



**Universidad
Técnica de
Cotopaxi**

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“DISEÑO DE UNA PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DEL SUERO LÁCTEO
Y LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS COMO FUENTE DE ENERGÍA
ALTERNATIVA EN LA INDUSTRIA LÁCTEA DE LA EMPRESA PASTOLAC”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniero Industrial

Autores:

Cuasque Romero Klever Giovanni

Toapaxi Hidalgo Jaime David

Tutor:

PhD. Ángel Salvador Hernández Moreno

LATACUNGA –ECUADOR

Agosto - 2018



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Industrial

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **Klever Giovanni Cuasque Romero** y **Jaime David Toapaxi Hidalgo**, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **Diseño de una planta para el tratamiento del suero lácteo y la producción de biogás como fuente de energía alternativa en la industria láctea de la empresa PASTOLAC**, siendo el **PhD. Ángel Salvador Hernández Moreno** tutor del presente trabajo, y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Klever Giovanni Cuasque Romero

C.I. 171653361-5

Jaime David Toapaxi Hidalgo

C.I. 180476469-2



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Industrial

AVAL DEL TUTOR DE TESIS

En calidad de director del trabajo de Titulación de investigación sobre el tema: **“DISEÑO DE UNA PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DEL SUERO LÁCTEO Y LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA EN LA INDUSTRIA LÁCTEA DE LA EMPRESA PASTOLAC”**, Klever Giovanni Cuasque Romero y Jaime David Toapaxi Hidalgo, postulantes de la Carrera de Ingeniería Industrial , considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyectos que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 13 de Julio del 2018.

El director.

.....
PhD. ÁNGEL S. HERNÁNDEZ MORENO

C.I. 175710936-6



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL LECTOR

En calidad del tribunal de lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, los postulantes: **KLEVER GIOVANNY CUASQUE ROMERO** y **JAIME DAVID TOAPAXI HIDALGO**, con el título de proyecto de titulación: **DISEÑO DE UNA PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DEL SUERO LÁCTEO Y LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA EN LA INDUSTRIA LÁCTEA DE LA EMPRESA PASTOLAC**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación del Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 27 julio del 2018.

Para constancia firman

LECTOR 1

PhD. Medardo Ulloa
C.I.: 100097032-5

LECTOR 2

MSc. Ing. Hernán Navas
C.I.: 050069554-9

LECTOR 3

MSc. Ing. Lilia Cervantes
C.I.: 175727437-6



Linea de lacteos "PASTOLAC"



CARTA AVAL

Pastocalle – Latacunga, 18 de julio del 2018.

Sr. Jose Pila

Administrador

EMPRESA PASTOLAC

Presente.-

Notificamos que la empresa "PASTOLAC", apoya la realización del proyecto investigativo "DISEÑO DE UNA PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DEL SUERO LÁCTEO Y LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA EN LA INDUSTRIA LÁCTEA DE LA EMPRESA PASTOLAC", llevando a cabo por los señores estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi; Cuasque Romero Klever Giovanni y Toapaxi Hidalgo Jaime David, en los meses de octubre 2017 y julio 2018.

Declaramos conocer y aceptar los términos y condiciones previstas para la ejecución del proyecto Investigativo, estando conformes con todas aquellas actividades que se prevean realizar con nuestro apoyo.

Sin otro particular, saludos cordiales a la prestigiosa UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.

Atentamente

Sr. José Pila

Administrador PASTOLAC

C.I. 050137050-6



AGRADECIMIENTO

Son muchas las personas que han contribuido para que este Proyecto de Grado haya sido cristalizado y como tal quiero dedicarles estas líneas en señal de agradecimiento.

A Dios y a mis padres, Manuel e Isabel quienes me han sabido guiar por el camino del bien, brindándome incondicionalmente su apoyo en todas mis decisiones, el trasmitirme amor y ganas de superación a pesar de las adversidades, es la mejor herencia que me pueden entregar.

A mis hermanos Susana, Roció, Manuel y sobrinos que con su amor y cariño siempre han estado a mi lado en todos aquellos momentos importantes en mi vida.

A mis amigos que han estado conmigo en las situaciones buenas y malas de la vida.

Por último quiero agradecer a todos los docentes que forman parte de la Universidad Técnica de Cotopaxi, por los conocimientos transmitidos durante mi formación profesional

KLEVER

AGRADECIMIENTO

Fueron muchas las personas quienes me dieron aliento y no dejaron desfallecer mis sueños a ellos quiero dedicar las siguientes líneas.

A Dios por guiarme en mi camino.

A mis padres, Jaime y Gilma quienes me han me han apoyado durante toda mi vida en mis momentos buenos y malos, guiándome de la mejor manera aconsejándome y alentándome.

A mis abuelitos Jorgito y Teresita, gracias a ellos he cumplido muchos de mis sueños, me han brindado su cariño, afecto y sabios consejos que me han hecho el hombre que ahora soy.

A mi hermana Estefanía, mí ahijado Alitán a mis tíos, tías, cuñados y mis suegros que me han motivado durante todo este tiempo.

DAVID

DEDICATORIA

El presente trabajo me gustaría dedicarlo a mis padres Manuel e Isabel que son las personas más importantes de mi vida, gracias a su amor y valores que me encaminaron e inculcaron en mi las ganas de superarse y prepararse día tras día, Ellos me han demostrado que existen muchos obstáculos en el transcurso de la vida, que hay que superarlos con esfuerzo y sacrificio, son y serán mi ejemplo de trabajo y superación, finalmente quisiera dedicar este Proyecto de grado a mis hermanos y sobrinos que siempre me han apoyado en mis decisiones y han sido para mí una gran compañía que llena de alegría mi vida.

KLEVER

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a los amores de mi vida mi esposa Evelin y mi hija Camila, que son la motivación que me impulsa a ser mejor persona cada día, quienes día a día me motivan y me llenan de amor.

También está dedicado a mis padres y abuelitos que son mi ejemplo a seguir y ejemplo de lucha, que me han mostrado que cualquier dificultad se puede superar siempre unidos como familia, que solo con esfuerzo, amor y dedicación llegaremos a donde nos proponemos.

DAVID

ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE TESIS	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL LECTOR.....	iv
AVAL DE LA EMPRESA	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA	viii
ÍNDICE.....	x
INDICE DE FIGURAS	xvi
INDICE DE TABLAS	xviii
RESUMEN	xx
ABSTRACT.....	xxi
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xxii
1 INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	3
3 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	3
4 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
4.1 Situación problemática.	3
5 OBJETIVOS	4
6 ACTIVIDADES	5
7 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA.....	7
7.1 Suero lácteo	7
7.2 Lacto suero como contaminante	7
7.3 La digestión anaeróbica	8
7.4 Fermentación anaeróbica	8
7.5 Productos finales de la digestión anaerobia.....	9
7.5.1 Biogás.....	9
7.5.2 Biol o bioabono	9
7.6 Fundamentos de la Fermentación Metanogénica	9
7.6.1 Etapas de la fermentación metanogénica	9
7.6.2 Hidrólisis	10
7.6.3 Etapa fermentativa o acidogénica.....	10
7.6.4 Etapa acetogénica	10

7.6.5 Etapa metanogénica.....	11
7.7 Beneficios ambientales de la biodigestión anaeróbica	11
7.8 Influencia de los parámetros ambientales y de control.....	11
7.8.1 Temperatura.....	11
7.8.2 pH y alcalinidad.....	12
7.8.3 Ubicación del biodigestor.....	12
7.9 Componentes de un digestor anaeróbico	12
7.9.1 Reactor.....	12
7.9.2 Entrada del afluente.....	13
7.9.3 Salida del efluente.	13
7.9.4 Extracción de lodos.	13
7.9.5 Sistema de gas	13
7.9.5.1 Cúpula de gas.....	14
7.9.5.2 Válvulas de seguridad y rompedora de vacío.	14
7.9.5.3 Dispositivo anti retroceso de llama.....	14
7.9.5.4 Válvulas térmicas.....	14
7.9.5.5 Separadores de sedimentos.	14
7.9.5.6 Purgadores de condensado.....	15
7.9.5.7 Medidores de gas.	15
7.9.5.8 Manómetros.	15
7.9.5.9 Reguladores de presión.	15
7.9.5.10 Almacenamiento del gas.	15
7.9.5.11 Quemador de los gases sobrantes.....	15
7.9.6 Muestreador.....	15
7.10 Sistemas de Biodigestión.....	16
7.10.1 Sistema de Batch o discontinuos.....	16
7.10.2 Sistema de flujo Semi continuo	16
7.10.3 Sistema de Flujo Continuo.....	16
7.10.3.1 Tipos de Biodigestores de sistema de flujo semi continuo	17
7.10.3.1.1 Biodigestor Indio.....	17
7.10.3.1.2 Biodigestor Chino	17
7.10.3.1.3 Biodigestor de estructura flexible	17
8 HIPÓTESIS.....	17

9	METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	18
9.1	Tipo de proyecto	18
9.1.1	Proyecto investigativo	18
9.1.1.1	Investigación explicativa.....	18
9.1.2	Métodos	18
9.1.3	Técnicas de investigación.....	19
9.1.4	Fuentes de información	19
9.2	Características generales de la empresa láctea “PASTOLAC”	20
9.3	Diagrama de procesos flujo y volúmenes	21
9.3.1	Diagrama de volumen y masa	24
9.4	Diagrama energético productivo.....	25
9.4.1	Necesidades energéticas de la empresa “PASTOLAC”	27
9.4.1.1	Consumo y costos energéticos	27
9.4.2	Estructura de gastos de la empresa PASTOLAC marzo 2017 – marzo 2018.....	27
9.5	Criterios y requerimientos para el diseño y dimensionamiento del biodigestor.....	28
9.5.1	Requerimientos para el diseño y dimensionamiento del biodigestor	28
9.5.1.1	Estimación de la cantidad de suero lácteo producido	28
9.5.1.2	Necesidad de energía eléctrica de la empresa.....	29
9.5.1.3	Análisis de la disponibilidad física para la ubicación del biodigestor	29
9.5.1.4	Tiempo de Retención Hidráulica (THR) y Tasa de Carga Orgánica (OLR)	30
9.5.2	Criterios para realizar el diseño y dimensionamiento del biodigestor	31
9.5.2.1	Tipo de biodigestor	31
9.5.2.2	Temperatura de operación y variación de pH.....	31
9.6	Diseño y dimensionamiento del biodigestor.....	33
9.6.1	Dimensionamiento del biodigestor.....	33
9.6.1.1	Volumen del tanque de alimentación de suero lácteo.....	33
9.6.1.2	Volumen de sustrato	34
9.6.1.3	Volumen cúpula de gas	35
9.6.1.4	Volumen total del biodigestor.....	35
9.6.1.5	Volumen del tanque de descarga	35
9.6.1.6	Producción de biogás	36
9.6.1.6.1	Filtro para ácido sulfúrico	36
9.6.1.7	Altura de la Tubería para carga.....	37

9.6.1.8 Reservorio para gas	37
9.6.1.9 Generador Eléctrico	38
9.6.1.10 Excavación	40
9.6.2 Intercambiador de calor	40
9.6.2.1 Serpentín para transferencia de calor	41
9.6.2.1.1 Propiedades físicas de medio de calentamiento	41
9.6.2.1.2 Coeficiente individual de transferencia de calor	42
9.6.2.1.3 Coeficiente global de transferencia de calor limpio y sucio	43
9.6.2.1.4 Calor requerido para calentar el suero lácteo	44
9.6.2.1.5 Diferencia de temperatura	44
9.6.2.1.6 Área del serpentín.....	44
9.6.2.1.7 Número de vueltas del serpentín	45
9.6.2.2 Pérdidas de calor a través de la tubería.....	45
9.6.2.2.1 Tiempo que tomará en calentar el sustrato del biodigestor	47
9.6.2.2.2 Costo de funcionamiento del intercambiador de calor.....	47
9.7 Elaborar el juego de planos del biodigestor.....	48
10 RESULTADOS OBTENIDOS	49
10.1 Análisis de los requerimientos energéticos de la empresa PASTOLAC	49
10.1.1 Costos y consumo de energías en la empresa PASTOLAC	49
10.1.1.1 Consumo eléctrico.....	49
10.1.1.2 Consumo Diésel	50
10.1.1.3 Consumo De GLP	50
10.1.1.4 Consumo de agua	51
10.1.2 Estructura de gastos de la empresa PASTOLAC.....	51
10.1.2.1 Estructura de gastos generales de la empresa PASTOLAC.....	51
10.1.2.2 Estructura de costos por portador energético “PASTOLAC”	52
10.1.2.3 Estructura de costos de electricidad por área	53
10.1.2.4 Estructura de costos por área cuarto frío.....	53
10.2 Análisis de los requerimientos de diseño.....	54
10.2.1 Suero lácteo.....	54
10.2.1.1 Enero	55
10.2.1.2 Febrero	55
10.2.1.3 Marzo	56

10.2.1.4	Abril	56
10.2.1.5	Mayo.....	57
10.2.2	Ubicación del biodigestor	59
10.2.3	Biodigestor	59
10.2.4	Variación de pH	60
10.3	Resultado de los cálculos de dimensionamiento	61
10.3.1	Volumen del tanque de alimentación.....	61
10.3.2	Volumen del sustrato	62
10.3.3	Volumen de la cúpula.	62
10.3.4	Volumen total del biodigestor.....	62
10.3.5	Volumen del tanque de descarga	63
10.3.6	Producción de biogás	63
10.3.6.1	Filtro H ₂ S o ácido sulfúrico.....	64
10.3.7	Altura de la tubería de carga	64
10.3.8	Reservorio de para biogás	64
10.3.9	Generador Eléctrico	65
10.3.10	Excavación.....	65
10.3.11	Resultados del intercambiador de calor	65
10.3.11.1	Coficiente individual de transferencia de calor	65
10.3.11.2	Coficiente global de transferencia de calor limpio y sucio	66
10.3.11.3	Calor requerido para calentar el suero lácteo	66
10.3.11.4	Diferencia de temperatura	66
10.3.11.5	Área del serpentín.....	67
10.3.11.6	Número de vueltas del serpentín	67
10.3.11.7	Pérdidas de calor a través de la tubería.	67
10.3.11.7.1	Tiempo que tomara en calentar el sustrato del biodigestor	68
10.3.11.7.2	Costo de funcionamiento del intercambiador de calor	68
10.3.12	ANÁLISIS DE RESULTADOS BIODIGESTOR	69
10.4	Diseño del biodigestor	71
11	IMPACTOS	72
11	PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	73
12	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
13	BIBLIOGRAFÍA	78

14 ANEXOS	81
-----------------	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fermentación anaeróbica de glucosa en etanol.....	8
Figura 2. Residuos orgánicos de diversos orígenes.....	11
Figura 3. Cúpula de gas.....	14
Figura 4. Ubicación empresa PASTOLAC.....	20
Figura 5. Asociación Agroecológicos Pastocalle – Línea láctea Pastolac.....	20
Figura 6. Productos lácteos de la empresa PASTOLAC.....	21
Figura 7. Diagrama de flujo de procesos y equipos PASTOLAC.....	23
Figura 8. Diagrama masa y volumen para la elaboración de quesos.....	24
Figura 9. Diagrama de masa y volumen elaboración de yogurt y helados.....	25
Figura 10. Diagrama Energético Productivo.....	26
Figura 11. a) Mesa de moldeo; b) queso en molde; c) tanque de almacenado de suero.....	29
Figura 12. Acidómetro MI 805.....	32
Figura 13. Flujograma de funcionamiento de la planta de tratamiento.....	33
Figura 14. Generador Eléctrico Stamford.....	38
Figura 15. Diagrama del diseño del serpentín para intercambio de calor.....	41
Figura 16. Diagrama de resistencias térmicas.....	46
Figura 17. Estructura de gastos de la empresa PASTOLAC.....	52
Figura 18. Estructura de costos por Portador Energético.....	52
Figura 19. Estructura de costos de electricidad por área.....	53
Figura 20. Consumo energético anual del cuarto frío.....	54
Figura 21. Producción de suero mes enero.....	55
Figura 22. Producción de suero mes de Febrero.....	55
Figura 23. Producción de suero mes de Marzo.....	56
Figura 24. Producción de suero mes de Abril.....	56
Figura 25. Producción de suero mes de Mayo.....	57
Figura 26. Resultante de producción de suero lácteo.....	58
Figura 27. Croquis de la empresa y el Biodigestor.....	59
Figura 28. Variación de pH y temperatura.....	61
Figura 29. Diseño del tanque de alimentación.....	62
Figura 30. Biodigestor.....	63
Figura 31. Tanque de descarga.....	63
Figura 32. Reservorio del Biogás.....	65

Figura 33. Angulo de inclinación para el biodigestor	65
Figura 34. Serpentín	67
Figura 35. Diseño Biodigestor 3D.....	71
Figura 36.- Registro de producción de queso y residuo de lacto suero	82
Figura 37 Registro de producción de queso y residuo de lacto suero	83
Figura 38. Facturas y recibos pagos servicios básicos	99
Figura 39. Ficha Técnica acidómetro MI 805	101
Figura 40. Especificaciones Técnicas de Tanque PLASTIGAMA	102
Figura 41. Especificaciones técnicas del cobre Tipo “L”	103
Figura 42. Ficha Técnica Bomba de agua sumergible Q 3500.....	103
Figura 43. Ficha Técnica generador eléctrico Stamford PI044H.....	104
Figura 44. Ficha técnica Motor YANMAR 4TNV84T.....	105
Figura 45. Ficha técnica HYPALON	106
Figura 46. Toma de datos de pH del lacto suero	107
Figura 47. Distribución de áreas.....	108
Figura 48. Distancia del biodigestor al generador eléctrico	109
Figura 49. Planimetría de la Empresa PASTOLAC.....	110
Figura 50. Tabla para encontrar el Factor jH	111
Figura 51. Tabla de conversiones	112
Figura 52. Tabla de calor específico del agua	113
Figura 53. Tabla con la viscosidad del agua.....	114
Figura 54. Factor de ensuciamiento del agua potable (agua de ciudad).....	115
Figura 55. Fechadora manual	116
Figura 56. Compresor	116
Figura 57. Bomba para el Caldero Marca PAOLO	117
Figura 58. Equipo Ekomilk Ultra	117

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Líneas de investigación de la UNESCO.....	2
Tabla 2. Cuadro de beneficiarios	3
Tabla 3. Actividades para el cumplimiento de los objetivos.....	6
Tabla 4. Equivalencias de biogás a otras fuentes energéticas	7
Tabla 5. Producción de biogás.....	8
Tabla 6. Composición química de biogás.....	9
Tabla 7. Tipos de Tasa de carga orgánica.....	30
Tabla 8. Cuadro de valores de ponderación.....	31
Tabla 9. Características técnicas principales del generador	39
Tabla 10. Características principales del motor.....	39
Tabla 11. Datos del generador	40
Tabla 12. Propiedades físicas del agua	41
Tabla 13. Propiedades físicas del lacto suero	42
Tabla 14. Propiedades físicas del cobre.....	42
Tabla 15. Especificaciones y características del GLP y del quemador	48
Tabla 16. Consumo y gasto mensual de energía Eléctrica de un año.....	49
Tabla 17. Consumo de diésel anual Marzo 2027- marzo 2018	50
Tabla 18. Consumo anual de GLP en la empresa PASTOLAC	50
Tabla 19. Consumo de agua anual de la empresa PASTOLAC	51
Tabla 20. Biogás requerido para satisfacer las necesidades energéticas de PASTOLAC.....	54
Tabla 21. Tabla de resultados de producción de suero.....	57
Tabla 22. Datos para el diseño y dimensionamiento del biodigestor	58
Tabla 23. Características de biodigestor Hindú y Chino	60
Tabla 24. Tabla de resultados del biodigestor	69
Tabla 25. Producción de biogás.....	69
Tabla 26. Características del tanque biodigestor	70
Tabla 27. Características del serpentín	70
Tabla 28. Costos elementos plásticos PVC	73
Tabla 29. Accesorios de PVC.....	73
Tabla 30. Fondo para imprevistos	73
Tabla 31. Recursos Utilizados	74
Tabla 32. Elementos varios	74

Tabla 33. Elementos eléctricos	75
Tabla 34. Costo total del proyecto	75
Tabla 35. Estructura de costos de la Empresa	100
Tabla 36. Estructura de costos salarios del personal	100
Tabla 37. Variación de pH del lacto suero	107
Tabla 38. Compilación bibliográfica de sustratos	119

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: DISEÑO DE UNA PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DEL SUERO LÁCTEO Y LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA EN LA INDUSTRIA LÁCTEA DE LA EMPRESA PASTOLAC

Autores:

CUASQUE ROMERO KLEVER GIOVANNY

TOAPAXI HIDALGO JAIME DAVID

RESUMEN

La empresa PASTOLAC perteneciente a la Asociación Agroecológicos Pastocalle, localizada en la Provincia de Cotopaxi, parroquia Pastocalle. En la empresa se generan aproximadamente 3400 litros de lacto suero al mes, como un subproducto del proceso de elaboración del queso. Dichos residuos, fundamentalmente, se vierten a los terrenos aledaños de la empresa, con la consiguiente contaminación de los mismos; y una pequeña cantidad es vendida para alimento de cerdos. Por otra parte, la empresa tiene un consumo anual de energía eléctrica de aproximadamente, 19.264 kWh que representa un costo anual de \$ 1.734, constituyendo el 73% de este costo, el asociado al consumo de energía eléctrica en el cuarto frio. Por ello, el objetivo fundamental de este trabajo es diseñar una planta para el tratamiento del lacto suero y la producción de biogás para la generación de energía eléctrica para eliminar y/o disminuir los problemas anteriormente expuestos. Para dar cumplimiento a dicho objetivo se diseñó una planta, que está formada, fundamentalmente, por un tanque de mezcla, el biodigestor, que tiene incorporado un intercambiador de calor para el calentamiento del sustrato hasta la temperatura de operación. El costo total de la planta es de \$ 1989 siendo los elementos los elementos más costosos la mano de obra (42% del coste total), los tanques: carga, biodigestor y descarga (22% del coste total) y el calefón para el sistema de intercambio de calor (7% del coste total) de la planta de tratamiento. La producción diaria de biogás se estima en, aproximadamente, 20m³ con un contenido energético equivalente a 24 kWh/día, lo que le permitiría a la empresa satisfacer el 49% de las necesidades de energía eléctrica. El bioabono resultante se podría utilizar como fertilizante para los cultivos, y el mismo la empresa se lo puede vender a los agricultores de la zona o a los socios de la misma.

Palabras clave: Biogás – Lacto suero – Contaminación de suelos – Generación eléctrica – Digestión anaeróbica.

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING SCIENCES AND APPLIED

THEME: DESIGN OF A PLANT FOR THE TREATMENT OF CHEESE WHEY AND THE PRODUCTION OF BIOGAS AS A SOURCE OF ALTERNATIVE ENERGY IN THE DAIRY INDUSTRY OF THE PASTOLAC COMPANY.

Authors:

CUASQUE ROMERO KLEVER GIOVANNY
TOAPAXI HIDALGO JAIME DAVID

ABSTRACT

The company PASTOLAC belonging to the Pastocalle Agroecological Association, it is located in the province of Cotopaxi, Pastocalle parish. In this company, approximately 3,200 liters of cheese whey per month are generated, as a by-product of the cheese-making process. Said waste, fundamentally, it is dumped to the surrounding land of the company, with the consequent contamination of the same; and a small amount is sold for pig feed. On the other hand, the company has an annual electricity consumption of approximately 19,264 kWh that represents an annual cost of \$ 1,734, constituting 73% of this cost, associated with the consumption of electricity in the cold room. Therefore, the main objective of this work is to design a plant for the treatment of whey and the production of biogas for the generation of electric power to eliminate and / or reduce the problems previously exposed. To comply with this objective, a plant was designed, which is basically made up of a mixing tank, the biodigester, which has a heat exchanger incorporated to heat the substrate up to the operating temperature. The total cost of the plant is \$ 1989, with the elements being the most expensive elements for labor (42% of the total cost), tanks: feeding tank, biodigester and discharge tank (22% of the total cost) and the water heater required for heat exchange system (7% of the total cost) of the treatment plant. The daily production of biogas is estimated at approximately 20m³ with an energy content equivalent to 24 kWh / day, which would allow the company to satisfy 33% of the electricity needs. The resulting bio-fertilizer could be used as fertilizer for the crops, and the same company can sell it to farmers in the area or its members.

Key words: Biogas – Cheese whey- Soil pollution - Electric generation - Anaerobic digestion.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la Carrera de **INGENIERÍA INDUSTRIAL** de la Unidad Académica de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**, **Klever Giovanni Cuasque Romero** y **Jaime David Toapaxi Hidalgo**, cuyo título versa “**DISEÑO DE UNA PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DE SUERO LÁCTEO Y LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA EN LA INDUSTRIA LÁCTEA DE LA EMPRESA PASTOLAC**”, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, 20 de julio del 2018

Atentamente,

Lcdo. José Ignacio Andrade
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 050310104-0



CENTRO
DE IDIOMAS

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

1 INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto:

“DISEÑO DE UNA PLANTA PARA EL TRATAMIENTO DEL SUERO LÁCTEO Y LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA EN LA INDUSTRIA LÁCTEA DE LA EMPRESA PASTOLAC”

Fecha de inicio:

19 de OCTUBRE del 2017

Fecha de finalización:

AGOSTO del 2018

Lugar de Ejecución:

Pastocalle, Latacunga, Empresa láctea PASTOLAC.

Unidad Académica que auspicia

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA)

Carrera que auspicia:

Ingeniería Industrial.

Equipo De Trabajo:**Tutor del Proyecto Investigación:**

- Nombre: PhD. Ángel Salvador Hernández Moreno
- Celular: 0984160559
- Correo electrónico: angel.hernandez@utc.edu.ec

Coordinador del proyecto:

- Nombre: Cuasque Romero Klever Giovanni
- Celular: 0979052727
- Correo electrónico: klevercuasque1991@gmail.com

Coordinador de proyecto:

- Nombre: Toapaxi Hidalgo Jaime David
- Celular: 0984173764
- Correo electrónico: jaime.toapaxi4692@utc.edu.ec

Área de conocimiento:

Ingeniería, Industria y Construcción

Línea de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sub líneas de investigación de la carrera de Ingeniería Industrial:

Procesos productivos.

Aprovechamiento de subproductos y residuos.

Línea de investigación de Ciencia y Tecnología de la UNESCO

Tabla 1. Líneas de investigación de la UNESCO

Campo	Disciplina	Sub disciplina
	3308 Ingeniería y Tecnología del Medio Ambiente	330807 Eliminación de Residuos
3300 Ciencias tecnológicas	3309 Tecnología de Los Alimentos	330909 Productos lácteos
	3322 Tecnología Energética	332203 Generadores de Energía

Fuente: Unesco

2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto tiene como propósito mejorar el manejo de desechos y subproductos obtenidos, del proceso de transformación de la leche a sus derivados aportando un beneficio energético a la empresa, mediante el tratamiento del suero lácteo en un biodigestor anaeróbico, con lo que se obtendrá biogás el cual será utilizado como energía renovable en la empresa, esto ayudará a la empresa a disminuir la contaminación ambiental de suelos y aguas, utilizados en el cultivo de hortalizas, así también el costo de energía eléctrica que consume la empresa en los procesos de elaboración de derivados de leche, además la empresa, colaboradores y pobladores podrían beneficiarse con el desecho del proceso de biodigestión denominado biol el cual es un fertilizante orgánico.

Cada uno de los aspectos detallados como aspecto ambiental, económico y social proporciona que el proyecto de biogás tendrá muchas ventajas dentro de la empresa Pastolac y beneficiará a la vez a las personas del sector, la empresa contará con una gran fortaleza que le ayudará a crecer y ser una industria competitiva en Pastocalle.

3 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

En la Tabla 2, se muestran los beneficiarios directos e indirectos del proyecto.

