética. Todo lo anterior, enfocado en obtener buenos registros para construir indicadores de desempeño energético que al final enriquecerán al sector en la posterior utilización de éstos.

En el presente capítulo se describe, la construcción de indicadores micro con enfoque en la productividad para el uso eficiente de recursos energéticos dentro del proceso de transformación de la leche, desperdicio de energéticos y desperdicio de materia prima, principales problemas técnicos asociados a la productividad del proceso de transformación, identificación de acciones que derivan de la gestión, tecnologías de uso eficiente y eficiencia energética de los procesos e indicadores macro que caracterizan el sector en torno a la competitividad con otros mercados.

5.1. Construcción del Indicador de producción y Energía equivalente para una planta de lácteos (Artículo publicado en IEEE).

La identificación de problemas de tipo técnico y operativo asociados a la productividad, desencadenan el incentivo por el estudio de las variables físicas y energéticas que pueden optimizarse para realizar un proceso eficiente. Esta identificación permite desarrollar herramientas que pueden aportar a la solución definitiva o parcial de un problema técnico ligado a la productividad.

La construcción del indicador que permite optimizar recursos energéticos y procesos que incluyen el manejo eficiente de la materia prima, se realizó mediante un análisis de modos de uso de los energéticos utilizando los diagramas de sankey presentados en el capítulo 4.2.3, como también el cálculo de consumo de los energéticos y la producción tomada como referencia de cada una de las 18 plantas de procesamiento de lácteos contenidas en la muestra. A continuación se presenta el desarrollo del indicador puntual que correlaciona las dos variables (E vs P), el cual da como resultado una equivalente entre los energéticos utilizados dentro del proceso de producción y la energía total utilizada.

5.1.1 Energía Equivalente:

Para tener certeza de la eficiencia y rendimiento de los procesos productivos, se requiere que el indicador integre todas las unidades de consumo de energía en una sola unidad energética expresada kwh. Para ello se debe tener en cuenta la equivalencia en kwh de los energéticos como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 24: Conversión de Energéticos a kwh, usados en plantas de lácteos

Energético en unidades originales	A kwh
1 m3 de Gas natural:	10,46kwh
1 Tonelada de carbón mineral:	7559 kwh
1 Galón de gasolina:	41 kwh
1 Galón de Diesel Oil:	40,2 kwh
1 Galón de Fuel Oil:	41,05 kwh
1 Galón de GLP	28,51 kwh

Cabe resaltar que las unidades expresadas en kwh hacen referencia a las unidades de consumo “de pequeño valor energético” que usan las plantas de procesamiento de lácteos, puesto que si se expresan en unidades de Tcal quedarían perdidas numéricamente porque serían menores a 1Tcal.

5.1.2 Producción Equivalente:

El indicador también debe estar en función de la cantidad de litros de leche producidos de forma equivalente puesto que la leche es el producto primario que se tiene como insumo principal para todos los procesos.

Al analizar los datos de leche envasada y sus derivados tomando como referencia la matriz de recorridos de leche según producto presentada en el Anexo 11 vs. el consumo de los energéticos expuesto en el capítulo 4.2.3 que especifica el peso de los energéticos para plantas típicas de producción de lácteos, se utilizó la siguiente metodología utilizando un ejemplo para el cálculo de la producción equivalente:

- Se toma la referencia de litros recibidos para procesamiento de la planta a analizar y se verifica los procesos inmersos dentro de su producción. Para el ejemplo se presenta una planta típica que recibe 350.000 litros de leche / día y procesa leche pasteurizada, leche UHT, Avena, Leche saborizada y Crema de Leche.
- Se propone la referencia de producto a utilizar como línea base para realizar los cálculos, además se debe identificar cuantos litros de éste producto se procesan anualmente. Para nuestro caso el producto de referencia es la leche pasteurizada la cual de los 350.000 litros de leche recibidos, 70.000 litros/día se destinan a éste propósito, es decir unos 25.550.000 litros/año.
- Se identifica el proceso representado en una matriz que contenga el flujo de leche procesada con sus diferentes presentaciones (producto), asociado a los equipos que se utilizan para su transformación. Esta relación se presenta para todas las plantas visitadas en el Anexo 11 del presente documento.
- Se captura los consumos de energía eléctrica y demás energéticos para una línea base que contenga los registros mínimos de un año, todos ellos expresados en una misma unidad energética equivalente. Para el ejemplo se tiene que los consumos de energéticos principales son los siguientes: Energía eléctrica: 7.855.086 kwh/año,

Gas natural: 2.642.397 m³/año equivalentes a 27.639.473 kwh/año y 2.250 galones de fuel oil que son unos 92.363 kwh/año.

- Se discrimina el porcentaje de utilización de la energía eléctrica para los procesos principales en los cuales se aplica. Para el ejemplo los equipos de la planta de procesos tienen una capacidad instalada de 714kw que representan el 63% de la utilización de energía, la generación de aire comprimido con 200kw instalados representan el 18% de consumo y la generación de frío con 223 kw instalados tienen el 20% de consumo. Lo ideal para la discriminación de los porcentajes de utilización por uso final, se pueden corroborar mediante el monitoreo de las variables eléctricas mediante un equipo de medida que determine el consumo real para cada una de las áreas mencionadas. Los porcentajes fueron proporcionados por la planta analizada y obtenidos en pasadas auditorías energéticas.
- Se asigna el porcentaje de utilización de los energéticos por proceso, utilizando el análisis propuesto en los diagramas de sankey para las plantas de procesamiento de leche y sus derivados.
- Se consolida el equivalente en kwh/año del proceso de referencia utilizando los porcentajes asignados por los diagramas de sankey multiplicado por la línea base del consumo de Energéticos en kwh/año. Para nuestro caso es el de leche pasteurizada la cual tiene un consumo total de energéticos equivalente a los 14.239.313 kwh/año.

A continuación se presenta los resultados del desarrollo metodológico expuesto anteriormente, con el fin de encontrar la línea base de producción para la leche pasteurizada:

Tabla 25: Litro procesado/kwh - Línea base de producción equivalente para leche Pasteurizada

Referencia: 25.550.000 Litros de leche Pasteurizada/año y consumo de Energía eléctrica de (7.855.086 kwh/año)							
Equipos para Leche Pasteurizada	Línea base de Consumo de Energéticos en kwh/año	Recibo de leche	Pasteurización + Homogenización	Envasado	Cava para Almacenamiento	CIP	Consolidado equivalente en kwh/año
Consumo en Vapor (2.642.397 m ³ /año)	27.731.836	0%	14%	0%	0%	21%	9.706.143
Consumo de Energía Eléctrica Procesos (Capacidad Instalada 714kw) 63%	4.948.704	1%	18%	17%	7%	15%	2.870.248
Consumo en Aire Comprimido (capacidad Instalada 200kw) 17%	1.335.365	0%	8%	46%	0%	7%	814.572
Consumo en Refrigeración (Capacidad Instalada 223kw) 20%	1.571.017	3%	29%	2%	20%	0%	848.349
Total para el proceso de leche pasteurizada en kwh/año							14.239.313
Litro procesado de leche Pasteurizada/kwh							1,79

- Finalmente se presenta que para procesar 1,79 litros de leche pasteurizada, se requiere de 1kwh de energéticos equivalentes. Lo anterior se obtiene al efectuar la relación entre los 25.550.000 Litros de leche procesados de leche Pasteurizada/año y el total de energéticos equivalente a 14.239.313 kwh/año.
- Luego de tener la línea base, se realiza el mismo ejercicio, pero con otro producto que procesa la planta analizada. Como resultado de ello se obtuvo el cálculo para el producto de leche UHT, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 26: Litro procesado/kwh - Línea base de producción equivalente para leche UHT

Referencia: 53.399.500 Litros de leche UHT/año y consumo de Energía eléctrica de (7.855.086 kwh/año)							
Equipos para Leche UHT	Línea base de Consumo de Energéticos en kwh/año	Recibo de leche	UltraPasteurización + Homogenización	Envasado + Tanques asépticos	Almacenamiento	CIP	Consolidado equivalente en kwh/año
Consumo en Vapor (2.642.397 m3/año)	27.731.836	0%	29%	15%	0%	21%	18.025.693
Consumo de Energía Eléctrica Procesos (Capacidad Instalada 714kw) 63%	4.932.745	1%	31%	18%	1%	15%	3.255.612
Consumo en Aire Comprimido (capacidad Instalada 200kw) 18%	1.381.721	0%	11%	58%	0%	7%	1.050.108
Consumo en Refrigeración (Capacidad Instalada 223kw) 20%	1.540.619	3%	8%	0%	0%	0%	169.468
Total para el proceso de leche UHT en kwh/año							22.500.881
Litro procesado UHT/kwh							2,37

- Para éste caso se observa que para procesar 2,37 litros de leche UHT, se requiere de 1kwh de energéticos equivalentes. Lo anterior se obtiene al efectuar la relación entre los 53.399.500 Litros de leche UHT/año procesados y el total de energéticos equivalente a 22.500.881 kwh/año.
- Si se realiza las operaciones pertinentes para los demás productos de la plantas contenidas en la muestra, y se logra determinar la producción equivalente presentada en la siguiente tabla:

Tabla 27: Producción equivalente Energética de Productos lácteos

Producto	Abreviatura	Equivalente Energética en litros
Leche Pasteurizada 72°C - 76°C	LP	1
Leche UHT 135°C - 150°C	LUHT	1,32
Mantequilla	MQ	1,08
Yogurt	YG	1,16
Leche Saborizada	LS	1,09
Arequipe / dulce	AQ	1,21

Producto	Abreviatura	Equivalente Energética en litros
Avena	AV	1,42
Crema de Leche	CR	1,28
Leche en polvo	LEP	2,43
Quesito	QU	1,67

- El equivalente energético en litros de 1,32 para la leche UHT, se obtiene de la relación entre el litro procesado UHT/kwh (2,37) y el litro procesado de leche Pasteurizada/kwh (1,79).

Del análisis en desarrollo, se puede afirmar que el producir un litro de leche UHT (LUHT) consume 1,32 veces la cantidad de energéticos utilizada para producir un litro de leche pasteurizada (LP), y así con los demás productos derivados de la leche especificados en la Tabla 27.

5.1.3 Indicador de consumo de energía específico CEesp:

El indicador de consumo de energía específico CEesp, se define como el consumo de energéticos utilizados para el proceso, dividido por la producción final en litros equivalentes de leche procesada, es decir, se establece la proporción del consumo de energía equivalente para producir un derivado de la leche. Este **CEesp** puede ser utilizado en cualquier proceso específico para una planta de procesamiento de Pasteurización y/o derivados lácteos. Por ejemplo para una planta que procesa 420.000 litros al día, y que dentro de su producción tiene procesos de LP, LUHT, LS, AV, AQ, CR y energéticos como: Gas natural, Energía eléctrica y Fuel oil, el CEesp es el siguiente:

Datos de Producción:

Producto	Densidad (ρ) en kg/litros	Cantidad Producida en el mes Litros o kg
Leche Pasteurizada 72°C - 76°C (litros)	1,033	821.066
Leche UHT 135°C - 150°C (litros)	1,033	8.660.988
Leche Saborizada (litros)	1,228	279.317
Avena (litros)	1,423	153.376
Arequipe (kilogramos)	1,15	7.595
Crema de Leche (litros)	1,345	283.505

Datos de Energéticos:

Energético	Consumo en el mes
Gas natural en m3	193.569
Fuel Oil Galones	187
Energía Eléctrica kwh	1.029.330

El **CEesp** en wh/litros para el periodo de un mes utilizando los datos de producción y de energéticos para la planta utilizando los equivalentes expuestos en la Tabla 24 y la Tabla 27; sería:

$$CE_{\text{Esp}} \left[\frac{\text{wh}}{\text{litros}} \right] = \frac{(\text{Energía Eléctrica})\text{kwh} + (10,46 * \text{m}^3 \text{Gas Natural})\text{kwh} + (41,05 * \text{Gal Fuel oil})\text{kwh}}{\left((\text{LP litros}) + (1,32 \text{LUHT litros}) + (1,09 \text{LS litros}) + (1,42 \text{AV litros}) + \left(1,21 \frac{\text{AQ kg}}{\rho_{\text{AQ}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{litros}} \right]} \right) + (1,28 \text{CR litros}) \right)}$$

$$CE_{\text{Esp}} \left[\frac{\text{wh}}{\text{litros}} \right] = \frac{1.029.330 \text{ kwh} + 2.024.732 \text{ kwh} + 7.676 \text{ kwh}}{(821.066 \text{ litros}) + (11.432.504 \text{ litros}) + (304.455 \text{ litros}) + (217.793 \text{ litros}) + (7.991 \text{ litros}) + (362.886 \text{ litros})}$$

$$CE_{\text{Esp}} \left[\frac{\text{wh}}{\text{litros}} \right] = \frac{3.061.738 \text{ kwh}}{13.146.695 \text{ litros}} = 232,89 \frac{\text{wh}}{\text{litros}}$$

El coeficiente **CE_{Esp}**, se presenta como un indicador que mide el consumo total de energéticos en wh necesarios para producir un litro de leche equivalente para una planta de procesamiento de lácteos, en el ejemplo se consumen 232,89 wh de energéticos para producir un litro de leche equivalente.

Con ello se consolida un solo indicador energético que correlaciona el consumo de energéticos y la producción equivalente de litros producidos.

5.2. Construcción de Indicadores Micro con enfoque a la Productividad

La identificación de problemas de tipo técnico y operativo asociados a la productividad, desencadenan el incentivo por el estudio de las variables físicas y energéticas que pueden optimizarse para realizar un proceso eficiente. Esta identificación permite desarrollar herramientas que pueden aportar a la solución definitiva o parcial de un problema técnico ligado a la productividad.

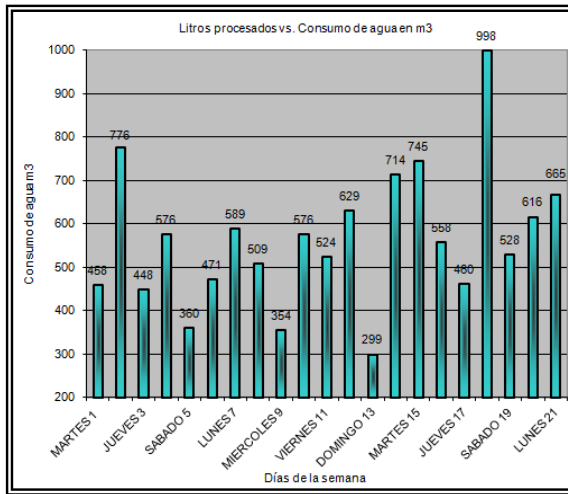
Las empresas del sector lácteo contienen en su infraestructura tecnologías medulares y periféricas, las primeras llamadas corazón de la planta o principales y las segundas no estructurales pero también de gran importancia dentro de los procesos de transformación de la materia prima. Una vez identificada y formulada la tecnología correspondiente para el sector, se proponen opciones para el sistema medular y/o para el periférico con la finalidad de hacer viable la implementación por una u otra opción. La experiencia indica que en algunas ocasiones los cambios en los sistemas periféricos inducen cambios relevantes en el sistema medular, los cuales para ser sostenibles deben cumplir con la condición suficiente y necesaria de acompañarse con procesos de gestión integral de la energía.

El desempeño energético dentro de la producción puede estar ligado a indicadores de productividad que tengan correlación con los energéticos consumidos o con la materia prima e insumos utilizados, por ello es importante presentar los principales indicadores obtenidos en las visitas técnicas realizadas con el fin de determinar una línea base que pueda representar el punto de partida tomado por las empresas del sector que miden finalmente su productividad.

Los indicadores fueron contruidos con base en los datos suministrados por una planta de la muestra que recibe 350.000 litros de leche al día, y su periodo de captura para los registros de información fue de 20 días. Los indicadores energéticos de productividad se presentan en forma de ficha técnica y correlacionan los consumos energéticos con la productividad.

Indicador de Litros procesados vs Agua:

Figura 35: Indicadores de producción sector lácteo – Litros procesados vs Agua



Cortesía: Colanta Ltda.

Este indicador mide la cantidad de litros diarios procesados que ingresan en recibo de leche vs la cantidad de agua potable necesaria para procesarlos. El punto más eficiente de la planta de producción se presenta el día viernes 18 con 291.407 litros procesados y 292 m3 de agua utilizados.

Para el caso del indicador:

$$= \frac{\text{leche diaria recibida para proceso (litros)}}{\text{Consumo de agua diario (m3)}}$$

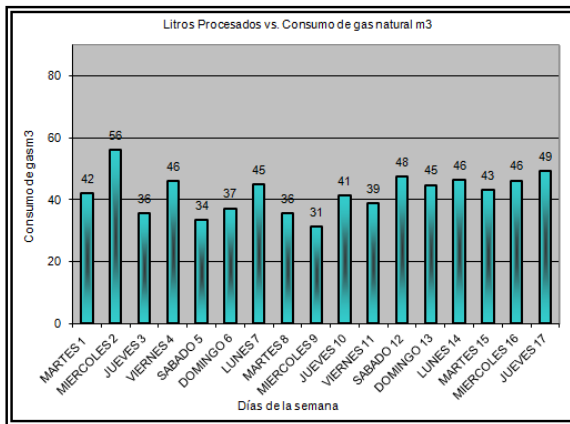
$$= \frac{291.407}{292} = 998 \left[\frac{\text{litros}}{\text{m3}} \right]$$

Existen días de mayor utilización de agua puesto que los lavados se incrementan por pérdidas cuantificadas a causa de los empujes de producto al inicio y final de producción expuestos en la Tabla 29, también debido a la cantidad de lavados adicionales por pérdida de esterilidad de los equipos referenciados en la Tabla 31 y la Tabla 33 del presente documento.

Fuente: Elaboración propia

Indicador de Litros procesados vs Gas Natural:

Figura 36: Indicadores de producción sector lácteo – Litros procesados vs Gas Natural



Cortesía: Colanta Ltda.

El consumo de Gas natural se mantiene estable sin importar los días de producción más altos o más bajos en cuanto a unidades de producto terminado, esto hace pensar que la utilización del energético deberá ser continuo e indispensable durante el proceso de producción sin importar si los equipos trabajan en vacío o si hay pérdida de esterilidad en los ellos para un nuevo lavado de CIP. Lo anterior refleja que es un proceso térmico y que las temperaturas se deben mantener con vapor sea para lavado de CIP o para producción.

Para lograr el aumento del indicador, se deberá encontrar inicialmente soluciones desde la generación de vapor en calderas pirotubulares, como el ajuste del sistema de combustión, Aislamiento térmico en las tuberías de vapor, recuperación de calor con economizadores en chimeneas y la recuperación de condensados de vapor utilizados en el proceso. Algunas de estas soluciones se presentan en la Tabla 54 de los anexos del presente documento.

Este indicador mide la cantidad de litros diarios procesados que ingresan en recibo de leche vs la cantidad de Gas natural necesario para procesarlos. El punto más eficiente de la planta de producción se presenta el día miércoles 2 con 437.676 litros procesados con solo 7.811 m3 de Gas natural utilizado.

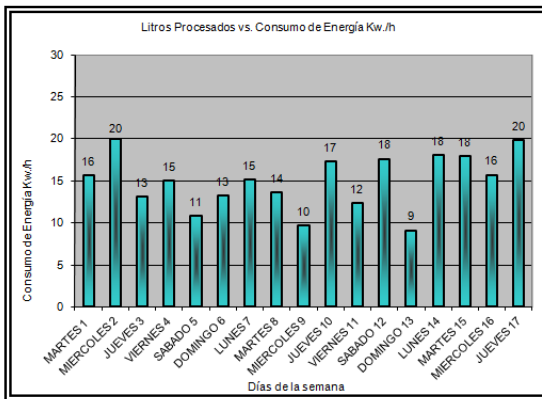
Para el caso del indicador:

$$= \frac{\text{leche diaria recibida para proceso (litros)}}{\text{Consumo diario de Gas natural (m3)}} = \frac{437.676}{7.811} = 56 \left[\frac{\text{litros}}{\text{m3}} \right]$$

Fuente: Elaboración propia

Indicador de Litros procesados vs Energía eléctrica:

Figura 37: Indicadores de producción sector lácteo – Litros procesados vs Energía eléctrica



Cortesía: Colanta Ltda.

El consumo de Energía eléctrica es un poco más variable que el consumo de Gas natural, esto debido a que la carga movida por los motores de inducción, depende directamente de la operación mecánica de los equipos y de su utilización cuando se encuentran energizados trabajando a plena carga.

Para lograr el aumento del indicador, se deberá encontrar soluciones que apunten a la utilización eficiente o reducción de los consumos asociados a la energía eléctrica como el aire comprimido, la refrigeración, iluminación y la fuerza motriz de los equipos de proceso. Algunas de estas soluciones presentadas entre las Tabla 55 y la Tabla 59 de los anexos del presente documento.

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, se pueden construir indicadores por líneas de producción que refieran diferentes procesos para la transformación de la leche, puesto que con esta herramienta se puede obtener un control para la optimización de los recursos energéticos y agua consumida. Para ello se deberá identificar los energéticos consumidos por cada una de las líneas de producción, es decir, que para el caso del sector lácteo se deberá evaluar por separado cuando se procesa crema de leche, avena, leche pulverizada, leche pasteurizada, etc. con los mismos equipos de producción en un mismo proceso, y solo de ésta forma se logrará determinar el comportamiento de las variables energéticas respecto a la producción obtenida por cada línea de producción.

Los indicadores para las plantas de producción pequeñas que procesan menos de 40.000 litros/día, no fue posible construirlos puesto que los datos diarios son muy disímiles y presentan registros consolidados de forma semanal. Esto es muy común dentro de las organizaciones de las plantas pequeñas que no cuantifican sus pérdidas y que no hacen control de sus procesos de transformación en cuanto a la utilización óptima de sus recursos energéticos. Sin embargo esta herramienta puede ser valiosa si se toma la cultura de medir sus consumos y compararlos respecto a su producción total de forma diaria, solo de esta

Este indicador mide la cantidad de litros diarios procesados que ingresan en recibo de leche vs la cantidad de Energía eléctrica necesaria para procesarlos. Existen dos puntos eficientes de la planta, estos refieren los días 2 y 17. El día 2 con 437.676 litros y 21.909 kwh, y el día 17 con 439.935 litros procesados y 22.124 kwh de energía utilizados.

Para el caso del indicador:

$$= \frac{\text{leche diaria recibida para proceso (litros)}}{\text{Consumo diario de Energía eléctrica (kwh)}}$$

$$= \frac{437.676}{21.909} = 20 \left[\frac{\text{litros}}{\text{kwh}} \right] \text{ en el día 2.}$$

$$= \frac{439.935}{22.124} = 20 \left[\frac{\text{litros}}{\text{kwh}} \right] \text{ en el día 17.}$$

forma se tendría la medida de sus consumos energéticos totales respecto a la producción, e irlos ajustando para el control de sus procesos en cuanto a consumo de energéticos por unidad de producto.

A continuación se presentan soluciones encaminadas a la productividad con el objetivo de incrementar la eficiencia con la optimización de los recursos energéticos y la materia prima disponible.

5.3. Pérdidas cuantificadas y soluciones tecnológicas en la productividad

Los problemas ligados a la productividad que se pueden analizar desde el punto de vista energético en el proceso de transformación de la leche, son finalmente causas de tipo técnico del manejo inadecuado de los procesos, ya sea por no estar estandarizados, por desconocimiento de la tecnología instalada, ó por desconocimiento de las pérdidas no cuantificadas en el proceso de transformación. A continuación se presentan en forma de matriz los problemas técnicos detectados asociados a una causa y una posible solución, cada uno de ellos se describe y se sustenta posteriormente.

Tabla 28: Problemas técnicos asociados a la Productividad sector Lácteo

Problemas Técnicos en producción	Causa	Solución Tecnológica
Desperdicio de materia prima (leche)	Empujes de Leche para inicio y final de producción	Optiscan para detección de parámetros asociados a las características de la leche lista para producción.
		Instalación de Evaporador para Recuperación de Agua-leche.
Desperdicio de Energéticos	Pérdida de esterilidad de los equipos de proceso lo que ocasiona un CIP forzado. Esto debido a que los equipos son sensibles ante perturbaciones de tensión y el equipo lo asimila como vulnerabilidad a su sistema estéril.	Sostenibilidad de sistema con UPS en diagrama de flujo aséptico UHT y Pulverización.

5.2.1 Empujes de Leche para inicio y final de producción

Problema técnico y causa: La leche empuja al agua estéril contenida en el pasteurizador o Ultrapasteurizador que se conoce como llenado de planta cuando inicia una producción, al realizar éste procedimiento se pierden litros de leche que dependen del caudal de producción y el volumen de la tubería del equipo en la cual se procesa el producto, en este procedimiento se pueden llegar a perder entre 200 y 800 litros. Para algunas rutas de las tuberías del equipo se cuenta con visores los cuales permiten al operador tener un mayor control visual sobre el empuje, con el criterio propio y su experiencia de acertar en el cambio de apariencia del producto que se está empujando, pero éste procedimiento no es el más adecuado puesto que infiere una variable de tipo fisicoquímico importante que se

fundamenta en el punto crioscópico de la leche, es decir, propiedad en la cual se determina el peso molecular y otras propiedades de la leche disuelta en el agua.

En la siguiente tabla se presenta el consolidado de los pasteurizadores y ultrapasteurizadores asociados a las empresas de la muestra y su llenado de planta expresado en volumen de litros, cabe anotar, que los datos son muy similares entre plantas que cuantifican éste registro.

Tabla 29: Pérdida en Volumen de Litros por Empujes de Producto al Inicio y final de producción

Equipo	Caudal del equipo en Producción [Litros/hora]	Volumen contenidos en llenado de planta [Litros]	Volumen de Pérdidas promedio por Empuje al inicio ó final de producción [Litros]
Ultrapasteurizador Directo	16.000	1.250	400
Ultrapasteurizador Indirecto	13.800	1.400	800
Ultrapasteurizador Indirecto	4.000	630	200
Pasteurizador de leche	30.000	1.520	800
Pasteurizador de Crema	3.000	550	300
Evaporador de leche	16.450	1.800	735
Tanque Aséptico 30.000 litros	30.000	30.000	350
Tanque Aséptico 20.000 litros	20.000	20.000	250

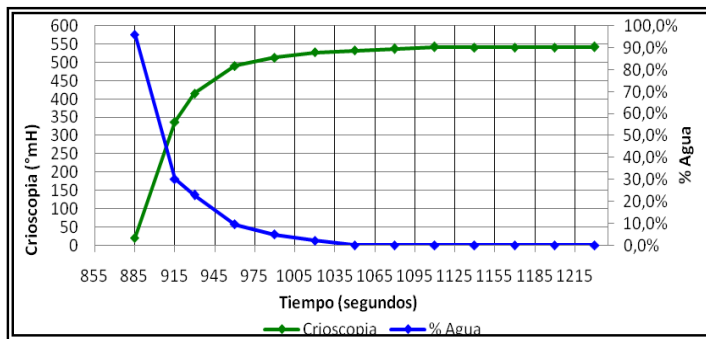
Fuente: Elaboración propia

Los equipos descritos son los más representativos en cuanto a pérdidas por empujes de leche, de la tabla anterior se puede decir que la pérdida potencial por el arranque del pasteurizador de 30.000 litros/hora es de 800 litros por inicio de producción y otros 800 litros por finalizar producción, en total 1600 litros perdidos y enviados hacia la PTAR para su tratamiento.