Tabla 2. Cuadro de beneficiarios

Beneficiarios	
Beneficiarios Directos	Asociación Agroecológicos Pastocalle línea Láctea Pastolac con 54 socios.
Beneficiarios Indirectos	Agricultores aledaños aproximadamente 100 personas.
Total beneficiarios	154

Fuente: Cuasque K., Toapaxi J.

4 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

4.1 Situación problemática.

En la actualidad la provincia de Cotopaxi se destaca por su actividad agrícola y ganadera, por lo se puede encontrar con pequeñas y grandes empresas dedicadas a la producción de derivados

lácteos como son el yogurt, helados y quesos lo que genera de igual forma gran cantidad de desperdicios y subproductos orgánicos que son almacenados y desechados, estas sustancias perjudican la calidad de suelos y contaminan líquidos vitales como el agua de ríos.

Las pequeñas empresas no cuentan con la tecnología para dar tratamiento a los subproductos de la elaboración de quesos (lacto suero), y los desechan a suelos o ríos, este es el caso de la línea láctea PASTOLAC, que los suelos de terrenos aledaños se encuentran contaminados por el vertido del suero lácteo, debido a que estos desechos contienen altos niveles de sales minerales, grasas, glucosa, lactosa y proteínas, que al contacto con los suelos, por las grandes cantidades vertidas vuelven árido al terreno, las probabilidades de sembrar y cultivar las tierras se han vuelto nulas, sin contar que al contacto con el sol emana gases y malos olores que contribuyen a la contaminación ambiental.

Los suelos contaminados no son el único problema, ya que estos suelos contaminados sirven como cuna para la proliferación de microorganismos dañinos para la salud y moscas que son transmisores de enfermedades, por lo que darle tratamiento al suero lácteo es muy necesario.

A más de la contaminación de suelos, para mantener los productos frescos el consumo eléctrico mensual es muy elevado en promedio de 3402 kWh/mes, debido al uso de cuarto de refrigeración que consume en promedio 2160 kWh/mes el consumo restante es de equipos que se utilizan para enfriado, pasteurización y para análisis de laboratorio.

Planteamiento del problema

¿Cómo disminuir la contaminación del suelo generada por el vertido de suero lácteo resultante del proceso de elaboración de queso en la línea láctea PASTOLAC?

5 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una planta de biogás, para el tratamiento del suero lácteo generado como subproducto del proceso de elaboración de queso, para disminuir la contaminación de los suelos y aguas del sector de Pastocalle y sus alrededores.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las necesidades energéticas existentes en la Empresa Pastolac.
- Definir los parámetros y requerimientos para el diseño de la planta de biogás.
- Diseñar el modelo de la planta de Biogás en base a los parámetros y requerimientos planteados.
- Determinar los costos de implementación de la planta de Biogás.

6 ACTIVIDADES

A continuación, se detallan las actividades que se realizarán para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos:

Tabla 3. Actividades para el cumplimiento de los objetivos.

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	RESULTADOS
Determinar las necesidades energéticas existentes en la Empresa Pastolac.	Identificación de las fuentes energéticas de la empresa Pastolac. Determinación de la demanda energética de la empresa Pastolac.	La información recopilada permitirá conocer la demanda de energía que necesita la empresa Pastolac para los procesos de sus productos. Se obtiene información de los costos energéticos de la empresa.
Definir los parámetros y requerimientos para el diseño de la planta de biogás.	Inspección del espacio físico con el que cuenta la empresa Pastolac. Definición de parámetros y requerimientos	Permitirá conocer la disposición de espacio libre con la que cuenta la empresa Pastolac. Se obtendrá la información técnica y científica adecuada para el diseño del biodigestor y de los procesos que requiere la digestión anaeróbica.
Diseñar el modelo planta de Biogás en base a los parámetros y requerimientos planteados.	Realización del diseño en AutoCAD para su posterior construcción. Realización de instructivos de mantenimiento y de operación de la planta.	Se obtiene el diseño en AutoCAD del diseño de la planta de Biogás. Se obtiene los instructivos que ayudarán a los propietarios a manejar y brindar mantenimientos a la planta.
Determinar los costos de implementación de la planta de Biogás.	Investigación del costo de materiales. Análisis del costo total de la planta de tratamiento.	Se encontrará la opción que sea más económica y con materiales que cumplan los parámetros requeridos Se conocerá un estimado del costo total que se necesitará para la construcción y en qué tiempo se recuperará la inversión.

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

7 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

7.1 Suero lácteo

El suero es un subproducto proveniente de la leche, durante muchos años fue un agente contaminante pero hoy en día puede ser utilizado como materia prima para la elaboración de productos y ser aprovechado de alguna forma.

El lacto suero es un subproducto que se genera en la industria láctea, sus principales componentes son la lactosa, proteínas y algunos minerales. Existen dos tipos de lacto suero:

El lacto suero dulce se obtiene en la elaboración de lácteos en donde se utiliza la coagulación enzimática con un pH cercano a 5.6 y el lacto suero ácido que se produce cuando la coagulación es por acidificación a un pH de 5.1 o menor (Arrojo, Omil, Garrido, & Méndez, 2003).

7.2 Lacto suero como contaminante

La industria alimenticia es considerada una de las más contaminantes a nivel mundial, esto debido a que produce residuales con altas cargas orgánicas, las cuales son de difícil degradación en el medio ambiente (Rodríguez, Aldapa, Ramírez, & Rosas, 2015).

Aproximadamente 47% de los 115 millones de toneladas de lacto suero producido anualmente a nivel mundial son desechados al medio ambiente. Esto representa una pérdida de una fuente de alimentación y causa serios problemas de contaminación, ya que el lacto suero contiene una alta carga orgánica con valores de DBO de 40 000- 60 000 mg/L y DQO 50 000-80 000 mg/L (Ben-Hassan & Ghaly, 1994).

En la Tabla 38 del ANEXO L, se muestra una compilación bibliografía, donde se determina el tiempo de retención, porcentaje de sólidos volátiles y sólidos totales, acidez, temperatura, carga diaria para la digestión anaeróbica, cantidad de proteínas y de grasas, según varios estudios realizados por prestigiosos autores.

En la Tabla 4 se puede apreciar la conversión de biogás a los portadores energéticos eléctricos, diésel y GLP.

Tabla 4. Equivalencias de biogás a otras fuentes energéticas

Equivalencia del biogás a fuentes energéticas			
Biogás	Electricidad	Combustible	Gas
1 m ³	1,2 kWh	0,6 L Diésel	0,5 kg de GLP

Fuente: (X Aguilar & Botero Botero, 2006) y (PROMOENERGIA, 2015)

Se debe tener en cuenta de igual forma la producción de biogás estimada por metro cúbico de suero lácteo, como se puede observar en la Tabla 5.

Para estimar la cantidad de biogás que se puede generar por día:

Tabla 5. Producción de biogás

Lacto suero	Producción de biogás por día.
1 m ³	0,85 m ³ / kg VS

Fuente: (Fernandez Rodriguez, 2012)

7.3 La digestión anaeróbica

Es un proceso biológico que degrada los materiales orgánicos como residuos animales y vegetales y son convertidos en biogás, que es una proporción de dióxido de carbono y metano con otros elementos en menor cantidad (Varnero, 2011).

7.4 Fermentación anaeróbica

En una fermentación anaeróbica, la materia orgánica es catabolizada en ausencia de un aceptor de electrones externo mediante microorganismos anaeróbicos estrictos o facultativos a través de reacciones de oxidación-reducción bajo condiciones de oscuridad (Varnero, 2011).

En la Figura 1, se muestra la fermentación anaeróbica de glucosa en etanol, tenemos que destacar su la mayor parte de metano se produce a través de la fermentación anaeróbica.

Figura 1. Fermentación anaeróbica de glucosa en etanol



Fuente: (Varnero, 2011)

7.5 Productos finales de la digestión anaerobia

Como resultado de la digestión anaeróbica se obtiene el biogás y el biol el primero es utilizado como generación de energía alternativa y el segundo como fertilizante para los cultivos agrícolas.

7.5.1 Biogás

El biogás es una mezcla de diferentes gases producidos por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, como el estiércol y las basuras orgánicas según (Cepero, 2012). La composición química del biogás (Tabla 6) indica que el componente más abundante es el metano (CH_4) entre 40 y 70%; este es el primer hidrocarburo de la serie de los alcanos y un gas de efecto invernadero 21 veces más contaminante que el dióxido de carbono, por lo que para liberarlo a la atmosfera se quema mediante una mezcla de CH_4 con el aire es combustible y arde con llama azul.

Tabla 6. Composición química de biogás

Componente	Fórmula	Porcentaje
Metano	CH_4	40-70
Dióxido de carbono	CO_2	30-60
Hidrogeno	H_2	0,1
Nitrógeno	N_2	0,5
Monóxido de carbono	CO	0,1
Oxígeno	O_2	0,1
Sulfuro de hidrógeno	H_2S	0,1

Fuente: (Blanco, 2011)

7.5.2 Biol o bioabono

Es un fertilizante que contiene características orgánicas, al no contener químicos genera un sin número de beneficios como físicos y biológicos (Varnero, 2011).

7.6 Fundamentos de la Fermentación Metanogénica

7.6.1 Etapas de la fermentación metanogénica

La digestión anaeróbica es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea. Los estudios bioquímicos

y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas:

1. Hidrólisis
2. Etapa fermentativa o acidogénica
3. Etapa acetogénica
4. Etapa metanogénica

7.6.2 Hidrólisis

La hidrólisis proteica se realiza normalmente en un reactor, con control de agitación, pH, temperatura y tiempo del proceso (Benitez, 2011). El sustrato se disuelve o suspende en agua hasta que el pH y la temperatura se estabilizan; a continuación, se agrega la proteasa dando inicio a la hidrólisis. A medida que ésta progresa se produce una disminución del pH debido a la rotura de los enlaces peptídicos.

7.6.3 Etapa fermentativa o acidogénica

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (Acético, Fórmico, H_2), y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso, según (Ortega, 2006).

7.6.4 Etapa acetogénica

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (H_2 y acético), otros (etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, como acetato ($CH_3 COO^-$) e hidrógeno (H_2), a través de las bacterias acetogénicas (Ortega, 2006).

Este tipo de bacterias son capaces de crecer heterotróficamente en presencia de azúcares o compuestos mono carbonados (como mezcla H_2 / CO_2) produciendo como único producto acetato.

7.6.5 Etapa metanogénica

Ortega (2006) afirma que los microorganismos metano génicos completan el proceso de digestión anaerobia mediante la formación de metano a partir de sustratos mono carbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente, acetato, H_2/CO_2 , Formato, metanol y algunas metilaminas (Ortega, 2006)

7.7 Beneficios ambientales de la biodigestión anaeróbica

El biogás producto de la digestión anaeróbica puede ser utilizado como fuente alternativa de energía al transformarla en energía eléctrica genera grandes beneficios dentro de una organización y evita que se genere desperdicios ayudando al medio ambiente que hoy día es un problema mundial debido a los gases de efecto invernadero que incrementan al calentamiento global.

A continuación, en la Figura 2 se detalla las diversas materias primas que se pueden utilizar en la fermentación metanogénica de los diferentes residuos que son utilizados para la producción de biogás.

Figura 2. Residuos orgánicos de diversos orígenes

Residuos de origen animal	estiércol, orina, guano, camas, residuos de mataderos (sangre y otros), residuos de pescados.
Residuos de origen vegetal	malezas, rastrojos de cosechas, pajas, forraje en mal estado.
Residuos de origen humano	heces, basura, orina.
Residuos agroindustriales	salvado de arroz, orujos, coquetas, melazas, residuos de semillas.
Residuos forestales	hojas, vástagos, ramas y cortezas.
Residuos de cultivos acuáticos	algas marinas, jacintos y malezas acuáticas.

Fuente: (Varnero, 2011)

7.8 Influencia de los parámetros ambientales y de control

7.8.1 Temperatura

Es una característica muy importante para la producción de biogás, la temperatura depende del crecimiento de los microorganismos que generan el Biogás.

Existen tres tipos de digestión dependiendo en la temperatura (Moncayo, 2013).

- Psicrófilico por debajo de 25°C.
- Mesófilico de entre 25 y 45°C
- Termófilico de entre 45 y 60°C.

7.8.2 pH y alcalinidad

Los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaerobia presentan unos niveles de actividad más óptimos en torno a la neutralidad entre los siguientes valores (Ortega, 2006):

- Fermentativos: entre 7.2 y 7.4
- Acetogénicas: entre 7.0 y 7.2
- Metanogénicas: entre 6.5 y 7.5

Al conocer estas características se tiene el control del proceso de producción de Biogás en cada una de sus etapas. Si se tuviera un pH muy ácido o muy alcalino el proceso de biodigestión se inhibiría y tendrá que reiniciarse.

7.8.3 Ubicación del biodigestor

La ubicación del biodigestor cumple con un importante rol, ya que un biodigestor por muy eficiente que este sea, si se encuentra mal ubicado las instalaciones serán inútiles, pero al contrario una buena ubicación permitirá una fácil operación y manejo como carga y descarga.

7.9 Componentes de un digestor anaeróbico

7.9.1 Reactor

El reactor corresponde al dispositivo principal donde ocurre el proceso bioquímico de degradación de la materia orgánica (Varnero, 2011). Los reactores de digestión pueden tener forma cilíndrica, cúbica, ovoide o rectangular, aunque la mayor parte de los tanques que se construyen en la actualidad son cilíndricos. El suelo del reactor está inclinado, para que la arena, el material inorgánico sedimentable y la fracción pesada del afluente puedan ser extraídos del tanque. Los digestores modernos tienen cubiertas, fijas o flotantes, cuya misión es impedir que escapen olores, conservar la temperatura, evitar la entrada de oxígeno y recoger el gas producido. Pueden estar contruidos de distintos materiales desde una piscina cubierta de HDPE, concreto hasta acero inoxidable.

7.9.2 Entrada del afluente.

Se sitúa en la parte superior del digestor, es un ingreso para los elementos que conforman el sustrato.

7.9.3 Salida del efluente.

En un digestor de cubierta fija puede haber de 3 a 5 tubos, colocados a distintos niveles, o un único tubo con válvulas a distintos niveles, para la extracción del mismo (Varnero, 2011). Por regla general, se elige aquel nivel que extraiga un efluente de mejor calidad (con la menor cantidad posible de sólidos).

7.9.4 Extracción de lodos.

Son tuberías para la extracción de material estancado en la parte central del Biodigestor que evita que se acumule el lodo en la parte central del reactor y que existan obstrucciones.

7.9.5 Sistema de gas

El gas se compone fundamentalmente de metano y anhídrido carbónico. El contenido en metano del gas de un digestor que funcione adecuadamente variará del 65% al 70% en volumen, con una oscilación en el anhídrido carbónico del 30% al 35%. Uno o dos por ciento del gas del digestor se compone de otros gases (Varnero, 2011).

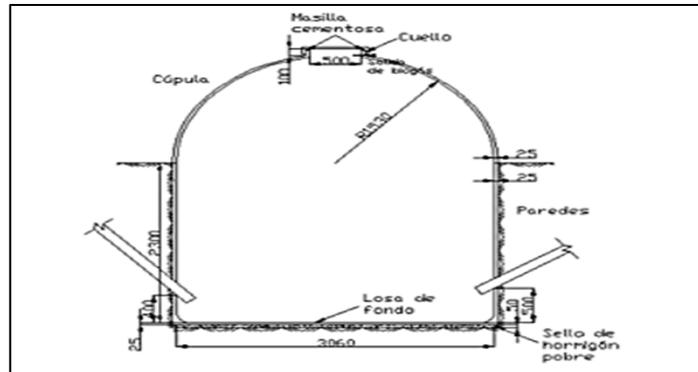
Debido a la presencia de metano (60%), el gas del digestor posee un poder calorífico aproximado de 500 a 600 kilocalorías por litro. El sistema de gas lo trasladó desde el digestor hasta los puntos de consumo o al quemador de gases en exceso. El sistema de gas se compone de las siguientes partes:

- Cúpula de gas.
- Válvulas de seguridad y rompedora de vacío.
- Apaga llamas.
- Válvulas térmicas.
- Separadores de sedimentos.
- Purgadores de condensado.
- Medidores de gas.
- Manómetros.
- Reguladores de presión.
- Almacenamiento del gas.
- Quemador de los gases sobrantes.

7.9.5.1 Cúpula de gas.

Se denomina cúpula a la parte superior del digestor que tiene la forma de una campana como se demuestra en la Figura 3: que permite el almacenamiento del biogás.

Figura 3. Cúpula de gas



Fuente: (Ortiz, 2015)

7.9.5.2 Válvulas de seguridad y rompedora de vacío.

Es una válvula de seguridad que permite el alivio de depresión en recipientes, esta válvula es un regulador automático.

7.9.5.3 Dispositivo anti retroceso de llama

Es un elemento de seguridad que en casos de flama evita que la llama llegue a la cámara del biodigestor y provoque una explosión de los gases.

7.9.5.4 Válvulas térmicas.

Se trata de otro dispositivo de protección instalado cerca de una fuente de llama y cerca de la cúpula de gas. Este tipo de válvulas son redondas, con un plato de cierre unido al accionamiento. El vástago apoya sobre un disco fusible que mantiene el plato unido. Si la llama genera el calor suficiente, el elemento fusible se funde y el muelle acciona el vástago hasta que el plato asienta, para cortar el paso del gas.

7.9.5.5 Separadores de sedimentos.

Es un recipiente que está situado por lo general en la parte superior del digestor, muy próximo a la cúpula de gas, se encuentra equipado con un deflector interno y un drenaje de condensados en el fondo, el proceso es el siguiente entra el gas por la parte superior lateral del tanque y

desciende hasta atravesar por el deflector y vuelve a subir y sale por la parte superior, al momento de realizar este proceso evita que el gas entre con humedad al sistema de gas.

7.9.5.6 Purgadores de condensado.

El gas húmedo tiene un recorrido desde el tanque caliente hasta zonas de temperatura más baja que genera que el agua se condense, el agua que se genere de este proceso debe recogerse de lo contrario evitará que el gas circule y ocasionará daños a los equipos y elementos que conforman el sistema.

7.9.5.7 Medidores de gas.

Son medidores de presión con fuelles, diagramas de flujo en paralelo y placas de orificios de presión diferencial.

7.9.5.8 Manómetros.

Los manómetros se instalan en varios puntos del sistema para indicar la presión del gas.

7.9.5.9 Reguladores de presión.

Se instalan, generalmente, antes y después del quemador de gases en exceso. Estos reguladores suelen ser del tipo diafragma y controlan la presión en todo el sistema de gas del digestor (Varnero, 2011).

7.9.5.10 Almacenamiento del gas.

El gas que se obtiene de la digestión anaeróbica se puede almacenar en un contenedor separado o a su vez en el digestor en la parte superior.

7.9.5.11 Quemador de los gases sobrantes.

Este quemador de gases permite la eliminación de exceso de gases del biodigestor a través de una llamarada exterior.

7.9.6 Muestreador

El muestreador consiste en una tubería de 8 o 10 cm de diámetro con una tapa de cierre con bisagras que penetra en el tanque de digestión, a través de la zona de gas, y que está siempre sumergida unos 30 cm en el lodo del digestor. Esto permite la toma de muestras del lodo del

digestor, sin pérdida de presión de gas, y sin crear condiciones peligrosas causadas por la mezcla de aire y gas del digestor. (Varnero, 2011).

7.10 Sistemas de Biodigestión

Existen varios tipos de sistemas de biodigestión dependiendo de la frecuencia de cargado entre ellos se tiene:

7.10.1 Sistema de Batch o discontinuos

Se cargan una vez y quedan cerrados por un tiempo fijo de retención hasta terminado el proceso de fermentación. En esas plantas al comienzo hay mucha masa orgánica y pocas bacterias y al final tienen muchas bacterias y poca masa orgánica. La operación involucra principalmente cargar un biodigestor que permanecerá cerrado con sustrato, un inoculante y en algunos casos una base para mantener el pH casi neutral.

El digestor es sellado y la fermentación se realiza entre 30 y 180 días, dependiendo de la temperatura ambiente. Durante este periodo, la producción de gas aumenta paulatinamente hasta un máximo y luego declina. Esta fermentación se puede realizar con un contenido de sólidos orgánico de 6 a 10%. (Sanchez, 2013).

7.10.2 Sistema de flujo Semi continuo

Son biodigestores de construcción de concreto, ladrillo o piedra, la campana es de forma semi esférica y son enterrados por lo general ahorrando espacio, pueden ser abastecidos de carga diaria entre los más populares se encuentran de cúpula fija (Chino), de cúpula móvil o flotante (Hindú), de salchicha o Tubular.

7.10.3 Sistema de Flujo Continuo

El sistema de biodigestión continuo se desarrolla principalmente para el tratamiento de aguas residuales, en donde las plantas son muy grandes porque se utiliza en áreas industriales, se proporciona calefacción y agitación al interior del biodigestor debido a la gran cantidad de materia que ingresa y la gran cantidad de biogás que genera hace necesario utilizar equipos de medición para su control aumentando su complejidad.

7.10.3.1 Tipos de Biodigestores de sistema de flujo semi continuo

7.10.3.1.1 Biodigestor Indio

Se compone de un digestor en forma de bóveda esférica o cilíndrica y un depósito de gas móvil en forma de campana flotante, este tipo de campana puede flotar directamente en la masa de fermentación o en un anillo de agua cilíndrico. Al momento que se acumula gas la campana sube luego de extraer el gas la campana desciende y con el propósito de evitar que la campana se ladee se construye un soporte de hierro como guía.

7.10.3.1.2 Biodigestor Chino

Este tipo de digestor es de construcción de ladrillos, piedra u hormigón a diferencia del indio que contiene partes móviles, el digestor chino es fijo y la carga de materia prima para la producción de biogás puede ser a diario.

7.10.3.1.3 Biodigestor de estructura flexible

Es un Biodigestor tubular prefabricados de geomembrana PVC, desarrollados para una instalación rápida y de bajo costo, aunque su tiempo de vida es relativamente corto de aproximadamente 5 años.

8 HIPÓTESIS

La implementación de una planta de tratamiento anaeróbico permitirá eliminar el vertido del lacto suero en los terrenos de la empresa y disminuir el consumo energético a través de la generación de biogás.

VARIABLE INDEPENDIENTE: Generación de biogás

VARIABLE DEPENDIENTE: Vertido de lacto suero en los terrenos de la empresa.

9 METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

9.1 Tipo de proyecto

9.1.1 Proyecto investigativo

El proyecto investigativo es de tipo técnico, analítico, exploratoria y descriptivo de la línea de producción de queso de la empresa PASTOLAC, con el propósito de diseñar e implementar una propuesta de reutilización del sub producto generado que permita disminuir o eliminar la contaminación del suelo del sector y generar una fuente de energía alternativa para la empresa.

Se analizan las etapas de proceso industrial y se caracterizan el consumo energético permitiendo hacer la descripción de la planta de biogás que se propone.

9.1.1.1 Investigación explicativa

Se utiliza para describir la relación causa – efecto de la generación de lacto suero y el tratamiento o intervención para disminuir o eliminar la contaminación generada por el lacto suero. Este proyecto de investigación estará basada en la investigación exploratoria y descriptiva, ya que abordara un tema poco estudiado que es necesario experimentar y comprobar su necesidad.

También permitirá proveer referencias generales del tema que se desconocen cómo tipo de biodigestores, características y uso del lacto suero para la producción de biogás reutilizando este subproducto para describir las transformaciones que se propone hacer en la planta. Además también permitirá de describir los procesos de la planta PASTOLAC y el biodigestor que se propone utilizar a partir del uso del lacto suero.

9.1.2 Métodos

Analítico

Se utiliza para el análisis de todos los procesos de la empresa, su relación con los consumos de energía, para la selección del biodigestor adecuado para la producción de biogás y para dimensionar el biodigestor.

Inductivo

Se utiliza para recabar información de los procesos de la empresa, actividades, productos y subproductos resultantes, así como tipos de biodigestores acorde a las cantidades de lacto suero resultante.

9.1.3 Técnicas de investigación**Observación**

Esta técnica se utiliza para comprobar visualmente el lugar de trabajo, actividades realizadas, procesos de elaboración, disponibilidad de espacio físico para el diseño del biodigestor y los equipos que se utilizan para los procesos dentro de la empresa PASTOLAC.

Entrevista

Se utilizó para la recopilación de información acerca de los procesos y actividades de la empresa.

Documental

Se emplea el análisis documental para conocer el comportamiento de producción de lacto suero mensual durante el periodo de investigación del proyecto.

9.1.4 Fuentes de información**Primaria**

Observación directa de la empresa

Secundaria

Documentación bibliográfica, publicaciones, artículos científicos, manuales, tesis, libros e información web.

9.2 Características generales de la empresa láctea “PASTOLAC”

La Asociación Agroecológicos Pastocalle y su línea de Lácteos “Pastolac” está formada por 54 personas, y se encuentra ubicada en la provincia de Cotopaxi, sector Pastocalle, tal como se puede apreciar en la Figura 4.

Figura 4. Ubicación empresa PASTOLAC



Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

El gerente General de la empresa es el señor José Pila el cual administra las dos líneas de la asociación, que son de producción láctea “PASTOLAC” y cría de cuyes “PASTOCUY”. En la Figura 5 se puede observar la Asociación (edificio de la izquierda) y junto se encuentra las instalaciones de la Empresa Láctea (edificio de la derecha).

Figura 5. Asociación Agroecológicos Pastocalle – Línea láctea Pastolac.



Fuente: Cuasque K., Toapaxi J.

La empresa cuenta con 60 proveedores y 2 camionetas para el transporte de leche. La capacidad de las camionetas es de 600 y 1.300 litros de leche, respectivamente; y en ellas se mantiene a una temperatura de 25°C para evitar que se dañe.

Del total de leche que ingresa a la planta de producción (1.900 litros diarios), 520 litros se utilizan para la producción de derivados tales como yogurt, helados y queso, mientras que el restante se vende a empresas más grandes tales como Alpina y Parmalat. La producción de derivados se realiza tres días por semana (lunes, miércoles y viernes).

Como resultado de la elaboración del queso se genera un subproducto conocido como lacto suero o suero lácteo, que constituye entre un 80 y 90% del total de la leche (Remón, Laseca, García, & Aruzo, 2016).

La empresa Pastolac almacena en un tanque de 1.000 litros de capacidad el lacto suero generado y aproximadamente el 80% del lacto suero es vertido a los terrenos aledaños, lo que ocasiona su contaminación, mientras que el 20% restante es utilizado como alimento para cerdos. Para conocer las cantidades de lacto suero generado diariamente se elaboró un registro, que se puede observar en la Figura 36 y 37 del ANEXO A.

9.3 Diagrama de procesos flujo y volúmenes

La empresa elabora productos derivados de la leche vacuna tales como el yogurt en distintos sabores, quesos y helados en varios sabores, tal como se puede apreciar en la Figura 6. La elaboración de estos productos se realiza bajo pedido o para la venta a pequeñas tiendas y mini mercados.