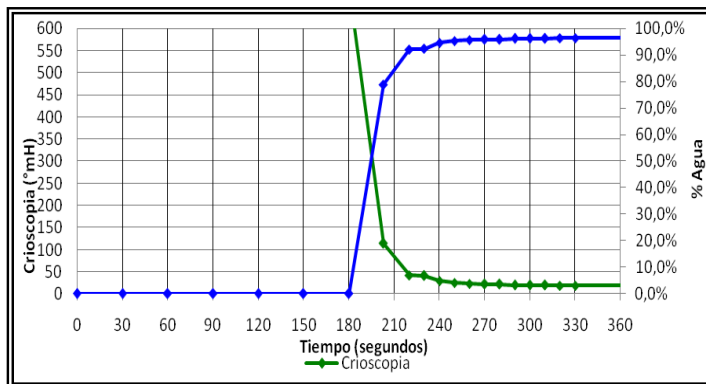
En algunas plantas se ha cuantificado mediante pruebas y estudios fisicoquímicos la caracterización de la calidad y la concentración de los empujes de agua-leche en los diferentes equipos que hacen parte del estudio. Las pérdidas en litros tienen relación al llenado de planta del equipo, y algunos de los resultados de la variación de la crioscopía² en el arranque y fin de la producción son los siguientes:

² La crioscopía mínima para la leche permitida es de 530 °mH. Cualquier crioscopía mayor a 530 °mH se asume como 0% de contenido de agua, para leche blanca entera.

Figura 38: Crioscopia de Empuje Ultrapasteurizador de 16.000 litros/hora (42)



En Inicio de Producción el equipo tarda 135 segundos en alcanzar su punto crioscopico de producción, esto representa una pérdida de 420 litros contenidos en su llenado de planta, los cuales irán hacia la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR.



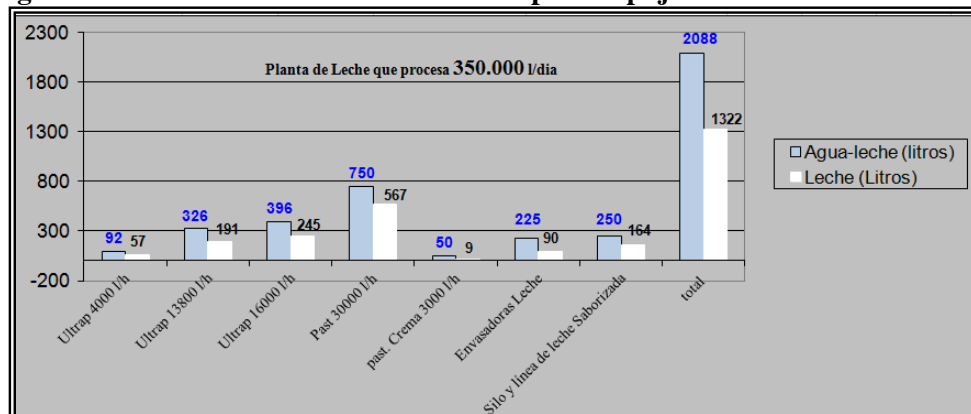
Al final de Producción el equipo tarda en liberar el producto contenido en su interior unos 120 segundos, lo que indica que se pierde un poco menos de leche al final que al inicio de producción (unos 373 litros). Lo anterior debido a que el producto contenido antes de final de producción se aprovecha en envasado como producto terminado.

Fuente: Colanta Ltda 2012

Por ejemplo: para una planta que procese 350.000 litros/día, el potencial de leche en pérdidas por empujes podría llegar a estimarse entre 1600 y 1900 litros/día, contenidos en un volumen entre 2400 y 2800 litros de agua-leche, que representa una crioscopia media de 364 °mH, y una concentración de leche del 68% v/v aproximadamente. (42)

A continuación se presenta el seguimiento de los empujes de leche de varias líneas de producción para la planta que procesa 350.000 litros/día. Los monitoreos efectuados difieren un poco del promedio general de los registros tomados en otras plantas, pero son una aproximación válida para el estudio de factibilidad técnico económica asociada algún proyecto en el que se requiera implementar una tecnología para la reducción de éstas pérdidas.

Figura 39: Monitoreo de Pérdidas de leche por Empujes de Inicio de Producción



Fuente: Producción Colanta Ltda

La cantidad total de leche recuperable al inicio de producción si se operan los equipos relacionados una sola vez durante un día y solamente al inicio; sería de 1322 litros, y 2088 litros de agua-leche potencialmente recuperable. Estos valores se duplicarían si tenemos en cuenta el final de producción, es decir que sería de 2644 litros de leche y 4166 de agua-leche. Para ello se propone plantear una solución tecnológica que incluya seguimiento a los indicadores de productividad asociados a la tecnología propuesta.

Solución Tecnológica para la recuperación de empujes de leche: Una de las limitantes del no poder recuperar el agua-leche que se desperdicia en los empujes, es una de las normas que exige Ministerio de la Protección social en el decreto 616-2006 (Anexo 6), en ella se pronuncia de la siguiente forma en cuanto a la leche Recombinada:

LECHE RECOMBINADA: *Es el producto que se obtiene de la mezcla de leche cruda con leche reconstituida en una proporción no mayor del 20% de esta última. Sometido posteriormente a higienización y enfriamiento inmediato a fin que presente características fisicoquímicas, microbiológicas y organolépticas de la leche líquida higienizada.* (43)

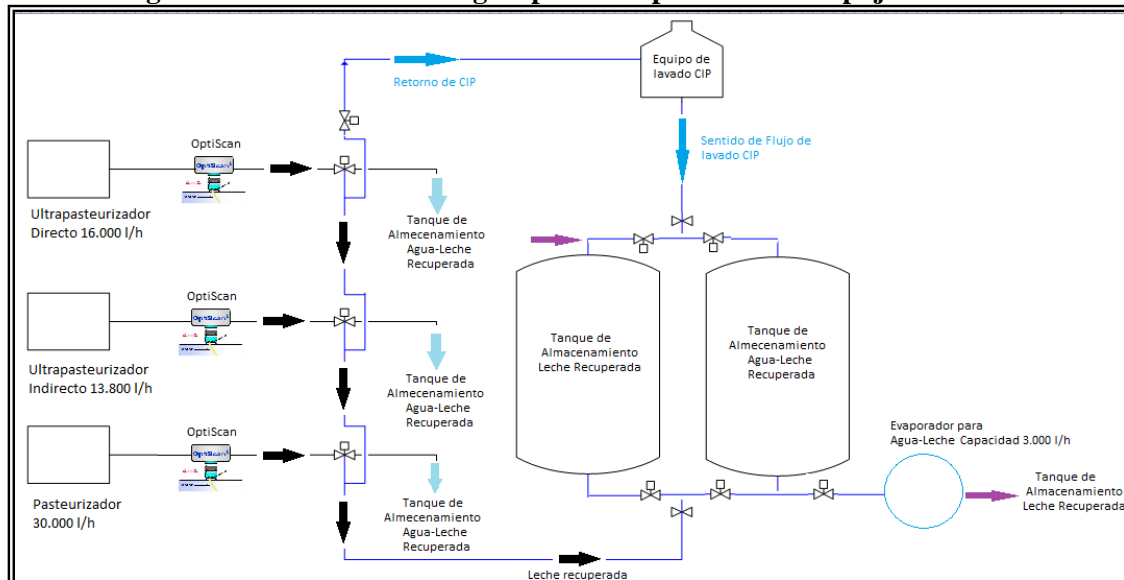
Lo anterior afirma que no se puede recombinar el agua-leche recuperada cuando ésta se encuentra por debajo de 424°mH en su crioscopia equivalentes al 80% de su “estado crudo”, es decir, que no se puede adicionar leche en polvo en grandes cantidades para compensarla y utilizarla nuevamente en el proceso.

En la siguiente gráfica se puede observar una propuesta que conglobera varias tecnologías que apuntan a la reducción de manera óptima la cantidad de leche desperdiciada en un empuje, este modelo incluye el evaporador de leche que se utiliza en las plantas de pulverización para extraer el agua a la leche y condensarla. Para éste caso en especial se aprovechará el evaporador para extraer el agua del agua-leche recuperada e incluirla nuevamente en el proceso a las condiciones de crioscopia permitidas.

La propuesta también incluye un Optiscan el cual es un dispositivo utilizado en las plantas europeas en los últimos 5 años, éste equipo de inspección y medición, permite monitorear la diferencia de concentración de producto en un flujo constante, es decir, produce el cambio de fase de leche en agua, emitiendo una señal de salida que se transmite como señal eléctrica entre 4-20mA, esta señal acciona una válvula de tres salidas desviando el flujo en

la dirección requerida, ya sea hacia el tanque de recuperación de leche ó hacia el tanque de recuperación de agua-leche cuando aun no cumple las condiciones de crioscopía.

Figura 40: Solución Tecnológica para recuperación de empujes de leche



Fuente: Elaboración propia

Una vez instalado los equipos del nuevo proceso de recuperación de leche, se debe ajustar y calibrar los OptiScan instalados en cada una de las líneas derivadas de los pasteurizadores de proceso. Inicialmente se trabajará con los equipos que más representan pérdida en la planta para luego replicarlo en los demás y así optimizar el proceso de recuperación de la leche.

Análisis financiero y costos asociados a la Tecnológica propuesta para la recuperación de empujes de leche: Teniendo como soporte el análisis financiero descrito en el Anexo 7 y los precios estimados de Montaje a todo costo de la tecnología propuesta para el sistema de recuperación de Empujes de leche expuesta en el Anexo 9 y que presenta un costo aproximado de \$885 millones de pesos, se puede determinar el retorno de la inversión en años “Pay-back”, que incluye mantenimiento del nuevo sistema, costo de los energéticos para su funcionamiento, mano de obra para la operación y lo más importante los costos dejados de pagar por el tratamiento del agua-leche y la leche enviada a la PTAR.

Tabla 30: Leche Recuperada en Equipos principales de una planta de lácteos – Pay back

Ítem	Producto	Unidad	Cantidad	Valor Unitario pesos \$COP	Total Recuperado por día pesos \$COP
1	Leche Recuperada	Litros/día	2.006	940	1.885.640
2	Agua leche Recuperada	Litros/día	1.472	345	507.840
Total de costos por leche recuperada en un día:					2.393.480
Montaje a todo costo de la tecnología propuesta:					885.202.350
PAY- BACK (Años de pago por tecnología implementada):					1,38

Fuente: Elaboración propia

La tecnología propuesta aunque de gran inversión tiene retribución en muy corto tiempo, aproximadamente un año y cinco meses.

5.2.2 Vaciado de Producto para lavado CIP por Interrupciones de Energía Eléctrica

Los equipos de Ultrapasteurización y Pulverización son críticos en cuanto al cambio de variables eléctricas, pues cuando esto sucede, ocurre descenso de las temperaturas de producción para el caso del proceso UHT, e inundación de la cámara de secado en pulverización por pérdida de revoluciones del atomizador.

Los equipos de Ultrapasteurización UHT, son sensibles a la pérdida de su esterilidad debido a una caída en su temperatura de producción, si ésta temperatura cae, el equipo inmediatamente se irá a lavado CIP sin dar espera para recuperar el producto que en el momento de ocurrir esta falla tiene en su interior.

Similar a lo ocurrido al inicio de producción cuando se debe llenar la planta del equipo con leche e iniciar con pérdidas de producto, dentro de la operación del equipo pueden ocurrir eventualidades las cuales hacen que éste termine de manera forzada una producción, y de ésta forma expulsar la cantidad de producto almacenado en su interior tal como se realizó al inicio de producción en el llenado de planta, pero ahora con agua para sacar la leche que se encuentra al interior del equipo.

Las pérdidas son mucho mayores, pues no se tiene ni siquiera control manual del proceso ante un eventual corte de energía o caída en la presión de vapor, estas pérdidas de producto pueden llegar a duplicarse como en el caso de un Ultrapasteurizador directo de 16.000 l/h el cual pierde 800 litros debido a que no se tiene control sobre sus variables de proceso. En la tabla se indica las pérdidas de leche por caídas de presión de vapor y caídas de tensión o cortes de energía momentáneos llamados “sag” en calidad de la energía.

Tabla 31: Pérdida en Volumen de Litros por caída de Esterilidad o Pérdida de Temperatura

Equipo	Caudal del equipo en Producción [Litros/hora]	Volumen contenidos en llenado de planta [Litros]	Volumen de Pérdidas promedio por pérdida de esterilidad [Litros]
Ultrapasteurizador Directo	16.000	1.250	800
Ultrapasteurizador Indirecto	13.800	1.400	1.000
Ultrapasteurizador Indirecto	4.000	630	400
Pasteurizador de leche	30.000	1.520	1.200
Pasteurizador de Crema	3.000	550	500
Evaporador de leche	16.450	2.200	ND
Tanque Aséptico 30.000 litros	30.000	30.000	500
Tanque Aséptico 20.000 litros	20.000	20.000	500

Fuente: Elaboración propia

Las posibles fallas se pueden dar por diversas causas, entre ellas: Cortes momentáneos de energía, pérdidas de temperatura de producción por falta de vapor y paros asociados a las envasadoras ó tanques asépticos que deriven en la inestabilidad de temperatura del equipo y por lo tanto pérdida de esterilidad. Si esto ocurre el sistema de lavado CIP se activa de inmediato desencadenando mayores pérdidas asociadas a los procesos por tiempos muertos de producción a la espera del lavado del equipo, es decir, que se deberá lavar con CIP y esterilizar nuevamente.

El costo asociado por pérdida de esterilidad de un equipo UHT debido a una falla de las antes expuestas, se calculó para un Ultrapasteurizador de 4.000 litros/hora, al cual se le debe realizar lavado CIP y un ciclo de esterilización, los cuales duran 100 minutos y 90 minutos respectivamente para un total de 190 minutos.

A continuación se describe cuanto representan los consumos globales de materia y energía en el proceso de lavado con CIP, estos resultados se muestran a partir del análisis de formatos de control de lavado y consumos, y se evaluaron tomando como base periodos de un mes.

Tabla 32: Consumos globales de materia y energía en el proceso de lavado con CIP

Insumo	Unidad	Valor (\$) en pesos COP
Leche Cruda	Litro	890
Agua Potable	m ³	2.748
Energía Eléctrica	kwh	254
Gas Natural	m ³	599
Ácido Nítrico (49%)	kg	616
Soda Cáustica (51%)	kg	737
Disposición material de Tetra Pak	kg	750
Disposición material Polietileno	kg	650
Disposición de Lodos PTAR	kg	1.340
Tratamiento de Aguas Residuales	m ³	4.000

Fuente: Elaboración propia

También se calculó el costo del vapor/hora generado para el consumo de cualquier equipo de la planta de procesos:

BHP	m3/h	Generado en lb/h vapor	Generado en kg/h vapor	Costo hora de Operación en pesos \$ COP
1.000	376	34.000	15.402	225.224

En la siguiente tabla se presenta el balance energético para realizar un lavado de CIP (paso 7) al Ultrapasteurizador de 4.000 l/h, en esta tabla se identifican los drenajes y las cantidades en cada una de las etapas, como también su costo global.

Tabla 33: Balance de materia para un lavado completo CIP a Ultrapasteurizador de 4000 l/h

Lavado CIP (100 minutos)	Entradas	Cantidad	Salidas	Cantidad	Costo (\$) en pesos COP
Preenjuague	Agua potable	1500 L	Vertimientos Lácteos	1500 L	4.122
Lavado de Soda	Soda Cáustica (49%)	12 L	Soda cáustica (2.0%) 85°C	420 L	8.844
	Agua potable	400 L			1.099
	Energía Térmica	5-8 kg vapor			195
Enjuague Intermedio 1	Agua potable	690 L	Agua alcalina (Remanentes de soda)	690 L	1.896
Lavado con Ácido	Ácido Nítrico (51%)	6 L	Ácido nítrico [1.0%] 65°C	390 L	3.696
	Agua Potable	375 L			1.031
	Energía Térmica	4-6 Kg vapor			147
Enjuague Intermedio 2	Agua potable	690 L	Agua-ácida [>0.2]	690 L	1.896
Enjuague final	Agua potable	800 L	Agua	800 L	2.198
Operación de Bombas CIP	Energía eléctrica	9kwh	Energía Eléctrica (100 minutos)	15kwh	3.810
Total:					28.934

Fuente: Elaboración propia

Para la estimación de los costos finales necesarios para el lavado del Ultrapasteurizador, se reúne las condiciones expuestas anteriormente sumadas a la operación del CIP incluyendo sus costos energéticos para la operación del equipo, disposición para el tratamiento de aguas residuales en PTAR y empujes perdidos de leche por caída de esterilidad.

Tabla 34: Costo estimado de lavado CIP completo a Ultrapasteurizador de 4000 l/h - Precios a 2014

Descripción de Proceso	Costo en (\$) pesos COP
150 kg/hora de vapor necesarios para el Equipo CIP	2.193
Energía Eléctrica 65kw	27.572
Aire Comprimido 10CFM = 2,1kw	889
CIP Ultrapasteurizador de 4.000 l/h	28.934
Tratamiento de Aguas de CIP	19.520
Empuje de Leche 400 litros inicio CIP	356.000

Descripción de Proceso	Costo en (\$) pesos COP
Tratamiento de Aguas de Empuje 400 litros inicio CIP	1.600
Disposición de Lodos en PTAR 400 litros inicio CIP	536.000
Empuje de Leche 200 litros Agua Leche inicio Producción	178.000
Tratamiento de Aguas de Empuje 200 litros Agua leche inicio Producción	800
Disposición de Lodos en PTAR 200 litros inicio Producción	268.000
Total:	1.419.508

Fuente: Elaboración propia

Los anteriores costos no incluyen la mano de obra de los operadores para el funcionamiento del CIP, ni tampoco el costo de los tiempos muertos que tarda el equipo en tomar nuevamente su puesta a punto estéril, estos últimos no se pueden cuantificar puesto que los operarios de la línea de producción que falla realizaran labores de alistamiento de otras líneas, sin embargo sería pertinente estimar el costo de la producción que no se pudo lograr por programación, debido a la falla por pérdida de esterilidad del equipo.

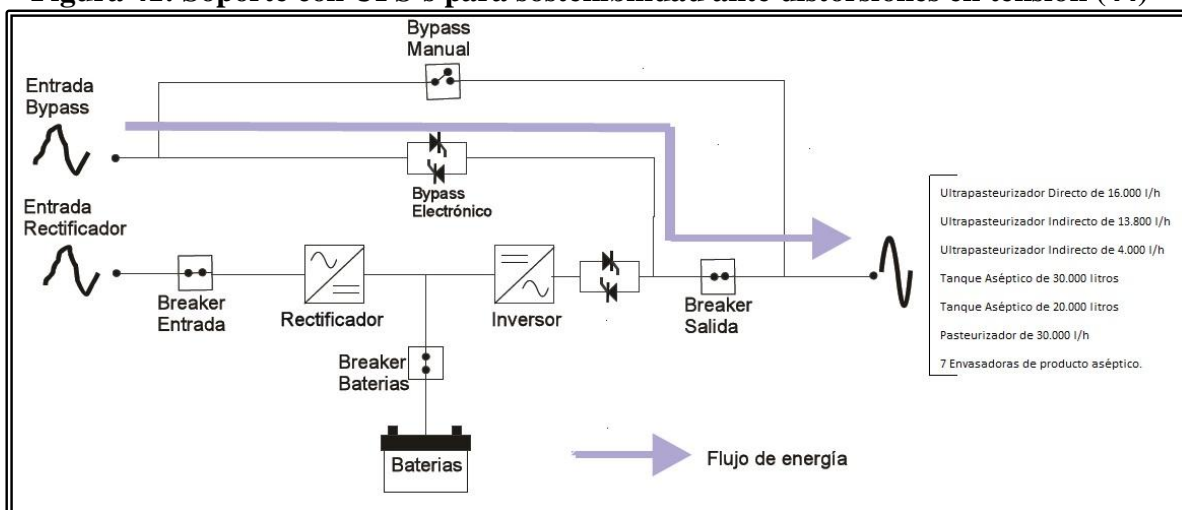
Solución Tecnológica para sostener esterilidad de los equipos

La solución se plantea para una planta de UHT, la cual desencadena una serie de paros asociados a tiempos muertos porque los equipos se deben lavar con CIP y esterilizar nuevamente.

La sostenibilidad de sistemas eléctricos sensibles a cambios de tensión mínimos en la red, conocidos como “sag” y “swell” deben soportarse con UPS´s., Estos equipos responden de forma inmediata ante éstas variaciones sosteniendo las condiciones asociadas a las interrupciones y variables de la energía eléctrica, dando autonomía al sistema manteniendo las condiciones de esterilidad por interrupciones de energía menores a 1 segundo.

En la siguiente gráfica se puede observar la tecnología propuesta para la reducción de manera **óptima** de paros por tiempos perdidos debido a la caída de esterilidad en los equipos de proceso y envasado para una planta de procesamiento UHT.

Figura 41: Soporte con UPS's para sostenibilidad ante distorsiones en tensión (44)



Fuente: Manual del usuario UPS Chicago Digital Power 33, Elaboración propia

Las especificaciones del fabricante para los diferentes estados son:

Bypass Electrónico: En este estado la carga es alimentada directamente desde la red eléctrica a través un switch electrónico (SCR's). Esto sucede cuando hay algún tipo de sobrecarga, cuando la temperatura dentro del UPS está por encima del valor nominal de operación o cuando la el banco de baterías está muy descargado. (44)

Bypass Manual: En este estado la carga es alimentada directamente desde la red a través del breaker de bypass. Cuando el UPS está en bypass manual la carga se alimenta directamente desde la red a través del breaker de bypass mientras el UPS permanece desenergizado. Esto permite realizar labores de mantenimiento en el UPS sin necesidad interrumpir la alimentación hacia la carga. (44)

A continuación se presentan las potencias de los sistemas a soportar con las UPS's:

Tabla 35: Potencia y Corriente de UPS's para equipos de envasado y procesos UHT

Potencia en KVA	Corriente en cada fase en Amperios RMS
20	61
25	77
50	128

Análisis financiero y costos asociados a la Tecnológica propuesta para sostener esterilidad de los equipos: **Teniendo como soporte el análisis financiero descrito en el**

Anexo 7 Anexo 7 y los precios estimados de a todo costo de la tecnología propuesta para el sistema de sostenibilidad con UPS's expuesta en el Anexo 10 y que presenta un costo

aproximado de \$188 millones de pesos, se puede determinar el Pay-back que incluye mantenimiento del nuevo sistema, costo de los energéticos para su funcionamiento, mano de obra para la operación y lo más importante los costos dejados de pagar por la pérdida de esterilidad de los equipos ante eventuales cortes de energía. Para la valoración financiera fueron tomados registros de pérdida de esterilidad de los equipos principales en planta durante un año de trabajo.

Tabla 36: Producción Recuperada por CIP Innecesario en Equipos principales de una planta de lácteos – Pay back

Equipo de Proceso	Cae programa por pérdida de esterilidad año 2012	Costo CIP (\$)	Valor/año (\$)
Ultrapasteurizador Directo 16.000 l/h	7	3.974.623	27.822.364
Ultrapasteurizador Indirecto 13.800 l/h	14	2.555.115	35.771.611
Ultrapasteurizador Indirecto 4.000 l/h	11	1.419.508	15.614.592
Pasteurizador de Leche 30.000 l/h	13	3.406.820	44.288.662
Tanque Aséptico 30.000 litros	3	1.845.361	5.536.083
Tanque Aséptico 20.000 litros	8	1.845.361	14.762.887
Envasadora Aséptica Polietileno As6 5400 l/h	7	1.419.508	9.936.559
Envasadora Buanlir1 Polietileno 5400 l/h	9	1.419.508	12.775.575
Envasadora Buanlir2 Polietileno 5400 l/h	17	1.419.508	24.131.642
Envasadora Buanlir3 Polietileno 7500 l/h	15	1.419.508	21.292.626
Envasadora Elecster Polietileno 7800 l/h	17	1.419.508	24.131.642
Envasadora TBA3 Tetra Pak 13.000 l/h	3	1.419.508	4.258.525
Envasadora TBA22A Tetra Pak 4.400 l/h	20	1.419.508	28.390.168
Envasadora TBA22B Tetra Pak 4.400 l/h	27	1.419.508	38.326.726
Total costo CIP año 2012 por pérdida de esterilidad:			307.039.663
Montaje a todo costo de la tecnología propuesta:			188.772.598
PAY- BACK (Años de pago por tecnología implementada)			2,07

Fuente: Elaboración propia

La tecnología propuesta tiene retribución en un tiempo medio, aproximadamente dos años. Como línea base se calculó anteriormente el costo del lavado paso (7), puesto que es el más utilizado para el lavado de los equipos de proceso y envasado, su valor es de \$1.419.508.

5.4. Acciones que derivan de la gestión, tecnologías de uso eficiente y Eficiencia Energética de los procesos

En el contexto actual, los elevados costos de los llamados energéticos y la creciente necesidad de construir una conciencia ambiental, la eficiencia energética se convierte en una herramienta para la productividad y competitividad de las empresas, siendo un factor clave en el análisis de los costos asociados a su parte financiera y como consecuencia los aportes de tipo ambiental para crecer de forma sostenible. Un primer paso hacia una gestión eficiente del recurso energético es la implementación de buenas prácticas operacionales energéticas - BPOE, definidas como acciones de baja inversión o corto plazo, encaminadas a optimizar el uso final de la energía. En segundo lugar se encuentran las implementaciones asociadas a los cambios tecnológicos de mediano y largo plazo que inciden directamente sobre la tecnología medular y periférica de la maquinaria inmersa en el proceso productivo, estas se describen como adecuaciones e innovaciones de tipo tecnológico que encierran actividades como: Sustitución de combustibles, Inversión de nuevos equipos con aplicaciones eficientes, Innovación tecnológica, Auditorías energéticas como gestión para conocer los potenciales de ahorro y estudios que contengan mediciones físicas encaminadas a la solución de problemas técnicos y ambientales.

Las BPOE y las tecnologías asociadas al sector de procesamiento de lácteos, fueron expresadas en conjuntos que presentan similares procesos industriales de uso final como: Aplicaciones de Fuerza Motriz con motores eléctricos, Variadores de velocidad, Sistemas de bombeo, Iluminación, Sistemas de combustión térmica, Sistemas de refrigeración, Generación de aire comprimido, Redes de distribución eléctrica y plantas de tratamiento PTAR.

Una vez las BPOE y Tecnologías fueron agrupadas por uso final, se clasificaron de acuerdo a su tiempo de implementación e inversión económica en: soluciones de corto plazo que son básicamente BPOE, Mediano Plazo las cuales se encuentran relacionadas con implementaciones de bajo costo o adecuaciones de maquinaria y de Largo Plazo las cuales se relacionan con Cambio Tecnológico o sustitución de combustibles.

En el Anexo 8 del presente documento se presentan en forma de matriz, las BPOE y tecnologías que fueron encontradas en las diferentes visitas realizadas a las plantas de procesamiento de lácteos contenidas en la muestra, las cuales, corresponden a implementaciones de corto, mediano y largo plazo.

5.5. Indicadores Macro con enfoque a la Competitividad

Colombia es un país rico en recursos energéticos y tiene la obligación de encontrar en ellos, una fuente de desarrollo sostenible en la perspectiva de su economía interna y de su comercio exterior, además, los desarrollos de investigación e innovación tecnológica deben estar encaminados a contribuir en la mitigación y adaptación al cambio climático.

Los energéticos juegan un papel muy importante en el desarrollo sostenible de un país, puesto que al ser usados de forma eficiente, contribuyen al PIB en mayor proporción dentro de los estándares de productividad que finalmente apuntan a la competitividad.

Existe un concepto que evalúa los puntos de comparación o línea base que se tiene respecto a otros países en cuanto a la competitividad con indicadores de eficiencia energética integrados dentro de un proceso productivo, éste concepto se conoce con el nombre de

“Benchmarking” y sirve para determinar el estado de las variables de producción y costos respecto a otra de iguales características. Para el caso del sector lácteo, esta herramienta puede ser fuerte cuando se quiere determinar si una planta de lácteos se encuentra lista para competir tanto interna como externamente en un mercado exigente y competitivo.