Figura 6. Productos lácteos de la empresa PASTOLAC

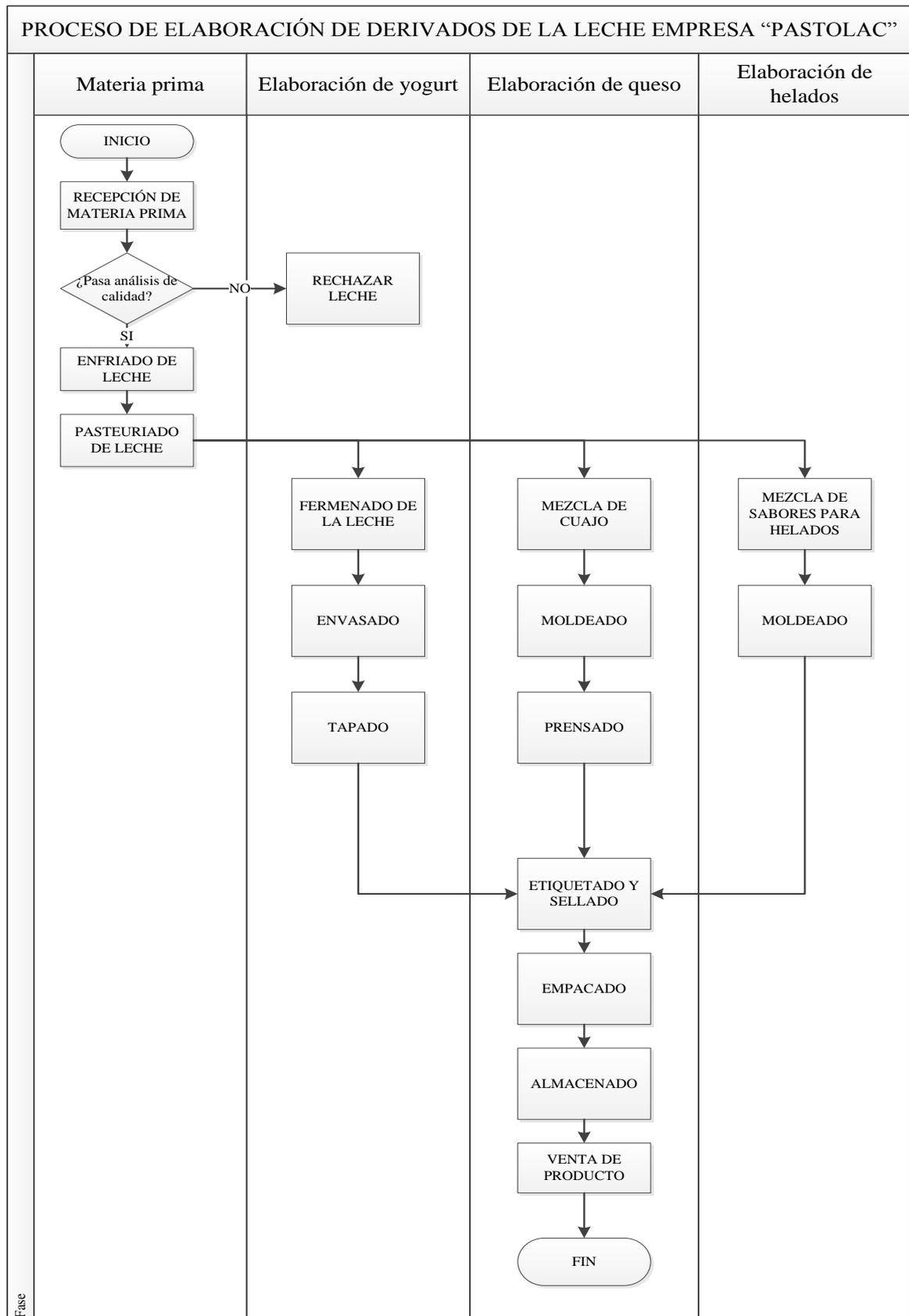


Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

En la Figura 7 se muestra el diagrama de flujo de procesos que se utiliza para elaborar los productos mencionados anteriormente. Para la elaboración de los diferentes productos se realizan los siguientes procesos:

- Recepción de Materia Prima
- Análisis de Calidad
- Enfriado de leche
- Pasteurizado
- Elaboración de productos (Queso, yogurt y helados)
- Empaquetado y etiquetado
- Fechado
- Empacado y almacenado

Figura 7. Diagrama de flujo de procesos y equipos PASTOLAC

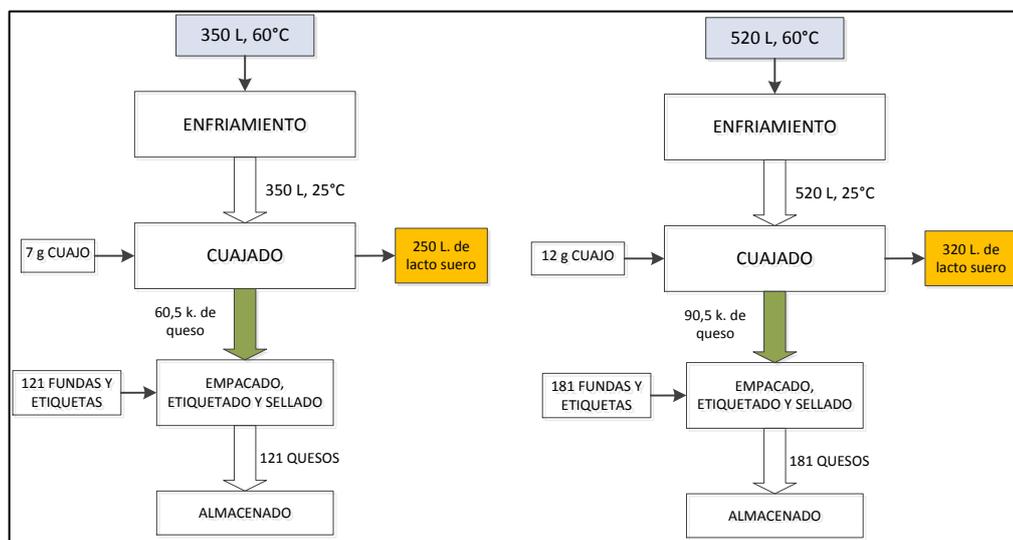


Fuente: Cuasque K. – Toapaxi J.

9.3.1 Diagrama de volumen y masa

Para la elaboración de queso la empresa tiene establecido la utilización de 350 litros de leche para los días lunes y miércoles, mientras que para los días viernes utiliza 520 litros de leche. En la Figura 8 se muestra el diagrama de masa y volumen para la elaboración de quesos que utiliza la empresa, para los mencionados volúmenes de leche inicial. Como se puede observar en esta figura cuando se utilizan 350 litros de leche para elaboración de queso se obtienen 121 quesos de 500g y se generan 250 litros de lacto suero, obteniendo un índice de generación de lacto suero de 4,13 litros de lacto suero por kilogramo de queso; mientras que cuando se utilizan 520 litros de leche se obtienen 181 quesos de 500g y se generan 320 litros de lacto suero para este caso se obtiene un índice de generación de lacto suero de 5,74 litros de lacto suero por kilogramo de queso;

Figura 8.Diagrama masa y volumen para la elaboración de quesos

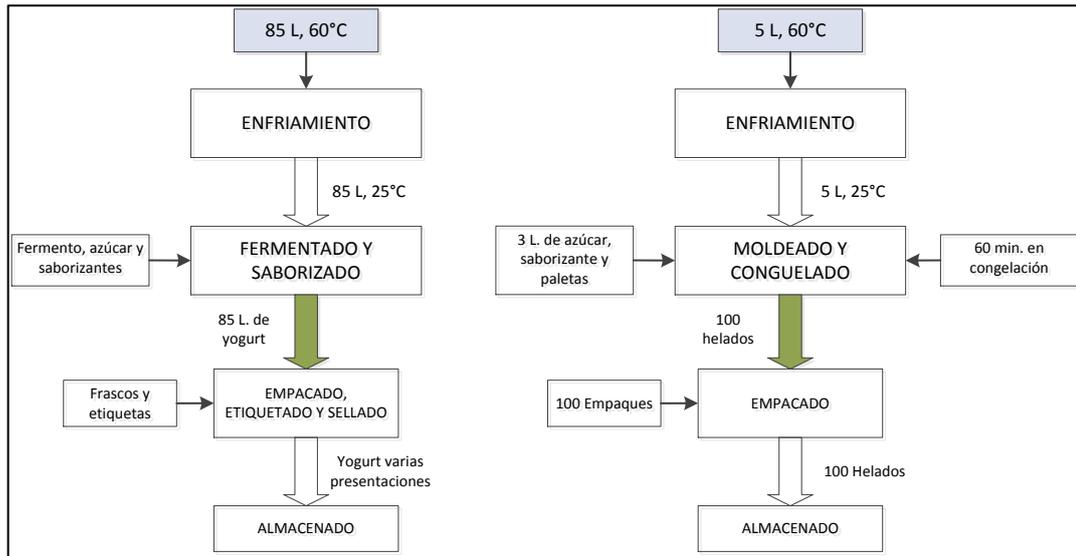


Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

La elaboración de yogurt y helados se la realiza los días martes y jueves, la producción de helados se la hace bajo pedido o por requerimiento del mercado. El diagrama de masa y volumen para la elaboración de estos productos se muestra en la Figura 9.

Para la elaboración de yogurt se utilizan 85 litros de leche y fermento de yogurt, azúcar y saborizante y se obtiene 85 litros de yogurt con saborizante; mientras que para la elaboración de helados se utiliza 5 litros de leche, azúcar y saborizante y se obtiene 100 helados de 100g.

Figura 9.Diagrama de masa y volumen elaboración de yogurt y helados



Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

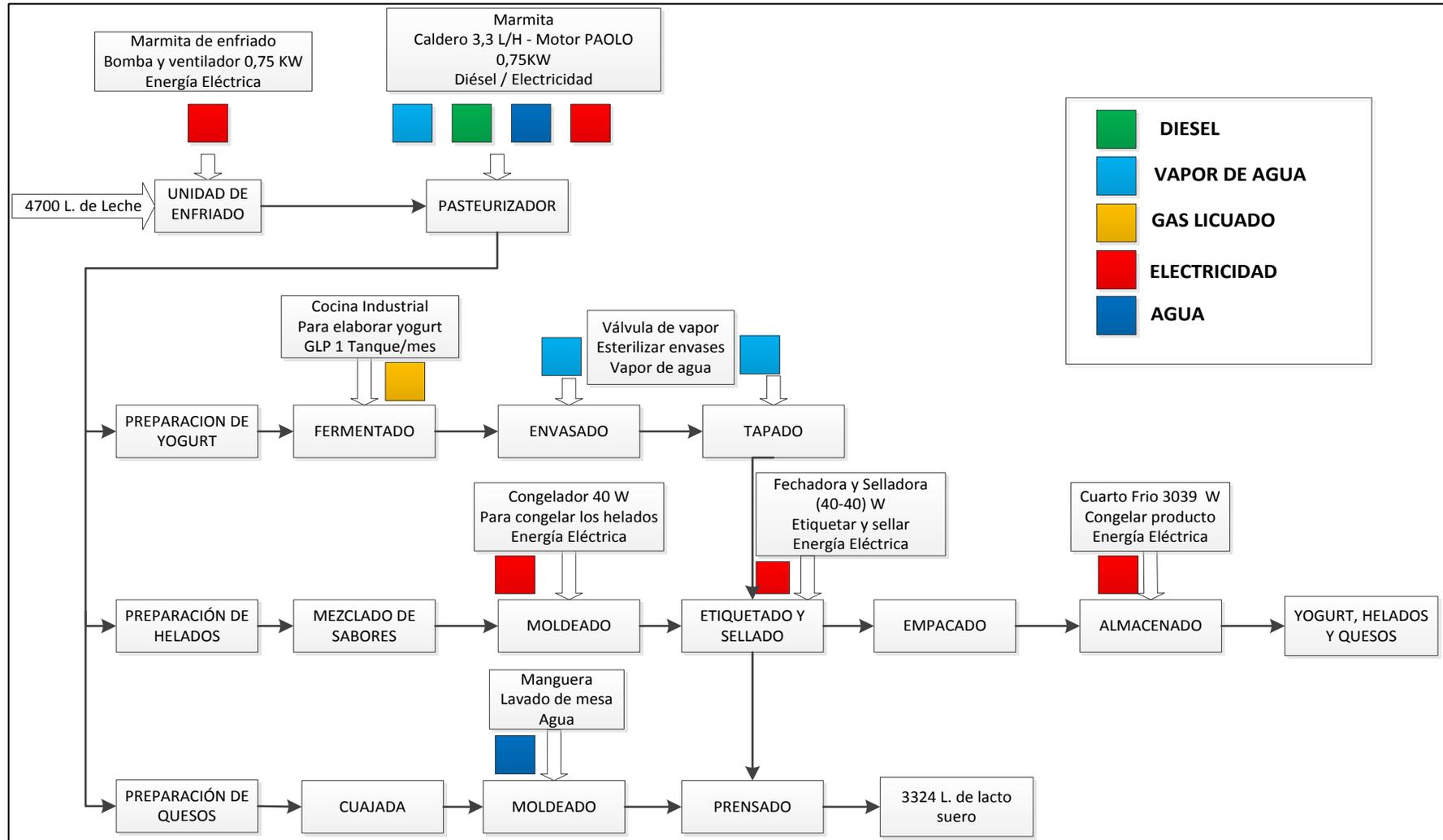
Como se puede observar en la Figura 9 la producción de helados no requiere de mucha cantidad de leche y la elaboración solo se hace en base a la demanda del mercado por lo que puede variar su producción, mientras que el yogurt se mantiene siempre la misma cantidad de leche para la elaboración y se elabora los días martes y jueves.

9.4 Diagrama energético productivo

En la Figura 10 se muestra el diagrama energético productivo de la empresa PASTOLAC. En ella se puede apreciar los diferentes portadores energéticos que se utilizan en cada uno de los procesos y los equipos en los que se emplea dichos portadores. En el ANEXO E se pueden consultar las especificaciones técnicas de cada uno de los equipos.

La energía eléctrica se consume principalmente en el área de almacenado en el equipo de enfriamiento del cuarto frío, el diésel se utiliza en el área de producción en el caldero para producir vapor que se utiliza para pasteurizar la leche, el GLP se consume en el área de producción en la cocina industrial para fermentar la leche y convertirla a yogurt.

Figura 10. Diagrama Energético Productivo



Fuente: Cuasque K. – Toapaxi J.

9.4.1 Necesidades energéticas de la empresa “PASTOLAC”

Como se analizó anteriormente la empresa PASTOLAC para la elaboración de los diferentes productos lácteos utiliza los siguientes portadores energéticos: energía eléctrica diésel y gal licuado de petróleo.

9.4.1.1 Consumo y costos energéticos

El consumo de los diferentes portadores energéticos utilizados en la empresa PASTOLAC en el periodo comprendido entre marzo 2017 y marzo 2018 se realizó de acuerdo al siguiente procedimiento:

- El consumo de energía eléctrica se determinó a partir de las facturas mensuales, al dividir el costo pagado entre el costo unitario de energía (0,09\$ por 1kWh).
- El consumo de diésel se estimó a partir la información proporcionada por el gerente de la empresa, la empresa compra 1 galón de diésel a la semana a un costo de 0,92 \$.
- El consumo de GLP se estimó a partir de la información proporcionada por el personal de producción, la empresa compra dos tanques de GLP a un precio de 2,5 \$ por mes.

Los documentos legales de los pagos realizados por concepto de consumo de energía eléctrica se puede observar en el ANEXO C.

9.4.2 Estructura de gastos de la empresa PASTOLAC marzo 2017 – marzo 2018

Los gastos incurridos por la empresa PASTOLAC en el periodo marzo 2017-marzo 2018, fueron proporcionados por dicha empresa, estos gastos incluyen: salarios, compra de materia prima, servicios varios, consumo de energías y costo de agua.

Mediante un diagrama de Pareto se establece el orden de relevancia de los gastos de la empresa y de igual forma para dar importancia relativa de los diferentes gastos energéticos. Los valores empleados para dichos diagramas se pueden consultar en el ANEXO D.

Una vez que se conozca la energía que mayor costo representa para la empresa se determinará el área, proceso y equipo donde existe un mayor consumo de esta energía. Las áreas y equipos a evaluar fueron las siguientes.

- Área de recepción de leche (Enfriadora de leche)
- Análisis de calidad (Equipos Ekomilk)
- Pasteurización de leche (Caldero, Marmita)

- Área de producción (Cocina Industrial)
- Envasado y fechado (Selladora y etiquetadora eléctrica manual)
- Almacenado (Cuarto frío)

9.5 Criterios y requerimientos para el diseño y dimensionamiento del biodigestor

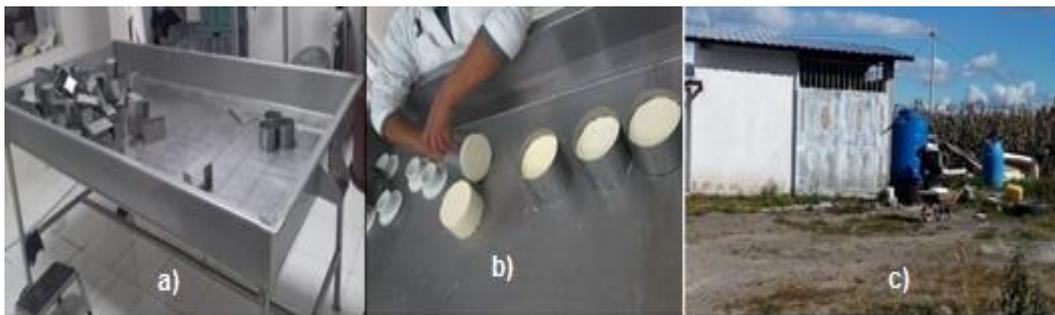
Para el diseño y dimensionamiento del biodigestor se seguirán los siguientes criterios y requerimientos

9.5.1 Requerimientos para el diseño y dimensionamiento del biodigestor

9.5.1.1 Estimación de la cantidad de suero lácteo producido

El proceso de elaboración de quesos y generación de lacto suero en la planta PASTOLAC se realiza de la siguiente forma; la leche pasteurizada que se encuentra en la marmita se enfría hasta los 25°C, cuando adquiere esta temperatura; se le añade una cantidad de cuajo (7 o 12 g en dependencia de la cantidad de leche utilizada), esto hace que se empiece a formar una masa conocida como cuajada. Entonces se deja reposar durante una hora hasta que se note la separación de la caseína de la leche; cuando esto sucede se dice que ha formado una cuajada firme. Entonces con la ayuda de una pala con malla se empieza a batir hasta cortar toda la cuajada. Posteriormente en la mesa de moldeado se colocan los moldes para quesos de 500 g y se asegura la mesa para que el lacto suero no se derrame y con la ayuda de un balde se coloca en los moldes la cuajada y el lacto suero generado. Una vez que la mayor parte de la cuajada se encuentra en los moldes se abre la compuerta de la mesa para que el lacto suero pueda caer en un contenedor, que tiene acoplado a una bomba que envía el lacto suero a un taque plástico de 1000 litros de capacidad para ser almacenado. Sobre los moldes se coloca una malla plástica para poder manipularlos y colocarlos en la prensa manual y presionarlos durante 30 minutos hasta que la mayor cantidad de lacto suero es retirado. Por último, se procede a empacar y etiquetar los quesos para ser almacenados en el cuarto frío. En la Figura 11, en a Figura 11a) se muestra la mesa de moldeo de queso, en la Figura 11 b) se pueden apreciar los quesos en moldes y en la Figura 11 c) se muestra el tanque de almacenamiento del lacto suero generado.

Figura 11. a) Mesa de moldeo; b) queso en molde; c) tanque de almacenado de suero



Fuente: Cuasque K., Toapaxi J.

Para estimar la cantidad de suero lácteo generado en la empresa PASTOLAC se elaboró un registro (ver ANEXO A), en el cual se apunta la cantidad de leche que se utilizó para la producción, la cantidad de quesos elaborados y la cantidad resultante de lacto suero. Teniendo en cuenta que la producción de quesos se la realiza 12 veces al mes (3 veces por semana), la producción mensual de lacto suero se obtuvo sumando la producción diaria de los 12 días. Estas mediciones se realizaron durante un periodo de 5 meses de enero a mayo del 2018.

9.5.1.2 Necesidad de energía eléctrica de la empresa

La empresa PASTOLAC está interesada en la generación de energía eléctrica a partir del biogás producido en el tratamiento anaeróbico del lacto suero. Teniendo en cuenta este interés de la empresa todo el biogás que se genere será utilizado para la producción de energía eléctrica. Las necesidades de energía eléctrica de la empresa se estimaron de acuerdo al procedimiento descrito en el Apartado 9.4.1.1.

9.5.1.3 Análisis de la disponibilidad física para la ubicación del biodigestor

Los principales factores que se deben tener en cuenta para una adecuada ubicación del biodigestor son (Córdova Gallardo & Tarco Maigua, 2011):

- Que la topografía del sitio permita la carga y descarga del sustrato por medio de gravedad.
- El lugar donde se ubicará el biodigestor y el alimentador debe encontrarse lo más cerca posible a la fuente de materia prima.
- Evitar el contacto directo con el manto del suelo.

A partir de la planimetría facilitada por la empresa se elaboró un plano de las áreas de producción y de la disponibilidad de terreno, y mediante las visitas de campo se seleccionó el sitio más adecuado para colocar el biodigestor de acuerdo con los factores mencionados anteriormente.

9.5.1.4 Tiempo de Retención Hidráulica (THR) y Tasa de Carga Orgánica (OLR)

El volumen del biodigestor se debe adaptar a la cantidad de sustrato a alimentar y a la velocidad de degradación del sustrato. Por un lado los microorganismos deben tener un tiempo suficiente para realizar el proceso de degradación y, por otro lado, la concentración de la materia orgánica no debe ser de un nivel que permita la sobrealimentación de los microorganismos. Para garantizar un correcto equilibrio entre estos factores se utilizan dos parámetros para calcular el volumen del biodigestor: la Tasa Orgánica de Carga (OLR) y el tiempo de retención hidráulica (THR) (Batchmann, 2013).

La Tasa Orgánica de Carga (OLR) se define como la cantidad de materia seca volátil (VDM) introducida en el biodigestor, expresado en kilogramos de materia seca volátil por metro cubico por día (kgVDM/m³.día).

Tabla 7. Tipos de Tasa de carga orgánica

Tipos de biodigestores	OLR (kg.VDM/m ³ .día)
Reactor Tipo Tanque Continuamente Agitado (CSTR)	2-3 * 4-5
Flujo de pistón	Hasta 10

*Para valores más altos de carga orgánica

Fuente: (Batchmann, 2013)

El Tiempo de Retención Hidráulico (THR) describe el periodo de tiempo teórico en el que los sustratos permanece en el biodigestor, el THR debe elegirse de forma tal que permita una degradación adecuada del sustrato sin aumentar el volumen del biodigestor.

Tanto la OLR como el THR hacen referencia al volumen efectivo del biodigestor, que es el volumen realmente disponible para los sustratos para obtener el volumen del biodigestor el espacio por encima del líquido requerido para el almacenamiento del gas.

Para la determinación del volumen del biodigestor se tomará un Tiempo de Retención Hidráulico de 10 días, en base a los resultados obtenidos por Yang, Yu & Hwang (2003). En

un biodigestor de una fase y con sustrato de lacto suero. Estos autores en estas condiciones (reactor de 1 fase y THR 10 días) obtuvieron, una remoción total de COD de 94,6 %, una concentración de metano de 67,6% y una producción de biogás de 0,35 L.CH₄/g. COD eliminado (Yang, Yu, & Hwang, 2002). Por otra parte se asumirá una OLR de 3 kgVDM/m³.día.

9.5.2 Criterios para realizar el diseño y dimensionamiento del biodigestor

El diseño y biodigestor se realiza de acuerdo a los siguientes criterios:

9.5.2.1 Tipo de biodigestor

Para la elección del biodigestor que mejor se adapte a las necesidades de la Empresa se tomarán en cuenta los siguientes parámetros:

- Costos y complejidad de construcción
- Disponibilidad de espacio físico
- Facilidad de limpieza y mantenimiento.

Para la selección del tipo de biodigestor solo se tendrán en cuenta los sistemas semi continuos debido a que la producción de suero lateo en la empresa es cada dos días

Dentro de los sistemas semi continuos existen dos tipos de biodigestor el Tipo Hindú y Chino, para la elección de la mejor opción para la empresa se dará una ponderación de 1 a 4 a los parámetros anteriormente especificados, tal como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Cuadro de valores de ponderación.

Valores de ponderación	
1	Muy Bajo
2	Bajo
3	Medio
4	Alto

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

9.5.2.2 Temperatura de operación y variación de pH

La empresa PASTOLAC se encuentra ubicada en la longitud 0°43'32.5"S y latitud, S 78°38'20.8"W, a una altura de 3.101 metros sobre el nivel del mar. Debido a estas condiciones la temperatura mínima promedio es de 6°C y la máxima es de 15°C (map.net, 2018).

La temperatura de operación es un parámetro muy importante para el diseño del biodigestor, tal como se analizó en el Apartado de 8.8.1. En dependencia de la temperatura de operación existen 3 tipos de digestión (Psicrofílica, Mesofílica y Termofílica). A temperaturas más altas la velocidad de degradación de la materia orgánica es más rápida y, por lo tanto, el tiempo de retención es menor al igual que el volumen del biodigestor. Teniendo en cuenta las bajas temperaturas predominantes en la Parroquia de Pastocalle, para el diseño del biodigestor se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- 1.- Operar el biodigestor a una temperatura de 40°C (Digestión mesofílica).
- 2.- Colocar el biodigestor dentro de un invernadero.

Para cumplir con el primer criterio se diseñará un intercambiador de calor que mantendrá la temperatura del sustrato a 40°C. Dicho intercambiador de calor utilizará como sustancia de trabajo el agua, que se calentará a partir de la energía liberada de la combustión de una parte del biogás generado.

Para darle cumplimiento al segundo criterio se construirá un invernadero que evite que el biodigestor se encuentre a la intemperie, con el objetivo de aumentar la temperatura en los alrededores del biodigestor, y con ello que exista una menor pérdida de calor.

Para obtener un estimado de variación de pH del lacto suero se realizó un análisis de acidez en la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión Salache, con el equipo MI 805 de MARTINI Instruments, tiene una tolerancia de $\pm 0,01$ pH. La ficha técnica del equipo se puede observar en el ANEXO E, Figura 39, y los valores obtenidos de las mediciones en el ANEXO F.

Figura 12. Acidómetro MI 805



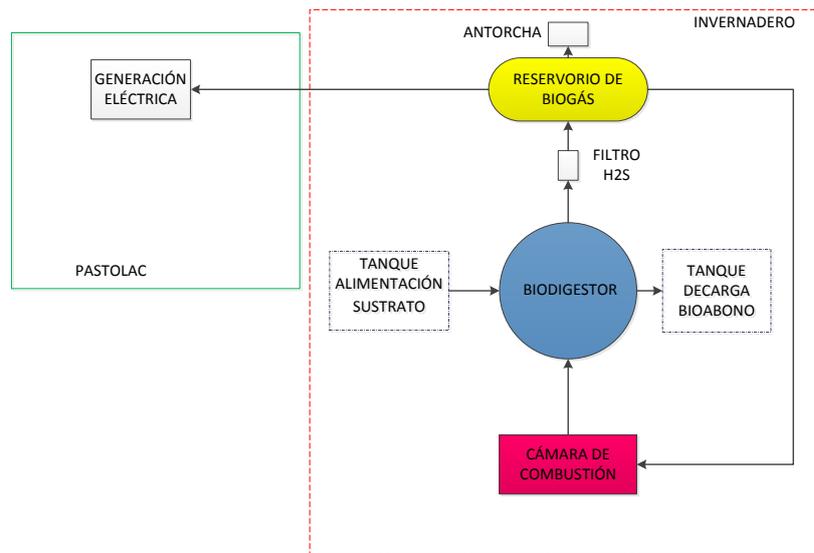
Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

9.6 Diseño y dimensionamiento del biodigestor

9.6.1 Dimensionamiento del biodigestor

En la Figura 13 se muestra un esquema conceptual de la planta para el tratamiento del suero lácteo, la producción de biogás y la generación de energía eléctrica para la empresa PASTOLAC. Como se puede apreciar en ella, la planta consta de los siguientes equipos y elementos; tanque de alimentación del sustrato, biodigestor, tanque de descarga de biol, filtro de purificación, reservorio de gas y sistema de generación eléctrica.