Existe una herramienta disponible en la web que refiere estudios en eficiencia energética para el sector lácteo realizados por el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley (Berkeley Lab) de California EEUU, esta herramienta se utiliza para la evaluación del consumo energético y el uso del agua dentro de una planta de lácteos. BEST-Dairy es el software desarrollado para ésta aplicación, y ayuda a los procesadores de lácteos a consolidar datos de energía y de consumo de agua para compararlas con las mejores plantas de lácteos existentes en el mundo. La herramienta, que fue lanzada en el año 2011 y es totalmente gratuita. Los usuarios interesados deben ingresar 12 meses de datos en una hoja de Excel que contengan consumos de energéticos y de consumo de agua, los datos se comparan automáticamente con la planta a la de la mejor referencia disponible; mostrando la comparación de consumos de agua y energía, así como sus potenciales de ahorro. (45)

Esta herramienta internacionalmente ha sido utilizada para realizar “Benchmarking” entre plantas de procesamiento de leche. Su línea base o punto de partida como aprovechamiento óptimo de energéticos, se identifica con la planta más eficiente del mundo en cuanto a la producción de leche, ésta planta tiene un indicador de 0,24 MJ/kg de leche procesada, y el promedio mundial de consumo de éste tipo de productores se encuentra en 3,0 MJ/kg.

La unidad energética en MJ se puede obtener a partir de las unidades equivalentes en kwh teniendo como referencia la

Tabla 50. Estas unidades se consolidan con las cantidades originales de combustibles y Energía eléctrica teniendo el consumo consolidado de cada planta de la muestra a una nueva unidad equivalente en MJ.

$$1 \text{ Kilovatio} - \text{ hora [kWh]} = 3,6 \text{ Megajulio [MJ]} \quad (46)$$

Los datos de entrada requeridos para el análisis con el software son: Cantidad de leche cruda que ingresa a la planta en kg/año, Cantidad de leche producida en producción equivalente de kg/año, Consumo de Energía eléctrica en kwh/año, Consumo de gas natural en MJ/año, Consumo equivalente de otros energéticos en MJ/año, Consumo de agua potable en litros/año, y finalmente precios de los energéticos y agua potable. Los resultados para una de las plantas de la muestra utilizando el software es la siguiente:

Tabla 37: Indicadores Macro para una planta de lácteos utilizando “Benchmarking”
(47)

Benchmark in SI Units		Benchmarking (your plant vs. international best reference)	
Assessment of 12-month Energy/Water Savings		Your Energy and Water Use (calculated from input data):	
Technical Savings Potential from Efficiency Improvement:		Electricity Consumption (kWh/year)	7.855.086
Final Energy (MJ saved/year)	97.777.401	Fuel Consumption (MJ/year)	99.834.606
Water (L saved/year)	185.055.000	Final Energy Consumption (MJ/year)	128.112.916
Operating Cost Savings Potential from Efficiency Improvement		Final Energy Intensity (MJ/kg product)	1,00
Energy - Total (US\$/year)	1.710.936	Water Consumption (L/year)	248.930.000
Water (\$/year)	248.899	Water Intensity (L/kg raw milk)	1,89
Total Cost Reduction (\$/year)	1.959.835	Water Intensity (L/kg product)	1,95
		Reference Energy and Water Use (International Best Reference)	
		Electricity Consumption (kWh/year)	-
		Fuel Consumption (MJ/year)	-
		Final Energy Consumption (MJ/year)	30.335.515
		Final Energy Intensity (MJ/kg product)	0,24
		Water Consumption (L/year)	63.875.000
		Water Intensity (L/kg raw milk)	0,48
		Water Intensity (L/kg product)	0,50

Fuente: *Best Dairy* - Software Benchmarking 2014, Elaboración propia

En la tabla anterior se identifica el indicador de consumo de energéticos equivalente en MJ para producir un kg de producto terminado, para la planta en análisis es de 1,0 MJ/kg, muy por encima de la línea base situada en 0,24 MJ/kg, y por debajo del promedio mundial de 3,0 MJ/kg. También se presenta indicadores de consumo de agua, los cuales referencian que para procesar un kg de producto se necesitan 1,95 litros de agua, también por encima del mejor indicador mundial el cual está en 0,5 litros de agua por cada kg de leche procesada.

Utilizando ésta herramienta, a continuación se realiza el cálculo para el listado de plantas procesadoras del sector lácteo en Colombia contenidas en la muestra:

Tabla 38: Indicadores Macro para las plantas de lácteos de la muestra utilizando “Benchmarking”

ítem	Empresa	Producción en Litros/año Aproximado	Consumo de Agua / año (litros)	Energético en unidades originales	Consumo de Energético por AÑO en unidades originales	Energéticos Equivalentes en MJ	MJ/kg	Litro de Agua/kg
1	Alpina S.A	192.467.932	342.090.000	Gas natural en m3	7.439.978	393.154.707	2,04	1,78
				Diesel Galones	53.670			
				Energía Eléctrica kwh	29.229.937			
2	Colanta Ltda Funza	127.750.000	248.930.000	Gas natural en m3	2.642.397	128.112.916	1,00	1,95
				Fuel Oil Galones	2.250			
				Energía Eléctrica kwh	7.855.086			
3	Colanta Ltda. Medellín	255.500.000	417.925.000	Gas natural en m3	3.963.596	191.670.617	0,75	1,64
				Energía Eléctrica kwh	11.782.629			
4	Colanta San Pedro de Los Milagros	569.400.000	689.850.000	Gas natural en m3	18.048.644	934.911.828	1,64	1,21
				Energía Eléctrica kwh	70.908.911			
5	Colanta Planeta Rica	111.325.000	82.125.000	Gas natural en m3	5.048.400	211.486.550	1,90	0,74
				Energía Eléctrica kwh	5.940.000			
6	Alquería S.A	192.999.955	254.405.000	Fuel Oil Galones	188.523	265.722.665	1,38	1,32
				Carbón kg	7.007.920			
				Energía Eléctrica kwh	13.100.115			
7	Parmalat Colombia Ltda	43.800.000	33.872.000	Gas natural en m3	960.323	46.293.621	1,06	0,77
				Energía Eléctrica kwh	2.814.365			
8	Algarra S.A	127.750.000	188.705.000	Fuel Oil Galones	367.920	73.174.234	0,57	1,48
				Energía Eléctrica kwh	5.223.060			

ítem	Empresa	Producción en Litros/año Aproximado	Consumo de Agua / año (litros)	Energético en unidades originales	Consumo de Energético por AÑO en unidades originales	Energéticos Equivalentes en MJ	MJ/kg	Litro de Agua/kg
9	El Recreo S.A	73.000.000	137.605.000	Carbón kg	336.000	20.835.717	0,29	1,89
				Diesel Galones	58.400			
				Energía Eléctrica kwh	900.195			
10	Meals de Colombia SAS	10.800.000	86.424.000	Gas natural en m3	530.244	62.375.776	5,78	8,00
				Fuel Oil Galones	6.023			
				Energía Eléctrica kwh	11.533.008			
11	Aerodelicias Ltda - Alimentos Pippo S.A	16.425.000	13.332.000	Carbón kg	192.000	9.773.914	0,60	0,81
				Energía Eléctrica kwh	1.263.648			
12	El Pomar S.A	29.200.000	57.305.000	Gas natural en m3	625.000	31.609.962	1,08	1,96
				Fuel Oil Galones	2.900			
				Energía Eléctrica kwh	2.124.000			
13	Ceuco de Colombia Ltda	5.840.000	15.330.000	Carbón kg	72.000	3.615.293	0,62	2,63
				Energía Eléctrica kwh	460.000			
14	Colfrance C P S EN C	14.600.000	30.295.000	Carbón kg	189.000	9.490.144	0,65	2,08
				Energía Eléctrica kwh	1.207.500			
15	Prodilacteos Ltda. (Hacienda San Mateo)	25.550.000	42.600.000	Carbón kg	286.650	14.465.834	0,57	1,67
				Energía Eléctrica kwh	1.851.500			
16	Lácteos El Galán	16.425.000	18.067.500	Carbón kg	230.400	8.143.537	0,50	1,10
				Energía Eléctrica kwh	520.500			

ítem	Empresa	Producción en Litros/año Aproximado	Consumo de Agua / año (litros)	Energético en unidades originales	Consumo de Energético por AÑO en unidades originales	Energéticos Equivalentes en MJ	MJ/kg	Litro de Agua/kg
17	Coolesar	9.125.000	9.125.000	Gas natural en m3	416.000	17.959.108	1,97	1,00
				Energía Eléctrica kwh	637.281			
18	Lácteos Rionegro	14.600.000	18.907.000	Gas natural en m3	152.600	7.445.506	0,51	1,30
				Energía Eléctrica kwh	472.000			

Fuente: Elaboración propia

Resultados de los Indicadores Macro:

Al realizar el análisis de los indicadores macro para las empresas de la muestra, los números presentan una tendencia bastante competitiva dentro del mercado Colombiano, siendo algunas empresas más eficientes que otras desde el punto de vista energético. Cabe anotar que esta metodología puede adoptar una línea base para el análisis posterior que permita la optimización de variables energéticas dentro del proceso productivo.

De acuerdo con la caracterización energética y tecnológica efectuada en el desarrollo del presente estudio, se infiere la relevancia del Gas Natural como el energético principal de uso primario para las plantas de procesamiento, el cual comporta el 62% del total de energéticos utilizado en aporte térmico al sistema. Así mismo, los cálculos económicos para la generación de vapor con éste combustible para calderas de 600 BHP a plena carga, indican una relación de 4,05 a 1 del costo del Fuel oil respecto al Gas natural; es decir que producir con fuel oil cuesta 4,05 veces más y además produce combustión más contaminante.

Las plantas que han migrado de la utilización de fuel oil y diesel a Gas natural, han tenido éxito en la retribución financiera del proyecto por la sustitución de combustibles. Estas también han medido el costo económico positivo que representa el haber implementado la tecnología para la generación de vapor con otro combustible, pero dejan de lado el aporte por mitigación de gases efecto invernadero GEI perjudiciales para el medio ambiente debido a la implementación de la tecnología instalada. Para el caso puntual de la utilización del carbón mineral que representa el 9% del total de energéticos utilizados en el sector, los indicadores macro apuntan a la utilización de éste combustible como energético primario, lo anterior se debe a que las plantas que utilizan el carbón para generar vapor, tienen la tendencia de tener un mejor indicador en cuanto a la utilización de ésta energía para producir un kg de leche procesada, pero cabe resaltar, que en el análisis no se tiene en cuenta “que tan limpio” ambientalmente significa producir con Carbón mineral, luego estos lineamientos se deben tener en cuenta en la presentación de un estudio más riguroso que conglomere el análisis de varios energéticos para el aporte térmico de un proceso.

Las plantas que tienen el indicador de consumo de agua de 0,5 litros de agua por cada kg de leche procesada, en ocasiones presentan valores muy cercanos a éste que es el de referencia mundial, lo anterior se debe a que las plantas de proceso se encuentran ubicadas en zonas rurales y cuentan con quebradas y yacimientos para el abastecimiento de agua tomándola de forma directa desde su nacimiento, es decir, que su consumo en ocasiones no se cuantifica y por eso el resultado positivo de éste indicador para varias plantas de la muestra.

6. Conclusiones

Se caracterizó el sector lácteo de forma energética y tecnológica teniendo como resultado la distribución porcentual en consumo energético y su matriz de costos asociados a su proceso de transformación. Las 18 empresas seleccionadas mediante el análisis muestral, representan el 63% del consumo total en energía eléctrica del sector nacional, puesto que la cifra de referencia para el sector expuesta por el DANE al año 2012, refiere un consumo de Energía eléctrica de 268 Gwh/año (24), y el consolidado de la muestra tiene un consumo agregado de 164 Gwh. Lo anterior puede concluir que con el estudio realizado de las variables energéticas contenidas en la muestra, se tiene una valiosa aproximación del sector nacional en cuanto a su comportamiento global, claro está que los datos de referencia son para el año 2012 y la muestra fue trabajada entre los años 2013 y 2014. También se realizó un consolidado de costos por energéticos utilizados en las plantas procesadoras visitadas.

Se identificó que la utilización de los energéticos poco eficientes, costosos y con altas emisiones de tipo ambiental, indican la **sustitución de combustibles** inmediata para dos (2) de las plantas visitadas, además se pudo comprobar que la rentabilidad del proyecto en el tiempo es acelerada. La medición del consumo de estos combustibles y su costo, se realizó para calderas pirotubulares que son usadas para la generación de vapor en plantas que utilizan fuel oil comparadas con las que utilizan Gas natural para capacidades de 400 y 600 BHP.

Se considera que la Cogeneración con Gas natural o carbón mineral “limpio”, debe integrarse como un sistema alternativo para la generación de energía eléctrica como una opción dentro del sector lácteo. En las plantas visitadas se logró determinar como factor común, que la energía eléctrica aunque tiene un gran costo dentro de la matriz energética de la planta, no representa el aporte energético esperado para el proceso de transformación de la leche, caso contrario sucede con el gas natural que al final del año es menos costoso en la matriz y aporta un gran poder energético dentro del proceso de producción con un 62% en aporte.

Se evidencia que las empresas del sector lácteo de pequeño tamaño, las cuales son casi el 93% de los establecimientos en Colombia, generalmente tienen la práctica de disminuir el consumo de energéticos realizando operaciones con las que se puede lograr un menor consumo de estos dentro del proceso productivo. Es decir, que afectan la calidad final del producto terminado en el afán de disminuir costos de producción, lo cual impacta en los factores de productividad y competitividad.

Se determinó mediante diagramas de “sankey” que representan el balance de masa y energía para los procesos, que la industria láctea se puede clasificar en dos grandes grupos: Procesamiento de leche y Derivados lácteos, los primeros procesos se caracterizan por ser intensivos en el consumo de energéticos y por ello fueron destacados dentro del presente trabajo de investigación. Para el grupo de procesamiento de leche conformado por plantas de pasteurización y de pulverización, se encontraron los porcentajes de utilización del total de energéticos ligados a su volumen de producción dentro del proceso de transformación de la leche, y para las plantas que se dedican a la producción de derivados lácteos como la fermentación de Yogurt, mantequilla, arequipe, helados, postres y el prensado para la elaboración de quesos, se logró evidenciar que no son representativas en cuanto a volúmenes de producción y consumo de energéticos.

Se desarrollaron cinco Indicadores de gestión micro y macro enfocados a la productividad y competitividad, que contribuyen a la industria láctea en la búsqueda de alternativas para la toma de decisiones con enfoque productivo y competitivo. Estos indicadores dan al empresario una visión perimetral de su producción identificando y cuantificando las pérdidas asociadas al proceso de transformación de la materia prima. Además se presentan soluciones de tipo tecnológico que logran dar una perspectiva y una visión sectorial para la optimización de recursos energéticos, con el fin de utilizarlas posteriormente como una estrategia de sostenibilidad. Esta metodología es de vital importancia puesto que posteriormente puede utilizarse para la formulación y planteamiento de estrategias y políticas sectoriales en torno a lograr ambientes eficientes y productivos con alto impacto en la industria, además servirá de forma transversal a otros sectores industriales de manufactura que utilicen procesos similares puesto que pueden utilizar el desarrollo de lo expuesto en el numeral 3.7 que identifica servicios de soporte para la generación de vapor, aire comprimido y refrigeración, sumado al planteamiento de buenas prácticas e implementaciones tecnológicas descritas en el numeral 5.4, e indicadores de productividad y competitividad descritos en los numerales 5.2 y 5.5 del presente documento.

Se construyó un indicador de consumo de energía específico “Ceesp”, que establece la proporción del consumo de energía equivalente para producir un derivado de la leche, e integra los todos los procesos para el análisis puntual en una misma unidad de medida, para éste caso la unidad se presenta como [wh/litro]. Este análisis se realizó para todas las líneas de producción y unifica los procesos con el fin de cuantificar los costos involucrados en la transformación de la leche. Finalmente se establece el consumo total de energéticos en wh necesarios para producir un litro de leche equivalente para una planta de procesamiento de lácteos, en el ejemplo presentado se consumen 232,89 wh de energéticos necesarios para producir un litro de leche equivalente. Este indicador se basa en la caracterización energética y tecnológica que finalmente se ve representada en una línea base.

Se plantea dos alternativas que apuntan a la optimización de variables energéticas dentro del proceso productivo, una que impacta en el desperdicio de materia prima y otra que optimiza la utilización de los recursos energéticos. Estas soluciones identificadas de tipo tecnológico, logran dar una perspectiva y una visión sectorial en la búsqueda de herramientas basadas en la optimización de recursos energéticos.

Se identificaron acciones que desde la gestión energética, conducen a la mitigación del cambio climático en ahorro de recursos energéticos como estrategias de sostenibilidad. Estas actividades se presentan en el Anexo 8 del presente documento.

7. Recomendaciones

Aunque la UPME es pionera en consolidar la información de los sectores industriales de manufactura, transporte, agrícola, minero, residencial y comercial, no articula su información con otros entes gubernamentales que pueden aportar registros e información valiosa. Este es el caso del SUI, DANE, Operadores de red, Cámaras de comercio y Secretarías de ambiente, las cuales manejan sus propias unidades de medida y en ocasiones difieren sus consolidados totales. No obstante se realizó el desarrollo de factores de conversión con los que se puede consolidar equivalentes energéticos a unidades en Tcal y/o kwh presentados en el Anexo 4.

Las herramientas que conduzcan al objetivo de lograr impactos sostenibles en un ambiente de competitividad, deberán apuntar hacia la “Gestión de la innovación y del conocimiento, relaciones de productividad con las ventas y precios, e integración de la productividad total de los factores” (38), esto lo define el programa PEN-SGIE e integra la eficiencia energética dentro de los procesos industriales no solo como un aspecto que reúne los conceptos ambientales, tecnológicos y de uso eficiente de energéticos, sino como un agente integrador de todos los niveles operacionales, técnicos y administrativos.

Es necesario consolidar un proceso como producción equivalente. De lo contrario no se lograría determinar la estimación de ahorro sobre la producción con los indicadores de desempeño que incluyen los energéticos utilizados dentro de un proceso. Además sería interesante formular una metodología que evalúe de forma transversal todos los sectores industriales de manufactura que contengan usos finales como el aire comprimido, refrigeración y generación de vapor.

Se debe trabajar en la elaboración de indicadores transversales para la industria que relacionen el consumo de energéticos fósiles vs sus costos de utilización. Esto con el fin de orientar factibilidades de tipo técnico-económico en la sustitución de combustibles u obtención de nueva maquinaria para una planta intensiva en el uso de éstos energéticos.

La empresa del sector lácteo que busque estrategias de sostenibilidad, deberá tomar un rumbo orientado desde la dirección general con enfoque al aprovechamiento óptimo de los recursos energéticos, operacionales y administrativos, soportada en conjunto con la Gestión de proyectos, Gestión de compras, Recursos humanos, Gestión del mantenimiento, Gestión de la producción, Análisis de costos, Departamento financiero y la Gestión ambiental. De lo contrario difícilmente se alcanzará los objetivos trazados desde la planeación.

Las longitudes de las tuberías para el procesamiento de leche las cuales trabajan en conjunto con el pasteurizador de procesos, están mal dimensionadas para la mayoría de plantas. En varias de éstas los volúmenes de pérdidas de producto debido a los empujes de leche que inundan el cuerpo del equipo al inicio de producción, se encuentran condicionadas a las distancias de recorrido del producto y a las pruebas organolépticas por parte de producción, es decir, al operador que toma pruebas consecutivas para verificar el momento de cambio de fase de agua a leche, por ello se propone una solución que apunte hacia la solución de éste problema técnico y operativo.

8. Anexos

- [Anexo 1](#): Muestra Representativa de Empresas para el Sector de Lácteos en Colombia.
- [Anexo 2](#): Análisis de mercado: Producción Importaciones y Exportaciones mundial 2011.
- [Anexo 3](#): Producto interno bruto 2013 – Colombia.
- [Anexo 4](#): Factor de Conversión de Unidades originales a Teracalorías.
- [Anexo 5](#): Descripción de los Procesos para la elaboración de lácteos intensivos en el consumo de Energéticos.
- [Anexo 6](#): Normatividad y Marco legal.
- [Anexo 7](#): Valoración Financiera de proyectos identificados.
- [Anexo 8](#): BPOE y tecnologías propuestas para el sector lácteo.
- [Anexo 9](#): Montaje a todo costo de la tecnología propuesta para el sistema de recuperación de Empujes de leche - Precios a 2014.
- [Anexo 10](#): Montaje a todo costo de la tecnología propuesta para el sistema de sostenibilidad con UPS`s - Precios a 2014.
- [Anexo 11](#): Matriz de recorridos de leche según producto
- [Anexo12](#): Publicación Artículo IEEE – Revista Indexada que incluye resultados de la tesis de maestría

Anexo 1: Muestra Representativa de Empresas para el Sector de Lácteos en Colombia

[Volver a los anexos](#)

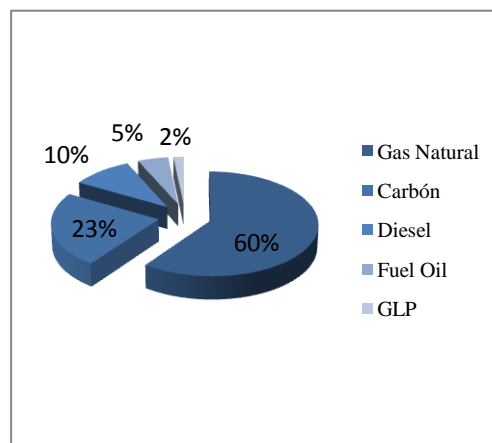
Esta metodología se desarrolló en tres etapas: Procesamiento del universo, estadística descriptiva de la base de datos y diseño muestral. A continuación se especifican los resultados obtenidos para el sector de lácteos en Colombia.

Clasificación por uso de combustible

De acuerdo con la clasificación, se obtuvo el primer marco muestral que indica el tipo de combustible más representativo consumido por el sector. Así mismo, se determinó el de mayor consumo para 60 empresas de las 63 inicialmente identificadas sin incluir la energía eléctrica como energético primario, según se observa a continuación:

Tabla 39: Clasificación por uso de combustible

Energéticos	Unidad de Consumo	No de Empresas
Gas Natural	M3	36
Carbón Mineral	Kilogramos	14
Diesel	Galones	6
Fuel Oil	Galones	3
GLP	Galones	1
Total:		60



Del total de empresas en las cuales se identificó el combustible de mayor consumo, el 60% de ellas utiliza Gas Natural como el energético principal para uso final en la Generación de vapor y sistemas térmicos, seguido del Carbón mineral con el 23% y el Diesel con el 10%. El fuel Oil a pesar de servir como energético alternativo en algunas calderas pirotubulares de tipo Dual, no se considera como un combustible de uso continuo en las empresas del sector lácteo, y solo el 5% de las empresas lo utilizan como el energético principal.

Clasificación por capacidad en Generación de vapor - Calderas

De acuerdo con los registros, se obtuvo la clasificación por capacidad en BHP de las calderas y cual energético utilizan para la generación de vapor. Para las que tienen la opción de trabajar con dos combustibles “tipo dual”, se tomó el combustible de mayor consumo. Para la muestra se tiene registro de 45 Empresas de las 63 existentes en la muestra:

Clasificación de calderas por capacidad y Energético, refiere de Tabla 22

Capacidad en BHP de 45 Empresas						
Energético	Entre 20 y 50	Entre 50 y 100	Entre 100 y 200	Entre 200 y 500	Entre 500 y 1000	Total
Gas Natural	12	4	4	3	9	32
Carbón	2	3	2	5	1	13
Diesel	2	2	-	-	-	4
Fuel Oil	-	-	1	2	-	3
GLP	-	1	-	-	-	1
Total:						53

En total se tiene el registro de 53 calderas de las 45 empresas objeto de la muestra con información, de ello se puede concluir la tendencia en porcentaje de la utilización del Gas Natural sobre los demás energéticos en un 60%.