Figura 13. Flujograma de funcionamiento de la planta de tratamiento



Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

9.6.1.1 Volumen del tanque de alimentación de suero lácteo

El volumen del tanque de alimentación de suero lácteo se calcula a través de la siguiente ecuación (Campos Cuní, 2011):

$$V_{TA} = V_{LD} * 1,5 \quad (1)$$

Dónde:

V_{TA} : Volumen del tanque de alimentación (m^3)

V_{LD} : Volumen total de lacto suero generada en un día (m^3)

El valor de 1,5 constituye un factor de seguridad para prevenir salpicaduras, derrames y facilitar la homogenización de sustrato antes de entrar al biodigestor.

9.6.1.2 Volumen de sustrato

El cálculo del volumen del sustrato se realizará mediante las ecuaciones 2, 3 y 4 y se tomará el mayor valor resultante:

- a) A partir del tiempo de retención hidráulico (Batchmann, 2013)

$$V_{SB} = THR \times V_{LD} \quad (2)$$

Dónde:

V_{SB} : Volumen de sustrato alimentado al biodigestor (m^3)

THR: Tiempo de retención hidráulico (días)

V_{LD} : Volumen diario de lacto suero generado ($m^3/día$)

- b) A partir de la tasa de carga orgánica (Batchmann, 2013):

$$V_{SB} = \frac{V_{LD} * DM * VDM}{OLR} \quad (3)$$

Dónde:

V_{SB} : Volumen de sustrato alimentado al biodigestor (m^3)

V_{LD} : Volumen diario de lacto suero generado ($kg/día$)

DM: Materia seca (%)

VDM: Sólidos totales volátiles (% de VDM)

OLR: Tasa de carga orgánica ($kg.VDM/m^3.día$)

- c) A partir de la ecuación (Campos Cuní, 2011):

$$V_{SB} = V_{LD} * THR \quad (4)$$

Dónde:

V_{SB} : Volumen de sustrato alimentado al biodigestor (m^3)

V_{LD} : Volumen diario de lacto suero generado ($m^3/día$)

THR: Tiempo de retención hidráulico (días)

9.6.1.3 Volumen cúpula de gas

El volumen de la cúpula de gas se determina a través de la siguiente ecuación (Córdova Gallardo & Tarco Maigua, 2011):

$$V_G = V_{SB} * P_{BL} \quad (5)$$

Dónde:

V_G : Volumen de biogás (m^3)

V_{SB} : Volumen de sustrato alimentado al biodigestor (kg)

P_{BL} : Producción de biogás del suero lácteo (m^3/kg)

9.6.1.4 Volumen total del biodigestor

El volumen total del biodigestor constituye la suma del volumen del sustrato de carga y el volumen de la cúpula de gas (Cuní, 2011).

$$V_{TD} = (V_{SB} + V_G) * fs \quad (6)$$

Dónde:

V_{TD} : Volumen Total del Biodigestor (m^3)

V_{SB} : Volumen de sustrato alimentado al biodigestor (m^3)

V_G : Volumen requerido para biogás (m^3)

fs : Factor de seguridad (%)

Se tomó un valor de seguridad de 10% en base a la recomendación de (Beer, Johnston Jr, Dewolf, & Mazurek, 2010).

9.6.1.5 Volumen del tanque de descarga

El volumen del tanque de descarga dependerá del volumen del efluente al digestor. El volumen de tanque debe tener como mínimo el mismo volumen que el tanque de alimentación. Para el presente trabajo se consideró el mismo volumen que el tanque de alimentación.

$$V_{Td}=V_{TA}$$

Dónde:

V_{Td} : Volumen de tanque de descarga (m^3)

9.6.1.6 Producción de biogás

Para calcular la producción de biogás se utilizará la ecuación (Córdova Gallardo & Tarco Maigua, 2011):

$$P_{BL} = \frac{(d_L * V_{SB}) DM}{100} * \frac{VDM}{100} * P_{BL} \quad (7)$$

Dónde:

P_{BL} : Producción de biogás (m³/día)

V_{SB} : Volumen de sustrato alimentado al biodigestor (m³)

d_L : Densidad de lacto suero (kg/m³)

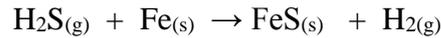
DM: Materia seca (%)

VDM: Sólidos totales volátiles (%)

P_{BL} : Producción de biogás del suero lácteo (m³ biogás/kg día)

9.6.1.6.1 Filtro para ácido sulfúrico

Para la eliminación del sulfuro de hidrogeno (H₂S) del biogás se utilizará un filtro de Hierro (Fe), de acuerdo a la siguiente reacción química:



La determinación de la masa de hierro requerida para el filtro se determinó a través del siguiente procedimiento.

a) Cálculo del ácido sulfúrico producido:

$$\text{H}_2\text{S producido} = \frac{0,1\%}{100 \text{ L de biogás}} \left(\frac{v}{v} \right) \quad (8)$$

Dónde:

V: Litros de biogás por día (L)

b) Cálculo de número de moles:

$$P V = n R T \quad (9)$$

Dónde:

P: Presión absoluta (atm)

V: Volumen específico (L)
 n: Número de moles (mol)
 R: Constante del gas (L.atm/mol.K)
 T: Temperatura (K)

Despejando n:

$$n = \frac{P V}{R T} \quad (10)$$

c) Cantidad de kg de hierro requerido
 Moles de ácido sulfúrico por 56 gr de fe

$$Fe_R = n * \frac{56 \text{ g Fe}}{1 \text{ mol } H_2S} \quad (11)$$

Dónde:

Fe_R: Hierro requerido (kg Fe)

9.6.1.7 Altura de la Tubería para carga

Para calcular la altura donde se colocará las tuberías para añadir el sustrato al biodigestor se utilizará la ecuación (Basurto Cusme & Corrales Molina, 2017):

$$h = \frac{v}{\pi \cdot r^2} \quad (12)$$

Dónde:

h: Altura de la tubería de carga de la biomasa (m)

V_{SB}: Volumen liquido del biodigestor (m³)

r: Radio del biodigestor (m)

9.6.1.8 Reservorio para gas

Para almacenar el biogás producido se utilizará una bolsa Hypalon de 5 metros de largo (l) por 2 metros de diámetro las especificaciones se pueden observar en el ANEXO E.

El volumen que este podrá almacenar se da mediante:

$$V_B = \pi x (r^2) x l \quad (13)$$

Dónde:

V_B : Volumen de reservorio de biogás

r: Radio (m)

l: Largo (m)

9.6.1.9 Generador Eléctrico

La empresa PASTOLAC cuenta con un generador eléctrico marca Stamford modelo IP044H que lo utiliza para la generación de electricidad en caso de falta de disponibilidad de la red eléctrica en la Figura 14 se puede apreciar una foto de dicho generador y en la Tabla 9 se muestran las características técnicas principales del mismo.

Como se puede observar en la Tabla 10, el motor trabaja con combustible diésel y puede ser adaptable a gas lo que permitiría el uso del biogás generado en el mismo. Por otra parte el tiempo máximo de uso se encuentra entre 8-12 horas por lo que permitirá funcionar durante la jornada diaria laborable de 8 horas.

Figura 14. Generador Eléctrico Stamford



Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

El generador cuenta con las siguientes especificaciones generales:

Tabla 9. Características técnicas principales del generador

Generador Eléctrico STAMFORD			
Característica	Descripción	Medida	Unidad de Medida
Modelo	PI044H		
Voltaje		208	V
Frecuencia		60	Hz
	Trifásico		
Potencia aparente		19,3	kVA
Potencia eléctrica de salida		15,4	kW
Potencia eléctrica de Entrada		18,4	kW
Eficiencia		83,9	%
		4	Polos

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Tabla 10. Características principales del motor

Motor combustión Interna Yanmar			
Característica	Descripción	Medida	Unidad de Medida
Motor	4TNV84T-GGE		
Factor de potencia		0,8	
Combustible	Diésel /Adaptable a gas	3,3	L/h
Capacidad del tanque		40	L
Tiempo Max. de uso		8-12	H
Rpm		1800	
Eficiencia eléctrica		85	%
Arranque	Eléctrico	12-24	V
Eficiencia mecánica		60	%

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

El generador se encuentra en la terraza del segundo piso a 20,4 metros de distancia desde el lugar donde se almacena el suero lácteo.

La cantidad la energía eléctrica que se puede generar a partir de la producción de biogás diaria se determina a través de la ecuación 14, (Fernandez Rodriguez, 2012) y los datos necesarios se muestran en la Tabla 11:

Tabla 11. Datos del generador

Parámetro	Medida	Unidad de medida
Poder calorífico del metano	35,7	MJ
% de metano en el biogás	60	%
Poder calorífico del biogás	21,4	MJ
Horas de funcionamiento	8	h
Eficiencia eléctrica	83,7	%
Eficiencia mecánica	60	%

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

$$Ee kWh = \frac{P_{BL} * P_{CI} * \frac{Ef_e}{3.6 kW}}{H_D} \quad (14)$$

Dónde:

Ee kWh: Energía eléctrica generada (kWh/día)

P_{BL}: Producción de biogás (m³/día)

P_{Cbiogás}: Poder calorífico del biogás (MJ/m³)

Ef_e: Eficiencia eléctrica (kW)

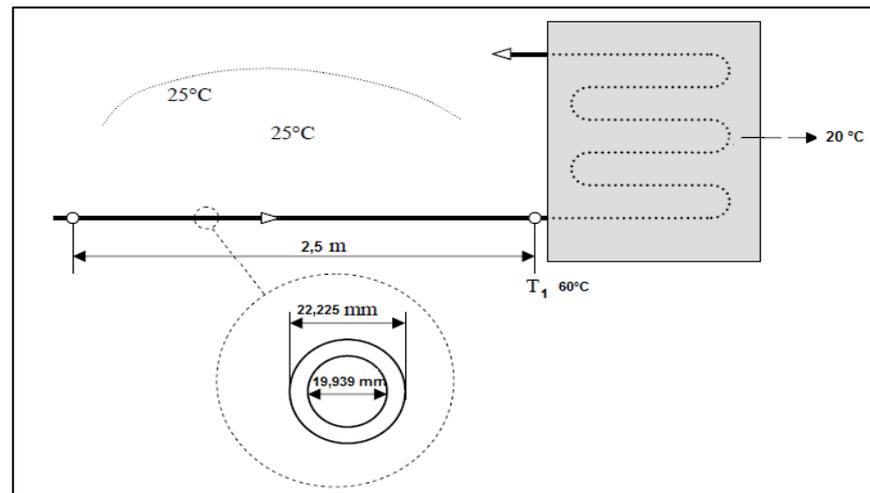
H_D: Horas de funcionamiento al día (h/día)

9.6.1.10 Excavación

La excavación se puede hacer de manera manual o por medio de maquinaria, tomando en cuenta un ángulo de inclinación de entre (45 y 60) ° para evitar el desborde de tierra mientras se realice la tarea, para mantener la temperatura y aislar del piso mediante replantillo.

9.6.2 Intercambiador de calor

Para mantener una temperatura constante de 40°C, en el interior del biodigestor se implementará un intercambiador de calor tipo serpentín el cual circulará agua a 60°C para calentar el lacto suero de 20°C a 40°C. Para lo cual la Figura 15 servirá de guía se utilizará los datos de las Tablas 12, 13 y 14.

Figura 15. Diagrama del diseño del serpentín para intercambio de calor

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

9.6.2.1 Serpentín para transferencia de calor

Para determinar las dimensiones del serpentín de calentamiento es necesario establecer primero las propiedades físicas del medio de calentamiento y del lacto suero que se desea calentar.

9.6.2.1.1 Propiedades físicas de medio de calentamiento

El medio de calentamiento que circulará por el serpentín es agua a la temperatura de 60°C, a continuación se muestra la Tabla 12 con las propiedades físicas del agua que se utilizarán para los cálculos del serpentín.

Tabla 12. Propiedades físicas del agua

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA		
Propiedad	Medida	Unidad de medida
Temperatura	60	°C
Densidad	983,2	kg/m ³
Calor específico	4,181	kJ/kg°·C
Conductividad Térmica	0,00658	kJ/m°·C.s
Conductividad Térmica	0,569	W/m°·C
Viscosidad	0,0047165	kg/m.s

Fuente: Adaptado de (Huayamave Lainez, 2005)

En la Tabla 13 se muestra las propiedades físicas principales del lacto suero.

Tabla 13. Propiedades físicas del lacto suero

PROPIEDADES FÍSICAS DEL LACTO SUERO		
Propiedad	Medida	Unidad de medida
Temperatura	20	°C
Densidad	1.026	kg/m ³
Masa del suero	1.421,01	kg
Calor específico	4,181	kJ/kg° C
Conductividad Térmica	0,00658	kJ/m° C.s
Conductividad Térmica	0,569	W/m° C
Viscosidad	0,0012	kg/m.s

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

En la Tabla 14 se especifica las características del cobre.

Tabla 14. Propiedades físicas del cobre

PROPIEDADES FÍSICAS DEL COBRE		
Propiedad	Medida	Unidad de medida
Conductividad térmica del cobre	399	W/m° C
Diámetro externo	0,022225	m
Diámetro interno	0,019939	M

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

9.6.2.1.2 Coeficiente individual de transferencia de calor

Para determinar el coeficiente individual de transferencia de calor se utiliza las ecuaciones siguientes según (Huayamave Lainez, 2005).

$$jH = \frac{h_i D_i}{k} * \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^{1/3} * \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (15)$$

Dónde:

h_i : Coeficiente individual de transferencia de calor del agua en el serpentín (kJ/ m² °C s)

D_i : Diámetro interno de la tubería del serpentín (m)

k : Conductividad térmica del agua (kJ/s m. °C)

C_p : Calor específico del agua (kJ/kg °C).

μ : Viscosidad del agua (kg/ m.s).

μ_w : Viscosidad del agua en las paredes del serpentín (kg/ m.s).

jH : Factor que se obtiene de la Figura 50 del ANEXO I.

Para encontrar el factor jH , es necesario encontrar primeramente el número de Reynolds, mediante la ecuación.

$$Re = \frac{D_i G}{\mu} \quad (16)$$

Dónde:

D_i : Diámetro interno de la tubería del serpentín (m).

μ : Viscosidad del agua (kg/ m.s)

G : Velocidad de masa (kg/ h m²)

Ya con los valores se despeja h_i y se obtiene:

$$h_i = jH * \frac{k}{D_i} * \left(\frac{k}{C_p \mu} \right)^{1/3} * \left(\frac{\mu_w}{u} \right)^{0,14} \quad (17)$$

Es necesario corregir el coeficiente de transferencia individual de serpentín h_{io} ,

$$h_{io} = h_i * \frac{D_i}{D_o} \quad (18)$$

Dónde:

h_{io} : Coeficiente individual del lacto suero contenido en el tanque (kJ/ m² °C s)

D_i : Diámetro interno de la tubería del serpentín (m)

D_o : Diámetro externo de la tubería del serpentín (m)

9.6.2.1.3 Coeficiente global de transferencia de calor limpio y sucio

Para calcular el coeficiente global de transferencia de calor limpio y sucio se realizará mediante la ecuación (Huayamave Lainez, 2005):

$$U_c = \frac{h_{io} * h_i}{h_{io} + h_i} \quad (19)$$

$$\frac{1}{U_d} = \frac{1}{U_c} + R_f \quad (20)$$

Dónde:

U_d : Coeficiente global de transferencia de calor sucio ($\text{kJ}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C s}$)

U_c : Coeficiente global de transferencia de calor limpio ($\text{kJ}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C s}$)

h_i : Coeficiente individual de transferencia de calor del agua en el serpentín. ($\text{kJ}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C s}$)

R_f : Factor de ensuciamiento ($\text{W}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C s}$) se obtiene del ANEXO K en la Figura 54.

9.6.2.1.4 Calor requerido para calentar el suero lácteo

Para calcular el calor requerido para calentar el suero se utilizará la ecuación (Huayamave Lainez, 2005):

$$Q = m C_p \Delta T \quad (21)$$

Donde:

Q : Calor requerido para calentar el suero lácteo (kJ/h)

m : Masa del lacto suero (kg)

C_p : Calor específico del agua ($\text{kJ}/\text{kg }^\circ\text{C}$)

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

9.6.2.1.5 Diferencia de temperatura

Para conocer la variación de temperatura se calculara mediante la ecuación logarítmica siguiente (Huayamave Lainez, 2005):

$$MLDT = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} \quad (22)$$

Dónde:

$MLDT$: Diferencia logarítmica de temperatura ($^\circ\text{C}$).

9.6.2.1.6 Área del serpentín

Para calcular el área del serpentín se tiene la ecuación (Huayamave Lainez, 2005):

$$Q = U_d A \Delta T \quad (23)$$

Despejado el área se obtiene:

$$A = \frac{Q}{U_d \Delta T} \quad (24)$$

Dónde:

A: Área del serpentín (m²)

Q: Calor requerido para calentar el suero lácteo (KJ)

U_d: Coeficiente global de transferencia de calor sucio (kJ/ m² °C s)

ΔT: Variación de temperatura (°C)

9.6.2.1.7 Número de vueltas del serpentín

Para calcular el número de vueltas que debe tener el serpentín para cumplir con los requerimientos hay que conocer la longitud que debe tener (Huayamave Lainez, 2005).

$$L_c = \pi D_o \quad (25)$$

Dónde:

L_c: Longitud de una vuelta del serpentín (m)

D_o: Diámetro del serpentín (m)

Conocida la longitud se debe calcular el área de transferencia de calor de la longitud de entrada y salida mediante la siguiente ecuación.

$$A_L = \pi D_o L_{io} \quad (26)$$

Dónde:

L_{io}: Longitud de entrada + longitud de salida (Se asume que es de 2,5 metros)

Con los valores obtenidos se reemplaza en N_k.

$$N_k = \frac{A - A_L}{\pi D_o L_c} \quad (27)$$

Dónde:

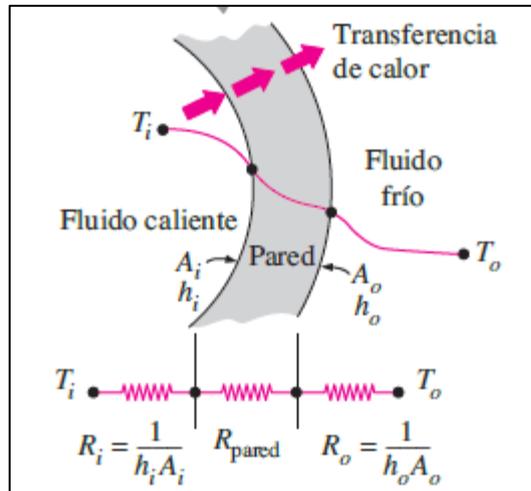
N_k=Número de vueltas del serpentín

9.6.2.2 Pérdidas de calor a través de la tubería.

Para realizar los cálculos de la pérdida de calor que existe en la tubería de cobre, se debe conocer las propiedades físicas del cobre especificadas en la Tabla 14.

Se debe conocer las resistencias totales del fluido que atraviesa por la tubería, (Convección), cuando atraviesa la pared de la tubería (Conducción) y al llegar al fluido frío (Convección), como se muestra en la Figura 16.

Figura 16. Diagrama de resistencias térmicas



Fuente: (Yunus A. Cengel, 2011)

Con la ayuda de la ecuación (Yunus A. Cengel, 2011)

$$R_T = \frac{1}{\pi D_i L_T h_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2\pi L_T k} + \frac{1}{\pi D_o L_T h_o} \quad (28)$$

Dónde:

R_T : Resistencias térmicas totales ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

h_i : Coeficiente de convección tubería interna ($\text{kJ}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C s}$)

h_o : Coeficiente de convección tubería externa ($\text{kJ}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C s}$)

L_T : Longitud total del serpentín (m)

k : Conductividad térmica del cobre ($\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$)

Reemplazando el valor obtenido en la ecuación (24) se obtiene la pérdida de calor para elevar la temperatura de 20°C a 40°C :

$$Q = \frac{\Delta T}{R_T} \quad (29)$$

Dónde:

Q : Pérdida de calor (kJ)

ΔT : Variación de temperatura (°C)

R_T : Resistencias térmicas totales (°C/W)

9.6.2.2.1 Tiempo que tomará en calentar el sustrato del biodigestor

Con los datos de las Tablas 12, 13 y 14 se puede encontrar el tiempo que tomará calentar el sustrato del biodigestor (lacto suero) 40°C requeridos.

$$Q_{int}\Delta t = mC_p\Delta T \quad (30)$$

Despejando la variación de temperatura se tiene:

$$\Delta t = \frac{m C_p \Delta T}{Q_{int}} \quad (31)$$

Dónde:

Δt : Tiempo requerido para calentar sustrato (s)

V_{SB} : Masa del biodigestor (kg)

C_p : Calor específico del lacto suero (kJ/kg°C)

ΔT : Variación de temperatura (°C)

Q_{int} : Calor dentro del biodigestor (W)

9.6.2.2.2 Costo de funcionamiento del intercambiador de calor

Una vez que se conoce la cantidad de calor que se necesita para calentar el lacto suero, se sabe que se requiere de 4 días para empezar la producción de biogás, y que durante ese periodo de tiempo se utilizará gas licuado de petróleo, el costo que tendrá al cabo de ese periodo, se obtendrá mediante el análisis de la Tabla 15 detallada a continuación.

Tabla 15. Especificaciones y características del GLP y del quemador

Especificaciones del gas licuado de petróleo y del quemador				
Característica	Medida	Unidad de medida	Equivalencia	Unidad de medida
Equivalencia a gas	1	kg. GLP	710266	kJ
Peso del tanque	15	Kg		
Costo gas	1	Tanque	3,5	Dólares
Eficiencia del quemador	95	%		

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Mediante la ecuación.

$$E_{GAS} = \frac{Q_{TOTAL}}{ef} * \frac{15 \text{ kg tanque GLP}}{710266 \text{ KJ}} \quad (32)$$

Dónde:

E_{GAS} = Equivalencia a gas (tanques de gas)

Q_{TOTAL} = Calor total requerido (J/s)

ef= Eficiencia del quemador del intercambiador de calor (%)

9.7 Elaborar el juego de planos del biodigestor

Se realizó un modelado en 3D del biodigestor con el cual permitirá visualizar el juego de planos constructivos de la planta de tratamiento detallando equipos y elementos, mediante el uso del programa AutoCAD 2018.

10 RESULTADOS OBTENIDOS

En este Apartado se detallarán los resultados obtenidos durante el diseño y el dimensionamiento de la planta de biodigestión.

10.1 Análisis de los requerimientos energéticos de la empresa PASTOLAC

10.1.1 Costos y consumo de energías en la empresa PASTOLAC

En los Apartados siguientes se detallará cual ha sido el consumo de los diferentes portadores energéticos de la empresa;

10.1.1.1 Consumo eléctrico

En la Tabla 16 se muestra el costo de la energía eléctrica de la empresa para el periodo comprendido entre el mes de marzo 2017 y marzo 2018, con un valor comprendido entre los 130 y 136 dólares mensuales, que representa un costo total de \$ 1733,69 por año.

Tabla 16. Consumo y gasto mensual de energía Eléctrica de un año

Costo y consumo mensual de Energía					
2017			2018		
Mes	Costo (\$)	Consumo (kW)	Mes	Costo (\$)	Consumo (kW)
Marzo	132,7	1474,44	Enero	133,68	1485,33
Abril	133,15	1479,44	Febrero	136,08	1512
Mayo	138,01	1533,44	Marzo	130,19	1446,56
Junio	132,61	1473,44			
Julio	134,03	1489,22			
Agosto	133,9	1487,78			
Septiembre	132,14	1468,22			
Octubre	131,59	1462,11			
Noviembre	130,02	1444,67			
Diciembre	135,59	1506,56			
COSTO DE UN AÑO	1.333,74	14819,33		399,95	4443,89

Fuente: Cuasque k, Toapaxi J.

10.1.1.2 Consumo Diésel

Tabla 17. Consumo de diésel anual Marzo 2017- marzo 2018

Costo y consumo de Diésel					
2017			2018		
Mes	Costo (\$)	(Litros)	Mes	Costo (\$)	(Litros)
Marzo	66,96	72	Enero	66,96	72
Abril	66,96	72	Febrero	66,96	72
Mayo	66,96	72	Marzo	66,96	72
Junio	66,96	72			
Julio	66,96	72			
Agosto	66,96	72			
Septiembre	66,96	72			
Octubre	66,96	72			
Noviembre	66,96	72			
Diciembre	66,96	72			
COSTO DE UN AÑO	602,64	648		200,88	216

Fuente: Cuasque k, Toapaxi J.

Como se puede observar en la Tabla 17 el consumo de diésel es de 4 pomas de 18 litros de diésel por mes con un costo de 0,93 dólares por litro, que representa \$ 72 por mes y al año genera un costo de \$ 870,48.

10.1.1.3 Consumo De GLP

Tabla 18. Consumo anual de GLP en la empresa PASTOLAC

Costo y consumo de Gas Licuado					
2017			2018		
Mes	Costo (\$)	Tanques	Mes	Costo (\$)	Tanques
Marzo	7	2	Enero	7	2
Abril	7	2	Febrero	7	2
Mayo	7	2	Marzo	7	2
Junio	7	2			
Julio	7	2			
Agosto	7	2			
Septiembre	7	2			
Octubre	7	2			
Noviembre	7	2			
Diciembre	7	2			
COSTO AÑO	70	20		21	6

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Como se puede observar en la Tabla 18 el consumo comprendido entre los meses de marzo 2017 y marzo 2018 es de 2 tanques mensuales a un costo de \$ 3,5 por unidad y representa un costo anual de \$ 91.

10.1.1.4 Consumo de agua

La empresa utiliza agua solamente en la limpieza de los equipos e implementos de la empresa específicamente en el área de producción de yogurt y quesos, el costo anual de esta fuente es de \$ 30,39, como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19. Consumo de agua anual de la empresa PASTOLAC

Consumo de Agua			
2017		2018	
Mes	Costo (\$)	Mes	Costo (\$)
Marzo	2	Enero	2,4
Abril	2,56	Febrero	1,9
Mayo	2,36	Marzo	2,6
Junio	2,54		
Julio	2,1		
Agosto	2,42		
Septiembre	2,36		
Octubre	2,55		
Noviembre	2,49		
Diciembre	2,11		
COSTO DE UN AÑO			30,39

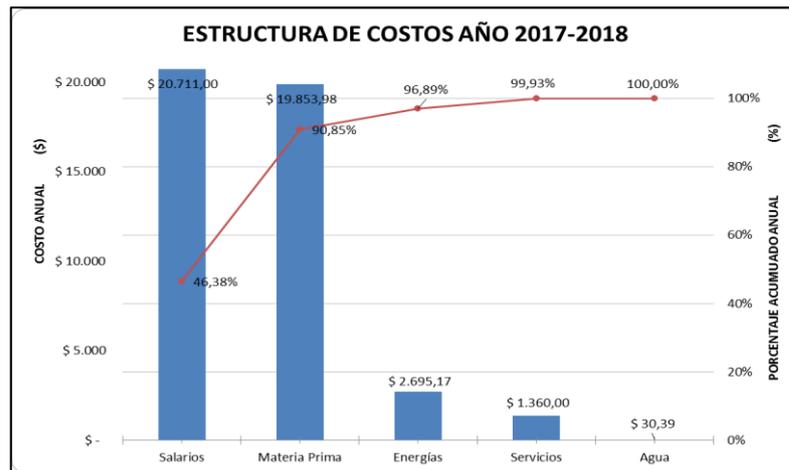
Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

10.1.2 Estructura de gastos de la empresa PASTOLAC

10.1.2.1 Estructura de gastos generales de la empresa PASTOLAC.

Como se puede observar en la Figura 17, los salarios son el costo más elevado que tiene la empresa, pero todo el personal es de vital importancia para cada paso de elaboración de los productos y la administración de la empresa. Siguiéndole la materia prima aunque esta se recupera con la venta de productos y venta de leche a empresas más grandes como son Parmalat y Alpina.

Figura 17. Estructura de gastos de la empresa PASTOLAC



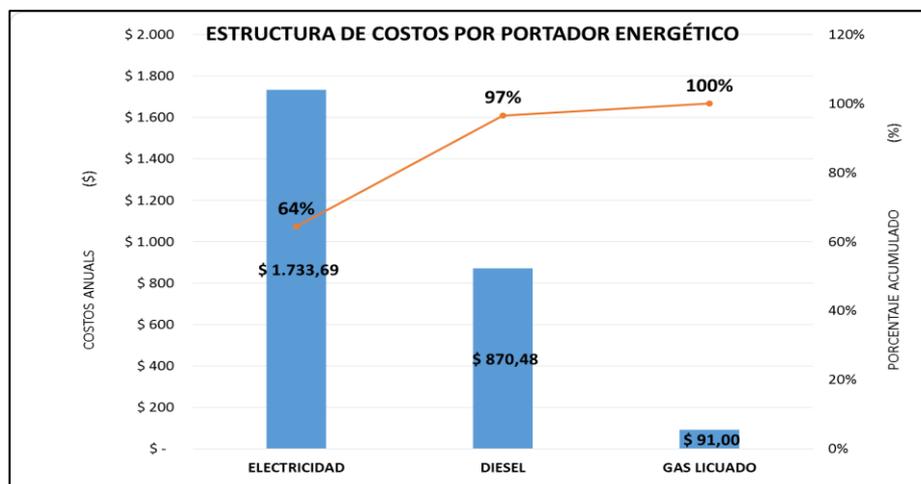
Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Los costos de consumo energético representan el 6,04% del total de costos de la empresa, con un valor de \$ 2.695,17 anuales, siendo las energías la fuente de costo que se puede controlar, se procede a realizar un análisis detallado a este Apartado.

10.1.2.2 Estructura de costos por portador energético “PASTOLAC”

Una vez conocido el diagrama de procesos y flujo del consumo energético, así como la estructura de gastos de la empresa durante el año (marzo 2017-marzo 2018), la información se puede encontrar en el ANEXO C, como medio de verificación, mediante un diagrama de Pareto se distribuye los gastos de las diferentes fuentes energéticas para conocer cuál es la que representa mayor gasto.

Figura 18. Estructura de costos por Portador Energético



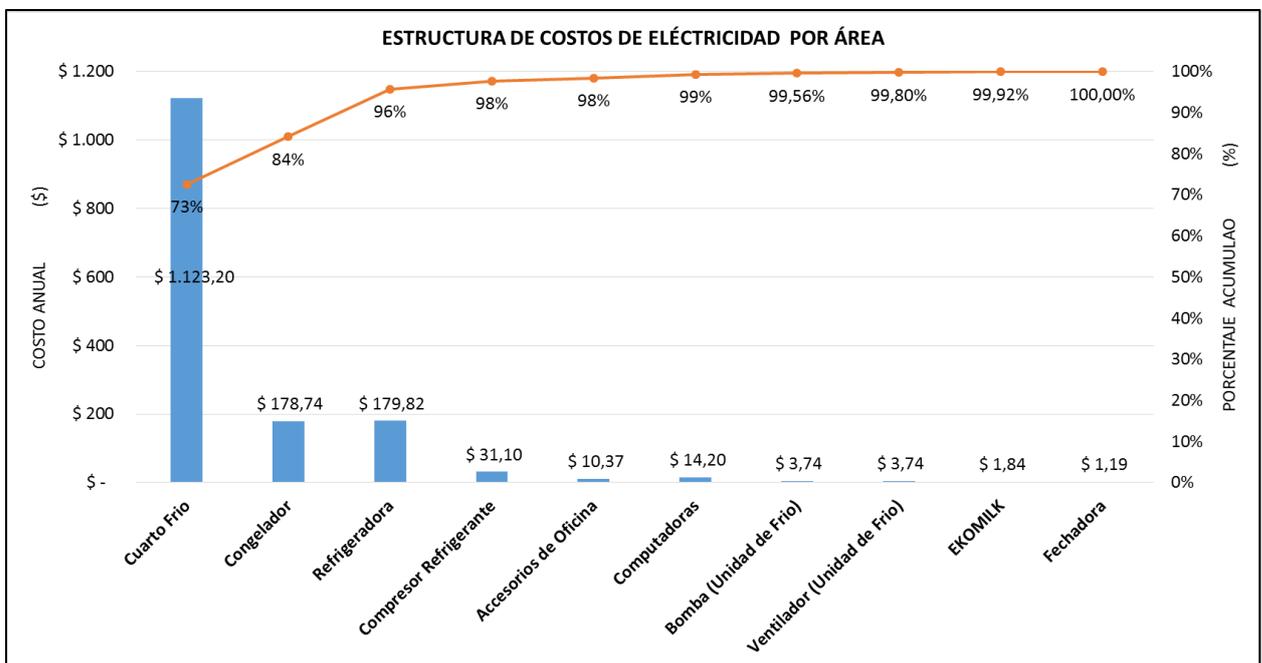
Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Como se puede observar en la Figura 18 la energía más utilizada en la empresa es la eléctrica con 64% del consumo total con un gasto de \$ 1733,69 lo que equivale a 19.263,22 kWh al año.

10.1.2.3 Estructura de costos de electricidad por área

Como se puede observar en la Figura 19, existe mayor consumo de energía eléctrica en los cuartos fríos utilizando el 73% del total de energía eléctrica que requiere la empresa, esto es debido a que los cuartos fríos se utilizan las 24 horas al día los 365 días del año para mantener en óptimas condiciones a los productos que van a salir al mercado, con excepción de los días que se realiza mantenimiento, aunque el tiempo que permanece inoperativa esta área oscila entre 4-5 horas, la limpieza se la realiza una o dos veces cada 3 meses.

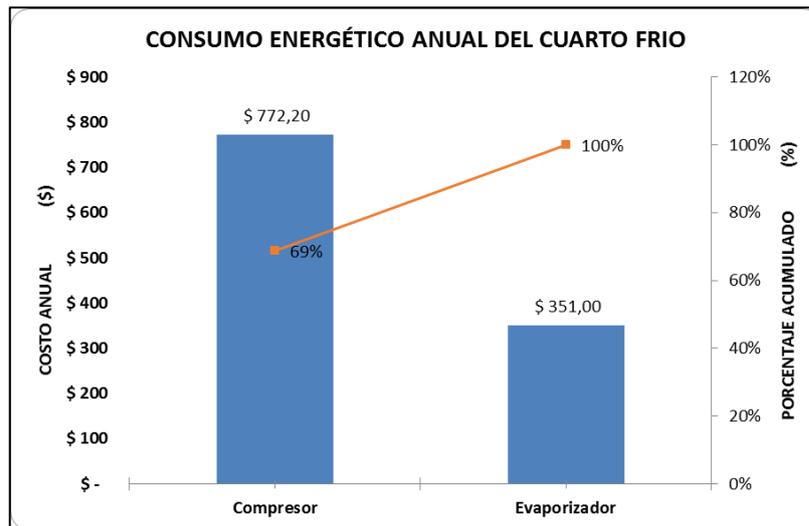
Figura 19. Estructura de costos de electricidad por área



Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

10.1.2.4 Estructura de costos por área cuarto frío

El cuarto frío cuenta con dos equipos que lo integran con diferente consumo kilovatio hora y se desglosa de la siguiente manera.

Figura 20. Consumo energético anual del cuarto frío

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Como se puede observar en la Figura 20, el equipo que mayor cantidad de energía eléctrica consume es el compresor que utiliza un 69% del total consumido por el cuarto frío. El costo de energía eléctrica durante un año, en el cuarto frío es de 8.580 kWh que equivale a \$ 772,20.

Para cubrir con las necesidades energéticas de la empresa mediante el uso de biogás y un generador eléctrico, se estima que la planta de biogás debe generar 16.052,68 m³ de biogás por año, como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20. Biogás requerido para satisfacer las necesidades energéticas de PASTOLAC.

Necesidades energéticas de la empresa PASTOLAC			
Biogás	Electricidad (kWh)	Requerimiento Anual (kWh/año)	Biogás Estimado Anual (m ³ /año)
1 m ³	1,2	19.263,22	16052,68

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

10.2 Análisis de los requerimientos de diseño

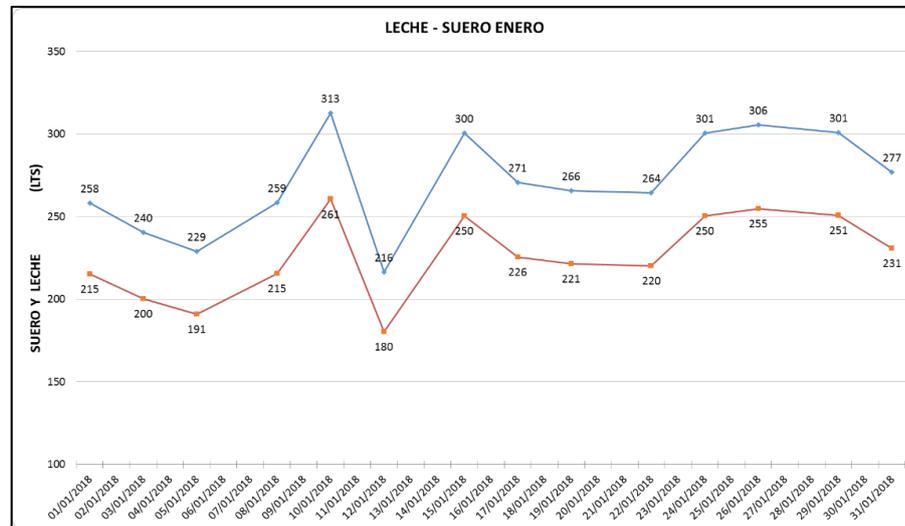
10.2.1 Suero lácteo

El suero lácteo es la materia prima que se utilizará en el biodigestor, para dimensionar adecuadamente el mismo se debe conocer la cantidad que mensualmente se produce.

10.2.1.1 Enero

La producción de enero tuvo altos y bajos ya que la producción se la realizaba por pedidos lo que hacía que la producción no sea constante, como resultado la producción de suero en el mes de enero fue de 3.167 litros.

Figura 21. Producción de suero mes enero

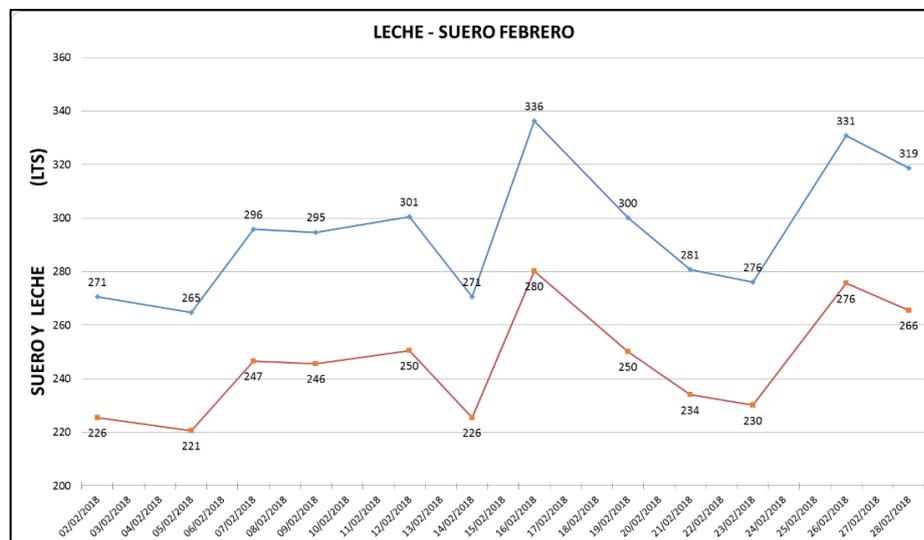


Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

10.2.1.2 Febrero

La producción de febrero aun mantuvo datos no predecibles, de igual manera por los pedidos de los clientes. La producción de suero en el mes de febrero fue de 2.951 litros.

Figura 22. Producción de suero mes de Febrero

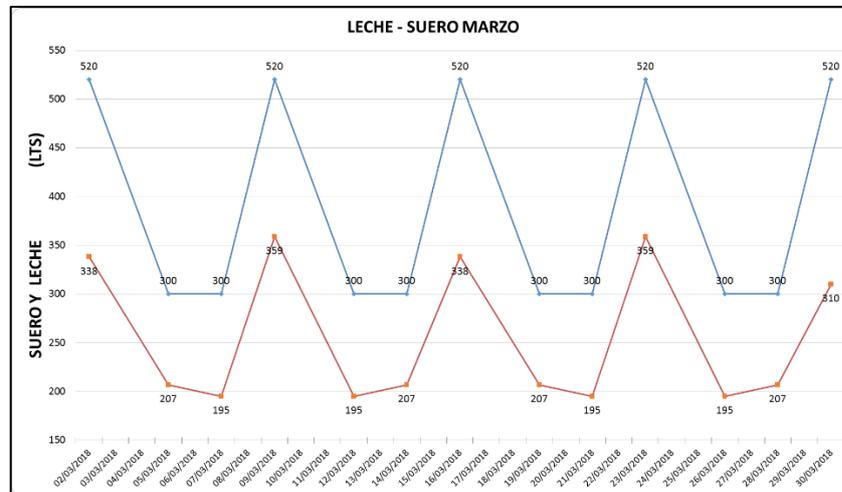


Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

10.2.1.3 Marzo

Para el mes de marzo la producción se estandarizo produciendo los lunes y martes la cantidad de 350 litros de leche para la producción de quesos mientras que para los días viernes se utiliza 520 litros de leche, con lo que se obtiene una producción de 3.312 litros de suero.

Figura 23. Producción de suero mes de Marzo

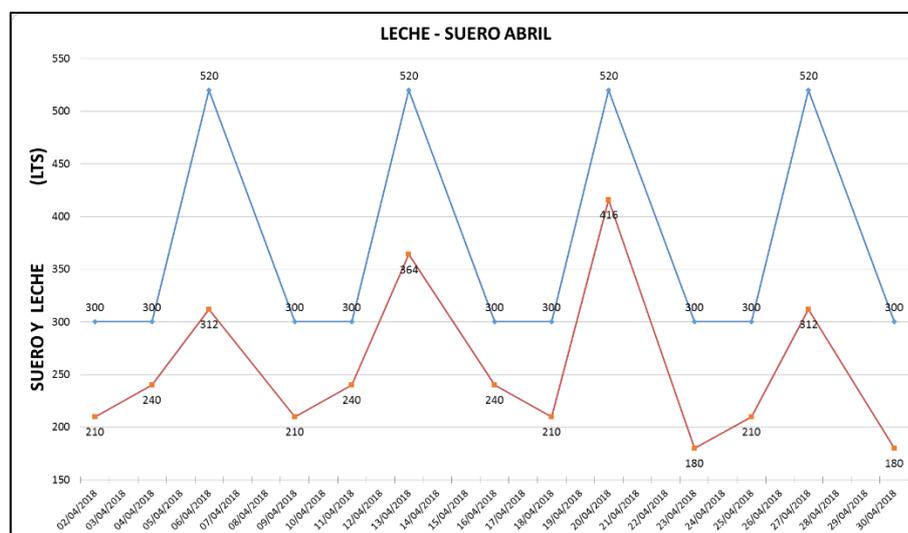


Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

10.2.1.4 Abril

Para el mes de abril la producción se mantuvo como en marzo con las mismas cantidades de producción, se obtuvo una producción de 3.324 litros de suero.

Figura 24. Producción de suero mes de Abril

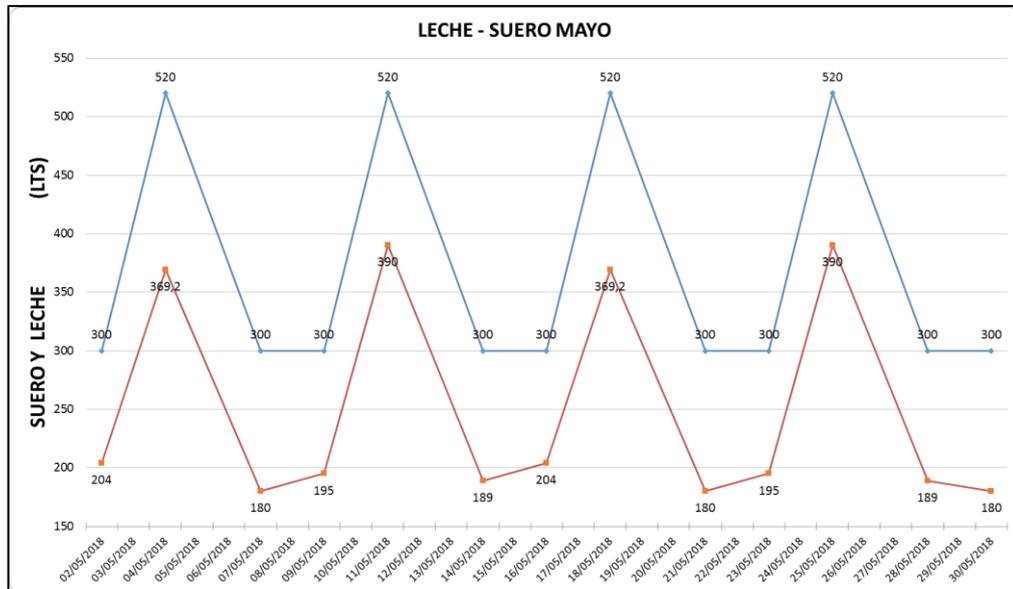


Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

10.2.1.5 Mayo

Para el mes de mayo la producción siguió con las mismas cantidades de producción, se obtuvo 3.234 litros de suero.

Figura 25. Producción de suero mes de Mayo



Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Con la producción de los 5 meses se pudo realizar un estimado de producción de suero mensual basados en esos valores para dimensionar el biodigestor.

Tabla 21. Tabla de resultados de producción de suero

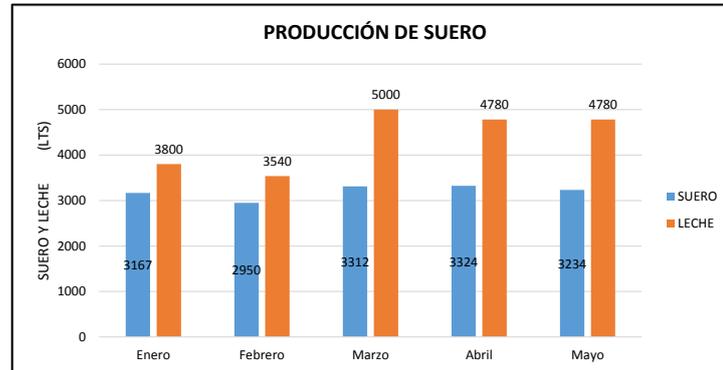
Producción mensual de suero lácteo		
MES	LECHE	SUERO
Enero	3800	3167
Febrero	3540	2950
Marzo	5000	3312
Abril	4780	3324
Mayo	4780	3234
PROMEDIO	4380	3197

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Como se puede observar en la Tabla 21 y en la Figura 26 la generación del suero lácteo se encuentra superando los 3.000 litros.

Al dimensionar el biodigestor para la máxima producción de lacto suero se evitará desperdiciarlo, y se utilizará en su totalidad para la biodigestión y generación de biogás.

Figura 26. Resultante de producción de suero lácteo



Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

El mes donde se obtuvo mayor generación de suero fue el mes de abril con 3.324 litros de suero, siendo este el mes que mayor cantidad produjo, este valor se redondeara a 3.400 litros para los cálculos posteriores.

Tabla 22. Datos para el diseño y dimensionamiento del biodigestor

Parámetros	Nomenclatura	Valor	Unidad de Medida
Producción mensual de lacto suero		3400	L/mes
Masa mensual de lacto suero		3488	kg/mes
Días al mes que generan lacto suero		12	días/mes
Volumen diario lacto suero generado	V_{LD}	284	L/día
Volumen lacto suero generado	V_{LD}	0,284	m ³ /día
Masa de lacto suero	V_{LD}	290,7	Kg
Tasa de carga orgánica	OLR	5	kg.VDM/m ³ .día
Materia seca	DM	5	%
Solidos totales volátiles	VDM	85	%
Tiempo de retención Hidráulica	THR	10	Días
Producción de biogás	P_{BL}	0,49	m ³ día/kg VDM
Densidad de lacto suero	d_L	1,024	kg/m ³
1 mol de H ₂ S	N	56	gr Fe

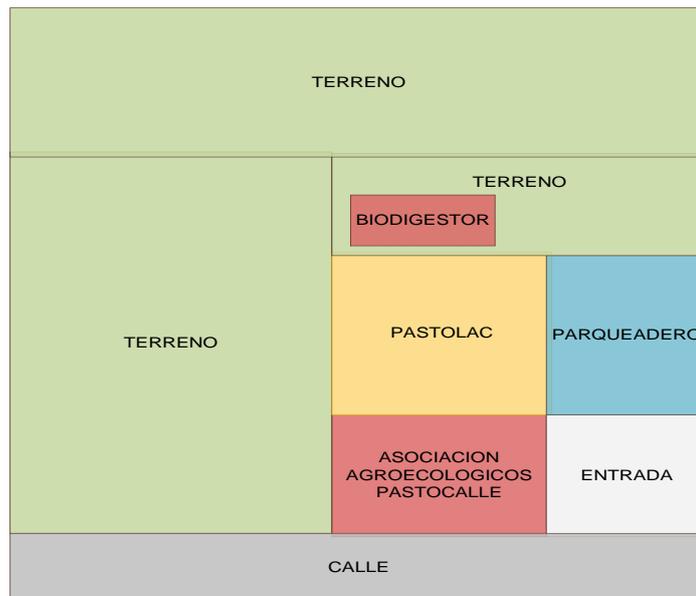
Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

En la Tabla 22 se puede observar la producción tomada para los cálculos y con la ayuda de la densidad se obtiene la masa, que se utilizará en el biodigestor, entre otras características del lacto suero.

10.2.2 Ubicación del biodigestor

El biodigestor se localizará a un costado de la empresa para facilitar la disponibilidad y acceso, como se puede observar en la Figura 27 el biodigestor se va ubicar cerca de la empresa y junto a un terreno se puede visualizar de mejor manera en el ANEXO G en la Figura 48.

Figura 27. Croquis de la empresa y el Biodigestor



Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

10.2.3 Biodigestor

Con la ponderación de la Tabla 8 se da valor a los parámetros más relevantes en la Tabla 23.

Tabla 23. Características de biodigestor Hindú y Chino

Características de diseño		
Parámetros	Chino	Hindú
Costo de construcción	2	4
Vida útil	4	4
Substratos	Residuos Agrarios, excreta Humana	Estiércol y agua.
Producción de Biogás (m³ Biogás/ m³ Digestor)	0,1-0,4	0,4-0,6
Espacio de construcción	Debe ser enterrado	Puede ser enterrado
TOTAL	6	8

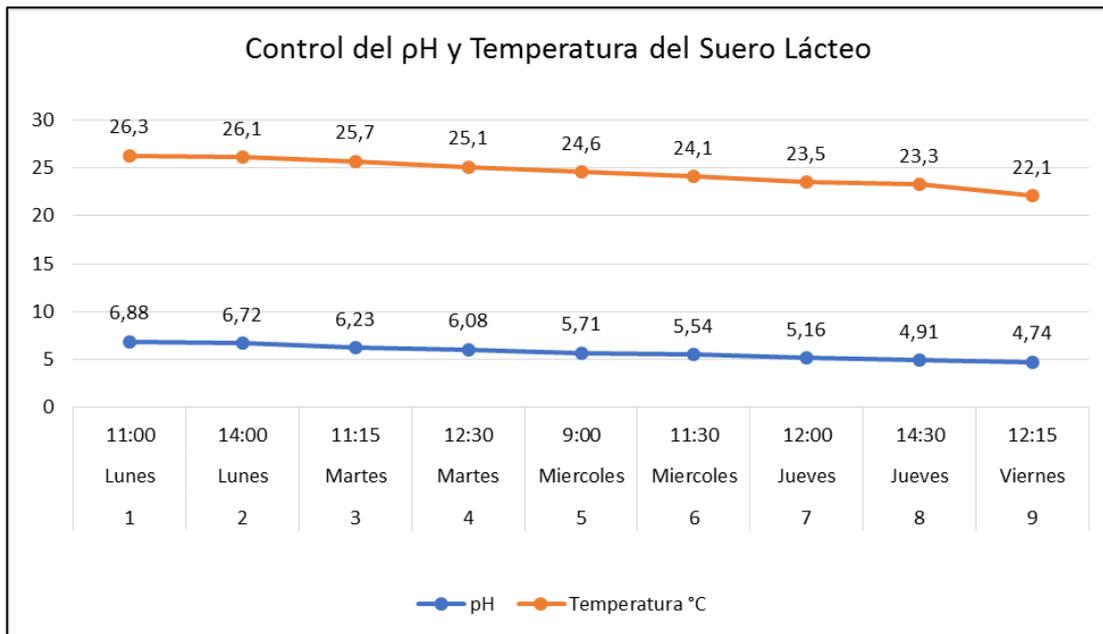
Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

La ponderación final de 6 es para el biodigestor Chino, que representa menores gastos y mayores beneficios.

La construcción del biodigestor Chino no representa un gasto elevado como el Tipo Hindú, su tiempo de vida es de 20 años, es el más utilizado para residuos agrarios, tiene una producción de biogás estimada de entre 0,1 y 0,4 m³ de biogás por metro de construcción, la producción de biogás es constante al igual que el biol, Pero requiere un lugar o tanque para almacenar el biogás ya que se produce grandes presiones dentro del biodigestor.

10.2.4 Variación de pH

Se dio seguimiento durante 5 días, a los cambios que el lacto suero tendrá con respecto a su acidez, se notó que existió una variación promedio de 0,5 pH cada día, se puede apreciar la variación de mejor manera en la Figura 28.

Figura 28. Variación de pH y temperatura

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

El pH durante los 5 días generó una variación de entre 0,1 y 0,4 en la escala de acidez siendo el valor del lacto suero fresco de un pH de 6,88 con una temperatura de 26,3 °C, mientras que la medida del quinto día fue de 4,74 en la escala de acidez y con la temperatura de 22,1 °C.

10.3 Resultado de los cálculos de dimensionamiento

En este apartado se presentarán todos los resultados obtenidos para el dimensionamiento del biodigestor como tiempo de retención, volumen de sustrato y volumen total del biodigestor.

10.3.1 Volumen del tanque de alimentación.

Se reemplazó los datos en la ecuación (1):

$$V_{TA} = 0,425m^3$$

Para efecto del desarrollo de este trabajo el material seleccionado son dos tanques circulares con una capacidad de 500 L, se puede observar la ficha técnica en el ANEXO E, en la Figura 40 y el diseño se puede observar en la Figura 29.

Figura 29. Diseño del tanque de alimentación



Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

10.3.2 Volumen del sustrato

a) Mediante la ecuación (2):

$$V_{SB} = 2,83 \text{ m}^3$$

b) Mediante la ecuación (3):

$$V_{SB} = 2,47 \text{ m}^3$$

c) A partir de la ecuación (4):

$$V_{SB} = 2,83 \text{ m}^3$$

Dos de los valores son similares, mientras que el resultado de la ecuación 3 tiene un valor menor para un adecuado dimensionamiento se tomará los resultados de mayor valor (2,83m³).