Clasificación por Consumo de Energéticos equivalentes en kwh/año

La cantidad de combustible utilizado es la variable más relevante del estudio para las 63 empresas de la muestra, y se presenta como el consumo anual por empresas en unidades equivalentes de kwh/año (incluye consumo térmico y eléctrico). Sin embargo los registros completos para la caracterización se encuentran solo para 54 de las 63 empresas. Estos registros corresponden al tamaño de la muestra y se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 40: Tamaño de la muestra sector lácteo en Colombia

ítem	Planta de Producción - Sector Lácteo en Colombia	Ubicación	Total de Energéticos en kwh Equivalentes AÑO
1	ALIMENTOS EL JARDIN	Bogotá D.C	362.880
2	INVERSIONES FASULAC LTDA	Bogotá D.C	362.880
3	AERODELICIAS - PIPPO S.A	Bogotá D.C	282.240
4	LA CAMPINA SA	Bogotá D.C	226.800
5	SENORA LECHE LTDA	Bogotá D.C	146.765
6	ALIMENTOS EL JARDIN	Bogotá D.C	130.881
7	PROLACTEOS JR LTDA	Bogotá D.C	101.628
8	DELAY LTDA	Bogotá D.C	62.546
9	QUESOS EL NEVADO LTDA	Bogotá D.C	58.182
10	ALIMENTOS JOSE A LTDA	Bogotá D.C	54.236
11	PEDRO JOAQUIN SACRISTAN MONTENEGRO	Bogotá D.C	43.243
12	PROLACTEOS JR LTDA (Hacienda San Mateo)	Bogotá D.C	38.110

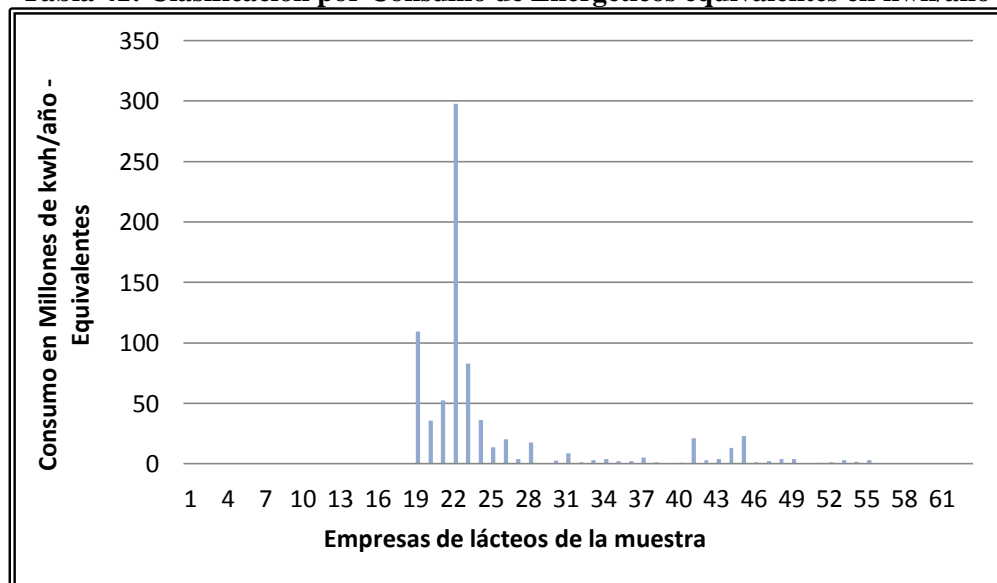
ítem	Planta de Producción - Sector Lácteo en Colombia	Ubicación	Total de Energéticos en kwh Equivalentes AÑO
13	LA CAMPINA SA	Bogotá D.C	25.200
14	MARIA ELISA DIAZ DE PARRA (LA SABANA DE UBATE)	Bogotá D.C	7.283
15	SENORA LECHE LTDA	Bogotá D.C	3.763
16	DISTRIBUIDORA DE PRODUCTOS LACTEOS	Bogotá D.C	3.310
17	LACTEOS ABERDEEN LTDA	Bogotá D.C	17.000
18	Alpina S.A	Sopo	109.209.641
19	Colanta Ltda	Funza	35.586.921
20	Colanta Ltda. Medellín	Medellín	52.456.329
21	Colanta Sanpedro de Los Milagros -Antioquia	San Pedro	297.655.667
22	Colanta Planeta Rica	Planeta Rica	82.636.054
23	Alquería S.A	Cajicá	36.183.407
24	Parmalat Colombia Ltda	Chia	13.468.320
25	Algarra S.A	Cogua	20.326.176
26	El Recreo S.A	Zipaquirá	4.026.939
27	Meals de Colombia SAS	Bogotá	17.326.604
28	La Arboleda	Cundinamarca	247.244
29	Aerodelicias Ltda.	Guasca	2.714.976
30	El Pomar S.A	Cajicá	8.780.545
31	Ceuco de Colombia Ltda.	Cogua	1.004.248
32	Colfrance C P S EN C	Ubaté	3.003.518
33	Prodilacteos Ltda.	Cajicá	3.749.291
34	La Gran Vía - Comlemo	Cogua	1.989.750
35	Lácteos El Galán	Antioquia	2.262.094
36	Coolesar	Valledupar	4.988.641
37	Lácteos Rionegro	Rionegro	1.022.196
38	Productos Lácteos la Colina	Caldas	459.210
39	Sabilacteos	Pacho	893.620
40	Alimentos del Valle S.A (Inducolsa S.A)	Valle	21.000.000
41	Lácteos Auralac	Rionegro	2.900.000
42	Lácteos Betania S.A	Antioquia	3.890.000
43	Central Lechera de Manizales – CELEMA	Manizales	12.990.000

ítem	Planta de Producción - Sector Lácteo en Colombia	Ubicación	Total de Energéticos en kwh Equivalentes AÑO
44	Cooperativa de Productores de Leche de la Costa Atlántica Ltda. Coolechera	Barranquilla	22.900.000
45	Colquesos S.A.S	Bogotá D.C	1.020.000
46	Doña Leche Alimentos S.A	Bogotá D.C	1.890.000
47	Freska Leche S.A	Bucaramanga	3.670.000
48	Pasteurizadora La Mejor S.A	Cúcuta	3.780.000
49	Alimentos y Bebidas NEBRASKA S.A	Medellín	346.000
50	PROLINCO S.A.	Medellín	570.000
51	LACTEOS RANCHERO LLANOGRANDE S A	Antioquia	1.120.000
52	Pasteurizadora Santo Domingo	Bogotá D.C	2.890.000
53	Del Vecchio S.A	Bogotá D.C	1.420.000
54	El Zarzal	Antioquia	2.830.000

Fuente: Elaboración propia con información primaria y secundaria, actores de la Tabla 14

Se puede observar que existen 9 empresas que tienen un consumo notable por encima de las demás, estas se constituyen en casos atípicos e inciden en la selección de la muestra y por su connotación se toman como de forzosa vinculación; su clasificación se presenta a continuación:

Tabla 41: Clasificación por Consumo de Energéticos equivalentes en kwh/año



Fuente: Elaboración propia

Las empresas de la muestra, tienen una media de 14 millones de kwh/año y una varianza de 1,99 E+15 lo cual representa un valor muy alto debido a que los datos se encuentran muy dispersos respecto a la media. Esto sesga cualquier proceso estadístico si los registros no son procesados de manera indicada y será fundamental analizar el tipo de muestreo a realizar y el número de

muestras a elegir, por ello se decide discriminar por estratos de empresas para la selección final de la siguiente forma:

Tabla 42: Clasificación de Empresas de la muestra por estratos de consumo en kwh/año

Estratos de Empresas	Número de Empresas	Media	Varianza
Estrato1 (Superior a 20 millones de kwh/año)	9	75.328.244	7,9E+15
Estrato2 (Entre 1 millón y 20 millones de kwh/año)	23	4.466.831	1,9E+13
Estrato3 (Entre 0,1 y 1 millón de kwh/año)	22	201.184	5,2E+10

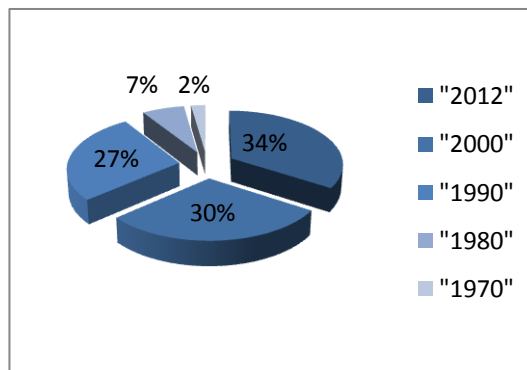
Las empresas que pertenecen al estrato uno deberán incluirse de manera forzosa debido a su gran dispersión de los datos respecto a la media.

Clasificación por años de Antigüedad de los equipos en planta

El periodo elegido fue la década por cuanto los cambios tecnológicos en este sector no son frecuentes. En la siguiente tabla se puede observar que la mayoría de las empresas del sector lácteo poseen equipos relativamente nuevos, y un porcentaje pequeño posee equipos que datan desde la década de los años sesenta (70).

Clasificación de los equipos en planta por Antigüedad en años, refiere de Tabla 23

Década	"Año referencia"	Empresas
Años 2000 a 2012	"2012"	15
Años 1990 a 1999	"2000"	13
Años 1980 a 1989	"1990"	12
Años 1970 a 1979	"1980"	3
Años 1960 a 1969	"1970"	1
Total:		44



Se puede observar que para 44 de las 63 plantas que presentan registros con antigüedad en sus equipos, el 34% de ellas cuenta con una maquinaria fabricada en el siglo XXI, mientras que el 9% se podría decir que es obsoleta.

Correlación y resultados de la muestra

Se estableció la relación entre las variables cuantitativas que puntualizan consumo equivalente, años de los equipos y potencia en BHP para la generación de vapor en calderas. Esta relación se consigue utilizando el Coeficiente de correlación de Pearson utilizando Excel de Microsoft

office³. El análisis de la influencia o interdependencia entre las variables descritas se presenta como resultado en la siguiente matriz de correlaciones:

Tabla 43: Coeficientes de Correlación entre variables de la muestra

	Consumo equivalente en kwh/año	Año de sus Equipos	Potencia BHP instalada en Calderas
Consumo equivalente en kwh/año	1		
Año de sus Equipos	-0,009928971	1	
Potencia BHP instalada en Calderas	0,83089567	-0,029158676	1

En ella se puede observar la relación directa entre la variable consumo equivalente en kwh/año y la variable de potencia instalada en Calderas, y es así, porque se espera que entre más fuentes de generación de vapor tenga una empresa, mayor consumo de combustible por año debe presentar. Esta relación es del 83% aproximadamente, y se puede asegurar que éstas variables se encuentran muy ligadas.

Otra relación interesante es la derivada del año de fabricación (edad de los equipos en planta) respecto del consumo de combustible en kwh equivalente, se podría pensar que entre más vieja sea la maquinaria o los equipos en planta mayor sea el consumo, pero no siempre es así. En este caso específico se obtiene un coeficiente negativo lo cual indica que mientras una de las variables aumenta la otra tiende a disminuir. La relación da un valor cercano a cero (-0,09928971) con lo cual se puede descartar una dependencia entre estas dos variables. La explicación más acertada para la ocurrencia de éste evento, se relaciona con la repotenciación de los equipos que hacen los industriales con el fin de evitar la obsolescencia tecnológica, y acercarse al cumplimiento de las normas ambientales de emisiones de gases de efecto invernadero – GEI y evitar el cierre de sus establecimientos.

Diseño Muestral

Objetivo de la muestra: Estimar el número de empresas a visitar e indicar cuáles son, de acuerdo con la variable poblacional, consumo por año en (kwh/año).

Universo: Industrias sector lácteo en Colombia

Estrato: Partición de la población completamente disyunta con las demás que se hagan sobre este, es decir, si un individuo pertenece a un estrato entonces no puede pertenecer a otro.

Diseño muestral: Se realizará un muestreo estratificado. Para la definición de los estratos además de la mecánica estadística se acudió al conocimiento específico de los actores del sector y a la experticia de los especialistas en el tema relacionado con la tecnología del este.

Las empresas que presentan consumos superiores a los 20 millones de kwh/año, resultarán de gran interés por su consumo exótico, por lo cual, se decidió generar un estrato que las contenga solamente a ellas y que se ingresen por *inclusión forzosa* a la muestra, es decir, tienen valores

³ <http://personal.us.es/vararey/adatos2/correlacion.pdf>, también se puede visualizar un ejemplo de la utilización del coeficiente utilizando Excel en: <https://www.youtube.com/watch?v=Dy8I-TYoeI0>

muy importantes para el estudio y no se pueden dejar a la aleatoriedad ya que resultan fundamentales para los objetivos de la presente investigación. Así las cosas el primer estrato de la muestra lo constituyen las siguientes nueve (9) empresas:

Estrato1 (Consumo superior a 20 millones de kwh/año):

- Alpina S.A. Sopo
- Colanta Ltda. Funza
- Colanta Ltda. Medellín
- Colanta Ltda. San Pedro de Los Milagros
- Colanta Ltda. Planeta Rica
- Alquería S.A. Cajicá
- Algarra S.A. Cogua
- Alimentos del Valle S.A (Inducolsa S.A). Cali
- Cooperativa de Productores de Leche de la Costa Atlántica Ltda. Coolechera. Barranquilla.

Con base en la clasificación por consumo de Energéticos equivalentes en kwh/año, se decidió realizar dos estratos más (2 y 3) que se caracterizan por presentar el primero consumos anuales entre uno (1) y veinte (20) millones de unidades energéticas en kwh/año, y el estrato 3 el restante de individuos estadísticos entre 0,1 y 1 millón de kwh/año.

Estrato 2 (Consumo entre 1 millón y 20 millones de kwh/año):

- Parmalat Colombia Ltda
- El Recreo S.A
- Meals de Colombia SAS
- Aerodelicias Ltda.
- El Pomar S.A.
- Ceuco de Colombia Ltda.
- Colfrance C P S EN C.
- Prodilacteos Ltda. (Hacienda San Mateo)
- La Gran Vía – Comlemo.
- Lácteos El Galán.
- Coolesar S.A
- Lácteos Rionegro.
- Lácteos Auralac.
- Lácteos Betania S.A
- Central Lechera de Manizales – CELEMA
- Colquesos S.A.S
- Doña Leche Alimentos S.A
- Freska Leche S.A.
- Pasteurizadora La Mejor S.A
- Lácteos Ranchero Llanogrande S.A
- Pasteurizadora Santo Domingo.
- Del Vecchio S.A
- El Zarzal – Antioquia

Estrato 3 (Consumo entre 0,1 y 1 millón de kwh/año):

- EL JARDIN.
- INVERSIONES FASULAC LTDA.
- Alimentos Pippo S.A
- La Campiña S.A
- Señora Leche Ltda.
- Alimentos Jardines Ltda.
- Prolacteos Jr. Ltda.
- Delay Ltda.
- Quesos el nevado Ltda.
- Alimentos José a Ltda.
- Pedro Joaquín Sacristán Montenegro
- Maria Elisa Díaz de parra (La sabana de Ubate)
- Señora leche Ltda.
- Distribuidora de productos lácteos
- Lácteos Aberdeen Ltda.
- Productos lácteos la colina.
- Sabilacteos
- Alimentos y bebidas Nebraska S.A
- Prolinco S.A.
- La Arboleda

Con estas agrupaciones realizadas se presenta la siguiente tabla resumen de datos:

Tabla 44: Datos Estadísticos de la muestra de Empresas por estratos

	Estrato1	Estrato2	Estrato 3
Media	75.328.244	4.466.831	201.956
Varianza	7,9E+15	1,9E+13	5,1E+10
Desviación estándar	88.734.969	4.404.342	227.037
Coefficiente de variación	118%	99%	113%

Se puede apreciar que la varianza de los datos para todas las empresas incluidas en la muestra es muy alta, es decir, sus valores están muy dispersos con respecto a la media y al universo completo para cada estrato. De no incluir los registros con mayor desviación en su coeficiente de variación, afectaría significativamente la calidad de la muestra, para nuestro caso obligatoriamente se debe incluir todas las empresas del estrato1.

Dada la dispersión de datos que presentan los individuos dentro de cada estrato con respecto a la variable a medir, se realizará para el estrato 2 y 3, un Muestreo Aleatorios Simple (MAS) y a partir de este se definirán las empresas y el número de ellas que corresponden a éste conjunto.

Muestreo Aleatorio Simple (MAS)

Este tipo de muestreo se fundamenta en el hecho de que todos los elementos de cada estrato tienen la misma probabilidad de ser seleccionados. Sea n_h el tamaño de la muestra del estrato h (no determinado aún) y sea N_h el tamaño de este. La probabilidad que tiene un individuo de este estrato de ser incluido en la muestra es $\frac{n_h}{N_h}$. Sea t_h el total del estrato h , en nuestro caso será la sumatoria de los consumos de todas las empresas de lácteos del país, un estimador Insesgado (valor esperado del estimador igual al estimador) de t_h será:

$$\hat{t}_{h,\pi} = N_h \sum_{S_h} \frac{y_k}{n_h}$$

Donde:

- N_h es el tamaño del estrato h .
- n_h es el tamaño de la muestra en el estrato h .
- y_k es el valor de la variable medida para cada uno de los individuos seleccionados en la muestra.
- S_h es la muestra seleccionada.

La varianza estimada de este estimador se define:

$$\hat{V}(\hat{t}_{h,\pi}) = N_h^2 \frac{(1 - f_h)}{n_h} S_{y,S_h}^2$$

Donde:

$$f_h = \frac{n_h}{N_h}$$

$$S_{y,S_h}^2 = \frac{1}{n_h - 1} \sum_{S_h} (y_k - \bar{y}_{S_h})^2$$

$$\bar{y}_{S_h}$$

Llamada la cuasi-varianza de la variable y .

Es la media de la variable y en el estrato h .

El tamaño de muestra n_h dentro del estrato 2 para la selección de las empresas faltantes

Para determinar el número de muestras dentro de los estratos 2 y 3, se procede de la siguiente manera:

- Definir el total poblacional de consumo del estrato.
- Realizar una lista con todos los posibles valores que puede tomar n_h , es decir, de 0 hasta N_h .
- Realizar una lista con todas las varianzas que tomaría el MAS de acuerdo al número de muestra de la lista anterior. En total serían N_h varianzas. Hay que tener en cuenta que estas varianzas ya no se toman como estimadas pues se conoce (debido a que se tiene la población) y en lugar de dividir por $n_h - 1$ se divide por $N_h - 1$.
- Hallar la raíz cuadrada de la varianza del paso anterior, es decir, las desviaciones estándar de cada tamaño de muestra.
- Hallar el coeficiente de variación el cual permite saber que tanto varían los resultados de acuerdo a la muestra (error estándar relativo), es decir, mide la desviación estándar con respecto a la media:
- $CV = \frac{\sqrt{V(\hat{t}_\pi)}}{\hat{t}_\pi}$

- Determinar el tamaño adecuado tanto para un buen resultado teórico como para resultados accesibles, es decir, que los costos y el tiempo no superen los que se tienen planeados.
- Luego aplicar muestreo con ese tamaño de muestra.

Para este caso, la aplicación del muestreo aleatorio simple se realiza por el método de Fan-Muller el cual genera números pseudoaleatorios entre 0 y 1 por computador o en calculadoras y si se supera el valor del número de la muestra sobre el total poblacional entonces se elige, en caso contrario no.

Aplicación del método sobre la Muestra Estrato2 y 3

Variable a Estimar: Consumo por año (kwh/año).

Primer Estrato: todos los individuos incluidos de manera forzosa.

Segundo estrato:

Figura 42: Coeficiente de variación Estrato 2 para la Selección de Empresas

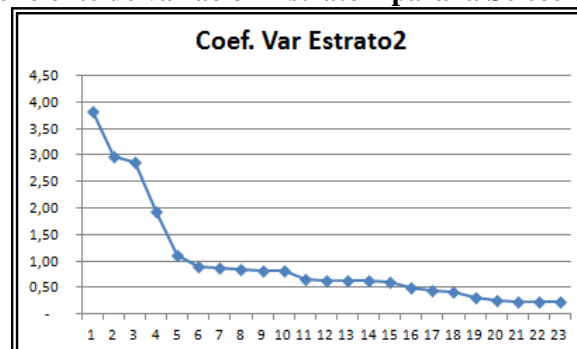
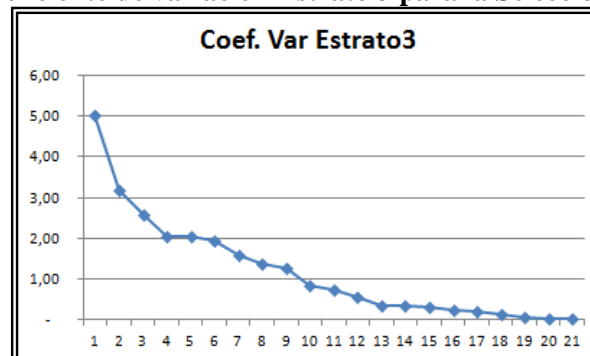


Figura 43: Coeficiente de variación Estrato 3 para la Selección de Empresas



En las gráficas de los coeficientes de variación para los estratos 2 y 3 se obtuvo valores altos del coeficiente de variación. Con base en esta metodología anteriormente descrita se seleccionaron 21 empresas. 9 pertenecientes al estrato 1 y 11 a los estratos 2 y 3. con un coeficiente de variación de 99% en el segundo estrato y de 113% en el tercero. De acuerdo a éste criterio las empresas del estrato 2 por tener mayor confiabilidad de desviación respecto al promedio entre ellas fueron priorizadas para la selección de la siguiente forma:

Tabla 45: Cálculo de intervalos para la muestra con una confianza del 95%

Rangos de confianza para selección de la muestra			
Tamaño Muestra	9	23	22
Confianza	95%	95%	95%
alfa	5%	5%	5%
Z ()	1,96	1,96	1,96
Intervalos Inferior	17.355.796	2.666.862	107.372
Intervalo Superior	133.300.692	6.266.801	296.539

Para el cálculo anterior se utilizó la herramienta contenida en Excel de Microsoft office⁴, con la cual se puede calcular los límites de selección para obtener una confiabilidad del 95% en la muestra. Para nuestro caso se conoce que las empresas del estrato 1 fueron seleccionadas en su totalidad y que las empresas del estrato 2 por tener mayor afinidad en su coeficiente de variación serían las restantes seleccionadas, por lo tanto del anterior gráfico se obtiene que la muestra tiene una confiabilidad del 87% puesto que las empresas seleccionadas cumplen con los rangos descritos en la Tabla 45.

Estrato 1(Consumo superior a 20 millones de kwh/año):

- Alpina S.A. Sopo
- Colanta Ltda. Funza
- Colanta Ltda. Medellín
- Colanta Ltda. San Pedro de Los Milagros
- Colanta Ltda. Planeta Rica
- Alquería S.A. Cajicá
- Algarra S.A. Cogua
- Alimentos del Valle S.A (Inducolsa S.A). Cali
- Cooperativa de Productores de Leche de la Costa Atlántica Ltda. Coolechera. Barranquilla.

Estrato 2 y 3:

- Parmalat Colombia Ltda
- El Recreo S.A
- Meals de Colombia SAS
- El Pomar S.A
- Coolesar S.A
- Central Lechera de Manizales – CELEMA
- Aerodelicias Ltda – Alimentos Pippo S.A
- Lácteos Rionegro
- Prodilacteos Ltda
- Ceuco de Colombia Ltda.
- Colfrance C P S EN C
- Lácteos El Galán

⁴ Método de cálculo utilizado para encontrar los intervalos de confianza en: <https://www.youtube.com/watch?v=e2mIjtH64rE>

Anexo 2: Análisis de mercado: Producción Importaciones y Exportaciones mundial 2011

[Volver a los anexos](#)

Tabla 46: Análisis de mercado: Producción Importaciones y Exportaciones mundial 2011 (6)

Unidades en miles de millones de litros (Aprox)	Producción 2011	Importaciones 2011	Exportaciones 2011
Asia	265,1	27,3	4,7
Arabia Saudita	2,3	2,1	1,4
China	45,6	5,4	0,1
Corea	2,2	0,6	-
Filipinas	-	1,4	0,2
India	119,4	0,3	0,3
Indonesia	1,4	1,7	0,3
Irán	8,1	0,6	0,1
Japón	7,7	1,3	-
Malasia	0,1	1,2	0,2
Pakistán	32,0	0,3	-
Singapur	-	1,5	0,5
Tailandia	0,9	1,0	0,1
Turquía	12,2	0,4	0,2
África	38,0	8,1	2,0
Argelia	2,0	2,2	1,0
Egipto	6,0	1,3	0,6
Kenia	4,6	-	-
Sudáfrica	3,2	0,1	0,1
Sudán	7,5	0,3	-
Túnez	1,2	0,2	0,1
América Central	16,6	3,7	0,5
Costa Rica	0,9	-	0,1
México	11,3	2,2	0,1
América del Sur	64,1	2,0	3,4
Argentina	11,1	0,1	1,9
Brasil	30,7	0,6	0,2
Colombia	6,4	-	-
Uruguay	1,6	-	0,9
Venezuela	2,7	0,9	-
América del Norte	97,0	1,4	4,5
Canadá	8,4	0,4	0,1
EEUU	88,6	1,0	4,3
Europa	216,6	4,9	16,6
Belarús	6,9	-	2,6
Rusia	31,1	2,8	0,2

Unidades en miles de millones de litros (Aprox)	Producción 2011	Importaciones 2011	Exportaciones 2011
Ucrania	10,9	0,1	0,7
Unión Europea	156,4	1,0	12,4
Oceanía	26,4	0,9	17,5
Australia	9,1	0,6	3,2
Nueva Zelanda	17,2	0,1	14,4
Mundo	723,8	48,2	48,3

Anexo 3: Producto interno bruto 2013 – Colombia

[Volver a los anexos](#)

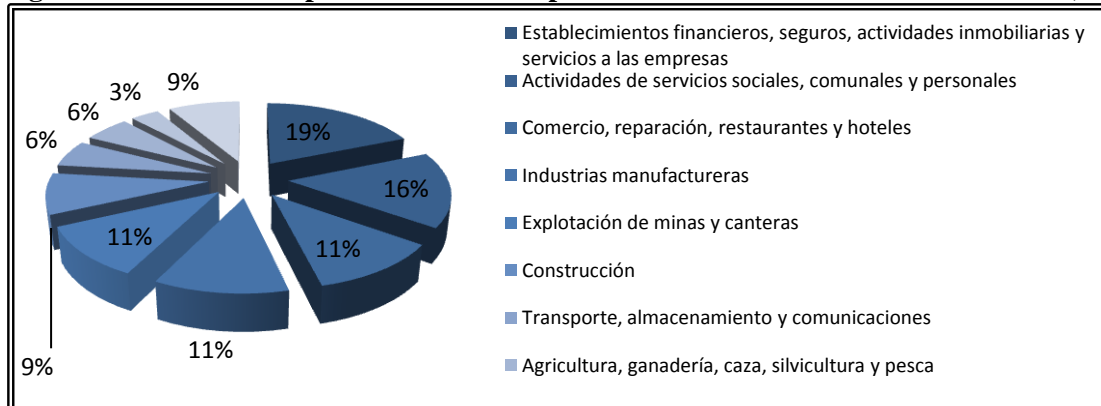
Tabla 47: Producto interno bruto 2013 - Colombia

Ramas de la Actividad Económica	2012	2013
	Anual	Anual
Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca	38.368	39.098
Explotación de minas y canteras	73.343	75.726
Industrias manufactureras	79.973	79.605
Suministro de electricidad, gas y agua	22.399	23.980
Construcción	52.856	61.007
Comercio, reparación, restaurantes y hoteles	75.663	80.718
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	38.018	40.113
Establecimientos financieros, seguros, actividades inmobiliarias y servicios a las empresas	123.852	132.856
Actividades de servicios sociales, comunales y personales	103.681	112.952
Subtotal Valor agregado	608.153	646.055
IVA no deducible	37.903	40.171
Derechos e impuestos sobre las importaciones	5.321	5.402
Impuestos excepto IVA	15.070	16.114
Subvenciones	1.006	1.065
Total Impuestos	57.288	60.622
PRODUCTO INTERNO BRUTO	665.441	706.677

El valor de la producción bruta total para el sector industrial en el año 2012, ascendió a \$201,3 billones, de los cuales el 80,4% se concentró en 17 de los 66 grupos industriales, también el 60,8% de esta producción fue realizada por los establecimientos que funcionan como sociedades anónimas, seguida por las sociedades industriales y comerciales del estado con 12,9%. Con estas mismas cifras el DANE para el año 2012, especifica que el sector Industrial concentra el 72% del personal ocupado en un total de 486.195 empleados para 19 de los 66 grupos industriales, dentro de estos grupos los de mayor participación fueron: otros productos químicos (9,4%), prendas de vestir (8,9%), productos de plástico (7,2%) y productos minerales no metálicos (4,6%). La producción de Lácteos se encuentra ubicada en el decimo lugar con el (2,8%) y refiere 18.723 personas ocupadas. (20)

A continuación se presenta la distribución porcentual por ramas de la actividad económica del PIB nacional año 2013:

Figura 44: Distribución porcentual del PIB por Ramas de Actividad económica 2013 (19)

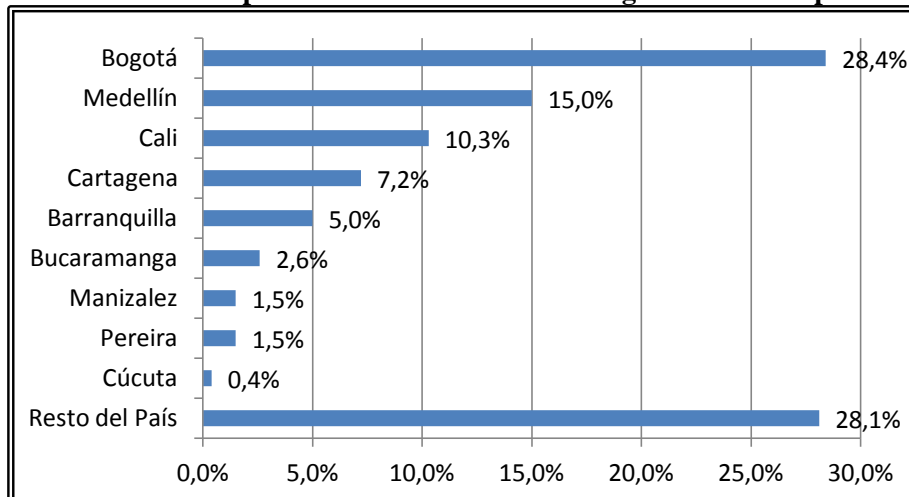


Fuente: 2013, DANE, Banco de la República, Elaboración Propia

Los Establecimientos financieros, seguros, actividades inmobiliarias y servicios a las empresas se posicionan como líderes en el país con un aporte al PIB del 19%, seguido por las actividades de servicios sociales, comunales y personales con el 16%, el comercio, reparación, restaurantes y hoteles con el 11%, y las Industrias manufactureras con el 11%.

Por otra parte, el DANE presenta un consolidado de resultados para la industria de manufactura del año 2012, en ella afirma que el 54,0% de la producción se concentra en las áreas metropolitanas de Bogotá D.C, Medellín y Cali, los datos se pueden consultar en la encuesta anual de manufacturera – EAM, por medio de boletines en la página web oficial del DANE (24). A continuación se presenta la producción bruta por regiones representadas en sus áreas metropolitanas para el año 2012.

Figura 45: Distribución de la producción bruta industrial según área metropolitana - 2012 (48)



Fuente: EAM Dane 2012

Bogotá se consolida como el área metropolitana de mayor aporte al PIB nacional en la Industria de manufactura con el 28%, seguido de Medellín y Cali con el 15% y 10% respectivamente, y el 47% se lo distribuye el resto del país.