10.3.3 Volumen de la cúpula.

Mediante la ecuación la ecuación (5):

$$V_G = 1,39 \text{ m}^3$$

10.3.4 Volumen total del biodigestor

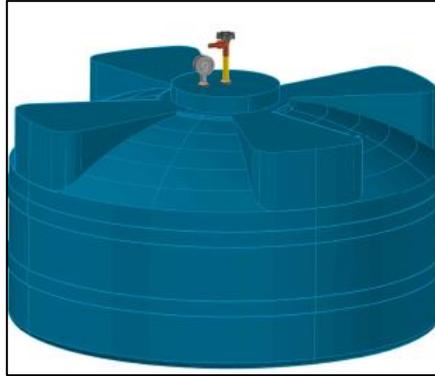
Mediante la ecuación (6) se tiene:

$$V_{TD} = 4,22 \text{ m}^3$$

A este valor se le aplica el factor de seguridad de 1,1 dando como resultado:

$$V_{TD} = 4,64 \text{ m}^3$$

Figura 30.Biodigestor



Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

10.3.5 Volumen del tanque de descarga

Para el tanque de descarga se toma el mismo volumen que el tanque de alimentación.

$$V_{TD} = V_{TA} = 0,425 \text{ m}^3$$

Figura 31. Tanque de descarga



Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

10.3.6 Producción de biogás

Se reemplaza los datos en la ecuación (7), con los datos de la Tabla 7

$$P_{BL} = 25,21 \text{ m}^3 \text{ biogás/día}$$

Con el valor que se obtiene se estima la producción de biogás al día, mes y al año, como se muestra en la Tabla 25.

10.3.6.1 Filtro H₂S o ácido sulfúrico

a) Con la ayuda de la ecuación (8) se obtiene:

$$\text{H}_2\text{S producido} = 2,52 \text{ L/día}$$

$$\text{H}_2\text{S producido} = 75,64 \text{ L/mes}$$

$$\text{H}_2\text{S producido} = 920,3 \text{ L/año}$$

b) Con la ecuación (10) se tiene

$$n = 37,41 \text{ mol de H}_2\text{S}$$

c) Se transforma a gramos con la ayuda de la ecuación (11).

$$Fe_R = 2094,99 \text{ g de Fe}$$

Por lo tanto se requiere de una masa de 2,094 kg de hierro contenido en el filtro de H₂S.

10.3.7 Altura de la tubería de carga

Mediante la ecuación (12) se tiene:

$$h = 0,94 \text{ m}$$

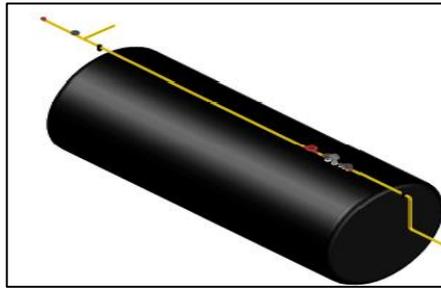
Con los datos que se obtuvieron se tiene como resultado los datos de la Tabla 24, 25, 26 con los parámetros y requerimientos para la construcción de biodigestor.

10.3.8 Reservorio de para biogás

Mediante la ecuación (13):

$$V = 15,70 \text{ m}^3$$

Figura 32. Reservorio del Biogás



Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

10.3.9 Generador Eléctrico

Mediante la ecuación (14) se obtiene:

$$CPH \text{ kWh} = 15,89 \text{ kWh/día}$$

10.3.10 Excavación

Se realizará una excavación de 60 centímetros para mantener la temperatura, el tipo de suelo es blando y poco inestable por lo que se debe realizar un ángulo de excavación de 45 hasta 60° de inclinación desde el fondo, se puede colocar una base de concreto con malla metálica para brindar mayor estabilidad o compactar el suelo y colocar replantillo que sirve también de aislante.

Figura 33. Ángulo de inclinación para el biodigestor



Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

10.3.11 Resultados del intercambiador de calor

10.3.11.1 Coeficiente individual de transferencia de calor

Con la ayuda de la ecuación (16) y con los datos de la Tabla 12 y 14 se obtiene:

$$Re = 41565$$

Ya con el valor del número de Reynolds se encuentra el valor de j_H (ver ANEXO H) y se tiene que es igual a: 90, se reemplaza en la ecuación (17) y se obtiene:

$$h_i = 2,967 \text{ KJ/m}^2\text{s}^\circ\text{C}$$

Con este valor se reemplaza en la ecuación (18):

$$h_{io} = 2,6618 \text{ KJ/m}^2\text{s}^\circ\text{C}$$

10.3.11.2 Coeficiente global de transferencia de calor limpio y sucio

Se reemplaza datos en la ecuación (19):

$$U_c = 1,403 \text{ J/m}^2\text{s}^\circ\text{C}$$

$$U_c = 224,64 \text{ BTU/hft}^2\text{F}.$$

Se conoce que $1 \text{ J/m}^2 \text{ s}^\circ\text{C} = 0,17612 \text{ BTU/hft}^2\text{F}$ según (Yunus A. Cengel, 2011), en la Tabla de conversiones que se puede observar en el ANEXO I.

Al reemplazar los datos en la ecuación (20), se toma el valor del factor de ensuciamiento de transferencia de calor del ANEXO J, además despejando U_d . de la ecuación se tiene:

$$U_d = 1275,52 \text{ J/m}^2\text{s}^\circ\text{C}$$

$$U_d = 224,64 \text{ BTU/hft}^2\text{F}$$

10.3.11.3 Calor requerido para calentar el suero lácteo

Al reemplazar los datos de la Tabla 12 y 13, en la ecuación (21):

$$Q = 243083,34 \text{ KJ/h}$$

Se sabe que $1 \text{ KJ} = 0,94782 \text{ BTU}$ según (Yunus A. Cengel, 2011):

$$Q = 230399,25 \text{ BTU}$$

10.3.11.4 Diferencia de temperatura

Al sustituir datos en la ecuación (22):

$$\text{MLDT} = 28,85 \text{ }^\circ\text{C} \quad \text{o} \quad \text{MLDT} = 83,93 \text{ }^\circ\text{F}$$

10.3.11.5 Área del serpentín

Para calcular el área del serpentín se utiliza la ecuación (24).

$$A = 12,22 \text{ ft}^2$$

$$A = 1,13 \text{ m}^2$$

10.3.11.6 Número de vueltas del serpentín

Se utiliza la ecuación (25) y dando un diámetro de 45 cm a una vuelta del serpentín se tiene:

$$L_c = 1,41 \text{ m}$$

Una vez calculada la longitud se debe conocer el área de transferencia de calor de la longitud de entrada y salida mediante la ecuación (26).

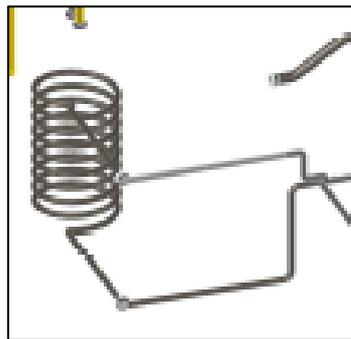
$$A_L = 0,17 \text{ m}^2$$

Los valores obtenidos se reemplazan en la ecuación (27).

$$N_K = 9,73 \text{ aproximando } 10 \text{ vueltas}$$

El número de vueltas que debe tener el serpentín para la transferencia de calor es de 10.

Figura 34. Serpentín



Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

10.3.11.7 Pérdidas de calor a través de la tubería.

Al reemplazar los valores en la ecuación (28)

$$R_T = 1,41 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Al sustituir el valor R_T se obtiene la ecuación (29) y se tiene la pérdida de calor para elevar la temperatura de 20°C a 40°C:

$$Q = 14,09 \text{ W} \quad \text{o} \quad 14,09 \text{ J/s}$$

10.3.11.7.1 Tiempo que tomara en calentar el sustrato del biodigestor

Con los datos de las Tablas 12, 13 y 14 se puede encontrar el tiempo que tomará calentar el sustrato del biodigestor (lacto suero) 40°C requeridos.

Según (Yunus A. Cengel, 2011) se tiene 3600 KJ = 1 KW, lo que equivale a 33KW.

Se reemplaza en la ecuación (31):

Como resultado:

$$\Delta t = 3599,865 \text{ Segundos} \quad \text{o} \quad 59,99 \text{ minutos.} = 1 \text{ hora}$$

10.3.11.7.2 Costo de funcionamiento del intercambiador de calor

Se reemplaza los valores de la Tabla 14 en la ecuación (32):

$$E_{GAS} = 3 \text{ Tanques de GLP}$$

Se conoce que cada tanque de GLP cuesta \$ 3,5 dólares, si se utiliza durante 96 horas o 4 días se obtiene un costo de \$ 10,5.

Entonces un el consumo diario de un GLP es de 0,47 kg por hora, 11,25 kg que representa 5,62 m³ de biogás consumido por día en el intercambiador de calor.

10.3.12 ANÁLISIS DE RESULTADOS BIODIGESTOR

Con los resultados se procede a realizar las siguientes Tablas.

Tabla 24. Tabla de resultados del biodigestor

RESULTADOS OBTENIDOS			
Característica	Descripción	Medida	Unidad de medida
Tipo de biodigestor	CHINO		
Tiempo de retención		10	Días
Volumen el tanque de alimentación y descarga		0,5	m ³
Volumen de biomasa		2,83	m ³
Volumen de alimentación		0,283	m ³
Volumen de la cúpula		1,39	m ³
Volumen del biodigestor		5	m ³
Producción de biogás		25,21	m ³ Biogás/día

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Mediante los resultados obtenidos en la Tabla 24, se conoce que el tipo de biodigestor a utilizar es CHINO, con un tiempo de retención de 10 días, la alimentación del sustrato se la realizará diariamente con 0,283 m³ de lacto suero, el volumen total que el biodigestor requiere es de 5 m³.

Tabla 25. Producción de biogás

Producción estimada de biogás				
Producción	Hora	Día	Mes	Año
Biogás Bruto	1,05 m ³	25,21 m ³	756,41 m ³	9203,03 m ³
Biogás neto	1,01 m ³	19,59 m ³	587,66 m ³	7149,90 m ³

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

En la Tabla 25 se puede observar la producción estimada de biogás en bruto y neto por día, siendo la producción neta la cantidad total que se utilizará para la generación eléctrica descontando el porcentaje de biogás que se utilizará en el intercambiador de calor, con lo que se obtiene que la producción de biogás hora es de 1,01 m³, 19,59 m³ por día, de 587,66 m³ al mes y de 7149,90 m³ al año que representa una generación eléctrica de 8937,38 kWh y se obtiene un ahorro de \$ 804,36 al año que representa 49% de ahorro.

Tabla 26. Características del tanque biodigestor

CARACTERÍSTICAS DEL TANQUE DEL BIODIGESTOR			
Características	Descripción	Medida	Unidad de medida
Material	Plástico PVC	-----	-----
Capacidad Volumétrica	-----	5000	Litros
Diámetro	-----	2,3	M
Diámetro tapa	-----	0,55	M
Altura	-----	1,6	M

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Como se puede apreciar las características del biodigestor se encuentra detallado en la Tabla 26, se utilizará un tanque Plastigama de 5000 litros de capacidad, con un diámetro de 2,3 m, su altura de 1,6 m y el diámetro de la tapa de 0,55 m, en la ficha técnica se puede observar en el ANEXO E, en la Figura 40.

Tabla 27. Características del serpentín

CARACTERÍSTICAS DEL SERPENTÍN			
Características	Descripción	Medida	Unidad de medida
Material	Cobre Flexible "L"	18,3	m/rollo
Diámetro interno		0,019939	M
Diámetro externo		0,022225	M
Espesor		0,001143	M
Diámetro espiral		0,45	m
Longitud de espiral		1,41	m
Longitud Entrada y salida		2,5	m
Paso entre espiral		0,06	m
Número de espirales		10	Vueltas
Área de transferencia de calor		1,13	m ²
Longitud total		19	m

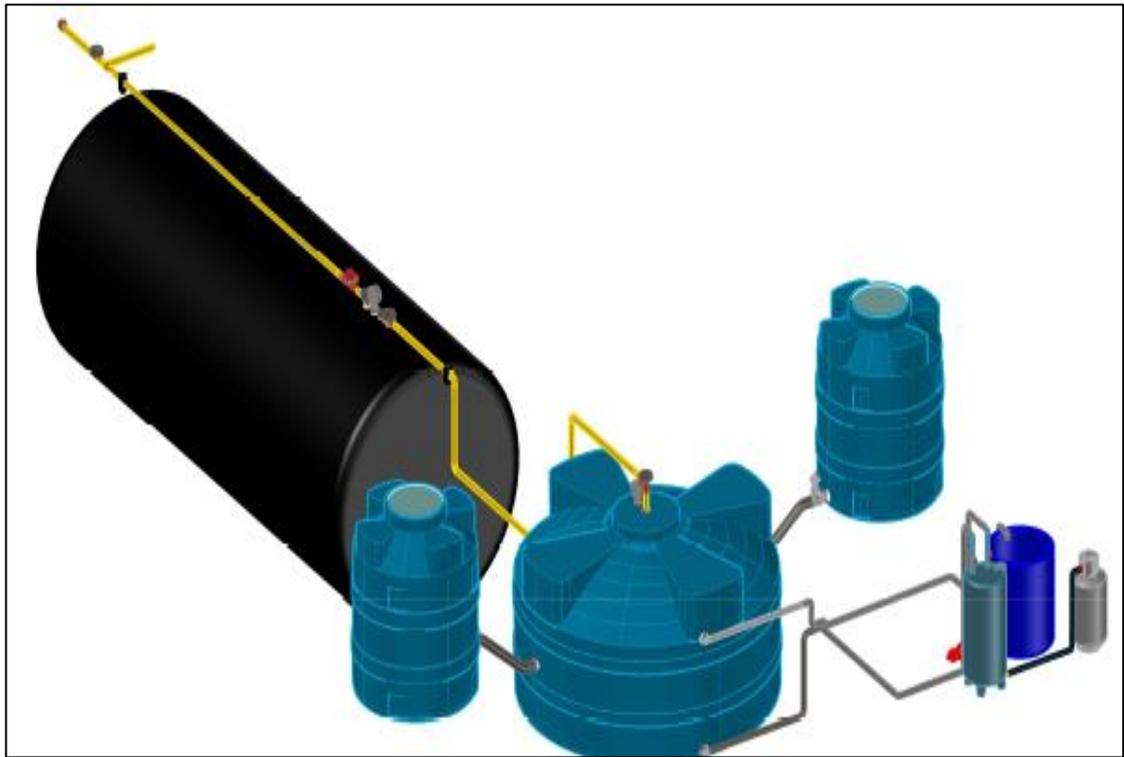
Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Como se puede observar en la Tabla 27, las características del serpentín serán; cobre flexible tipo "L", de una longitud total de 19 m, con una área de transferencia de calor de 1,13 m², con 10 vueltas de 45 centímetros de diámetro, con 6 centímetros de paso entre espiral, con 22,229 milímetros de diámetro externo y 19,939 milímetros de diámetro interno ((3/4 de pulgada), este serpentín elevará la temperatura del sustrato de 20 a 40°C.

10.4 Diseño del biodigestor

El diseño de la Planta para el tratamiento del lacto suero se realizó en el programa AutoCAD, el juego de planos los se puede observar en el ANEXO M, el diseño en 3D se puede observar en la Figura 35.

Figura 35. Diseño Biodigestor 3D



Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

11 IMPACTOS

Aspecto Técnico

La implementación una planta de Tratamiento permite aprovechar el subproducto de la elaboración de queso y su potencial energético con la producción de 7149,90 (m³/año) de biogás, el cual se puede utilizar como combustible para generar energía eléctrica y abastecer con 49,76 % del total de energía eléctrica requerido por la empresa.

Aspecto Económico

El biogás generado en la planta de biodigestión se utiliza en la producción de energía eléctrica mediante un generador, el ahorro que esto representa es de \$ 804,36 por año.

Aspecto Ambiental

El proyecto realizado contribuye a la disminución de la contaminación de suelos y afluentes como ríos y canales de agua de riego por el vertido del lacto suero ya que los aproximadamente 3.400 litros de lacto suero ya no son desechados sino que son utilizados como materia prima en el biodigestor para el proceso de generación de biogás, a más el subproducto resultante del proceso de la biodigestión anaeróbica es un fertilizante natural que puede ser utilizado como fertilizante orgánico para los terrenos de la empresa y de los integrantes de la asociación, con lo que se restauraría la degeneración de los suelos con el lacto suero tratado.

11 PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

Los materiales utilizados son de buena calidad y son de fácil acceso, a continuación se detalla los materiales y su costo.

Tabla 28. Costos elementos plásticos PVC

ELEMENTOS DE PVC				
Ítem	Elementos	Cantidad	Costo \$/u	Costo Total
1	Tanque de 5000 L.	1	220	220
2	Tanque de 500 L.	2	80	160
3	Plástico de invernadero 8 micras espesor	9	5,6	50,4
TOTAL				430,4

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Tabla 29. Accesorios de PVC

ACCESORIOS DE PVC				
Ítem	Elementos	Cantidad	Costo \$/u	Costo Total
1	Codo 63 mm	4	4,04	16,16
2	Acople de 1"	3	10,29	30,87
3	Acople macho 1"	2	2	4
4	Adaptador Hembra 63 mm	3	1,97	5,91
5	Válvula de esfera	2	13,9	27,8
6	Válvula de esfera con mariposa	1	1,75	1,75
7	Adaptador de 1/2"	1	1,9	1,9
8	Llave de 1/2"	1	2,35	2,35
9	Reductor de 63 mm a 32 mm	2	1,8	3,6
10	Acople espiga	2	1,9	3,8
11	Codo de media	2	0,75	1,5
12	Acoples reductores de 32 a 1/2	2	0,5	1
13	Unión plegable	2	0,75	1,5
14	Tubo de 63 mm	2	9,5	19
TOTAL				121,14

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Tabla 30. Fondo para imprevistos

IMPREVISTOS				
Ítem	Elementos	Cantidad	Costo \$/u	Costo Total
1	10% para imprevistos	1	127,1	127,1
TOTAL				127,1

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Tabla 31.Recursos Utilizados

Ítem	Recursos	Cantidad	Costo \$/u	Costo Total \$
1	Internet	2	22	44
2	Copias	500	0,02	10
3	Impresiones b/n	200	0,03	6
4	Impresiones color	250	0,06	15
5	Anillados	4	0,8	3,2
6	Esferos	4	0,45	1,8
7	Empastado	1	22	22
8	Resma papel	2	3,25	6,5
9	Transporte	50	0,8	40
10	Alimentación	50	2,25	112,5
11	Flash memory	1	10	10
12	Mano de obra	2	500	1000
TOTAL				1271

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Tabla 32. Elementos varios

ELEMENTOS VARIOS				
Ítem	Elementos	Cantidad	Costo \$/u	Costo Total
1	Pega de tubo	1	5	5
2	Teflón	3	1,7	5,1
3	Clavo de ½	2	0,6	1,2
4	Clavo de 1"	2	0,9	1,8
5	Quemador	1	15	15
6	Manómetro	2	40	80
7	Manguera de presión	8	2,5	20
8	Termómetro	1	15	15
9	Suelda para tubo (galón)	1	2,25	2,25
10	Calefón	1	150	150
11	Tubo de cobre 3/4'	1	25	25
12	Tanque recolector de gas	1	250	250
TOTAL				295,35

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Tabla 33. Elementos eléctricos

ELEMENTOS ELÉCTRICOS				
Ítem	Elementos	Cantidad	Costo \$/u	Costo Total
1	Bomba de agua 3500 Lh	1	16	16
TOTAL				16

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Tabla 34. Costo total del proyecto

COSTO TOTAL			
ITEM	DESCRIPCIÓN	Costo Total (\$)	%
1	ELEMENTOS DE PVC	430,4	23%
2	ACCESORIOS DE PVC	121,14	5%
3	RECURSOS	1271	57%
4	IMPREVISTOS	127,1	6%
5	ELEMENTOS VARIOS	295,35	7%
6	ELEMENTOS ELÉCTRICOS	16	2%
TOTAL		2260,99	100%

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

En la Tabla 34 se puede observar el costo total estimado que se necesitaría para la construcción de la planta de biogás, el costo total sería de \$ 2260,99, siendo los recursos los que representen el 57 % del total, y los elementos de PVC que representan 23% del total.

12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

A partir del análisis de los resultados del trabajo realizado se extrajeron las siguientes conclusiones:

- El consumo de energía eléctrica promedio mensual de la empresa PASTOLAC es de, aproximadamente 1474,44 KWh/mes, lo que por día equivale a 49,15 KWh, dicho consumo se produce principalmente en la cámara de refrigeración, donde se colocan los productos terminados para la conservación y constituye el 73% del total del consumo de energía eléctrica de la empresa.
- Se diseñó una planta de biodigestión anaeróbica tipo Chino para el tratamiento de 283 L/día de lacto suero generado por la empresa durante el proceso de elaboración de quesos, para evitar la contaminación de los suelos y tatar de solventar las necesidades eléctricas que tiene la empresa. La producción de biogás diaria es de aproximadamente de 19,59 m³, y con ella se pudiera satisfacer el 49 % de las necesidades de energía eléctrica de la Empresa.
- Para la construcción de la planta de tratamiento se seleccionaron componentes y accesorios de fácil obtención y de bajo costo, disponibles en distribuidoras y ferreterías de la provincia de Cotopaxi, tales como tanques, tuberías, válvulas de PVC, calefón a gas, manómetro, filtros, la antorcha y el termómetro.
- El costo total de la planta es de \$ 1989,99, siendo la mano de obra el gasto más significativo (42% del costo total); y los elementos ms costosos son los tanques de alimentación, biodigestión y descara (22%) y el calefón (7%), cuya suma representa el 71% del costo total de la planta. La inversión realizada se recuperara al cabo de tres años con una tasa interna de retorno de 29 % y con un valor actual neto de \$ 910.

RECOMENDACIONES

- Con el propósito de alargar la vida tilde los elementos que componen la planta de biogás, se recomienda construir la planta bajo la protección del sol y en una superficie o base de hormigón para evitar deformaciones del biodigestor y/o reservorios.
- Para su implementación se recomienda seguir cada uno de los pasos detallados en el presente documento especialmente tomar énfasis en la metodología y análisis de resultados para su adecuada construcción.
- Para su operación y limpieza se recomienda seguir los pasos de los instructivos de operación y mantenimiento.

13 BIBLIOGRAFÍA

- Arrojo, B., Omil, F., Garrido, J., & Méndez, R. (2003). Combinación de un filtro anaerobio y un sistema SBR para el tratamiento de las aguas generadas en un laboratorio de análisis de productos lácteos. *Afinidad*, 10.
- Basurto Cusme, C. A., & Corrales Molina, J. G. (2017). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA Y DEMOSTRACIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL CRIADERO PORCINO LA BONITA. (Ingeniería Investigación), Universidad Técnica de Cotopaxi, LATACUNGA – ECUADOR. (1)
- Batchmann, N. (2013). *Biogas Handbook: Science, production and application* (Ingles, Trans. Segunda ed. Vol. 1).
- Beer, F. P., Johnston Jr, E. R., Dewolf, J. T., & Mazurek, D. F. (2010). *MECÁNICA DE MATERIALES* (S. A. D. C. V. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES Ed. Quinta ed.).
- Ben-Hassan, R., & Ghaly, A. (1994). Continuous propagation of *Kluyveromyces fragilis* in cheese whey for pollution potential reduction. *Appl. Biochem. Biotechnol*, 47.
- Benitez, R. (2011). *Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process*. Universal-Publishers.
- Blanco, D. (2011). Manual para el diseño, montaje y operación de digestores plásticos de bajo costo. *Matanzas.*, 12.
- Campos Cuní, B. (2011). Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20, 37-41.
- Cepero, L. (2012). *Producción de Biogás y Bioabonos a partir de efluentes de biodigestores*. Pastos y Forrajes.
- Córdova Gallardo, V. D., & Tarco Maigua, F. R. (2011). DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS ALBAÑALES GENERADOS EN LA RESIDENCIA DE LA UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO COMO UNA ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA EL COCIDO DE ALIMENTOS (Ingeniería Diseño), Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga- Ecuador. Retrieved from <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/611/1/T-UTC-1076.pdf> (1)

- Cuní, B. C. (2011). Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20, 5.
- Fernandez Rodriguez, C. (2012). Revalorización del lactosuero mediante obtención de energía por biodigestión de la lactosa. *VALORIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS DE INDUSTRIA AGROALIMENTARIA*, 27.
- Ghaly, A. E. (1989). Biogas Production from Acid Cheese Whey Using a Two-Stage Digester. *Energy Sources*, 11(4), 237-250. doi: 10.1080/00908318908908958
- Ghaly AE, S. R. (1989). Pollution potencial reduction of cheese whey through yeast fermentation. *Appl Biotechnol*, 181.
- Gutierrez Rico JL, G. E. P., Polanco FDZ. (1991). Anaerobi treatmennt of cheese-production wastewater using UASB reactor. *Bioresour Technol*, 41.
- Hernández, F. M. (2015). Producción de biogás con suero de queso: Tratamiento y generación de energía renovable a partir de lactosuero: Francisco M. Hernández.
- Huayamave Lainez, E. C. (2005). Estudio del Efecto de la Presión sobre la Deshidratación Osmótica del Mango. (Ingeniería), ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, Guayaquil- Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/14597>
- Malaspina F, S. L., Cellamare CM, Tilche A. (1995). Cheesewhey and cheese factory wastewater treatment with biological anaerobic-aerobic process. *Water Sci Technol*, 75.
- map.net, G. a. (2018). America Del Sur / Ecuador (Quito) / Cotopaxi / Pastocalle. from http://es.getamap.net/mapas/ecuador/cotopaxi/_pastocalle/
- Mawson, A. (1994). Bioconversions for whey utilization and waste abatement. : Bioenergy Biowastes Conver Technol Biotransform prod Technol
- Moncayo, G. (2013). Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogás. Alemania Aqualimpia Beratende Ingenieure.
- Ortega, N. (2006). Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process. Universal-Publishers.
- Patel C, M. D. (1998). Biomethanation of salty cheese whey using multichamber anaerobic bireactor. *Energy environ*, 225.
- Patel C, M. D. (1999). Biomethanation of salty cheese whey using a anaerobic biological contact reactor. *Ferment Bioeng*, 83.

- PROMOENERGIA (Producer). (2015). Acerca de nosotros: A PROMOENERGIAS. PROMOENERGIAS Web Site. Retrieved from <http://promoenergia.co/biogas/index.html>
- Remón, J., Laseca, M., García, L., & Aruzo, L. (2016). Hydrogen production from cheese whey by catalytic steam reforming: Preliminary study using lactose as a model compound. *Energy Convers*, 41-122.
- Rodriguez, R., Bailat, F., & Testasecca, G. (2014). GENERACIÓN DE BIOGAS A PARTIR DEL LACTOSUERO ÁCIDO. Buenos Aires: INTI Ambiente.
- Rodríguez, W. J. G., Aldapa, C. A. G., Ramírez, C. A. G., & Rosas, J. C. (2015). LACTOSUERO Y SU PROBLEMÁTICA EN EL MEDIO AMBIENTE Paper presented at the XI CONGRESO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, Monterrey, Nuevo Leon.
- Van Den Berg L, K. K. (1992). Dairy waste treatment with anaerobic stationary fixed film reactors.
- Varnero, M. T. (2011). MANUAL DE BIOGÁS (Primera ed.).
- X Aguilar, F., & Botero Botero, R. (2006). Los Beneficios Económicos Totales de la Producción de Biogás Utilizando un Biodigestor de Polietileno de Bajo Costo (Vol. 2).
- Yang, K., Yu, Y., & Hwang, S. (2002). Selective optimization in thermophilic acidogenesis of cheese-whey wastewater to acetic and butyric acids: partial acidification and methanation. *Water Research*, 1, 11.
- Yunus A. Cegel, A. J. G. (2011). TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA. Fundamentos y aplicaciones (S. A. D. C. V. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES Ed. Cuarta Edición ed.).