Anexo 4: Factor de Conversión de Unidades originales a Teracalorías (Tcal)

[Volver a los anexos](#)

Para el presente documento se trabajará en las unidades originales definidas por la UPME utilizando el factor de conversión para llevar a Teracalorías (Tcal) los energéticos utilizando el siguiente procedimiento:

Tabla 48: Factor de Conversión de Unidades originales a Teracalorías (Tcal) (22)

Energético	Unidades Originales UPME	Factor de Conversión con tres decimales
Alcohol Carburante	kBL	0,804
Bagazo	kTON	1,820
Biogás	kBL	1,330
Carbón Leña	kTON	6,533
Carbón Mineral	kTON	6,501
Coque	kTON	4,803
Diesel Oil	kBL	1,380
Energía Eléctrica	GWH	0,860
Fuel Oil	kBL	1,484
Gas Industrial	TCAL	1,000
Gas licuado del Petróleo	kBL	0,950
Gas Natural	MPC	0,234
Gasolina Motor	kBL	1,220
Kerosene y Jet Fuel	kBL	1,329
Leña	kTON	3,586
No Energéticos	kBL	1,375
Petróleo	kBL	1,380
Residuos	TCAL	1,000

El factor de conversión se utiliza de la siguiente forma:

$$[Tcal] : [Unidades\ originales \times Factor\ de\ conversión]$$

También se presenta las equivalentes de algunas unidades trabajadas en Colombia para los energéticos presentados anteriormente.

Tabla 49: Equivalente de Unidades originales a Unidades conocidas en Colombia (22)

Energético	Unidades Originales UPME	A unidades trabajadas en Colombia
Alcohol Carburante	kBL	42.033 Galones
Bagazo	kTON	-
Biogás	kBL	42.033 Galones
Carbón Leña	kTON	-
Carbón Mineral	kTON	-
Coque	kTON	-
Diesel Oil	kBL	42.033 Galones
Energía Eléctrica	GWH	-
Fuel Oil	kBL	42.033 Galones
Gas Industrial	TCAL	-
Gas licuado del Petróleo	kBL	42.033 Galones
Gas Natural	MPC	28.316 m3
Gasolina Motor	kBL	42.033 Galones
Kerosene y Jet Fuel	kBL	42.033 Galones
Leña	kTON	-
No Energéticos	kBL	42.033 Galones
Petróleo	kBL	42.033 Galones
Residuos	TCAL	-

Las unidades de la tabla se presentan como unidades equivalentes, por ejemplo para la gasolina motor, 1000BL son equivalentes a 42.033 galones así:

$$[Unidades\ originales] : [Unidades\ trabajadas\ en\ Colombia]$$

A continuación se presenta algunas conversiones de las diferentes unidades originales utilizadas en Colombia expresadas en kwh, esto hace referencia a las unidades de consumo “de pequeño valor”, puesto que si se expresan en Tcal quedarían perdidas numéricamente porque serían menores a 1Tcal.

Tabla 50: Conversión de algunos energéticos a kwh (49) (50):

Energético en unidades originales	A kwh
1 m ³ de Gas natural:	10,46kwh
1 Tonelada de carbón mineral:	7559 kwh
1 Galón de gasolina:	41 kwh
1 Galón de Diesel Oil:	40,2 kwh
1 Galón de Fuel Oil:	41,05 kwh
1 Galón de GLP	28,51 kwh

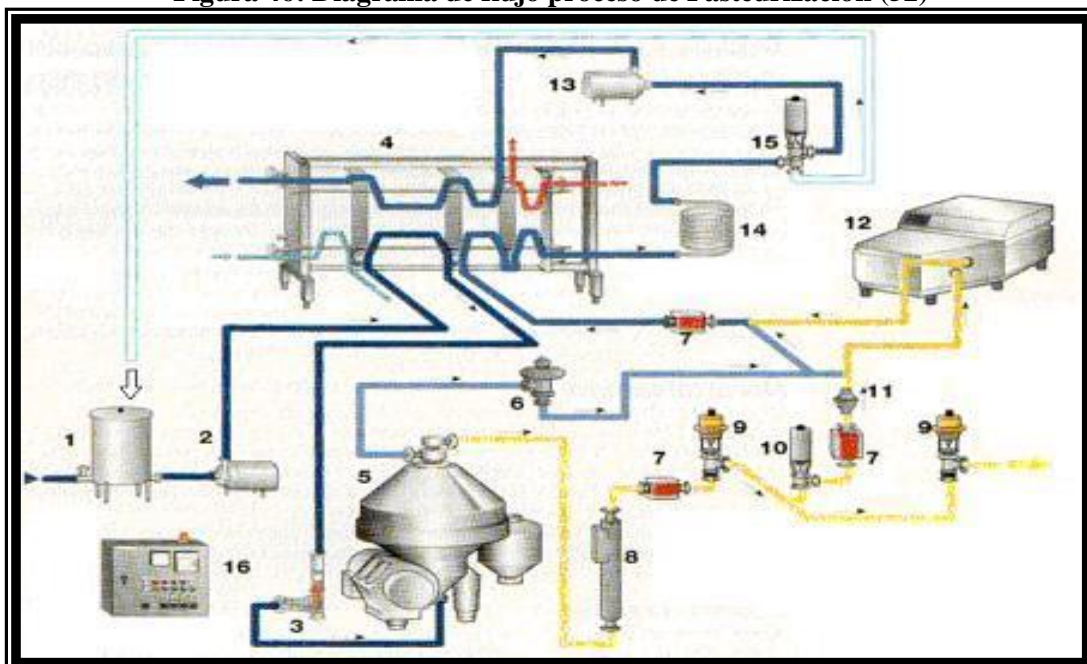
Anexo 5: Descripción de los Procesos para la elaboración de lácteos intensivos en el consumo de Energéticos

[Volver a los anexos](#)

1. Pasteurización

El objetivo de este proceso es asegurar la eliminación de los microorganismos patógenos y los más termosensibles, como coliformes, bacterias, protozoos, mohos y levaduras, lo que permite la conservación durante un mayor periodo de tiempo al producto procesado. Esto se logra elevando la leche a una temperatura de $74^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, durante un período corto de tiempo, aproximadamente de 15 segundos, seguido de un descenso rápido de la temperatura. La leche es conducida de los silos de almacenamiento de leche cruda a través de las tuberías en acero inoxidable (ainox) y los diferentes equipos encargados de realizar el proceso, como se describe la siguiente figura. (51)

Figura 46: Diagrama de flujo proceso de Pasteurización (52)



Componentes del sistema

1. Tanque de Regulación
2. Bomba de alimentación
3. Controlador de caudal
4. Intercambiador de calor
5. Centrifuga
6. Válvula de presión constante
7. Transmisor de caudal
8. Transmisor de densidad
9. Válvula de Regulación
10. Válvula de cierre
11. Válvula Antirretorno

12. Homogenizador
13. Bomba de refuerzo
14. Tubo de mantenimiento
15. Válvula de desvío de flujo
16. Sistema de control

Pasos:

- Inicia en el tanque balance o de regulación 1., el cual se encarga de mantener el producto libre de aire y un flujo constante para asegurar que la bomba centrífuga 2., funcione correctamente y evitar problemas de cavitación.
- Se lleva al intercambiador de placas 4., para su precalentamiento con la leche que previamente ha pasado por el proceso.
- Continúa a la desnatadora centrífuga 5., donde se retira la grasa y la nata de cierto porcentaje contenido en la leche.
- En el homogenizador 12., se estabiliza la emulsión de grasa a través de la disrupción de los glóbulos de grasa en otros más pequeños, el homogenizador también cumple la función de estabilizar el contenido de grasa de la leche desnatada al nivel requerido.
- A continuación el producto es llevado al intercambiador de calor de placas para elevar su temperatura a 74°C.
- El tiempo de retención 14., es para mantener la leche a una temperatura de 74°C durante 15 segundos, este proceso se da en el tubo de retención.
- El producto pasa a la sección de enfriamiento regenerativo del intercambiador de calor, donde se extrae calor con el producto entrante que se encuentra frío y finalmente es pasteurizado con un choque térmico a 4°C para ser almacenado en los silos de producto pasteurizado.

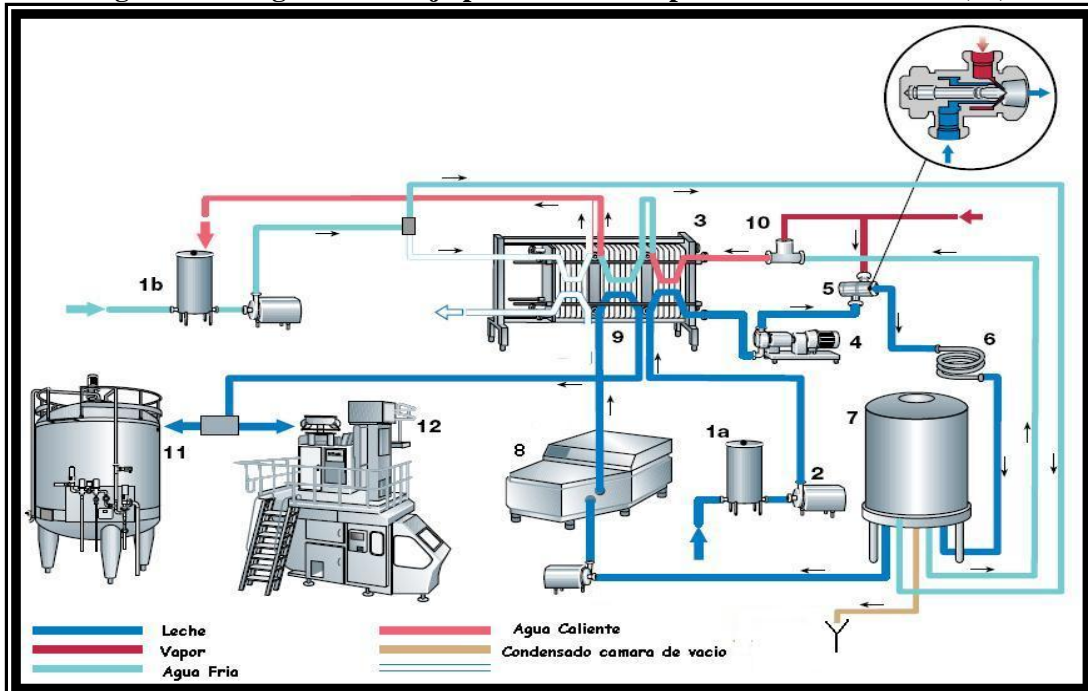
2. Ultrapasteurización UHT (Ultra Alta Temperatura)

El objetivo de los sistemas de Ultrapasteurización es extender la vida útil del producto entre 30, 40 y hasta 120 días adicionales al proceso de pasteurización normal, esto consiste en elevar el producto hasta una temperatura entre 135°C a 150°C durante un tiempo de retención de 2 a 4 segundos. (51) En el sector se manejan dos sistemas de Ultrapasteurización: por inyección de vapor directa al producto y de forma indirecta mediante intercambiadores de calor tubulares. A continuación se hace una breve descripción de los ciclos de producción para cada uno de los sistemas:

2.1 Ultrapasteurización Directa:

La característica fundamental de este proceso es la eliminación total de la carga microbiana dispuesta en la leche mediante la inyección directa de vapor de agua al producto, este proceso genera condensado de vapor mezclado con leche como residuo, además su consumo de vapor es muy elevado para el proceso que realiza de Ultrapasteurización con presiones de vacío. Aproximadamente para un Ultrapasteurizador de 16.000 l/h el consumo de vapor durante producción puede llegar a los 3.000 kg/h.

Figura 47: Diagrama de flujo proceso de Ultrapasteurización Directa (52)



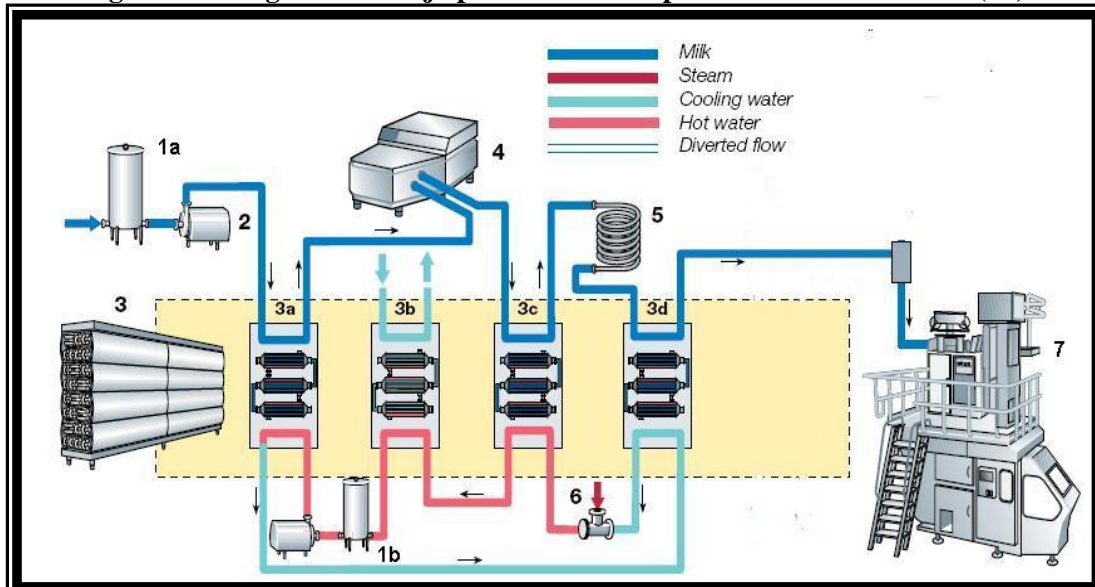
Pasos:

- El tanque balance de producto 1A., tiene como función mantener un nivel constante y eliminar las burbujas de aire en el producto con el fin de amortiguar el flujo antes de la entrada a la bomba M2.
- El Tanque de Balance 1^b del sistema, es utilizado para el agua de enfriamiento de la cámara de vacío y precalentamiento del producto.
- La Bomba “M2” 4., es la encargada de impulsar el producto hacia el precalentador y la cámara de vacío.
- El precalentador 3., lleva el agua a una temperatura de 80°C por medio del circuito de agua caliente con el fin de precalentar el producto antes de su Ultrapasteurización.
- El Inyector de vapor 5., realiza la inyección de vapor y permite elevar la temperatura de pasteurización entre los 135 °C y 150°C.
- El tubo de retención 6., mantiene la temperatura de Ultrapasteurización entre 2 y 4 segundos antes de su ingreso a la cámara de vacío.
- La Cámara de vacío 7., retira el exceso de agua vapor agregado al producto por medio de un sistema de baja presión (extracción de por vacío-condensación).
- La Bomba “M5”, envía el producto hacia el homogenizador, el cual maneja presiones entre los 150 y los 200 bares.
- El Homogenizador aséptico 8., estabiliza la emulsión de grasa frente a la separación espontánea que se produce por la acción de la gravedad.
- Enfriamiento 9., El producto es enfriado por regeneración con el circuito del agua de torre.
- Inyección de vapor 10., Es donde ocurre la Ultrapasteurización del producto con vapor de agua y a una presión que oscila entre 3,0 y 3,5 bares.
- Tanque Aséptico 11. El producto puede ser almacenado para ser dispuesto asépticamente.
- Envasadora Aséptica 12. Es donde se empaqa finalmente el producto ultrapasteurizado.

2.2 Ultrapasteurización Indirecta

Igual que el sistema de Ultrapasteurización directa, el proceso inicia con el envío de la leche previamente pasteurizada hacia el tanque de balance de producto y continua con la secuencia descrita a continuación, tal como se observa en siguiente figura:

Figura 48: Diagrama de flujo proceso de Ultrapasteurización Indirecta (52)



Pasos:

- El Tanque de balance producto 1^a., tiene como función mantener un nivel constante y eliminar las burbujas de aire en el producto con el fin de amortiguar el flujo antes de la entrada a la bomba M2. El Tanque de Balance del sistema de agua 1^b., se utiliza para el enfriamiento del producto en el intercambiador tubular y el precalentamiento del producto entrante.
- La Bomba “M2” 2., es la encargada de impulsar el producto hacia el precalentador del intercambiador tubular.
- El Intercambiador de calor Tubular 3., se divide en las siguientes secciones: 3a) Sección de precalentamiento del producto hasta los 80 °C por medio del agua que previamente es calentada con vapor a ésta misma temperatura. 3b) Sección de enfriamiento medio con agua de torre, se realiza con el fin disminuir la temperatura del agua antes de pasar a la sección de precalentamiento del producto y evitar alteraciones en la composición fisicoquímica de este para que se realice una óptima homogenización. 3c) En ésta sección se realiza la esterilización de producto entre 135°C a 150°C. 3d) Sección de enfriamiento regenerativo por medio del agua previamente enfriada con el producto entrante al sistema.
- Homogenización del producto 4.
- Tubo de retención 5., mantiene entre 2 a 4 segundos el producto antes del ingreso a la sección de enfriamiento.
- Envasado aséptico 7.

3. Envasado Aséptico

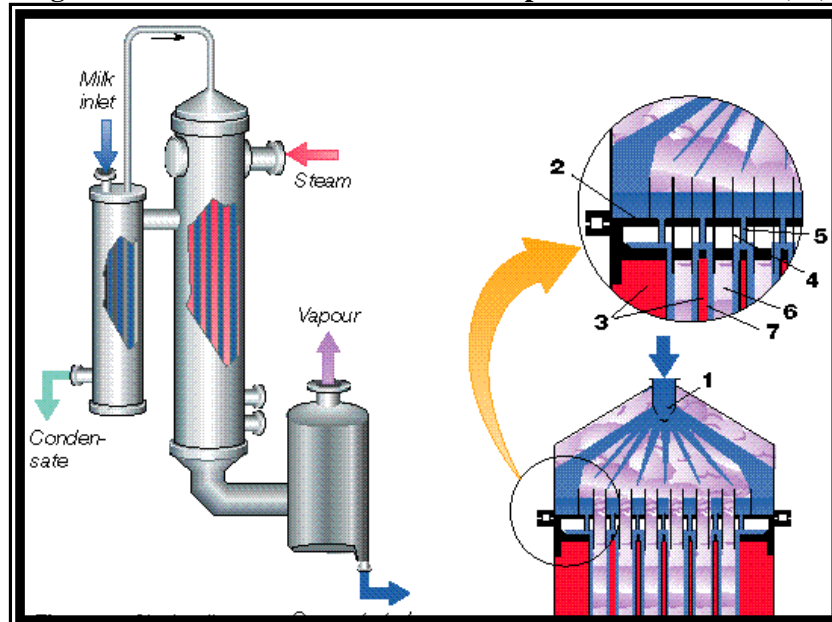
El objetivo de este proceso es asegurar las condiciones estériles del producto durante el envasado, se realiza mediante la esterilización del material de empaque con peróxido de hidrógeno, el cual es removido posteriormente aplicando una corriente de aire caliente, el proceso continúa con un sistema de llenado en un ambiente aséptico y un sellado hermético. En este proceso se presenta la generación de residuos de papel cartón, polietileno y vertimientos lácteos. El producto no apto para el mercado es llamado “rotura” de producción y oscila entre el 0,5% y el 3% del total producido.

El peróxido de hidrógeno, presenta especial importancia desde el punto de vista de salud ocupacional, puesto que la mayoría de este se evapora y la zona de envasado es un ambiente aséptico, por lo que en muchas plantas no existe una adecuada ventilación, causando irritaciones en los ojos y piel en los operarios y el personal en general, que transitan esta zona. Todas las estas envasadoras cuentan con un sistema de enfriamiento de agua refrigerada que tiene un sistema cerrado de recirculación sin vertimientos ni consumos de agua.

4. Proceso de Evaporación y secado de la leche (Pulverización)

Evaporación: Es el proceso que transforma un producto líquido en un producto seco. Este proceso consiste en la ebullición y eliminación del agua de la solución. Su principal equipo consumidor de energía térmica en forma de vapor es la calandria, éste es un evaporador de película descendente tipo tubular el cual está compuesto por un número de tubos que son construidos a lado y lado, cuyos extremos se fijan a placas y todo el cuerpo de tubos está encerrado en una sola camisa a través de la cual se introduce vapor. Tanto los tubos como las placas son de acero inoxidable, en las calandrias se definen dos zonas según su comportamiento térmico: una de ellas es la de calentamiento y corresponde al espacio entre los tubos, es decir, sus lados exteriores los cuales reciben el calor por medio del vapor introducido a través de la camisa y; el lado interior de los tubos se denomina la sección de ebullición, la cual es operada bajo vacío para evitar la desnaturalización de las proteínas y los valores nutritivos del producto. El sistema de admisión del producto lo conforman unas boquillas de alimentación, las cuales distribuyen el producto sobre una placa de distribución.

Figura 49: Calandria en Proceso de Evaporación de la leche (52)

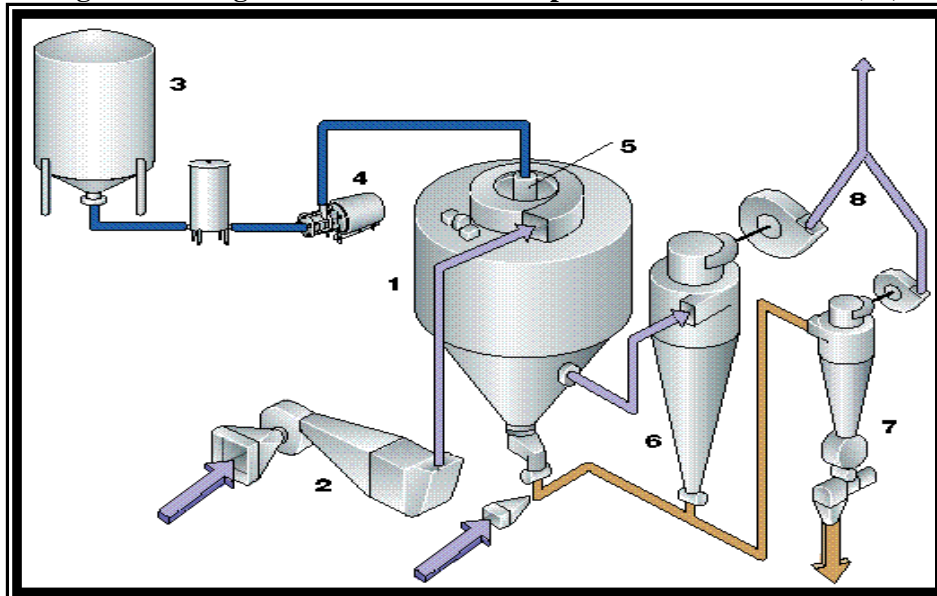


Evaporador de película descendente de simple efecto

1. Boquilla de alimentación de producto,
2. Plato de distribución,
3. Vapor para calentamiento,
4. Tubos coaxiales,
5. Aberturas,
6. Vapor,
7. Tubos del evaporador.

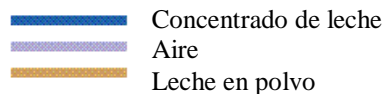
Secado: Todos los equipos involucrados en el proceso por el cual el agua presente en un producto líquido se elimina, solo de ésta forma el producto adquiere un estado sólido.

Figura 50: Diagrama de Secado en Una planta de Pulverización (52)



Secador

- 1. Cámara de secado,
- 2. Calentador de aire,
- 3. Tanque de concentrado de leche,
- 4. Bomba de alta presión,
- 5. Atomizador,
- 6. Ciclón principal,
- 7. Ciclón separador del sistema de transporte,
- 8. Ventiladores de aspiración de aire y filtros.



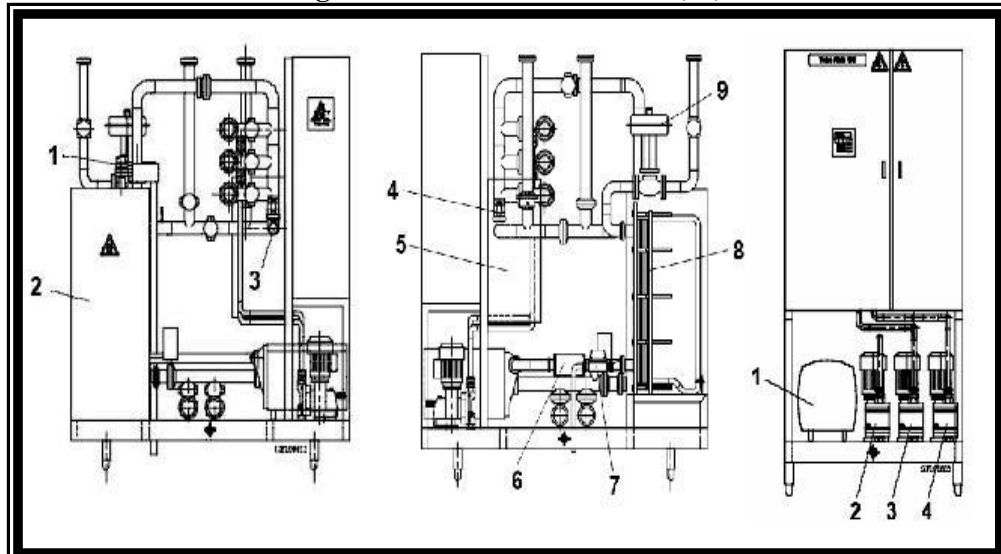
Cámara de Secado

- 1. Condensador,
- 2. Entrada tangencial de leche,
- 3. Salida de leche con sistema de control de nivel.

5. Lavados CIP

Todos los equipos y tuberías descritos anteriormente (Pasteurizador de leche, ultrapasteurizadores y envasadoras), son higienizados mediante sistemas de lavado CIP, por sus siglas en ingles Cleaning In Place, lo que traduce limpieza en sitio, y como su nombre lo indica, estos sistemas son diseñados para realizar la limpieza de los equipos y tuberías sin desmontarlos de sus estructuras, haciendo circular agua con alta presión y enjuagues con detergentes alcalinos y ácidos a través de ellos, los cuales se programan en diferentes pasos y secuencias, dependiendo de los tiempos de producción, funcionamiento y productos realizados. La siguiente figura presenta los principales elementos que integran el sistema de lavado CIP, el cual es conectado a cada uno de los sistemas y equipos mediante redes de tubería en acero inoxidable, el sistema puede ser totalmente automático u operado de forma manual, permitiendo de esta manera ahorrar tiempo en operación e insumos comparado con una limpieza manual en sitio.

Figura 51: Vistas Modulo CIP (52)



Componentes del sistema CIP

1. Interruptor de nivel
2. Tanque de circulación
3. Transmisor de conductividad
4. Interruptor de flujo
5. Convertidor de frecuencia
6. Transmisor de flujo
7. Trampa de vapor
8. Intercambiador de calor
9. Válvula reguladora de vapor

Sistema de bombeo

1. Bomba de presión
2. Bomba dosificadora de Soda
3. Bomba dosificadora de ácido
4. Bomba dosificadora de desinfectante

En la mayoría de planta es lavado CIP es muy riguroso, por ejemplo en la planta de Colanta en Funza, se manejan 14 tipos de pasos de lavado como se muestra en la siguiente tabla: siendo los más utilizados el paso 3 (Soda y Ácido) y 7 (Soda, Ácido y Agua Caliente).

Tabla 51: Programa de limpieza CIP en plantas de Proceso (53)

Paso	Programa de Limpieza	Secuencia	Solución	Temperatura
1	Soda	Pre enjuague	Agua	Ambiente
		Soda	Soda Cáustica	80°C ± 5°C
		Enjuague Intermedio 1 (Enjuague Alcalino)	Agua	Ambiente
		Enjuague Final	Agua	Ambiente
2	Acido	Pre enjuague	Agua	Ambiente
		Ácido	Ácido Nítrico	65°C ± 5°C
		Enjuague Intermedio 2 (Enjuague Ácido)	Agua	Ambiente
		Enjuague Final	Agua	Ambiente
3	Soda y Acido	Pre enjuague	Agua	Ambiente
		Soda	Soda Cáustica	80°C ± 5°C
		Enjuague Intermedio 1 (Enjuague Alcalino)	Agua	Ambiente
		Ácido	Ácido Nítrico	65°C ± 5°C
		Enjuague Intermedio 2 (Enjuague Ácido)	Agua	Ambiente
		Enjuague Final	Agua	Ambiente
4	Acido y Soda	Pre enjuague	Agua	Ambiente
		Ácido	Ácido Nítrico	65°C ± 5°C
		Enjuague Intermedio 2 (Enjuague Ácido)	Agua	Ambiente
		Soda	Soda Cáustica	85°C ± 5°C
		Enjuague Intermedio 1 (Enjuague Alcalino)	Agua	Ambiente
		Enjuague Final	Agua	Ambiente
5	Soda, Acido y Soda	Pre enjuague	Agua	Ambiente
		Soda	Soda Cáustica	85°C ± 5°C
		Enjuague Intermedio 1 (Enjuague Alcalino)	Agua	Ambiente
		Ácido	Ácido Nítrico	65°C ± 5°C
		Enjuague Intermedio 2 (Enjuague Ácido)	Agua	Ambiente
		Soda	Soda Cáustica	85°C ± 5°C
		Enjuague Intermedio 1 (Enjuague Alcalino)	Agua	Ambiente
		Enjuague Final	Agua	Ambiente
6	Soda y Agua Caliente	Pre enjuague	Agua	Ambiente
		Soda	Soda Cáustica	85°C ± 5°C
		Enjuague Intermedio 1 (Enjuague Alcalino)	Agua	Ambiente
		Agua caliente	Agua	85°C ± 5°C

Paso	Programa de Limpieza	Secuencia	Solución	Temperatura
7	Soda, Acido y Agua Caliente	Pre enjuague	Agua	Ambiente
		Soda	Soda Cáustica	85°C ± 5°C
		Enjuague Intermedio 1 (Enjuague Alcalino)	Agua	Ambiente
		Ácido	Ácido Nítrico	65°C ± 5°C
		Enjuague Intermedio 2 (Enjuague Ácido)	Agua	Ambiente
		Agua caliente	Agua	85°C ± 5°C
8	Acido, Soda y Agua Caliente	Pre enjuague	Agua	Ambiente
		Ácido	Ácido Nítrico	65°C ± 5°C
		Enjuague Intermedio 2 (Enjuague Ácido)	Agua	Ambiente
		Soda	Soda Cáustica	85°C ± 5°C
		Enjuague Intermedio 1 (Enjuague Alcalino)	Agua	Ambiente
		Agua caliente	Agua	85°C ± 5°C
9	Soda, Desinfectante	No Determinado	No Determinado	No Determinado
10	Soda, Ácido y Desinfectante	No Determinado	No Determinado	No Determinado
11	Desinfectante	No Determinado	No Determinado	No Determinado
12	Enjuague Final	Enjuague Final	Agua	Ambiente
13	Desinfectante / Enjuague Final	No Determinado	No Determinado	No Determinado
14	Agua Caliente	Agua caliente	Agua	85°C ± 5°C

Las concentraciones para el lavado con estos detergentes se muestran en la tabla

Tabla 52 Concentraciones de los detergentes para el CIP

Detergente	Concentración
Soda Cáustica	2-2.5%
Ácido Nítrico	1-1.5%

En la siguiente tabla se muestran algunos insumos químicos requeridos para procesar aproximadamente 350.000 litros al mes.

Tabla 53 Consumo de insumos para el proceso de CIP

Insumo	Volumen	Cantidad
Soda Cáustica (49%)	17.286	kg/Mes
Ácido Nítrico (51%)	14.839	kg/Mes

Insumo	Volumen	Cantidad
Agua potable	2.940	m3/Mes

Anexo 6: Normatividad y Marco legal

[Volver a los anexos](#)

Decreto 616 de 2006 (43): Por el cual se expide el Reglamento Técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para consumo humano que se obtenga, procese, envase, transporte, comercializa, expendia, exporte o importe en el país, con el objeto de proteger la vida, la salud y la seguridad humana y prevenir las prácticas que puedan inducir a error, confusión o a engaño en los consumidores.

Decreto 3075 de 1997 (54): Principalmente se destaca el artículo 5 en donde se referencia la producción, procesamiento, almacenamiento, transporte, envase, rotulación, expendio y demás aspectos relacionados con la leche, los cuales se registrarán por la ley 09/79 y los Decretos reglamentarios 2437 de 1983, 2473 de 1987 y los demás que los modifiquen, sustituyan o adicionen. Además el artículo 3o. declara que los alimentos de mayor riesgo en salud pública son los siguientes: Carne, productos cárnicos y sus preparados, Leche y derivados lácteos, Productos de la pesca y sus derivados, Productos preparados a base de huevo, Alimentos de baja acidez empacados en envases sellados herméticamente. ($\text{pH} > 4.5$), alimentos o Comidas preparados de origen animal listos para el consumo, Agua envasada y Alimentos infantiles.

Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 (55): Esta política presenta la necesidad del país en encontrar desarrollo de estrategias para reducir las emisiones de GEI optimizando de forma eficiente los recursos energéticos, por ejemplo abogando por una mayor eficiencia de la canasta energética la cual establece mecanismos e instrumentos para suplir la demanda con energéticos de calidad, de manera confiable, y que a su vez contribuyan con la conservación del medio ambiente, solo de ésta forma una empresa que utilice el recurso energético se vuelve sostenible. Pero entonces el país deberá: 1. implementar la Política Nacional de Cambio Climático; 2. conformar el Sistema Nacional de Cambio Climático, que fortalezca la gestión de la información en cambio climático y la gestión financiera para atender y ejecutar proyectos y programas de mitigación y adaptación; 3. Identificar y priorizar medidas de adaptación al cambio climático, a partir de análisis de vulnerabilidad, en el marco de un Plan Nacional de Adaptación soportado en una estrategia financiera que contemple recursos nacionales y recursos internacionales de cooperación; 4. fortalecer la generación de información para los análisis de vulnerabilidad sectoriales y territoriales; 5. diseñar, de la mano con los sectores y las regiones, una estrategia de desarrollo bajo en carbono, que incluya la reducción de emisiones de GEI por deforestación evitada para que el país acceda a recursos financieros favorables de bajo costo, a transferencia de tecnología apropiada, participe en mecanismos de mercado de carbono y fondos de mitigación 6. Identificar y valorar barreras comerciales asociadas a actividades productivas, productos y servicios con una huella de carbono alta y oportunidades de negocio generadas por ventajas competitivas de carbono-intensidad.”

Política Nacional de Producción más Limpia (56): En agosto de 1997 el Consejo Nacional Ambiental adoptó la Política Nacional de Producción Más Limpia, la cual contempla dentro de sus estrategias los siguientes ítems:

- Promover la autorregulación y la autogestión a partir de la puesta en marcha de convenios de concertación para una Producción Más Limpia de carácter sectorial y regional, que deben ser entendidos como instrumentos que faciliten la gestión ambiental entre las autoridades ambientales y los respectivos sectores productivos.
- Formulación e implementación de instrumentos económicos para incentivar la adopción de producción más limpia, determinando su efectividad ambiental esperada respecto a su contribución a las metas de calidad ambiental.

Convenio de concertación para una producción más limpia entre el subsector de la industria láctea y la corporación autónoma regional de Cundinamarca (57): El objetivo general de este convenio es adoptar acciones concretas por parte de la industria láctea (centros de acopio y plantas de procesamiento), tendientes a la mejora de su desempeño ambiental, con énfasis en la prevención de la contaminación y la eco-eficiencia, logrando así, la implementación de buenas prácticas ambientales adicionales al cumplimiento de la legislación ambiental vigente, contribuyendo a la competitividad sectorial y garantizando la sostenibilidad de la base natural de la región sobre los cuales tiene influencia este sistema productivo.

El convenio establece una serie de compromisos por parte de los empresarios adherentes, tendientes a la mejora del desempeño ambiental de las organizaciones, contemplando la implementación de indicadores y acciones concretas en cada uno de los componentes ambientales.

Anexo 7: Valoración Financiera de proyectos identificados

[Volver a los anexos](#)

El objetivo de éste anexo es formular la metodología empleada para la valoración financiera de proyectos tecnológicos identificados. Se evidencian unidades productivas de gran tamaño, medianas y pequeñas, con brechas en su desarrollo tecnológico. Los perfiles energéticos, en cuanto al uso final de la energía son distintos a si como su arquitectura organizacional, participación en el mercado, y musculo financiero.

Existen diferentes métodos de valoración de los equipos unos más sofisticados que otros, los más conocidos para el común de las personas son: A precio de mercado, nuevo, y otro que supone un comportamiento dinámico de las variables relacionadas con la generación de ingresos y gastos. Para este ejercicio se utilizo este último método. En este escenario, la variable a evaluar para los equipos nuevos es su comportamiento energético relacionado con su capacidad nominal de producción. Los consumos de energía por unidad de producción (Intensidad energética) del nuevo equipo comparados con los del que se va a reemplazar, deben ser menores y por consiguiente generar ahorros que a precios de hoy se evaluaran usando la metodología del valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno, la relación costo beneficio y el tiempo de recuperación de la inversión (Pay back) para determinar la viabilidad y rentabilidad de la inversión.

Valor presente neto (VPN): Este método, consiste en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso Inicial. Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial; o sea si este valor es positivo es recomendable que el proyecto sea aceptado. Es decir el proyecto es viable.

De acuerdo con lo anterior el VPN de un proyecto estará dado por la formula:

$$VPN = S_0 + \sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+i)^t}$$

VPN = Valor presente neto.

S₀ = - Inversión Inicial.

S_t = Flujo de efectivo neto del período t.

n = Número de períodos de vida del proyecto.

i = Tasa de interés

Tasa interna de retorno (TIR): La tasa interna de rendimiento (TIR), está definida como la tasa de interés que reduce a cero el valor presente, el valor futuro, o el valor anual equivalente de una serie de ingresos y egresos. Es decir, la tasa interna de rendimiento de una propuesta de inversión, es aquella tasa de interés i^* que satisface cualquiera de las siguientes ecuaciones:

$$\sum_{t=0}^n \frac{S_t}{(1+i^*)^t} = 0$$

$$\sum_{t=0}^n S_t (1+i^*)^{n-t} = 0$$

$$\sum_{t=0}^n S_t (P/F, i^*, t)(A/P, i^*, n)$$

Donde:

S_t = Flujo de efectivo neto en periodo t

n = Periodo de evaluación del inversión

Relación beneficio costo: Este indicador relaciona los valores presentes de los ingresos y egresos y se utiliza para cuantificar los beneficios del proyecto. Para el presente ejercicio se tomaran los valores presentes de los ahorros energéticos y el de los costos que se causen con motivo de la implementación de la tecnología escogida.

La formula general más utilizada es la siguiente:

$$B = \sum_{t=1}^{t=n} b_t (1+i)^t \quad ; \quad C = \sum_{t=1}^{t=n} c_t (1+i)^t \quad ; \quad C/B = \frac{B}{C} = \frac{B}{I+C}$$

Si:

$B/C \geq 1$ El proyecto es viable; ya que, por cada peso de costo se obtiene lo equivalente a uno o más pesos de beneficio.

Donde:

t = Número de período.

I = Inversión de capital.

B = Beneficios.

b_t = Beneficio del período t .

C = Costo.

c_t = Beneficio del período t .

Tiempo de recuperación de la inversión (Pay Back): Este método nos proporciona el plazo en el que recuperamos la inversión inicial a través de los flujos de caja netos, ingresos menos gastos, obtenidos con el proyecto.

La formula general es la siguiente:

$$P\&B = \frac{\sum A}{\sum Q}$$

Donde:

- $\sum A$: Sumatoria de la inversión inicial mas el valor presente de todos los flujos negativos.

- $\sum Q$: Suma de todos los flujos positivos originados por el proyecto de inversión.

Anexo 8: BPOE y tecnologías propuestas para el sector lácteo

[Volver a los anexos](#)

Tabla 54: BPOE y tecnologías en Sistemas Térmicos – Sector Lácteo

Sistemas Térmicos	
Ítem	Corto Plazo - BPOE
1	Separar zonas frías de zonas calientes
2	Usar poca agua cuando se cocine en baño María para que el calor pase más rápidamente. Laboratorio de Microbiología
3	Cuando se utilice los equipos a gas, observar que la llama sea azul; una llama amarilla indica que el gas no se está quemando de forma eficiente y puede necesitar ajuste. En cuartos calientes de muestras de leche
4	Tapar y aislar los tanques de recuperación de condensados para aumentar la temperatura del agua de alimentación de la caldera y reducir el consumo de combustible
5	Verificar que el sistema de aislamiento de las tuberías de vapor y de condensados, estén en buen estado y que las válvulas se encuentren aisladas.
6	Disminuir la humedad del carbón consumido en la caldera.
7	Verificar la temperatura máxima a la que el agua puede ser pasada por la bomba hacia la caldera, con el fin de aumentar la temperatura del agua en el tanque de condensados, evitando ingresar agua fría al sistema y aumentando el retorno de agua caliente.
8	Disminución del tamaño y humedad del carbón consumido en los hornos, ya que un gran tamaño representa alta ineficiencia energética. Evitar la disminución de la temperatura del horno para no tener que usar carbón de gran tamaño. Almacenar el carbón en espacios ausentes de humedad ya que el contenido de agua en el carbón consume alta energía térmica para ser evaporada y es energía no aprovechada en el proceso.
9	Para el acopio curar el piso de los patios con carbón, concientizar a los operarios de los hornos no enterrar las palas o el cargador demasiado haciendo que el carbón o coque se contamine con residuos.
10	Manejo de la granulometría del carbón que es de vital importancia para optimizar la combustión de la partícula, cuanto más uniforme, mejor aprovechamiento.
11	Mejorar la entrada de aire a la succión del tiro del ventilador del horno para optimizar el flujo de oxígeno en las cámaras de combustión.
12	Procurar la mejor combustión, manteniendo los quemadores bien ajustados para una relación perfecta del aire/combustible.
	Mediano Plazo - Implementaciones y/o Adecuación Tecnológica

1	Realizar mantenimientos periódicos a calderas en ajuste de combustión y desincrustación con químicos, ya que la calidad de vapor afecta el producto terminado.
2	Migrar a un intercambiador de calor más eficiente con serpentines en acero inoxidable
3	Reutilizar los gases exhosto de la caldera, para calentar dicha área y disminuir el tiempo de secado
4	Utilización de energía solar para calentamiento de agua, dejando de usar gas natural o GLP para ese propósito y por lo reduciendo las emisiones de gases.
5	Aislar la tubería que retorna el agua caliente de las prensas al tanque de condensados de la caldera con el fin de evitar la pérdida de energía.
6	Calentamiento de agua con energía solar térmica.
7	Construir área protegida de acopio de carbón que lo proteja de la humedad de la lluvia, al ejecutar ampliaciones o modificaciones se recomienda se incluyan en proyectos de secaderos con energía solar usando secaderos de tipo invernadero y con tejas translucidas y recuperación de calor de los gases residuales del horno o calderas.
8	Dado que en las marmitas (que requieren para su operación agua caliente en su camisa) a veces se tienen activas en tiempos sin producción, se recomienda recircular el agua a un sistema cerrado de enfriamiento y calentarla con un calderín lo que aumentaría la capacidad de producción y la eficiencia del sistema
9	Instalar ventiladores eólicos para inyectar y extraer aire fresco del exterior y así forzar a que este circule con mayores cambios, agilizando el proceso de secado.
Largo Plazo - Cambio Tecnológico ó Sustitución de Tecnología Medular	
1	Economizadores: Instalación de Intercambiador o serpentín para el aprovechamiento de los gases de combustión dentro de la chimenea de una caldera. La energía de los gases de combustión son aprovechados para el precalentamiento del agua que se utiliza en el sistema para generar vapor. Ejemplo: www.industrialtijuana.com/pdf/ECONHOJAWEB.pdf
2	Sustitución de Combustibles fósiles para sistemas de combustión en calderas piro-tubulares, por Energéticos mas amigables con el medio ambiente (Ej: Fuel Oil a Gas Natural)

Tabla 55: BPOE y tecnologías en Refrigeración – Sector Lácteo

Refrigeración	
Ítem	Corto Plazo - BPOE
1	Realizar una programación exhaustiva a los operarios determinando tiempos y horarios específicos de apertura de cuartos para la elaboración de actividades internas de carga o descarga con el fin de minimizar tiempos y frecuencias de aperturas en neveras y cavas.
2	Se debe llevar un control zonificado dentro de los cuartos fríos con el objeto de responder a los criterios recomendados de rotación del producto.
3	Rediseñar y estructurar una instalación de menor capacidad de acuerdo a la demanda de producto a ejecutar actualmente por la empresa
4	Sustituir empaques de las puertas de los cuartos fríos que se encuentren deteriorados por empaques de vena gris tipo industrial.
5	Instalar separadores o estanterías tipo rejilla que permitan asegurar una temperatura uniforme para todos los productos almacenados.
6	Eliminar escarcha en los sistemas de refrigeración.
7	Ubicar los equipos de refrigeración en un lugar con espacio para permitir la circulación de aire y fuera del alcance de los rayos solares.
8	Limpiar cada 3 o 4 meses la parte trasera de Neveras y frigoríficos con un paño seco o con aspiradora. La suciedad acumulada en esta zona, dificulta la disipación del calor extraído y aumenta el consumo.
9	Es importante que el congelador este nivelado para un propio funcionamiento. Si no ha sido nivelado durante la instalación, la puerta va a estar desalineada la cual no tendrá un sello seguro produciendo problemas de enfriamiento, escarcha, y humedad.
10	Eliminar fugas de refrigerante en los compresores.
11	Instalar cortinas plásticas o cortinas de aire para zonas de alto tránsito en el cuarto frío. Fomentar una cultura entre los operarios para que no recojan las cortinas.
12	Si los intercambiadores de condensadores y evaporadores se encuentran sucios, desarrollar un programa de mantenimiento preventivo y correctivo, con una frecuencia mensual que mantenga los equipos limpios y libres de incrustaciones.
13	Sólo se debe hacer uso de las unidades de refrigeración cuando sea necesario, se debe asignar un responsable para este control y llevar un registro de las actividades de encendido y apagado.
14	Disminuir la temperatura de las unidades condensadoras de los cuartos fríos., Mejor desempeño de las unidades condensadoras (compresor-condensador).

15	El calor emanado por la unidad de condensación es apreciable se debe aprovechar este calor. Se recomienda un diseño de ingeniería para recuperar una parte del calor de condensación y calentar el ambiente de las oficinas que actualmente tienen una temperatura bastante baja en climas fríos.
16	Capacidad de sistemas de refrigeración, determinar un cálculo de cargas térmicas para definir si la capacidad de los sistemas actuales está sobre calculada.
17	Llevar mínimo mensualmente registro de voltaje, corriente y temperaturas de trabajo del equipo y de las presiones trimestral o semestralmente, con el objeto de identificar si el consumo de energía aumenta en condiciones de operación similares.
18	Hacer mantenimiento preventivo de los canales del sistema de ventilación
19	Monitorear las temperaturas de entrada y salida de agua en la torre de enfriamiento y determinar su eficiencia
20	Monitorear el coeficiente de operación (COP) de los chillers
21	Utilizar refrigerantes en sus instalaciones de última generación tales como las mezclas Zeotropicas Azeotropicas R404A, R 407C, R 410 ^a , R 507 Isceon 49, 59, 79 y los refrigerantes HC. Disminuir en impacto ambiental
Mediano Plazo - Implementaciones y/o Adecuación Tecnológica	
1	Instalar bulbos sensores de cada válvula de expansión, para que la válvula gradúe correctamente el paso de líquido hacia el evaporador. Se considera que el aislamiento del bulbo permitirá mejorar la graduación del líquido.
2	Aislar las tuberías del refrigerante.
3	Uso de presostatos en las líneas de succión y de descarga del compresor para que haya mayor control de presión en estos puntos y no se presenten variaciones en las condiciones de operación que aumente el consumo de energía.
4	Ambientes ventilados mediante ventiladores eólicos.
Largo Plazo - Cambio Tecnológico ó Sustitución de Tecnología Medular	
1	Utilizar un intercambiador de placas (Amoniaco-Agua), con el fin de disminuir carga térmica del agua que regresa de la sala de procesos e ingresa a los acumuladores de Hielo. El objetivo es el proceso de remoción de temperatura del agua utilizada en producción.
2	Sustituir compresor con bajo factor COP por uno de mayor potencia frigorífica eficiente

Tabla 56: BPOE y tecnologías en Fuerza Motriz – Sector Lácteo

Fuerza Motriz, Variadores de velocidad y sistemas de bombeo	
Ítem	Corto Plazo - BPOE
1	No permitir la operación de motores en vacío.
2	Realizar limpieza periódica de los residuos de polvo acumulados en los motores, ajustar y asegurar los mismos.
3	Ajustar las conexiones tanto de las terminales del motor como del arrancador, debe revisarse también el ajuste de conexiones de contactores, fusibles, interruptores, terminales de control, capacitores, etc.
4	Determinar con exactitud la potencia necesaria de los motores, no sobredimensionar o sub-dimensionar
5	Opere motores a plena capacidad, sustituya los motores sobredimensionados.
6	Hacer limpieza periódica de los residuos, en caso que sea excesivo los niveles de residuos esta limpieza se haría diariamente al finalizar la jornada laboral. En la realización de la actividad de limpieza, no es conveniente utilizar aire comprimido por su alto costo. Se recomienda utilizar brochas o escobas.
7	Se recomienda hacer programas de limpieza y verificación de fugas en los sistemas de fuerza de compresores y bombas de vacío.
8	Realizar lubricación y engrase de piezas acopladas a motores y sus componentes mecánicos.
Mediano Plazo - Implementaciones y/o Adecuación Tecnológica	
1	Instalar banco de condensadores para llevar el factor de potencia a un rango entre $FP=0.93$ y $FP=0.99$
2	Variadores de velocidad en máquinas: Instalar variadores de velocidad en motores de máquinas para optimizar su operación.
3	Optimización del sistema de agitación mediante la incorporación de un variador de velocidad
4	Optimización del sistema de ventilación y extracción, mediante la incorporación de variadores de velocidad.
5	Para evitar la cavitación y sus costos asociados se recomienda subir el tanque de retorno de condensados $1\frac{1}{2}$ a 2 m del nivel actual para incrementar la cabeza neta de succión positiva disponible del sistema. Con esta nueva disposición la bomba no presentará los sonidos y trepidaciones características de la cavitación y sus efectos perjudiciales.
6	Optimización del sistema de bombeo, mediante la incorporación de un variadores de velocidad.
7	Instalación de bomba sumergible en Acero Inoxidable, con el fin de minimizar fallas asociadas al bobinado del motor eléctrico en PTAR

Largo Plazo - Cambio Tecnológico ó Sustitución de Tecnología Medular	
1	Reemplace motores obsoletos por los de alto rendimiento.

Tabla 57: BPOE y tecnologías en Iluminación – Sector Lácteo

Iluminación	
Ítem	Corto Plazo - BPOE
1	Utilizar una iluminación acorde con el uso del ambiente
2	Mantener limpias y en buen estado las lámparas del establecimiento, podría llegar a suponer un ahorro de hasta un 20% en el consumo eléctrico para iluminación, ya que una bombilla sucia o en mal estado puede llegar a perder hasta un 50% de su luminosidad.
3	No apagar los tubos fluorescentes en zonas donde se vayan a volver a encender en breve, ya que el mayor consumo energético se produce en el encendido.
4	Se debe proporcionar la cantidad adecuada de luz para cada zona o ambiente que se desee crear.
5	Iniciar un programa de limpieza tanto de la luminaria como de los balastos porque al estar sucios se reduce hasta en un 40% los niveles lumínicos afectando el tema de salud ocupacional.
6	Instale tragaluces para aprovechar la luz natural.
7	Pinte las paredes y techos de colores claros para aumentar la reflexión de la luz y mantenga limpias las luminarias.
8	Instale en lugares de poco tránsito de personal, interruptores del tipo “sensor de presencia” para asegurar que no se quede encendida inútilmente la iluminación.
9	Seccione los circuitos de iluminación por áreas, de forma tal, que se puedan iluminar únicamente las áreas donde se requiera.
10	Vigile que no se queden encendidas las luces al término de las labores.
11	Instale buen nivel de iluminación en áreas donde se requiera, pero asegure la desconexión en escenarios bajos de operación y/o movimiento.
Mediano Plazo - Implementaciones y/o Adecuación Tecnológica	
1	Utilizar luces exteriores equipadas con fotocélulas o temporizadores, que se apaguen solas durante el día.
2	Instalar temporizadores de luz en los servicios (baños).
3	Cambiar en las lámparas estilo antorcha las bombillas halógenas por bombillas fluorescentes compactas, ya que consumen entre el 60-80% menos, proporcionan más luz y no se calientan tanto.

Iluminación	
4	Reemplazar los balastos magnéticos por electrónicos. Todas las lámparas fluorescentes necesitan balastos para brindar el voltaje y la corriente adecuados. Los electrónicos operan a temperaturas más bajas y poseen mayor vida útil; de hecho, aumentan la eficiencia del conjunto entre 12% y 30%, eliminando también el parpadeo y el ruido.
5	Aprovechar la iluminación natural con tejas provistas de filtro solar, así mismo contemplar la posibilidad de utilizar domos tubulares que permiten focalizar en un punto requerido la luz natural y usar las lámparas eléctricas sólo cuando sea necesario.
6	Aprovechar la iluminación natural con tejas provistas de filtro solar, así mismo contemplar la posibilidad de utilizar domos tubulares que permiten focalizar en un punto requerido la luz natural y usar las lámparas eléctricas sólo cuando sea necesario.
7	Iluminación de espacios y aprovechamiento del color para influenciar el estado de ánimo.
8	Implementación de sistemas inteligentes de iluminación. (Control de flujo de la iluminación)
Largo Plazo - Cambio Tecnológico ó Sustitución de Tecnología Medular	
1	Utilización y aplicación de OLED como sistema de iluminación.
2	Transmisión de datos a partir de la iluminación por LED.
3	Uso creciente de Luz Natural.(Luminoductos y diseños arquitectónicos)
4	Sustitución de las lámparas fluorescentes T12 por T8 o T5 que consumen hasta un 40% menos de energía con un nivel de luminosidad adecuado para el proceso

Tabla 58: BPOE y tecnologías en Aire Comprimido – Sector Lácteo

Aire Comprimido	
Ítem	Corto Plazo - BPOE
1	Determinar eficiencia en ciclo de operación del sistema de aire comprimido
2	Determinar porcentaje de aire comprimido fugado mediante la incorporación de un protocolo denominado “prueba de fugas por operación sin demanda de aire comprimido”
3	Cambiar empaques y eliminar las fugas de aceite, limpieza de motores y limpieza o cambio de filtro de aire.
4	Instale higrómetros a la salida de los secadores.
5	Para contrarrestar las fugas implemente: Programa mantenimiento empaquetaduras. Cambio de mangueras y acoples de buena calidad.
6	Revise periódicamente el sistema de aire comprimido en busca de fugas.