ANEXOS

ANEXO A

REGISTRO DE ELABORACIÓN DE QUESO Y RESIDUO DE LACTO SUERO

Figura 36.-Registro de producción de queso y residuo de lacto suero

ENCARGADO:	ASOCIACIÓN AGROECOLOGICOS PASTOCALLE LINEA DE LACTEOS "PASTOLAC"			CÓDIGO: PL.PR.001 VERSIÓN: 01 ELABORADO POR: Administración	
	LECHE	PRODUCCIÓN QUESO (kg)	SUERO LÁCTEO	FIRMA RESPONSABLE	OBSERVACIONES
01/01/2018	336,30	9,6	280,25		1
03/01/2018	240,38	6,9	200,32		1
05/01/2018	228,95	6,5	190,79		1
08/01/2018	336,54	9,6	280,45		1
10/01/2018	312,65	8,9	260,54		1
12/01/2018	216,42	6,2	180,35		1
15/01/2018	324,96	9,3	270,8		1
17/01/2018	348,60	10,0	290,5		1
19/01/2018	348,90	10,0	290,75		1
22/01/2018	264,40	7,6	220,33		1
24/01/2018	300,56	8,6	250,47		1
26/01/2018	312,24	8,9	260,2		1
29/01/2018	300,84	8,6	250,7		1
31/01/2018	276,96	7,9	230,8		1
02/02/2018	337,08	9,6	280,9		1
05/02/2018	264,74	7,6	220,62		1
07/02/2018	295,92	8,5	246,6		1
09/02/2018	356,70	10,2	297,25		1
12/02/2018	331,07	9,5	275,89		1
14/02/2018	334,30	9,6	278,58		1
16/02/2018	336,24	9,6	280,2		1
19/02/2018	300,14	8,6	250,12		1
21/02/2018	280,81	8,0	234,01		1
23/02/2018	276,13	7,9	230,11		1
26/02/2018	365,10	10,4	304,25		1
28/02/2018	366,30	10,5	305,25		1
02/03/2018	367,50	10,5	306,25		1
05/03/2018	368,70	10,5	307,25		1
Revisado por:					

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Figura 37 Registro de producción de queso y residuo de lacto suero

ENCARGADO:	ASOCIACIÓN AGROECOLOGICOS PASTOCALLE LINEA DE LACTEOS "PASTOLAC"				CÓDIGO: PL.PR.001 VERSIÓN: 01 ELABORADO POR: Administración
	LECHE	PRODUCCIÓN QUESO (kg)	SUERO LÁCTEO	FIRMA RESPONSABLE	OBSERVACIONES
01/01/2018	336,30	9,6	280,25		1
03/01/2018	240,38	6,9	200,32		1
05/01/2018	228,95	6,5	190,79		1
08/01/2018	336,54	9,6	280,45		1
10/01/2018	312,65	8,9	260,54		1
12/01/2018	216,42	6,2	180,35		1
15/01/2018	324,96	9,3	270,8		1
17/01/2018	348,60	10,0	290,5		1
19/01/2018	348,90	10,0	290,75		1
22/01/2018	264,40	7,6	220,33		1
24/01/2018	300,56	8,6	250,47		1
26/01/2018	312,24	8,9	260,2		1
29/01/2018	300,84	8,6	250,7		1
31/01/2018	276,96	7,9	230,8		1
02/02/2018	337,08	9,6	280,9		1
05/02/2018	264,74	7,6	220,62		1
07/02/2018	295,92	8,5	246,6		1
09/02/2018	356,70	10,2	297,25		1
12/02/2018	331,07	9,5	275,89		1
14/02/2018	334,30	9,6	278,58		1
16/02/2018	336,24	9,6	280,2		1
19/02/2018	300,14	8,6	250,12		1
21/02/2018	280,81	8,0	234,01		1
23/02/2018	276,13	7,9	230,11		1
26/02/2018	365,10	10,4	304,25		1
28/02/2018	366,30	10,5	305,25		1
02/03/2018	367,50	10,5	306,25		1
05/03/2018	368,70	10,5	307,25		1
Revisado por:					

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

ANEXO B

Manual de operación y mantenimiento

	MANUAL DE OPERACIÓN DEL BIODIGESTOR ANAERÓBICO	Identificación: MOM	
		CÓDIGO: 002	
		REVISIÓN:	001
	NÚMERO DE PÁGINAS:	1-11	

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL BIODIGESTOR

**ASOCIACIÓN AGROECOLOGICOS
PASTOCALLE
“PASTOLAC”**

LATACUNGA-ECUADOR

ÍNDICE

Introducción.....	3
Objetivo	3
Alcance	3
Elementos y esquema de funcionamiento.....	3
Descripción de elementos que conforma el Biodigestor.....	4
Esquema de funcionamiento.....	5
SOLUCIÓN A PROBLEMAS.....	6
Taponamiento de la tubería de carga de mezcla (L2).....	6
Poca generación de biogás.....	6
Agujero en el reservorio R5 (Bolsa de biogás).....	6
RECOMENDACIONES GENERALES DE FUNCIONAMIENTO.....	7
REGLAS BÁSICAS DE SEGURIDAD DENTRO Y FUERA DEL BIODIGESTOR....	8
No encender fuego cerca el reservorio.....	9
No inhalar el biogás porque es dañino para la salud.....	9
Revisar periódicamente la llama de los calentadores.....	9
Como cambiar y rellenar el filtro de ácido sulfúrico.....	9
OPERACIÓN DEL BIODIGESTOR (PASO A PASO).....	10
Prueba de inicio de producción de biogás.....	11

Introducción:

El diseño de la planta de producción de biogás está diseñado para la reutilización del subproducto obtenido de la producción de queso denominado como suero lácteo que mediante un proceso de fermentación se obtiene biogás como producto resultante y Biol. El presente manual tiene como estructura básica el uso correcto y mantenimiento del biodigestor, se aconseja que siga cuidadosamente las instrucciones debido a que el funcionamiento y duración de la planta, depende del uso correcto.

Objetivo

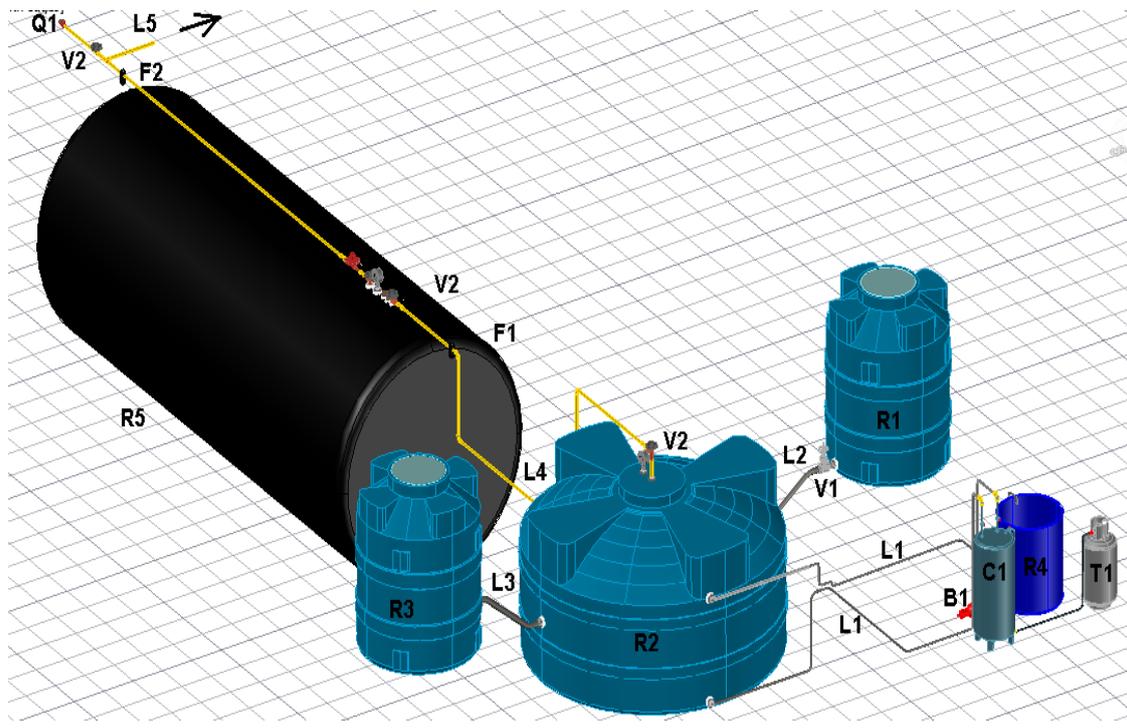
Establecer la secuencia de pasos requeridos para la producción de biogás mediante el uso de un biodigestor anaeróbico para el personal de la empresa Pastolac.

Alcance

Permitir que cualquier persona de la empresa logre operar el biodigestor sin dificultad.

Elementos y esquema de funcionamiento

Esquema de funcionamiento



Abreviatura en cada componente en el biodigestor.

Abreviatura	Descripción
R	Reservorio
L	Tubería
V	Válvulas
F	Filtro
Q	Quemador
B	Bomba

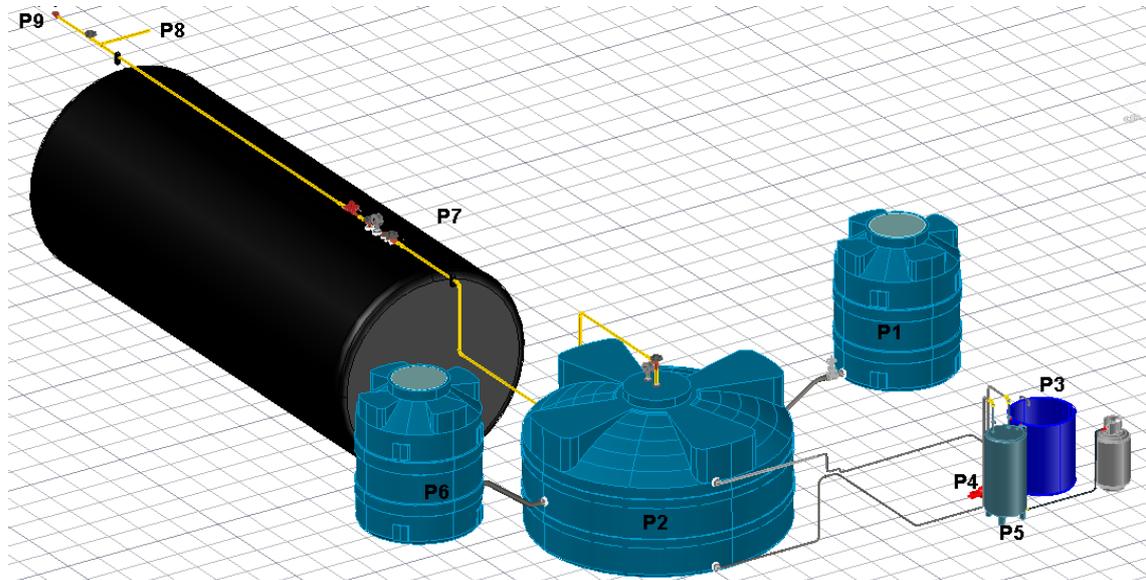
Descripción de los elementos que conforman el Biodigestor

Descripción de los elementos que conforman el biodigestor.

ABREVIATURA	ELEMENTO	CARACTERISTICAS
R1	Reservorio de mezcla.	500 litros
T1	Tanque de Gas.	
C1	Calefón Prestige	25 litros
B1	Bomba sumersible pump	3500 litros por minuto.
V1	Válvula de globo	1 pulgada
L1	Tuberías de circulación de agua para el intercambiador del serpentín.	¾ in
F1	Filtro de ácido sulfúrico	2 kg de Fe
Q1	Quemador	
V2	Válvula tipo aguja.	¾ in
R2	Biodigestor	5000 litros.
F2	Trampa de Agua.	
L2	Tubería del tanque de mezcla.	1 in
R3	Reservorio de residuos.	500 litros.
R4	Reservorio de Agua.	50 litros
R5	Reservorio de almacenamiento de gas.	15.70 metros cúbicos.

Esquema de funcionamiento

Esquema de funcionamiento del Biodigestor



Proceso	Descripción
P1	Llenado de lacto suero.
P2	Almacenamiento de lacto suero para el proceso de descomposición química.
P3	Llenado de agua.
P4	Encender la bomba
P5	Encender el calentador
P6	Descarga de Biol resultante del proceso de digestión anaeróbica.
P7	Colocar la válvula en posición abierto para el almacenamiento de gas.
P8	Tubería que direcciona el Biogás para ser utilizado para la cocina industrial de la empresa
P9	Quemador que permite eliminar el exceso de Biogás.

SOLUCIÓN A PROBLEMAS

Taponamiento de la tubería de carga de mezcla (L2):

- Realice una observación de la tubería y asegúrese de que no exista ningún cuerpo extraño que obstruya el paso de suero lacto.
- De no existir flujo continuo se debe proceder a:
- Desarmar la tubería L2 y encontrar el área de taponamiento.
- Despejar la obstrucción y lavar la misma con agua que no contenga cloro o detergentes.
- Armar nuevamente la tubería L2 y continuar con la mezcla y descarga de la misma con normalidad.

Poca generación de biogás.

- Esto puede deberse a varios motivos:
- Falta de lacto suero dentro del biodigestor.
- La mezcla de lacto suero contiene elementos químicos como detergentes, desinfectantes entre otros que afectan al proceso de fermentación química para la producción de biogás.

Agujero en el reservorio R5 (Bolsa de biogás)

- Para solucionar este problema se debe limpiar cuidadosamente el área en donde se encuentra el agujero, y sellar con pegamento (cold patch) y parches.

RECOMENDACIONES GENERALES DE FUNCIONAMIENTO

Normas de seguridad Para evitar contaminación y riesgos biológicos se deberá utilizar los equipos de protección que se encuentran descritos en las reglas básicas de seguridad.

El invernadero	Es necesario revisar periódicamente toda la estructura para evitar el ingreso de aire frío con ello la disminución de la temperatura y una notable disminución de la generación de biogás.
La Mezcla	Asegúrese que el lacto suero no contengan residuos extraños como: trozos de comida, plátano zanahoria; u objetos extraños, fundas, piedras o solidos que puedan llegar a tapar la tubería.
Filtro de agua	Revisar semanalmente el agua de la válvula de seguridad. Si estuviera vacía, es preciso llenarla hasta el nivel establecido (no debe superar los 3 o 4 cm de la columna de agua sobre la base de la tubería).
Filtro de ácido sulfhídrico	Cuando se realiza el cambio de limalla se recomienda no desecharla en cualquier parte puede contaminar el agua o los alimentos y es tóxico para los niños; de preferencia, colocarlo en una caja para luego enterrarlo en un lugar seguro; el reemplazo se lo debe realizar cada 2 años.
Reservorio de biogás	Se realizará una inspección visual, verificando que no exista fugas tanto en los acoples como en el reservorio, si existieran fugas verificar los acoples o siendo el caso de existir fugas en la bolsa, sellar con pegamento y parches.

REGLAS BÁSICAS DE SEGURIDAD DENTRO Y FUERA DEL BIODIGESTOR

Las reglas básicas aquí indicadas se encuentran ubicadas en los alrededores del biodigestor, están destinadas para proteger la salud y la integridad de las personas.



Prohibido fumar



Materiales inflamables



Riesgo eléctrico



Obligación de usar protección para las manos.



Obligación de usar protección para los pies.



Obligación de usar ropa de protección para el cuerpo.



Obligación de usar protección respiratoria.

No encender fuego cerca del reservorio

Al contener metano, el biogás es un combustible que al contacto con una fuente de combustión puede inflamarse y generar una llama.

No inhalar el biogás porque es dañino para la salud.

Por ningún motivo se debe inhalar biogás, ya que antes de ser filtrado, algunos de sus compuestos son dañinos.

Revisar periódicamente la llama de los calentadores

Se recomienda comprobar visualmente el encendido de los calentadores en periodos de 30 minutos, si la llama se encuentra apagada cierre la válvula del biogás y aléjese del lugar por un tiempo de 5 minutos, luego vuelva a encender.

Como cambiar y rellenar el filtro de ácido sulfhídrico

Para realizar el mantenimiento del filtro se debe seguir los siguientes pasos:

- Cierre la válvula de paso V2
- En la parte izquierda del filtro, no se encuentra cerrada en su totalidad lo que facilita su separación del cuerpo del filtro.
- Retirar cuidadosamente la limalla del interior del filtro utilizando el equipo de protección personal indicado en las reglas de seguridad.
- Colocar los restos de limalla en un recipiente o funda para su posterior desecho.
- Limpiar el interior del filtro con un paño húmedo.
- Dejar secar el filtro.
- Pesar 1 ½ de libra entre clavos y limalla.
- Proceder a colocar los clavos y la limalla en el interior del filtro.
- Hacer una ligera presión de la limalla con un taco de madera, hasta llenarlo por completo.
- Colocar el extremo izquierdo del filtro.
- Volver a colocar es su lugar correspondiente.

Nota: La limalla se puede adquirir en lugares de torneado, deberá ser en lo posible sin muchas impurezas (objetos extraños), su tamaño deberá ser mediano para que exista fluidez de biogás en su interior y no ocurra taponamientos.

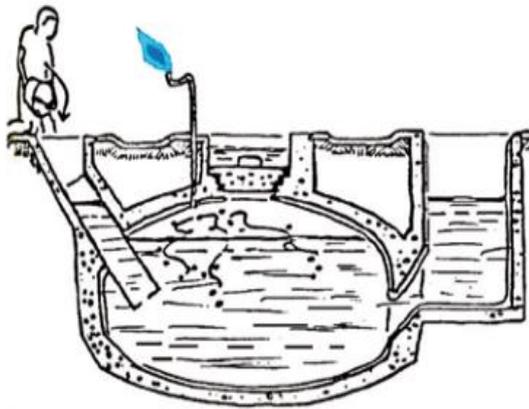
OPERACIÓN DEL BIODIGESTOR (PASO A PASO)

- Colocación del equipo de seguridad para evitar contaminación con las bacterias presentes en el suero lácteo.
- Revisar que la válvula de esfera V1 se encuentre cerrada.
- Colocar en el tanque de alimentación el suero lácteo.
- Agitar la mezcla con el propósito de eliminar cualquier tipo de elemento sólido.
- Una vez homogeneizado la mezcla proceder a abrir la llave de paso (V1).
- Verificar la descarga total de la mezcla y cerrar la llave (V1).
- Llenar el reservorio (R4) con agua.
- Encender la bomba de agua (B1).
- Encender el calefón (C1).
- Dirigirse hacia reservorio de descarga de Biol (R3) y proceder a extraer el Biol en caso de existir.
- Se procederá a abonar el terreno con el biol extraído.
- Verificar de la trampa de agua cada día, si el nivel del agua está en el rango adecuado (al borde del agujero), caso contrario llenar hasta su límite con una jeringa.
- Inspeccionar el filtro de ácido sulfhídrico, si existen fugas de gas, se comprobará mediante el olfato el gas tiene un olor a huevo podrido; la sustitución del este filtro se lo especifica en las recomendaciones generales de funcionamiento.
- Verificar que la válvula de paso (V2), se encuentre en posición abierta para que exista flujo continuo de biogás al reservorio (R5).
- Comprobar que no existan fugas en el reservorio (R5).
- Si existiera fugas en el reservorio proceder a repararlo como se lo indica en la solución de problemas.
- Abrir las válvulas de cada calentador para la quema de biogás.
- En el caso de no utilizar el biogás asegurarse de que las válvulas de la cocina se encuentren cerrada para evitar la fuga del mismo. Una vez cada seis meses se recomienda vaciar los residuos acumulados en el tanque de almacenamiento (R2).

Pruebas Inicio producción de biogás

- Transcurrido la carga inicial o de arranque, se debe comenzar a verificar el inicio de producción de biogás (CO_2 y CH_4 en proporción similar), mediante la verificación de “quema de biogás”. Se acopla una manguera a la salida de gas y utilizando un quemador o mechero, se prueba si el gas se enciende. Si el gas quema con una llama azulada y de buena consistencia, se puede iniciar el uso normal del biogás.

Quema o prueba de biogás, color de llama



ANEXO C

FACTURASY PAGOS DE SERVICIOS BASICOS

Figura 38. Facturas y recibos pagos servicios básicos



Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

ANEXO D

TABLAS DE DATOS PARA ANÁLISIS DE COSTOS

Tabla 35. Estructura de costos de la Empresa

Estructura de Costos Año Marzo 2017 – Marzo 2018														
Descripción	mar-17	abr-17	may-17	jun-17	jul-17	ago-17	sep-17	oct-17	nov-17	dic-17	ene-18	feb-18	mar-18	TOTAL
Salarios (\$/mes)	1580	1580	1580	1580	1580	1580	1580	1580	1580	1580	1637	1637	1637	20711
Materia Prima (\$/mes)	1533,7	1524,31	1580,05	1530,06	1532,45	1528,12	1520,08	1517,06	1502,52	1520,45	1520,1	1537,82	1507,26	19853,98
Energías (\$/mes)	132,7	133,15	138,01	132,61	134,03	133,9	132,14	131,59	130,02	135,59	133,68	136,08	130,19	2695,17
Servicios (\$/mes)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	120	120	120	1360
Agua (\$/mes)	2	2,56	2,36	2,54	2,1	2,42	2,36	2,55	2,49	2,11	2,4	1,9	2,6	30,39
Diésel (\$/mes)	66,96	66,96	66,96	66,96	66,96	66,96	66,96	66,96	66,96	66,96	66,96	66,96	66,96	
Gas Licuado (\$/mes)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
TOTAL														
														\$ 44.650,50

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Tabla 36. Estructura de costos salarios del personal

Personal de la empresa Pastolac														
Descripción	mar-17	abr-17	may-17	jun-17	jul-17	ago-17	sep-17	oct-17	nov-17	dic-17	ene-18	feb-18	mar-18	Total Año
Gerente (\$)	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	475	475	475	\$ 5.925
Contadora (\$)	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	390	390	390	\$ 4.970
Operador (\$)	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	386	386	386	\$ 4.908
Operador (\$)	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	386	386	386	\$ 4.908
Total Mes (\$)	1580	1637	1637	1637										

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

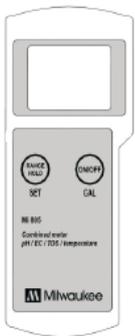
ANEXO E

FICHA TECNICA DE LOS EQUIPOS

Figura 39. Ficha Técnica acidómetro MI 805

USER MANUAL

MI 805 pH/EC/TDS/Temperature Portable Meter




GENERAL OPERATION

- The meter is supplied complete with a 9V battery. Remove the battery cover on the back of the meter and install the battery while paying attention to its polarity.
- Connect the MA851D/1 probe to the meter and turn it on by pressing the ON/OFF key.
- At start-up, the LCD shows the percentage of the remaining battery life for a few seconds, and then the current measurement.
- To select the temperature measurement unit (°C or °F), press and hold the "ON/OFF" key until "TEMP" and the current temperature unit are displayed on the secondary LCD. Use the "SET" button to select the unit, then press "ON/OFF" a couple of times to return to normal mode.
- To activate the HOLD function, keep pressed the "HOLD" key. The measured value will be frozen on the display and the "HOLD" message appears on the secondary LCD.
- To set the measurement range (pH, µS, ppm), press the "RANGE" key. The chosen mode will be stored until next change.
- Before taking any measurement, make sure that the meter has been calibrated (the "CAL" tag is displayed on the left lower corner of the LCD).



TAKING pH MEASUREMENTS

- Always remove the electrode protective cap before taking any measurement. If the electrode has been left dry, soak the tip (bottom 2.5 cm) in M10000 rinse solution for a few minutes to reactivate it.
- Select the pH range with the "RANGE" key.
- Immerse the tip (2.5 cm) of the probe into the sample and stir gently.
- Read the pH value when the clock symbol stops blinking.

pH CALIBRATION PROCEDURE

A) Preparation, Buffer solutions:

- pH 7.01 / 6.86 (MA9007 / MA9006)
- pH 4.01 (MA9004) for acidic calibration (pH < 7) or pH 10.01 / 9.18 (MA9010 / MA9009) for alkaline range (pH > 7).

Use two beakers for each buffer solution: one beaker for rinsing the probe, the other for calibration. In this way the cross contamination between solutions is minimized.

B) Procedure:

- Enter the pH mode with the "RANGE" key.
- Select calibration buffer set: press and hold the "ON/OFF" key until the LCD shows "TEMP".
- Press again this key and the "BUFF" message will appear; then select the desired buffer set with the "SET" key: "7.01 pH BUFF" (for standard solutions: pH 4.01, 7.01, 10.01) or "6.86 pH BUFF" (for NIST solutions: pH 4.01, 6.86, 9.18). Press "ON/OFF" again to exit.
- Remove the protective cap, then immerse the probe in the first buffer solution.
- Press and hold the "ON/OFF" key until "CAL" is displayed on the lower LCD. Release the button and the message "7.01 pH USE" (or "6.86 pH USE" for NIST buffer set) will be displayed.
- For a single point pH calibration, place the probe in any buffer from the selected set (e.g. pH 4.01 or 7.01/6.86 or 10.01/9.18). The meter will automatically recognize the buffer value, store the calibration point and return to normal mode.
- If using pH 7.01 (or pH 6.86), after recognition of the buffer press the "ON/OFF" button to return to normal mode.
- For a two point pH calibration, place the probe in pH 7.01 buffer (or pH 6.86, if the NIST buffer set was selected). The meter will recognize the buffer value and then display pH 4.01 USE.
- Place the probe in the second buffer (pH 4.01 or 10.01, or, if using NIST, pH 4.01 or 9.18). When the second buffer is recognized, the LCD will display "OK" for 1 second and the meter will return to normal mode.
- The "CAL" tag is displayed on the LCD to indicate that the meter is calibrated.

EC/TDS OPERATIONS

- The user can select the EC/TDS conversion factor (CONV), as well as the β coefficient (BETA) for automatic temperature compensation.
- Enter the EC or TDS mode with the "RANGE" key, then press and hold the "ON/OFF" key until "TEMP" is displayed on the secondary LCD. Press this key again to show the current conversion factor (CONV).
- Press the "SET" button to change the value, then press again this key to show the current temperature coefficient (BETA).
- Press "SET" to change the value, then press "ON/OFF" key to return to normal operation.
- For taking EC or TDS measurements, immerse the probe in the solution to be tested.
- Select either EC or TDS mode with "RANGE".
- Stir gently and wait for the reading to stabilize (the clock symbol stops blinking).



EC/TDS CALIBRATION PROCEDURE

- Clean the probe with M10000 solution.
- Enter the EC mode with the "RANGE" key.
- Immerse the probe in MA9061 (1413 µS/cm) calibration solution.
- Press and hold the "ON/OFF" key until "CAL" is displayed on the LCD. Release the



BATTERY REPLACEMENT

The meter shows the remaining battery percentage every time it is switched on. When the battery level is below 5%, the battery symbol on the bottom left of the LCD lights up to alert the user.

The meter is also provided with BEPS (Battery Error Prevention System), which automatically switches the meter off if the battery level is so low to cause erroneous readings. It is recommended to replace immediately the battery.



Turn the meter off, remove the battery compartment cover from the rear of the meter and replace the rundown 9V battery with a new one.

Install the battery while paying attention to its polarity and reattach the cover.

NOTES

- If reading is over-range, the display will flash the closest full scale value.
- To clear a previous calibration, press "ON/OFF" after entering the calibration mode. The lower LCD will display ESC for 1 second and the meter will return to

ACCESSORIES

MA851D/1	Amplified pH/EC/TDS/Temperature probe with DIN connector and 1 m (3.3') cable.
MA9004	pH 4.01 buffer, 230 ml bottle
MA9006	pH 6.86 buffer, 230 ml bottle
MA9007	pH 7.01 buffer, 230 ml bottle
MA9009	pH 9.18 buffer, 230 ml bottle
MA9010	pH 10.01 buffer, 230 ml bottle
MA9061	1413 µS/cm solution, 230 ml
MA9015	Probe storage solution, 230 ml
MA9016	General cleaning solution, 230 ml
M10000B	Rinse solution, 20 ml (25 pcs.)

WARRANTY

This instrument is warranted against defects in materials and manufacturing for a period of two years from the date of purchase. Probe is warranted for 8 months.

If during this period the repair or replacement of parts is required, where the damage is not due to negligence or erroneous operation by the user, please return the parts to either distributor or our office and the repair will be effected free of charge.