Aire Comprimido	
7	No limpiar utensilios y maquinaria con aire comprimido
8	Quite las pistolas de aplicación de aire comprimido para usos de limpieza, dispóngalas donde realmente se necesitan.
Mediano Plazo - Implementaciones y/o Adecuación Tecnológica	
1	Utilice reguladores de presión en los puntos de uso finales para minimizar las demandas extras
2	Contrarrestar la alta temperatura del aire que ingresa al compresor, incorporando un ducto de salida de aire caliente generado por el compresor en su ciclo de operación.
3	El compresor debe producir aire a una presión suficientemente alta para vencer las pérdidas de presión del sistema de distribución y llegar a los equipos (uso final) con la presión requerida por éstos. Utilice reguladores de presión en los puntos de uso final para minimizar las demandas extras.
4	Localice los usos inapropiados que se dan al aire comprimido en su empresa. En lugar de utilizar aire comprimido, instale y utilice ventiladores o aire acondicionado para mantener frescos los gabinetes eléctricos.
5	Reubicar los compresores en un área con mayor flujo de aire o diseñar algunos ductos para instalar en la succión de los compresores y así aspiren aire frío del exterior.
6	Instalación de un sistema de agitación para sustituir la homogenización con aire Comprimido en PTAR
Largo Plazo - Cambio Tecnológico ó Sustitución de Tecnología Medular	
1	Instalación de circuito de distribución del aire comprimido en una red tipo anillo, esto con el fin de evitar caídas de presión.
2	Instalar tanques pulmón en líneas principales de alimentación al igual que en su generación.
3	Rediseñar (de ser necesario) disposición de líneas principales de alimentación de aire para el sistema, éstas deben estar con ángulos de inclinación que evitan cavitación en las curvas de los accesorios y pérdidas de flujo.
4	Instalar purgas automáticas en líneas principales o unidades de mantenimiento para evitar aire contaminado y con exceso de agua.

Tabla 59: BPOE y tecnologías en Sistemas Eléctricos – Sector Lácteo

Sistemas Eléctricos	
Ítem	Corto Plazo - BPOE
1	Registro sistemático de los consumos energéticos asociados a los niveles de producción.

Sistemas Eléctricos	
2	Identificar rotular y demarcar los cableados de las instalaciones eléctricas de los equipos en general con marquillas adecuadas.
3	Utilizar todos los aparatos eléctricos de acuerdo con las recomendaciones de uso, mantenimiento y seguridad que aconseja el fabricante
4	No conectar varios aparatos en un mismo tomacorriente ya que esto produce sobrecarga en la instalación y peligro de sobrecalentamiento. También provoca una operación deficiente, posibles interrupciones, cortos circuitos y daños a largo plazo
5	Registro sistemático de los consumos energéticos asociados a los niveles de producción
6	Limpieza periódica de tableros eléctricos y motores
7	En zonas de alta humedad es necesario proteger los circuitos y conexiones eléctricas de una manera adecuada sin que se interfiera con la eficiencia de los mismos.
8	Adecuar las instalaciones eléctricas y tableros que cumplan RETIE con sus respectivas protecciones e identificación
9	Levantamiento de diagramas unifilares del sistema eléctrico en detalle por gabinete asociado a la red de distribución.
10	Restablecer distancias mínimas de seguridad para operación, mantenimiento y maniobra segura de los tableros y subtableros eléctricos.
11	Proteger los puntos de conexión trifásicos los cuales se encuentran a la intemperie mediante la adquisición caja-tomas trifásicas IP o protección intemperie, para mitigar el riesgo eléctrico.
12	Revisión de componentes eléctricos por presentar indicios de sulfatación.
13	Ajustar las conexiones tanto de las terminales del motor como del arrancador, debe revisarse también el ajuste de conexiones de contactores, fusibles, interruptores, terminales de control, capacitores, etc
Mediano Plazo - Implementaciones y/o Adecuación Tecnológica	
1	Monitoreo de variables eléctricas para determinar carga, consumos asociados y fallas eléctricas.
2	Instalación de sistemas de telemedida en Subestación de Energía Eléctrica
3	Realizar con frecuencia inspecciones termográficas a gabinetes eléctricos con el fin de detectar averías mecánicas de los componentes eléctricos.
Largo Plazo - Cambio Tecnológico ó Sustitución de Tecnología Medular	
1	Corrección de factor de potencia para disminuir energía reactiva consumida en planta (KVAR), ésta energía se traduce en pérdidas del sistema las cuales se deben compensar puesto que el operador de red lo penaliza en factura de energía.

Sistemas Eléctricos	
2	Adecuación de gabinetes y red de alimentación principal en Subestación de Energía eléctrica con el fin de monitorear consumos de energía eléctrica de forma general para la planta de producción
3	Eliminación de armónicos del sistema de potencia, éstos deben ser suprimidos mediante gabinetes que contengan filtros inductivos, capacitivos o híbridos.
4	Instalación de un sistema de puesta a tierra de acuerdo a las especificaciones mínimas exigidas por RETIE, esto mejorará las condiciones de equipotencialidad y referencia del sistema eléctrico de la planta.
5	Instalación de analizador de variables eléctricas tipo SCADA para control de consumo de energía por centros de costo asociados a la planta.
6	Instalación de UPS para el soporte de control en variables de proceso que tengan memoria de variables de temperatura y condiciones de esterilidad.

Anexo 9: Montaje a todo costo de la tecnología propuesta para el sistema de recuperación de Empujes de leche - Precios a 2014

[Volver a los anexos](#)

A continuación se presenta un estimado del montaje a realizar con las tecnologías propuestas, los costos asociados a la mano de obra interna no se tuvieron en cuenta, por ejemplo para el arranque del evaporador y su disposición en sitio.

Tabla 60: Montaje a todo costo de la tecnología propuesta para el sistema de recuperación de Empujes de leche - Precios a 2014

Ítem	Descripción Materiales	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Total
1	Tubería sanitaria AINOX de 2"	Metro	156	37.800	5.896.800
2	Tubería sanitaria AINOX de 2 1/2"	Metro	45	42.300	1.903.500
3	Tubería sanitaria AINOX de 3"	Metro	53	52.350	2.774.550
4	Válvula sanitaria 3 vías AINOX de 2"	Uno	1	2.717.000	2.717.000
5	Válvula sanitaria 3 vías AINOX de 2 1/2"	Uno	1	2.900.500	2.900.500
6	Válvula sanitaria 3 vías AINOX de 3"	Uno	1	3.650.000	3.650.000
7	ThinkTop Actuador Inteligente 2"	Uno	1	6.240.000	6.240.000
8	ThinkTop Actuador Inteligente 2 1/2"	Uno	1	7.780.000	7.780.000
9	ThinkTop Actuador Inteligente 3"	Uno	1	8.560.000	8.560.000
10	Tanque de Almacenamiento 10000 litros con Agitador y Spray ball para CIP	Uno	2	42.500.000	85.000.000
11	Optiscan 2"	Uno	1	12.005.000	12.005.000
12	Optiscan 2 1/2"	Uno	1	12.426.000	12.426.000
13	Optiscan 3"	Uno	1	14.602.000	14.602.000
14	Tablero de distribución para CIP Silos	Uno	1	2.450.000	2.450.000
15	Válvula Mariposa + actuador manual 2"	Uno	10	179.000	1.790.000
16	Instalación de Optiscan y Ajuste	Uno	3	2.189.000	6.567.000
17	Instalación de Accesorios y Tubería	Uno	1	29.890.000	29.890.000
18	Evaporador Techgen 3000 l/h	Uno	1	646.750.000	646.750.000
19	Instalación Eléctrica del sistema Tableros y bombas	Uno	1	4.500.000	4.500.000
20	Bombas de Alimentación a Evaporador, de CIP y desde tanques de recuperación hacia proceso	Uno	4	6.700.000	26.800.000
Total Antes de Impuestos:					885.202.350

Anexo 10: Montaje a todo costo de la tecnología propuesta para el sistema de sostenibilidad con UPS`s - Precios a 2014

[Volver a los anexos](#)

A continuación se presenta un estimado del montaje a realizar con la tecnología propuesta, respecto al monitoreo de los equipos que sufren caídas de tensión y por ende pérdida de esterilidad, se calcularon con base en los registros de producción de la planta en estudio.

Tabla 61: Montaje a todo costo de la tecnología propuesta para el sistema de sostenibilidad con UPS`s - Precios a 2014

Ítem	Descripción Materiales	Und	Cant	Valor Unitario	Total
1	Unidad de Potencia Ininterrumpida - UPS 50KVA, 440v, con tarjeta de red para monitoreo a través de una dirección IP, con banco de baterías para autonomía de 1 hora. para Envasadoras asépticas Control + Potencia	Uno	8	4.840.000	38.720.000
2	Unidad de Potencia Ininterrumpida - UPS 20KVA, 440v, con tarjeta de red para monitoreo a través de una dirección IP, con banco de baterías para autonomía de 1 hora. para tanques asépticos Control + Potencia.	Uno	2	4.040.000	8.080.000
3	Unidad de Potencia Ininterrumpida - UPS 25KVA, 440v, con tarjeta de red para monitoreo a través de una dirección IP, con banco de baterías para autonomía de 5 minutos. Para Ultrapasteurizadores y pasteurizadores - Solamente sistema de Control.	Uno	4	2.740.000	10.960.000
4	Gabinetes para alojamiento de cuarto de baterías en envasado aséptico y salón de procesos.	Uno	2	3.358.410	6.716.820
5	Cableado para acometida y conexionado eléctrico de UPS, calibre 10x5 encauchetado THWN.	Metro	346	7.725	2.672.850
6	Tubería en AINOX 1 1/2"	Metro	235	30.375	7.138.125
7	Férula Unión en AINOX 1 1/2"	Uno	39	4.337	169.143
8	Tee AINOX 1 1/2"	Uno	3	10.717	32.151
9	Codo AINOX 1 1/2"	Uno	15	7.253	108.795
10	Instalación de tubería en AINOX 1 1/2", soldadura	Cordones	192	52.300	10.041.600
11	Tubería eléctrica en EMT 1 1/2"	Metro	111	7.910	878.010
12	Conduleta el L red fuera de procesos 1 1/2"	Uno	37	4.264	157.768
13	Tee EMT red fuera de procesos 1 1/2"	Uno	2	5.340	10.680
14	Pintura electrostática	Galón	2	78.448	156.896

15	Interruptor regulable 3x40a, 30ka, 440vac.	Uno	16	232.060	3.712.960
16	Interruptor regulable 3x30a, 30ka, 440vac.	Uno	12	213.400	2.560.800
17	Demarcaciones, terminales, cinta, amarras y accesorios para conexión eléctrico	Glb	14	1.234.000	17.276.000
18	Instalación para tubería, tendido de acometidas y conexión eléctrico. Puesta en marcha	Uno	14	5.670.000	79.380.000
Total antes de Impuestos:					188.772.598

Anexo 12: Publicación Artículo IEEE – Revista Indexada que incluye resultados de la tesis de maestría

[Volver a los anexos](#)

Gestión y estrategias para la Optimización de recursos energéticos del sector lácteo en Colombia

Bolaños C. A., Prias O. F., *Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Nacional de Colombia - Bogotá D.C., Colombia*
cabolanosb@unal.edu.co
ofpriasc@unal.edu.co

Resumen—Aquí se presenta una aproximación válida que caracteriza el comportamiento energético de una muestra representativa para el sector lácteo en Colombia, también el consumo de combustibles y energía eléctrica llamados “energéticos” de 18 empresas del sector, las cuales son intensivas en el consumo de energéticos y volumen de producción. A partir de esta información, se presenta la aplicación para la optimización de variables energéticas inmersas en el proceso productivo, mediante la presentación de indicadores que correlacionan el consumo de energía vs. Producción equivalente en litros para una planta de procesamiento de leche o derivados lácteos. Como consecuencia, la utilización de esta herramienta junto con las estrategias de optimización de variables energéticas, deriva en ahorros para la producción, que a la postre contribuye con la mitigación de tipo ambiental y rentabilidad financiera, es decir, que por los ahorros energéticos obtenidos para el sector, éste será más competitivo, aportando a la mitigación del cambio climático por dejar de consumir combustibles fósiles, derivando una política dentro del sector como una estrategia de sostenibilidad. Además se identifican las estrategias para la optimización de recursos energéticos con impacto en la productividad, basada en la identificación de las pérdidas más representativas asociadas a la producción. Finalmente se presenta el comportamiento de los energéticos por implementaciones de tipo tecnológico teniendo como línea base los indicadores, los cuales, tienen como objetivo principal la optimización de recursos energéticos y de materia prima en función de la productividad.

Palabras clave— Eficiencia energética, energéticos, caracterización energética, optimización de variables energéticas, consumo de energía específico, indicador de desempeño energético.

I. INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética, es un aliado estratégico del empresario para el eficaz desarrollo de la productividad y la competitividad de las empresas manufactureras permitiendo su sostenibilidad, desarrollo y crecimiento. Lo anterior apunta hacia la disminución de costos técnicos, operativos y administrativos en una dinámica permanente de cambio en los hábitos de producción con buenas prácticas operativas energéticas, reconversión e innovación tecnológica de los equipos y adecuación de los procesos productivos

intensivos en el consumo de energía [1]. Conjuntamente con estos hábitos de mejoramiento continuo en la gestión energética, se tienen consecuencias favorables como la mitigación al cambio climático, lo cual permite un desarrollo eficiente de la cadena productiva para la obtención “más limpia” de un producto terminado.

El presente artículo se basa en la tesis de maestría, que refiere la “Optimización de variables energéticas en función de la productividad y competitividad de la industria láctea y caracterización energética y tecnológica del sector” [2], la cual se fundamenta en aspectos de la eficiencia energética aplicada a gran parte del sector lácteo en Colombia. Aquí se presentan algunas estrategias para la optimización de combustibles fósiles y energía eléctrica llamados “energéticos”, los cuales se encuentran inmersos dentro del proceso de transformación de la leche, como también se utiliza la metodología de balances energéticos presentados por la UPME para los sectores industriales de manufactura en Colombia. [3]

Los tres aspectos pilares e importantes para el desarrollo del artículo se basan en: 1. La Aplicación de un indicador energético que mide la productividad en función del consumo de energéticos y materia prima llamado Consumo de Energía específico CEesp. 2. El análisis del comportamiento del indicador energético que correlaciona la producción vs el consumo de Energéticos, consolida registros de consumo que son de vital importancia para el desarrollo posterior de estrategias en torno a la productividad y la Competitividad 3. La identificación de pérdidas asociadas a la producción ligada a soluciones de tipo tecnológico para la optimización de recursos energéticos como estrategia de sostenibilidad y aporte ambiental debido a la disminución del consumo por combustibles fósiles.

Amerita resaltar, que el sector de bebidas lácteas en Colombia ha desarrollado en los últimos años una fuerte estrategia de innovación, que se ha traducido en una mayor oferta de productos funcionales con beneficios sobre la salud y una gran variedad de productos derivados de la leche a bajo precio de mercado. El sector está conformado por 1067 plantas de proceso en todo el territorio nacional de las cuales el 95% corresponden a Pequeñas empresas [4].

II. CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA EN EL SECTOR LÁCTEO EN COLOMBIA

La información primaria obtenida en las visitas de campo y las entrevistas realizadas a la cadena láctea del sector, permitieron identificar estrategias de optimización para los procesos y tecnologías del sector lácteo intensivos en el consumo energético, estos procesos diversos en cuanto a su producción, son además complejos cuando se requiere cuantificar el consumo requerido para su proceso de transformación, por tanto se requiere de un seguimiento detallado que contenga indicadores de tipo productivo y competitivo en torno a la optimización de estos recursos para el procesamiento de la materia prima "la leche". En síntesis, el aprovechamiento eficiente de los recursos energéticos relacionados con los insumos para el procesamiento de lácteos gira en torno a la eficiencia energética.

Para la identificación de las variables energéticas inmersas en el proceso productivo que se correlacionan con la producción, se efectuaron 18 visitas de campo a empresas del sector lácteo en Colombia, simultáneamente con las visitas de campo, también se desarrollaron encuestas de forma presencial y vía web a los actores que integran la cadena de valor del sector lácteo, con las cuales se obtuvieron registros para construir un escenario sectorial con la finalidad de poder establecer comparativos e indicadores a nivel nacional, así mismo, mediante información secundaria, bibliografía especializada y revistas técnicas, se obtuvieron los recientes desarrollos tecnológicos utilizados para la industria láctea a nivel nacional e internacional. De esta manera se obtuvo la cobertura ya mencionada para el sector la cual se muestra en la Fig. 1, allí se puede apreciar los resultados del consumo de energéticos/año para las empresas de lácteos visitadas y su equivalencia en Tcal.

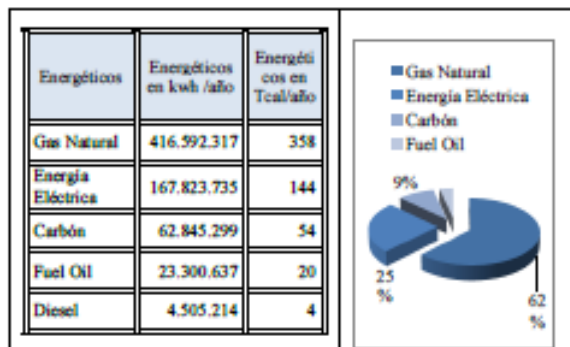


Fig. 1 Consumo Energético del sector Lácteo 2013 – Empresas Visitadas

El energético de mayor consumo es el Gas Natural con un 62% (416,6 Gwh/año) asociado a las tecnologías que utilizan este tipo de energético principalmente las calderas pirotubulares y calentadores de aire, la energía eléctrica con el 25% (167,8 Gwh/año) representa el consumo para la generación de Aire comprimido, refrigeración, torres de enfriamiento, homogenizadores, centrifugas clarificadoras, sistemas de bombeo de agua recuperada, CIP, motores de Inducción, variadores de frecuencia e iluminación. Todos ellos

usados para la producción de lácteos y que demandan alta potencia para su proceso de transformación.

Si se realiza un comparativo entre las cifras de referencia que se tiene en el estado del arte para el sector expuestas por el DANE que refieren consumo de Energía eléctrica año 2012, la cual es de 268 Gwh/año [5], y entre la muestra que tiene un consumo agregado de energía eléctrica de 168 Gwh, esta representa el 63%, lo que puede afirmar una aproximación al comportamiento del sector lácteo nacional, claro está que los datos de referencia son para el año 2012 y la muestra fue tomada entre los años 2013 y 2014.

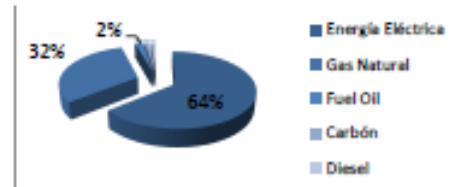


Fig. 2 Distribución porcentual del Costo de energéticos 2013

El consumo de energía eléctrica fue superior al total de energéticos como factor común en todas las plantas de producción. El precio base de la energía eléctrica en kwh se estimó con el precio promedio del total de las empresas visitadas. Lo mismo para en el resto de energéticos en sus unidades originales.

La energía eléctrica aunque tiene mayor costo dentro de la matriz energética de las plantas, no representa el aporte energético esperado para el proceso de transformación de la leche, caso contrario sucede con el gas natural que al final del año es menos costoso en la matriz y aporta gran poder energético dentro del proceso de producción. Lo anterior es un factor común para las plantas visitadas del sector.

III. OPTIMIZACIÓN DE VARIABLES ENERGÉTICAS

La eficiencia energética dentro del sector manufacturero de procesamiento de lácteos, se puede considerar como el aprovechamiento máximo de los recursos energéticos para la transformación de la materia prima, ligado a factores que permiten caracterizar el desempeño energético de una empresa mediante indicadores que relacionan la producción en litros y el consumo de éstos energéticos en kwh. Como consecuencia, estos ahorros se convierten en producción más eficiente que además contribuyen a la mitigación de tipo ambiental y rentabilidad financiera para la empresa, es decir, que por los ahorros energéticos obtenidos serán más competitivas, aportando a la mitigación del cambio climático por dejar de consumir combustibles fósiles, derivando una política dentro de la empresa como estrategia de sostenibilidad.

Con el objetivo de tener una herramienta matemática que permita optimizar recursos energéticos y procesos eficientes sin desperdicios de materia prima, a continuación se presenta un indicador puntual que relaciona las dos variables en función de la productividad. También se identifica algunas pérdidas asociadas a la producción que podrían mejorar el comportamiento de estos indicadores.

A. Indicador de desempeño energético que mide la Productividad

La identificación de problemas de tipo técnico y operativo asociados a la productividad, desencadenan el incentivo por el estudio de las variables físicas y energéticas que pueden optimizarse para realizar un proceso eficiente. Esta identificación permite desarrollar herramientas que pueden aportar a la solución definitiva o parcial de un problema técnico ligado a la productividad.

En Colombia, las plantas de procesamiento de lácteos que integran diferentes procesos en la etapa de transformación de la leche, solamente tienen en cuenta el indicador para la energía eléctrica de kilovatio-hora por tonelada producida ó kilovatio-hora por litro producido. Para tener certeza de la eficiencia y rendimiento de los procesos productivos, se requiere de un indicador que integre todas las unidades de consumo de energía en una sola unidad energética expresada kwh, como también la cantidad de litros de leche producidos en forma equivalente puesto que la leche es el producto primario que se tiene como insumo principal para todos los procesos. Con ello se consolida un solo indicador energético que correlaciona el consumo de energéticos y la producción equivalente en litros producidos.

El indicador es el consumo de energía específico **CEesp**, y se define como el consumo de energía primaria utilizada para el proceso (uso final), dividido por la producción final en litros equivalentes energéticos de leche procesada, es decir, se establece la proporción del consumo de energía para producir un derivado de la leche. Este **CEesp** puede ser utilizado en cualquier proceso específico para una planta de procesamiento de Pasteurización y/o derivados de leche. Para ello se debe tener en cuenta la equivalencia en kwh de energéticos como se indica en la TABLA I y en litros equivalentes del producto procesado como se muestra en la TABLA II:

TABLA I
CONVERSIÓN DE ENERGÉTICOS A KWH [6] [7]:

Energético en unidades originales	A kwh
1 m3 de Gas natural:	10,46kwh
1 Tonelada de Carbón mineral	7559 kwh
1 Galón de Diesel Oil:	40,2 kwh
1 Galón de Fuel Oil:	41,05 kwh

Las unidades originales de los combustibles utilizados para el procesamiento de leche se deberán expresar en una sola unidad equivalente energética; para el caso, se expresa esta unidad en kwh.

TABLA II
PRODUCCIÓN EQUIVALENTE ENERGÉTICA EN LITROS [2]

Producto	Abreviatura	Equivalente Energética en litros
Leche Pasteurizada 72°C - 76°C	LP	1
Leche UHT 135°C - 150°C	LUHT	1,32

Producto	Abreviatura	Equivalente Energética en litros
Mantequilla	MQ	1,08
Yogurt	YG	1,16
Leche Saborizada	LS	1,09
Arequipe / dulce	AQ	1,21
Avena	AV	1,42
Crema de Leche	CR	1,28
Leche en polvo	LEP	2,43
Quesito / Cujada	QU	1,67
Queso Maduro	QM	2,34

El producir un litro de leche UHT (LUHT) consume 1,32 veces la cantidad de energéticos utilizada para producir un litro de leche pasteurizada (LP).

Por ejemplo para una planta que procesa 420.000 litros al día, y que dentro de su producción tiene procesos de LP, LUHT, LS, AV, CR y energéticos como: Gas natural, Energía eléctrica y Fuel oil, el **CEesp** es el siguiente:

Datos de producción:

Producto	Densidad (ρ) en kg/litros	Cantidad Producida en el mes Litros o kg
Leche Pasteurizada 72°C - 76°C (litros)	1,033	821.066
Leche UHT 135°C - 150°C (litros)	1,033	8.660.988
Leche Saborizada (litros)	1,228	279.317
Avena (litros)	1,423	153.376
Arequipe (kilogramos)	1,15	7.595
Crema de Leche (litros)	1,345	283.505

Datos de energéticos:

Energético	Consumo en el mes
Gas natural en m3	193.569
Fuel Oil Galones	187
Energía Eléctrica kwh	1.029.330

El **CEesp** en wh/litros para el periodo de un mes utilizando los datos de producción y de energéticos para la planta junto con la TABLA I y la TABLA II; sería:

$$CE_{esp} \left[\frac{wh}{litros} \right] = \frac{(Energía Eléctrica) + (10,46 \cdot m^3 Gas Natural) + (41,05 \cdot Gal Fuel Oil)}{(LP \cdot Litros) + (1,32 \cdot LUHT \cdot Litros) + (LS \cdot Litros) + (AQ \cdot Litros) + (AV \cdot Litros) + (CR \cdot Litros) + (LEP \cdot Litros) + (QU \cdot Litros) + (QM \cdot Litros)}$$

$$CE_{esp} \left[\frac{wh}{litros} \right] = \frac{1.029.330 \text{ wh} + 2.024.732 \text{ wh} + 7.676 \text{ wh}}{(821.066 \text{ Litros}) + (11.432.104 \text{ Litros}) + (283.505 \text{ Litros}) + (153.376 \text{ Litros}) + (7.595 \text{ Litros}) + (283.505 \text{ Litros})}$$

$$CE_{esp} \left[\frac{wh}{litros} \right] = \frac{3.061.738 \text{ kwh}}{13.146.695 \text{ Litros}} = 232,89 \frac{wh}{litros}$$

El coeficiente **CEesp**, se presenta como un indicador que mide el consumo total de energéticos en wh necesarios para producir un litro de leche equivalente para una planta de procesamiento de lácteos, en el ejemplo se consumen 232,89 wh para producir un litro de leche equivalente.

B. Indicador de desempeño energético

El indicador obtenido **CEesp** puede acoplarse fácilmente a todos los procesos que se manejan en la planta. La inclusión

del indicador por producción equivalente, logra tener mayor control sobre los procesos, incluso identificar la línea base de las cantidades de energía estrictamente necesarias para la producción.

Basados en el indicador de desempeño energético el cual se representa mediante la ecuación de una línea recta y que indica una tendencia E vs. P (Energía vs Producción). Se toma los datos de producción (P) y los datos de consumo de Energía (E), y mediante una regresión lineal se aplica una aproximación a una recta de la forma $E=mP+E_0$ [8]. Este ejercicio se puede realizar para el consumo global de energía, o para cada uno de los energéticos primarios por separado.

La ecuación $E = mP + E_0$ se mide de la siguiente forma:

E_0 : Es la energía no asociada con la producción. Este valor se visualiza gráficamente como el intersección de la recta con el eje de las ordenadas (E) en el plano E vs. P.

m : Es el consumo de energía por unidad producida. Este valor se visualiza gráficamente como la pendiente de la recta en el plano E vs. P.

La tendencia del CE_{esp} para un registro de 24 meses que mide el desempeño energético de una planta de procesos se presenta en la Fig. 3

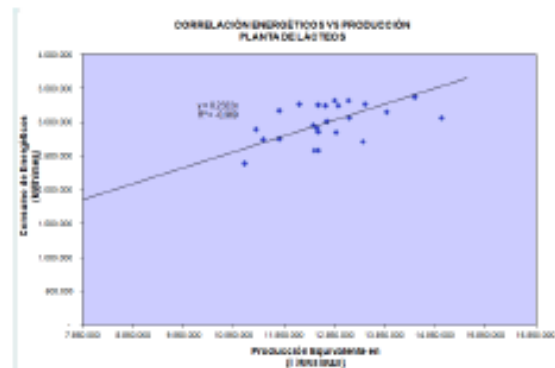


Fig. 3 Comportamiento del Consumo de Energéticos Vs Producción equivalente para planta de lácteos

El coeficiente de determinación R^2 es igual a 0.96 (número superior a 0.8). Esto significa que el consumo de energéticos explica el comportamiento de la producción, claro está que se debe utilizar la metodología para el cálculo de CE_{esp} en cada registro de producción vs consumo de Energéticos.

C. Identificación de pérdidas asociadas a la Producción.

Los problemas ligados a la productividad desde el punto de vista energético en el proceso de transformación de la leche, se atribuyen a causas de tipo técnico en el manejo inadecuado de la maquinaria, ya sea por no tener procesos estandarizados, por desconocimiento de la tecnología instalada, ó por las pérdidas no cuantificadas en el proceso de transformación de la leche. La TABLA III presenta en forma de matriz los problemas técnicos asociados a una causa y una posible solución tecnológica.

TABLA III
PROBLEMAS Y SOLUCIONES TÉCNICAS EN LA PRODUCCIÓN [2]

Problemas Técnicos en la producción	Causa	Solución Tecnológica
Desperdicio de materia prima (leche)	Empujes de Leche para inicio y final de producción	Optican para detección de parámetros asociados a las características de la leche lista para producción. Instalación de Evaporador para Recuperación de Agua-leche.
Desperdicio de Energéticos	Pérdida de esterilidad de los equipos de proceso lo que ocasiona un CIP forzado. Esto debido a que los equipos son sensibles ante perturbaciones de tensión y el equipo lo asimila como vulnerabilidad a su sistema estéril.	Sostenibilidad de sistema con UPS en diagrama de flujo aséptico UHT y Pulverización.
Alto consumo de Energía Eléctrica con bajo aporte energético	El consumo de la producción es alto en potencia térmica. El aporte de generación de vapor al proceso es muy alto.	Implementar sistema de Cogeneración para el sector lácteo.

La optimización de variables energéticas está ligada al consumo de energéticos y la producción equivalente en litros, por lo tanto se puede estimar el ahorro de energéticos en función de la productividad siempre y cuando se integre la totalidad de consumos del proceso de transformación de la leche. La inclusión de soluciones a los problemas técnicos asociados a la producción, deriva ahorros importantes dentro de la productividad de una planta sumado al aporte de emisiones por el consumo óptimo de combustibles fósiles necesarios para el proceso productivo, estas soluciones apuntan hacia el uso eficiente de los recursos y materia prima los cuales pueden ser estimados mediante el desarrollo del indicador de desempeño energético, el cual se presenta en la Fig. 4.

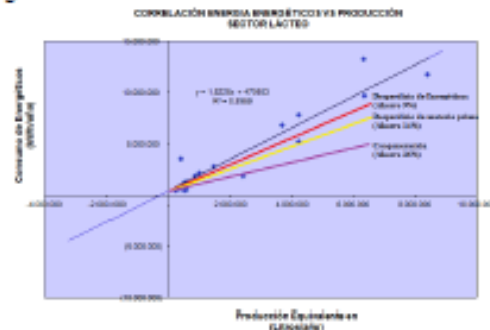


Fig. 4 Comportamiento del Consumo de Energéticos por implementación de soluciones tecnológicas

La figura Fig. 4 fue construida mediante registros de consumo de energéticos y producción para 18 empresas del sector lácteo. Las implementaciones de tipo tecnológico para el uso eficiente de energía, tienen como objetivo la

optimización de recursos energéticos y de materia prima, además funcionan como estrategias de sostenibilidad puesto que optimizan recursos necesarios para el proceso de producción. Se estima que por implementar cogeneración dentro del sector lácteo, se tendría un impacto de eficiencia energética en ahorros del 26%, la anterior afirmación se fundamenta en la matriz energética presentada en la Fig. 1 puesto que el sector lácteo de acuerdo a la muestra, es líder en consumo térmico y no eléctrico. Las otras soluciones que disminuirían el consumo de energéticos para optimizar el uso de la materia prima en un 9% y 14% respectivamente, se centralizan en soluciones asociadas a la pérdida de esterilidad de los equipos de proceso que ocasionan un CIP forzado y a la pérdida de leche por empujes de producto al inicio y final de producción [2].

IV. ESTRATEGIA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE USO DE LA ENERGÍA CON IMPACTO EN LA PRODUCTIVIDAD

La estrategia principal se fundamenta en el fortalecimiento eficiente de la producción, tomando como herramienta principal la eficiencia energética de los procesos, mejorando indicadores energéticos de productividad que sirven como herramienta para optimizar el consumo de combustibles y energía eléctrica, como también el máximo aprovechamiento de la materia prima necesaria para el proceso de transformación de la leche.

En la medida que las plantas de procesamiento planteen una estrategia de sostenibilidad basada en el aprovechamiento máximo de recursos manteniendo un producto terminado de excelente calidad, se logrará un mejor posicionamiento de "Benchmarking" dentro del mercado competitivo a nivel mundial, como también aportará de manera significativa el aspecto ambiental por disminución de combustibles fósiles de uso final en la producción dentro del sector de manufactura industrial en Colombia.

La cadena de valor del sector lácteo, presenta un alto impacto ambiental debido a la exigencia térmica que deriva en las emisiones de gases de combustión por la generación de vapor y las emisiones de refrigerantes contaminantes de tipo ambiental por el enfriamiento de la leche [9]. De no tomar medidas que apunten directamente hacia los indicadores de eficiencia energética dentro del proceso productivo, se verá afectada la sostenibilidad de una planta de producción puesto que no será competitiva con sus similares y además afectará con mayores emisiones el sector industrial de manufactura, por ello, es indispensable abordar estrategias que atiendan estos requerimientos.

V. CONCLUSIONES

En el contexto de utilizar la eficiencia energética como herramienta principal del empresario en la búsqueda de alternativas de choque para hacer más productivo y eficiente su proceso productivo, manteniendo la confiabilidad y mejora continua de sus procesos, se construye los indicadores energéticos enfocados a la productividad y competitividad para empresas del sector lácteo en Colombia, que dan al empresario una visión perimetral de su producción

identificando y cuantificando las pérdidas asociadas al proceso de transformación de la materia prima.

Las soluciones identificadas de tipo tecnológico logran dar una perspectiva y una visión sectorial en la búsqueda de herramientas de sostenibilidad basadas en la optimización de recursos energéticos como estrategia de sostenibilidad.

El consumo de energía específico CE_{esp} , se presenta como un indicador que integra los procesos productivos en cuanto al consumo de energéticos y materia prima utilizados para el proceso de transformación de la leche.

Se pueden construir indicadores para la optimización de variables energéticas en función de la productividad y la competitividad del sector lácteo, con ello se dispone de unas herramientas importantes para el desarrollo y planteamiento de estrategias futuras para el sector, encaminadas a lograr un ambiente competitivo y productivo con alto impacto en la industria manufacturera en el país.

Es necesario realizar un estudio más profundo que consolide la producción única de un proceso como producción equivalente, para el caso del sector analizado sería en litros de leche procesados, ya sea que se produzca mantequilla, yogurt, helado, arequipe, postres, avena, leche en polvo o quesos. De lo contrario no se lograría determinar la estimación de ahorro sobre la producción con los indicadores de desempeño que incluyen los energéticos utilizados dentro de un proceso, además se debe presentar una metodología que evalúe de forma transversal a todos los sectores industriales de manufactura que contengan usos finales como el aire comprimido, refrigeración y generación de vapor.

Respecto a los artículos más destacados acerca del consumo de energéticos relacionados con la producción y estimación de emisiones, se tiene referencia de los siguientes: "Characterization of energy use and performance of global cheese processing", el cual describe la caracterización del consumo de energéticos correlacionados con la producción a nivel mundial para plantas de procesamiento de queso [10] y "Energy use and implications for efficiency strategies in global fluid-milk processing industry" que define una línea base para realizar el comparativo de consumo de energéticos vs producción entre plantas de procesamiento de leche de todo el mundo [11].

La Cogeneración con Gas natural o carbón mineral, debe integrarse como un sistema alternativo para la generación de energía eléctrica como una opción dentro del sector lácteo. En las plantas visitadas se logró determinar como factor común, que la energía eléctrica aunque tiene un gran costo dentro de la matriz energética de la planta, no representa el aporte energético esperado para el proceso de transformación de la leche, caso contrario sucede con el gas natural que al final del año es menos costoso en la matriz y aporta un gran poder energético dentro del proceso de producción.

VI. REFERENCIAS

- [1] Campos J.C., Quispe E.C., Prias O., Vidal J.R. y Lora E.D., "El MGIE, un modelo de gestión energética para el sector productivo nacional," *Revista El Hombre y la Máquina, Universidad Autónoma de Occidente*, vol. Edición No 30, pp. 18-31, Enero-Junio 2008.
- [2] Bolaños C. A., "Optimización de variables energéticas en función de la productividad y competitividad de la industria láctea y caracterización energética y tecnológica del sector," Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Tesis de Maestría en Ingeniería Eléctrica 2014.
- [3] UPME. (2014, Julio) Balance Energético UPME 2012. [Online]. http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Balance.aspx?IdModulo=3, Bogotá, 2014.
- [4] Mojica F.C, Trujillo C. R, Castellanos D.L, Bernal N, "Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico de la cadena láctea Colombiana," Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogotá D.C, Proyecto Transición de la Agricultura, Contrato de Empréstito 7313-CO 2007.
- [5] DANE. (2012) Anexo Encuesta Anual Manufacturera, c2-1-12 CIIU4. [Online]. <https://www.dane.gov.co/index.php/construccion-en-industria/industria/encuesta-anual-manufacturera-cam/181-economicas/industria>
- [6] Romero L.C, Andrade J.F, León I.M, "Proyección de Demanda de Energía en Colombia - Energéticos," Ministerio de Minas y Energía, UPME, Bogotá D.C, Revisión de octubre de 2010.
- [7] Consejería de Universidades, Empresa e Innovación. (2010) Factores de conversión cálculos E4 - estrategia de ahorro y eficiencia energética. [Online]. <https://www.carm.es/web/integra.servlets.Blob?ARCHIVO=FACTOR%20DE%20CONVERSION%20CALCULOS%20E4.pdf&TABLA=ARCHIVOS&CAMPOCLAVE=IDARCHIVO&VALORCLAVE=56847&CAMPOIMAGEN=ARCHIVO&IDTIPO=60&RASTRO=c6735m3033,3270,2010>.
- [8] Carolina Salazar Aragón - Edson de Oliveira Pamplona - Juan Ricardo Vidal Medina, "La eficiencia energética como herramienta de gestión de costos: Una aplicación para la identificación de inversiones de en eficiencia energética, su evaluación económica y de riesgo," http://www.revistaic.org/articulos/numesp/articulo3_esp.pdf, Universidad Federal de Itajubá - IEPG, Brasil, Revista del Instituto Internacional de Costos, ISSN 1646-6896, Edición Especial XII Congreso, abril 2012 2012.
- [9] Baquero R.V, Castellanos J.U, "Informe del desarrollo de la etapa de Decisión Estratégica: Alpina S.A," PEN-SGIE grupo grisecc Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C, 2013.
- [10] Tengfang Xu, Joris Flapper, Klaas Jan Kramer, "Characterization of energy use and performance of global cheese processing," *Elsevier, International Energy Studies Group, Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, 1 Cyclotron Road, Berkeley, CA 94720, USA*, vol. Energy 34, Septiembre 2009.
- [11] Tengfang Xu, Joris Flapper, "Energy use and implications for efficiency strategies in global fluid-milk processing industry," *Elsevier, International Energy Studies Group, Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, 1 Cyclotron Road, Berkeley, CA94720, USA, USA*, 2009.

VII. BIOGRAFÍAS

Bolaños C. A., Candidato a Magister de la Universidad Nacional de Colombia e Ingeniero electricista de la universidad de Antioquia, con experiencia en campo y laboral de 12 años para la industria manufacturera en Colombia, consultor especialista en Eficiencia Energética, auditor de sistemas de calidad ISO 9001-2008, integrante del grupo de investigación GRISEC de la Universidad Nacional de Colombia y actualmente docente del Centro metalmeccánico del SENA, entidad adscrita al Ministerio de la Protección Social.

Ha participado en programas encaminados a la investigación y desarrollo de la eficiencia energética en Colombia, entre las más importantes como consultor del proyecto OPEN donde se desempeñó como especialista en ESCO (Energy Service Company) y para la CAEM filial de la Cámara de

Comercio de Bogotá donde presta servicios de asesoría para los diferentes subsectores de manufactura en Colombia desde el año 2010.

Prias, O.F Ingeniero Electricista de la Universidad Nacional de Colombia, Especialista en Gerencia de Tecnología de la Escuela de Administración de Negocios y con Maestría en Eficiencia Energética, Universidad de Cienfuegos Cuba. En su desempeño profesional se destaca la dirección del grupo de Uso racional y Eficiente de Energía de la Unidad de Planeamiento Minero Energético UPME, como también la dirección del Programa Nacional de investigación en Energía y Minería de COLCIENCIAS y Gerente de Gestión Humana y Administrativa de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, EAAAB.

Actualmente es Profesor Asociado de la Universidad Nacional. También es el Director del grupo GRISEC del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. A lo largo de su actividad profesional se ha desempeñado como consultor en Eficiencia Energética y Fuentes No Convencionales de Energía para el Ministerio de Minas y Energía, el BID y PNUD, IFC.

T&D 2014 IEEE PES

TRANSMISSION & DISTRIBUTION
CONFERENCE AND EXPOSITION

IEEE COLOMBIA

Certifies that

Carlos Alberto Bolaños Bolaños

Participated As: Author

in

**T&D 2014 IEEE PES Transmission & Distribution
Conference and Exposition**

Sept 10th - 13th, 2014
Medellin, Colombia



Ramon A. Leon
General Chair 2014 IEEE PES T&D LA
New Business/Development – XM filial de ISA



Viviana Gualteros Jiménez
Executive Chair 2014 IEEE PES T&D LA
Consultant at WSP Colombia



Bibliografía y Documentos de Referencia

1. **DANE.** *Anexo Encuesta Anual Manufacturera, c2-1-12 CIU4.* [En línea] 2012.
<https://www.dane.gov.co/index.php/construccion-en-industria/industria/encuesta-anual-manufacturera-eam/181-economicas/industria>.
2. **D.T e-conomic - Contabilidad en línea.** *Definición de benchmarking.* s.l. : <http://www.e-conomic.es/programa/glosario/definicion-de-benchmarking>, 2014.
3. **D.T Universidad Autónoma del Caribe.** *Análisis comparativo de la competitividad y productividad en el sector lácteo de América Latina y el mundo.* Barranquilla, Atlántico, Colombia : s.n., 2012.
4. **D.T Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.** *Boletín de análisis por producto - Boletín #6; Grupo de análisis sectorial;* www.minagricultura.gov.co. 2010.
5. **D.T FAO.** *Producción mundial de Leche.* Argentina : <http://agro.unc.edu.ar/~pleche/Carne%20y%20leche/clase1.pdf>, 2012.
6. —. *Estadísticas de la leche y de los productos lácteos.* s.l. : <http://www.fao.org/docrep/014/al978s/al978s00.pdf>, 2011.
7. **D.T Universidad de la Sabana - Álvaro Andrés Torres Camacho.** *Proyecto plan de negocio "Distribuidora de Productos Lácteos" - Alpina.* 2010.
8. **D.S DNP Departamento Nacional de Planeación.** *Balance sector Industrial 2011.* Bogotá : s.n., 2011.
9. **D.T Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - PROYECTO TRANSICIÓN DE LA AGRICULTURA.** *Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico de la cadena láctea Colombiana; FRANCISCO JOSÉ MOJICA; RAÚL TRUJILLO CABEZAS; DAISY L. CASTELLANOS; NATHALY BERNAL.* 2008.
10. **D.T Ministerio de Agricultura - Perú.** *Boletín mensual de leche .* 2009.
11. **D.T DANE-ENA.** *Encuesta Nacional Agropecuaria DANE.* Bogotá D.C : s.n., 2012.
12. **D.T Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.** *Una mirada Global de su estructura y Dinámica - Observatorio Agro cadenas Colombia.* 1991-2005.
13. **D.T Proexport Colombia - Promoción de turismo, inversión y exportaciones.** *Sector Lácteo en Colombia.* s.l. : <http://portugalcolumbia.com/media/Perfil-Lacteo-Colombia.pdf>, 2011.
14. **D.T DNP Agenda Interna Sector Agroindustrial.** *Documento sectorial Agroindustrial.* Bogotá Agosto 2007.
15. **D.T Superintendencia de Industria y Comercio.** *Cadena Productiva de la Leche: Diagnóstico de Libre competencia.* Bogotá D.C : s.n., 2011.
16. **D.T Universidad EAN.** *Cadenas Productivas de Lácteos y Café; Clara Ines Molina; .* 2011.
17. **D.T Caquetá - Yezid Beltrán Barreiro; Rafael Torrijos Rivera.** *Línea base de la industria láctea del Caquetá.* Florencia-Caquetá : s.n., 2013.
18. **D.T Fedegan.** *Reporte sector lechero en Colombia, Bogotá D.C., febrero 1 de 2012.* Bogotá : <http://www.senado.gov.co/sala-de-prensa/opinion-de-senadores/item/16356-el-sector-lechero?tmpl=component&print=1>, 2012.
19. **D.S Banco de la República.** *PIB. Metodología año base 2005.* Bogotá : s.n., 2013.
20. **D.S DANE.** *Muestra mensual manufacturera - Producción industrial de Alimentos y Bebidas.* Bogotá : s.n., 2014 .
21. **D.T Banco de la República de Colombia.** *PIB a precios constantes por ramas de la actividad económica - Subsector Elaboración de Productos Lácteos.* Bogotá D.C : <http://www.banrep.gov.co/es/pib> , 2013.
22. **D.S UPME.** *Balance Energético UPME 2011.* Bogotá : http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Balance.aspx?IdModulo=3, 2011.
23. **D.T UPME.** *Potencialidades de los cultivos energéticos y residuos agrícolas en Colombia.* Bogotá D.C : s.n., 2003.

24. **D.T DANE.** *Anexo Encuesta Anual Manufacturera, c2-1-12 CIIU4.* Bogotá D.C : <http://www.dane.gov.co/index.php/industria/encuesta-anual-manufacturera-eam>, 2012.
25. **D.T UPME.** *Informe de precios de Energéticos observados en el sector Industrial.* Bogotá D.C : <http://www.sigp.gov.co/Portals/0/Precios/Industria/Precios%20Industria%20Enero2012.pdf>, 2012.
26. **D.T A Report of the World Energy Council.** *Energy Efficiency: A Worldwide Review; Indicators, Policies, Evaluation.* s.l. : <http://www.worldenergy.org/documents/eepi04.pdf>, 2004.
27. **Manual de Ingeniería .** <http://www.bohn.com.mx>. [En línea] Septiembre de 2005. <http://www.bohn.com.mx/archivospdf/bct-025-h-eng-1apm-manual-ingenieria.pdf>.
28. **D.T Refrigeración industrial pg 34.** *Instalaciones de refrigeración Industrial.* s.l. : <http://www.slideshare.net/martorque/calculo-carga-refrigeracin>, 2010.
29. **D.T Modeladoeningeniería.edu.ar.** *Nociones Teóricas del Proceso de Pasteurización.* Buenos Aires : <http://www.modeloeningenieria.edu.ar/mei/repositorio/descargas/htst/cap03.pdf>, 2014.
30. **D.T AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING.** *ASHRAE 1993, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.* s.l. : ENVIRONMENTAL HEALTH COMMITTEE (EHC), 2011.
31. **D.T Applus Nor Control Colombia Ltda.** *Presentación de Aire Comprimido.* s.l. : <http://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.chec.com.co%2Fsitioweb%2Fflash%2Ffiles%2F3.3.%2520Aire%2520Comprimido%252025-11-11%2520-%25202.ppt&ei=kk1iU-PhJlb42gXIpIDgAQ&usq=AFQjCNF3byQ7wigfYDcSfgQ>, 2011.
32. **D.T www.maqlab.uc3m.es.** *CAPITULO 2: DISEÑO Y CÁLCULO DE ELEMENTOS Y CIRCUITOS NEUMÁTICOS.* España : http://maqlab.uc3m.es/NEUMATICA/Capitulo2/C2_apartado4.htm, 2014.
33. **D.T Tecnun.** *Laboratorio de neumática y oleohidráulica.* España : http://lopezva.files.wordpress.com/2011/09/practica20neumatica_sol.pdf, 2010.
34. **D.T SCEG&G - Energy Insights for business and Industry.** *Calculating Energy Cost to Operate a Compressor.* s.l. : <http://www.scegbusiness.com/Article.aspx?userID=351124&articleID=226>, 2011.
35. **D.T Kaeser Compresores.** *Compresores de tornillo Serie SK.* Alemania : <http://mx.kaeser.com/Images/P-651-10-MX-tcm57-6761.pdf>, 2014.
36. **D.T PEN-SGIE grupo grisec Universidad Nacional de Colombia.** *Informe del desarrollo de la etapa de Decisión Estratégica: Colanta Ltda.* Bogotá D.C : s.n., 2013.
37. —. *Informe del desarrollo de la etapa de Decisión Estratégica: Alpina S.A.* Bogotá D.C : s.n., 2013.
38. **D.T PEN-SGIE.** *Programa estratégico para la innovación en la gestión empresarial, mediante la asimilación, difusión y generación de nuevos conocimientos en gestión energética y nuevas tecnologías e implementación del Sistema de Gestión Integral de la Energía en empresas.* Bogotá D.C : Colciencias, UPME, EPM, Codensa, Emgesa, Electrificadora de Santander S.A, ESSA y e2, y Diplomado Universidad Nacional 2012, 2012.
39. **E-Book Proyecto OPEN - BID CCB CAEM.** http://www.caem.org.co/catalogo/docs/ebook_open_2012.pdf. [En línea] 2009-2012.
40. **D.T e!Sankey UMBERTO.** *Software Para la determinación del uso final de energéticos.* s.l. : <http://www.e-sankey.com/en/>, 2014.
41. **D.T Revista Portafolio.** *Este año Colombia debe crecer por encima de la región Andina en demanda de Lácteos.* Bogotá : <http://www.portafolio.co/negocios/entrevista-tatiana-liceti-directora-general-tetra-pak>, Junio 2014.
42. **D.T UIS - Tesis Pregrado Eduard Alfonso Avila Ulloa.** *Estimación de Empujes de Agua leche y Recomendaciones para producción mas limpia en Planta de Colanta Funza.* Funza-Cundinamarca : s.n., 2012.

43. **D.T Ministerio de la Protección social. INVIMA - Decreto 616 2006 Por el cual se expide el Reglamento Técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano.** Bogotá : https://www.invima.gov.co/images/stories/aliamentos/decreto_616_2006.pdf, 2006.
44. **D.T UPS Chicago Digital Power. UPO Manual del usuario UPO 33.** s.l. : [http://cdpups.com/productImages/usermanual/Manual%20de%20Usuario%20UPO33PF365\(1\).pdf](http://cdpups.com/productImages/usermanual/Manual%20de%20Usuario%20UPO33PF365(1).pdf), 2013.
45. **D.T Lawrence Berkeley National Laboratory (Berkeley Lab). Berkeley Lab Benchmarking Tool Helps Dairy Processors Find Energy and Water Savings.** California EEUU : <http://eetd.lbl.gov/newsletter/nl36/eetd-nl36-3-bestdairy.html>, 2011.
46. **D.T Convertir Unidades Energéticas kwh a MJ. Conversión de Unidades Energéticas.** s.l. : <http://www.convertir-unidades.info/convertidor-de-unidades.php?tipo=energia>, 2013.
47. **D.T Best Dairy - Software Benchmarking. BEST Dairy Benchmarking Tool Request.** USA : <http://best-dairy.lbl.gov/node/2/download/e963e447b1d5aa2b1bc5a95a9387fba9>, 2012.
48. **D.S DANE. Encuesta Anual Manufacturera – EAM.** Bogotá : s.n., 2013.
49. **D.T UPME. Proyección de Demanda de Energía en Colombia - Energéticos.** Bogotá D.C : s.n., 2010.
50. **D.T Consejería de Universidades, Empresa e Innovación. Factores de conversión cálculos E4 - estrategia de ahorro y eficiencia energética.** España : [https://www.carm.es/web/integra.servlets.Blob?ARCHIVO=FACTORES%20DE%20CONVERSION%20CALCULOS%20E4.pdf&TABLA=ARCHIVOS&CAMPOCLAVE=IDARCHIVO&VALORCLAVE=56847&CAMPOIMAGEN=ARCHIVO&IDTIPO=60&RASTRO=c673\\$m3033,3270](https://www.carm.es/web/integra.servlets.Blob?ARCHIVO=FACTORES%20DE%20CONVERSION%20CALCULOS%20E4.pdf&TABLA=ARCHIVOS&CAMPOCLAVE=IDARCHIVO&VALORCLAVE=56847&CAMPOIMAGEN=ARCHIVO&IDTIPO=60&RASTRO=c673$m3033,3270), 2010.
51. **D.T Ministerio de la Protección social. Decreto 616.** s.l. : http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2006103010449_decreto_616_28_02_06.pdf, 2006.
52. **D.T Tetra pak. Dairy Processing Handbook.** s.l. : http://www.enq.ufsc.br/disci/eqa5216/material_didatico/DAIRYPH.PDF, 1995.
53. **D.T Cooperativa Colanta Ltda. Datos de Producción - Proceso de transformación de la leche.** Funza-Cundinamarca : s.n., 2014.
54. **D.T Ministerio de salud. DECRETO 3075 DE 1997.** s.l. : https://www.invima.gov.co/images/stories/aliamentos/decreto_3075_1997.pdf, 1997.
55. **D.T Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014.** Bogotá D.C : <https://www.dnp.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=4-J9V-FE2pI%3D&tabid=1238>.
56. **D.T Ministerio del Medio Ambiente. Política Nacional de Producción Más limpia.** Bogotá : http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativa/ambiente/politica/polit_produccion_mas_limpia.pdf, 1997.
57. **D.T CAR. Convenio de Concertación para una producción mas limpia.** Bogotá : http://209.217.236.222/~caemorg//catalogo/docs/132_Convenio_L%C3%A1cteos.pdf, 2006.
58. **D.T SENA - Estrategia de apoyo al desarrollo tecnológico y a la innovación agroindustrial en Colombia. Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA; Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - IICA Oficina en Colombia.** 2011.
59. **D.T PEN-SGIE - Ricardo Baquero Vergara. Estado del desempeño Energético del sector Agroindustrial de Procesamiento de leche y productos Lácteos.** 2012.
60. **D.T UPME - República de Colombia Ministerio de Minas y Energía. Informe de Precios de Energéticos observados en el sector Industrial; www.upme.gov.co; Subdirección de Planeación Energética Grupo de Hidrocarburos.** 2011.
61. **D.T Alquería S.A Productos de La Sabana. Alqueria informe de Gestión.** 2010.
62. **D.T Alqueria - Informe de Sostenibilidad. Alqueria - Los sueños Hechos realidad.** 2010.
63. **D.T FAO - Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. Situación de la lechería en America latina y el Caribe en 2011.** 2011.

64. **D.T FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.** *Situación de la lechería en América Latina y el Caribe en 2011.* 2011.
65. **D.T Revista Portafolio.** *Comercio Exterior.* Bogotá : s.n., 2007.
66. **D.T Universidad Autónoma de Occidente.** *Artículo; El MGIE, un modelo de gestión energética para el sector productivo nacional.* s.l. : Juan Carlos Campos Avella, Omar Freddy Prías Caicedo, Enrique Ciro Quispe Oqueña, Juan Ricardo Vidal Medina y Edgar Daniel Lora Figueroa, 2008.
67. **D.T Alquería S.A Productos de La Sabana.** *Alquería Informe de Gestión.* 2012.
68. **D.T OCDE-FAO.** *Perspectivas Agrícolas 2013-2022.* s.l. : <http://www.fao.org/docrep/018/i3307s/i3307s.pdf>, 2013.
69. **D.T Spirax Sarco.** *La industria láctea sistemas de vapor y condensado.* Madrid : <http://www.spiraxsarco.com/es/pdfs/SB/gcm-10.pdf>.
70. *El MGIE, un modelo de gestión energética para el sector productivo nacional.* **Campos J.C., Quispe E.C., Prias O., Vidal J.R. y Lora E.D.** Enero-Junio de 2008, Revista El Hombre y la Máquina, Universidad Autónoma de Occidente, Vol. Edición No 30, págs. 18-31. pp. 18-31.