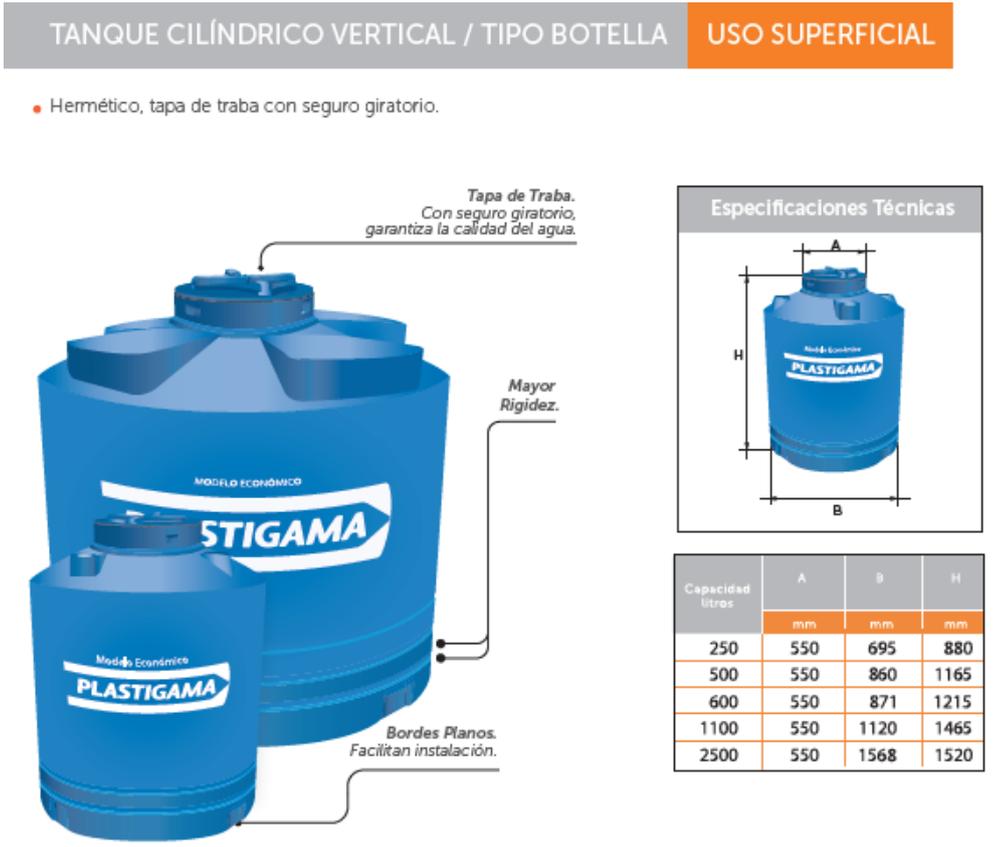
Damages due to accidents, misuse, tampering or lack of prescribed maintenance are not covered.

SPECIFICATIONS

RANGE	0.00 to 14.00 pH 0 to 3999 µS/cm 0 to 1999 ppm 0.0 to 80.0°C or 32.0 to 140.0°F
RESOLUTION	0.01 pH 1 µS/cm 1 ppm 0.1°C or 0.1°F
ACCURACY (@25°C)	±0.01 pH ±2% FS (EC/TDS) ±0.5°C or ±1°F
TYPICAL EMC DEV.	±2% FS (EC/TDS) ±0.5°C or ±1°F
TEMPERATURE	Automatic from 0 to 80°C;
COMPENSATION	β _{adj.} from 0.0 to 2.4%/°C
pH CALIBRATION	1 or 2-point with automatic buffer recognition
EC CALIBRATION	Automatic, 1 point
EC/TDS FACTOR (CONV)Adj.	from 0.45 to 1.00
PROBE (included) MA851D/1	amplified pH/EC/TDS/Temperature probe with DIN connector and 1 m (3.3') cable
ENVIRONMENT	0 to 50°C (32 to 122°F); 100% RH max.
BATTERY TYPE	1 x 9V alkaline (included)
BATTERY LIFE	approx. 300 hours
AUTO-OFF	after 8 minutes
DIMENSIONS	200 x 85 x 50 mm
WEIGHT	260 g (with battery)

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Figura 40. Especificaciones Técnicas de Tanque PLASTIGAMA



Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Figura 41. Especificaciones técnicas del cobre Tipo “L”

Tubería de cobre de temple flexible Tipo “L”					
Medida Nominal	Diámetro Exterior	Diámetro Interior	Espesor de Pared	Peso	Peso por rollo
Pulgadas milímetros	Pulgadas milímetros	Pulgadas milímetros	Pulgadas milímetros	Lb/pie kg/m	libras kilogramos
1/4"	0.375"	0.315"	0.030"	0.126	7.575
6.35 mm	9.525	8.001	0.762	0.188	3.439
3/8"	0.500"	0.430"	0.035"	0.198	11.907
9.5 mm	12.700	10.922	0.889	0.295	5.406
1/2"	0.625"	0.545"	0.040"	0.285	17.127
12.7 mm	15.875	13.843	1.016	0.424	7.776
5/8"	0.750"	0.666"	0.042"	0.363	21.760
15.785 mm	19.050	16.916	1.067	0.539	9.879
3/4"	0.875"	0.785"	0.045"	0.455	27.337
19 mm	22.225	19.939	1.143	0.678	12.411
1"	1.125"	1.025"	0.050"	0.655	39.341
25 mm	28.575	26.035	1.270	0.976	17.861

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Figura 42. Ficha Técnica Bomba de agua sumergible Q 3500



3 metros
3500 lph




Bomba sumergible 3500lph acuarios, cascadas, fuentes

Esta bomba puede hacer montar el agua hasta 3 metros. Tienen un flujo de 3500 litros por hora Altamente efectiva, bajo consumo de energía solo 60w y alta durabilidad.

Resistente a la abrasión y suciedad del agua. El eje es fabricado en acero y puede usarse con agua dulce o salada.

Motor aislado, resiste años en sumersión. Estas bombas pueden usarse para filtros de acuarios gigantes, fuentes decorativas, cascadas, talleres, sistemas de filtración etc. Excelente calidad y precio insuperable.

Puede usarla para hacer su cascada o estanque decorativo, añadirla a un sistema de filtración, Oxigenadora para crianza y tenencia de peces, para desocupar reservas de agua, etc

Tiene pre filtro en plástico para poderla usar en aguas de todo tipo y no correr riesgos con el motor.

Su tamaño reducido le permite ocultarla y disimularla fácilmente.

Trae el acople para conectar la manguera o el sistema de la cascada..

Marca SEA STAR, Novedosa y con los mejores estándares de calidad internacionales.

Voltage: 110V / 60Hz consumo de 60W

Bomba de fácil instalación solo sumerja y conecte. No necesita tuberías ni plomeros, tampoco debe perforar el contenedor. Disfrute de una caída de agua sin gastos exagerados.

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Figura 43. Ficha Técnica generador eléctrico Stamford PI044H

Low Voltage

0 - 50 kVA

STAMFORD

P0



Model	P0
Maximum continuous rating at 50Hz (kVA)	20
Maximum continuous rating at 60Hz (kVA)	22

Specifications	
Voltage Range	380-600
Poles	2, 4
Technology	Wire Wound
AVR	Analogue
Voltage sensing	2-Phase
Bearing Arrangement	Single
SAE Adaptors	2, 3, 4, 5
Terminals	12
Material Insulation Class	H
Excitation System	Self exciting
Ingress Protection	IP23
Connection with other machines	Paralleling capability

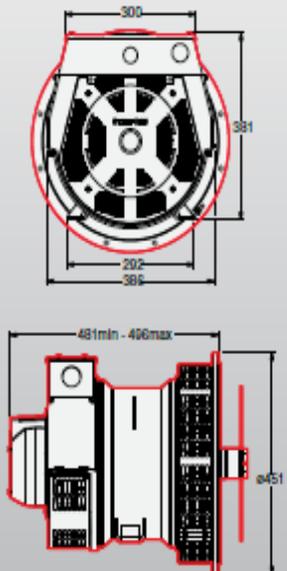
Optional Features	
Excitation System	EBS
Bearing Arrangement	Double
Output configurations	1 phase re-connectable
Temperature monitoring	Thermistors
Environmental protection	Anti-condensation Heaters

Designed For	
Marine Auxiliary	●
Oil & Gas Auxiliary	●
Telecommunications	●
Mobile Construction	●
Combined Heat & Power	●
Critical Protection & UPS	●
Continuous Power & Standby	●

Prime Movers	
Diesel Engine	●
Gas Engine	

DIMENSIONS

Drawings represent standard design
All dimensions in millimetres (mm)



Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Figura 44.Ficha técnica Motor YANMAR 4TNV84T

SPECIFICATIONS										
Model	3TNV82		3TNV84T		3TNV88		4TNV84T		4TNV88	
Specification	-DSA	-GGE	-KSA	-GGE	-DSA	-GGE	-DSA	-GGE	-DSA	-GGE
Type	Vertical Cylinder, In-line, 4-cycle, Water-Cooled Diesel Engine									
Combustion	DI		DI		DI		DI		DI	
Aspiration	NA		Turbo		NA		Turbo		NA	
No. of cylinders	3		3		3		4		4	
Cyl. bore x stroke	mm 82 x 84		84 x 90		88 x 90		84 x 90		88 x 90	
Displacement	L 1.33		1.496		1.642		1.995		2.189	
Rated output	hp/rpm 30.2/3000 17.7/1800		38.9/2800 25.2/1800		35.9/3000 21.7/1800		55.2/3000 35.9/1800		47.5/3000 29.0/1800	
Cooling system	Radiator									
Starting system	Electric									

DIMENSIONS

Model	3TNV82			3TNV84T			3TNV88			4TNV84T			4TNV88		
Spec.	54	84	104	52	84	104	54	84	104	54	84	104	54	84	104
L (mm)	22.89	23.23	23.81	22.71	24.83	25.91	22.89	23.23	23.81	22.89	23.23	23.81	22.89	23.23	23.81
H (mm)	57	78	97	57	80.25	97.25	57	78	97	57	78	97	57	78	97
W (mm)	24.62	24.62	24.62	26.78	26.78	26.78	26.78	27.44	27.44	27.44	27.44	27.44	28.47	28.47	28.47
Dry wt. (kg)	212	248	271	212	231	252	212	248	271	244	272	298	343	417	438

YANMAR[®]

DIESEL ENGINES

TNV series-2

17.7~55.2 hp

3TNV82A
3TNV84T
3TNV88
4TNV84T
4TNV88

Note: All data subject to alteration without notice.

YANMAR AMERICA CORP
 551 Corporate Grove Drive
 Buffalo Grove IL 60089-4508, U.S.A.
 TEL: 847/541-1900 FAX: 847/541-2161
 www.yanmar.com

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Figura 45. Ficha técnica HYPALON

FICHA TÉCNICA		
HYPALON®		
Composición		
Caucho de Polietileno clorosulfonado		
Características		
El Hypalon® es un caucho de alta calidad con una excelente resistencia al ozono, a la oxidación, a la luz solar y a la intemperie.		
Propiedades	Unidades	Valores
Composición	Polietileno Clorosulfonado	
Color	Negro	
Peso específico	1,5 ± 0,05	gr/cm ³
Dureza	70 ± 5	SHORE A
Carga de rotura	≥ 6	Mpa
Alargamiento a la rotura	≥ 250	%
Resistencia al desgarro	23	N/mm
Temperatura mínima de servicio	-35	°C
Temperatura máxima de servicio	125	°C
Envejecimiento por aire caliente	72 h x 70°C	
Inc. Dureza	5	SHORE A
Inc. Carga de rotura	-15	%
Inc. Alargamiento	-40	%
Resistencia Química		
Ozono	Muy Buena	
Ácidos y Alcalis diluidos	Muy Buena	
Ácidos y Alcalis concentrados	Buena	
Hidrocarburos, aceites y grasas	Buena	
Disolventes orgánicos	Buena	
<small>HYPALON®, MARCA REGISTRADA POR Dupont Elastomers</small>		

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

ANEXO F MEDICIONES REALIZADAS CON EL ACIDÓMETRO MI 805

Figura 46. Toma de datos de pH del lacto suero



Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Tabla 37. Variación de pH del lacto suero

Control de pH del Suero Lácteo				
#	Día	Hora	pH	Temperatura °C
1	Lunes	11:00	6,88	26,3
2	Lunes	14:00	6,72	26,1
3	Martes	11:15	6,23	25,7
4	Martes	12:30	6,08	25,1
5	Miércoles	9:00	5,71	24,6
6	Miércoles	11:30	5,54	24,1
7	Jueves	12:00	5,16	23,5
8	Jueves	14:30	4,91	23,3
9	Viernes	12:15	4,74	22,1

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

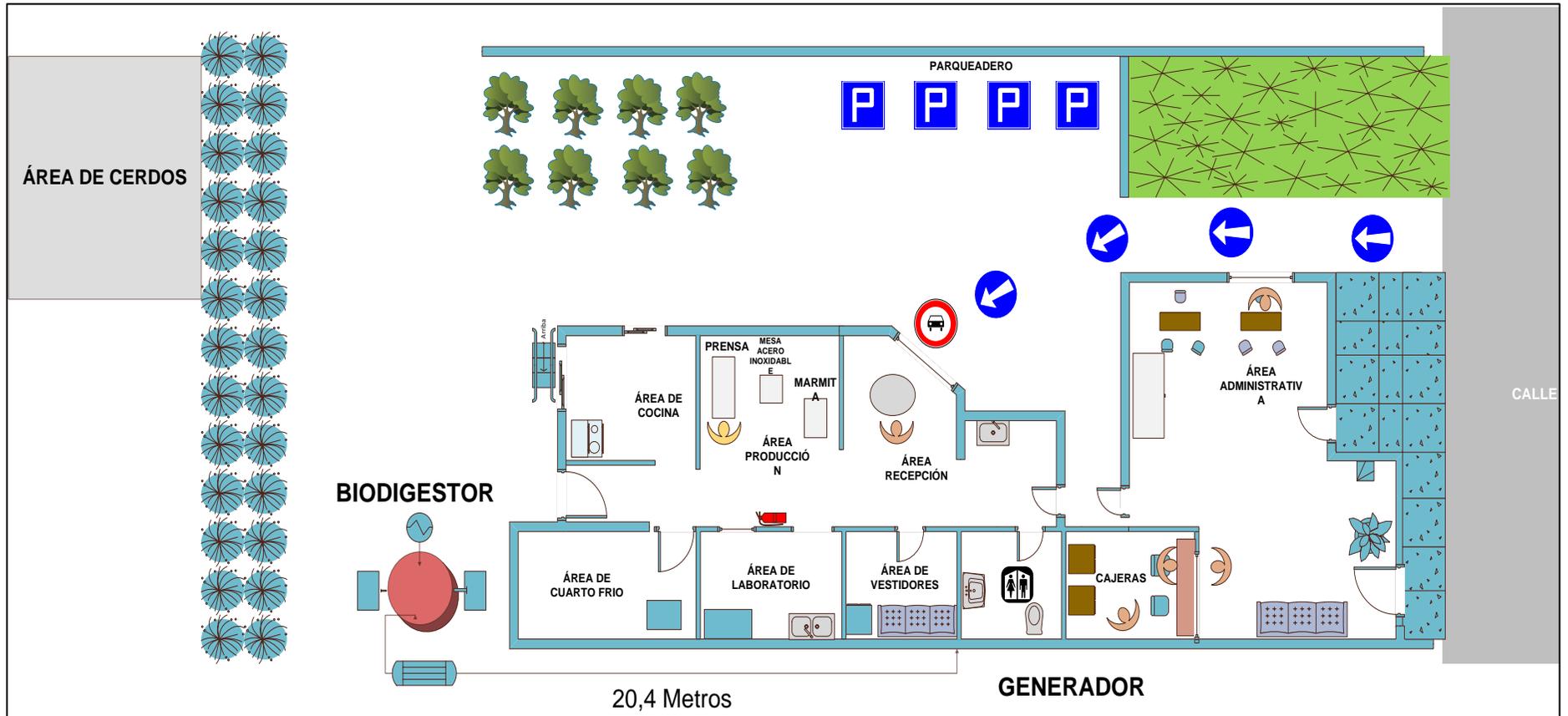
ANEXO G MAPA DE UBICACIÓN

Figura 47. Distribución de áreas



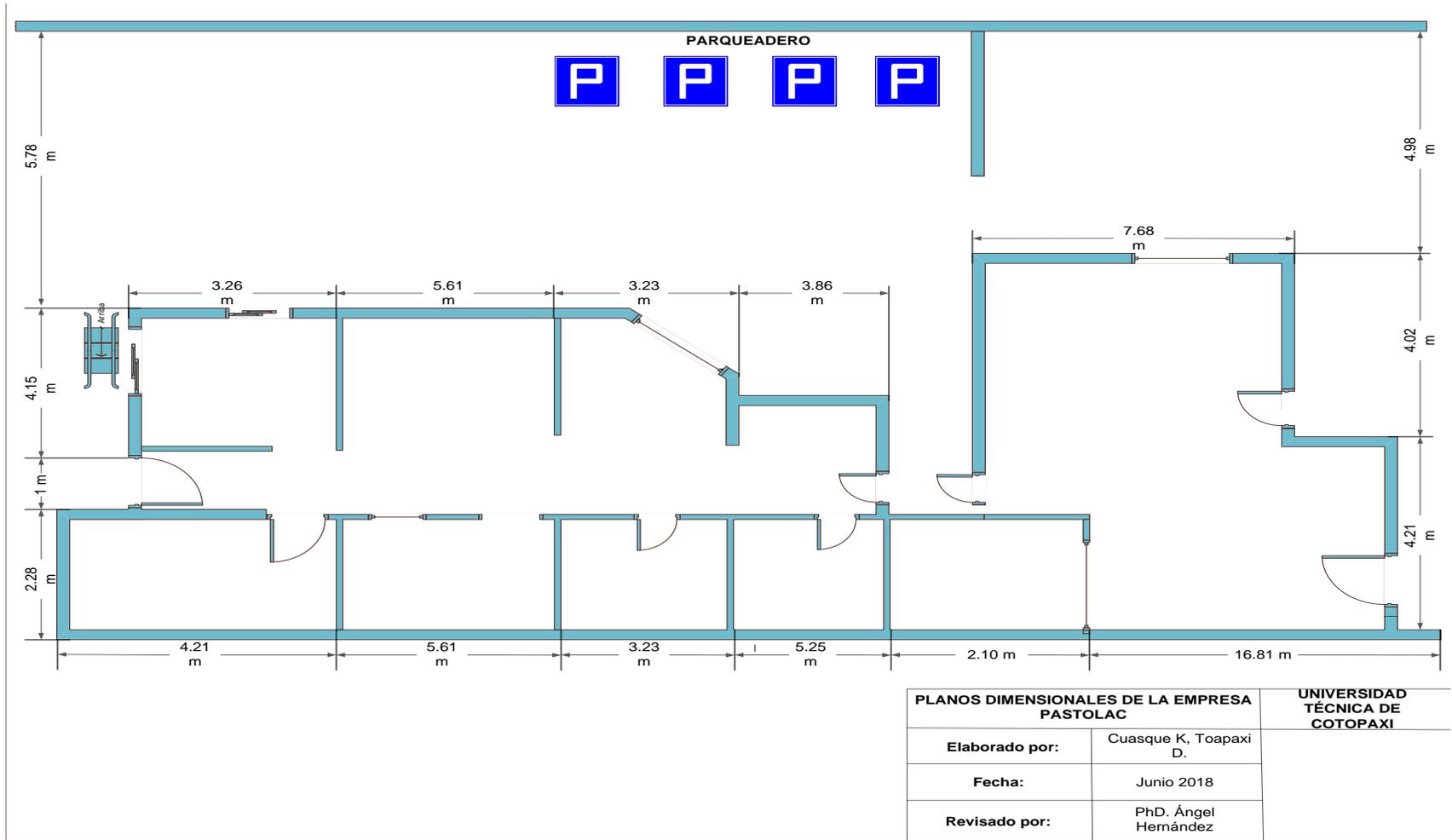
Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Figura 48. Distancia del biodigestor al generador eléctrico



Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

Figura 49. Planimetría de la Empresa PASTOLAC

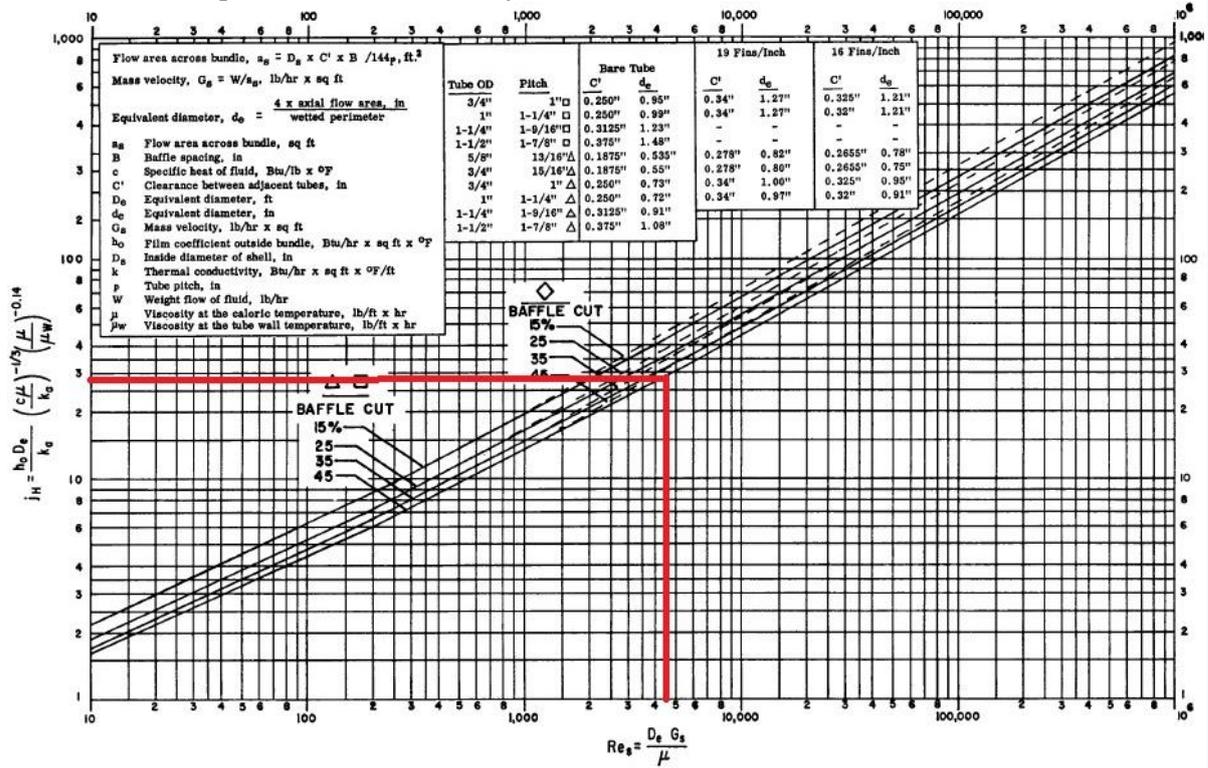


Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

ANEXO H

GRAFICA PARA ENCONTRAR EL FACTOR j_H

Figura 50. Tabla para encontrar el Factor j_H



Fuente: Adaptado de (Huayamave Lainez, 2005)

ANEXO I
TABLA DE CONVERSIONES

Figura 51. Tabla de conversiones

Factores de conversión		
DIMENSIÓN	MÉTRICA	MÉTRICA/INGLESA
Aceleración	1 m/s ² – 100 cm/s ²	1 m/s ² – 3.2808 ft/s ² 1 ft/s ² – 0.3048* m/s ²
Área	1 m ² – 10 ⁴ cm ² – 10 ⁶ mm ² – 10 ⁻⁶ km ²	1 m ² – 1 550 in ² – 10.764 ft ² 1 ft ² – 144 in ² – 0.09290304* m ²
Densidad	1 g/cm ³ – 1 kg/L – 1 000 kg/m ³	1 g/cm ³ – 62.428 lbm/ft ³ – 0.036127 lbm/in ³ 1 lbm/in ³ – 1 728 lbm/ft ³ 1 kg/m ³ – 0.062428 lbm/ft ³
Energía, calor, trabajo, energía interna, entalpía	1 kJ – 1 000 J – 1 000 Nm – 1 kPa · m ³ 1 kJ/kg – 1 000 m ² /s ² 1 kWh – 3 600 kJ 1 cal [†] – 4.184 J 1 IT cal [†] – 4.1868 J 1 Cal [†] – 4.1868 kJ	1 kJ – 0.94782 Btu 1 Btu – 1.055056 kJ – 5.40395 psia · ft ³ – 778.169 lbf · ft 1 Btu/lbm – 25 037 ft ² /s ² – 2.326* kJ/kg 1 kJ/kg – 0.430 Btu/lbm 1 kWh – 3 412.14 Btu 1 therm – 10 ⁹ Btu – 1.055 × 10 ⁹ kJ (gas natural)
Fuerza	1 N – 1 kg · m/s ² – 10 ⁵ dina 1 kgf – 9.80665 N	1 N – 0.22481 lbf 1 lbf – 32.174 lbm · ft/s ² – 4.44822 N
Flujo de calor	1 W/cm ² – 10 ⁴ W/m ²	1 W/m ² – 0.3171 Btu/h · ft ²
Rapidez de generación de calor	1 W/cm ³ – 10 ⁶ W/m ³	1 W/m ³ – 0.09665 Btu/h · ft ³
Coefficiente de transferencia de calor	1 W/m ² · °C – 1 W/m ² · K	1 W/m ² · °C – 0.17612 Btu/h · ft ² · °F
Longitud	1 m – 100 cm – 1 000 mm 1 km – 1 000 m	1 m – 39.370 in – 3.2808 ft – 1.0926 yd 1 ft – 12 in – 0.3048* m 1 milla – 5 280 ft – 1.6093 km 1 in – 2.54* cm
Masa	1 kg – 1 000 g 1 tonelada métrica – 1 000 kg	1 kg – 2.2046226 lbm 1 lbm – 0.45359237* kg 1 onza – 28.3495 g 1 slug – 32.174 lbm – 14.5939 kg 1 tonelada corta – 2 000 lbm – 907.1847 kg
Potencia, rapidez de transferencia de calor	1 W – 1 J/s 1 kW – 1 000 W – 1.341 hp 1 hp [‡] – 745.7 W	1 kW – 3412.14 Btu/h – 737.56 lbf · ft/s 1 hp – 550 lbf · ft/s – 0.7068 Btu/s – 42.41 Btu/min – 2 544.5 Btu/h – 0.74570 kW 1 hp de caldera – 33 475 Btu/h 1 Btu/h – 1.055056 kJ/h 1 tonelada de refrigeración – 200 Btu/min
Presión	1 Pa – 1 N/m ² 1 kPa – 10 ³ Pa – 10 ⁻³ MPa 1 atm – 101.325 kPa – 1.01325 bars – 760 mmHg a 0°C – 1.03323 kgf/cm ² 1 mmHg – 0.1333 kPa	1 Pa – 1.4504 × 10 ⁻⁴ psia – 0.020886 lbf/ft ² 1 psia – 144 lbf/ft ² – 6.894757 kPa 1 atm – 14.696 psia – 29.92 inHg a 30°F 1 inHg – 3.387 kPa
Calor específico	1 kJ/kg · °C – 1 kJ/kg · K	1 Btu/lbm · °F – 4.1868 kJ/kg · °C

Fuente: (Yunus A. Cengel, 2011)

Figura 52. Tabla de calor específico del agua

TABLA A-1

Masa molar, constante de gas y calores específicos de ciertas sustancias

Sustancia	Masa molar <i>M</i> , kg/kmol	Constante de gas <i>R</i> , kJ/kg · K*	Calores específicos a 25°C		
			<i>c_p</i> , kJ/kg · K	<i>c_v</i> , kJ/kg · K	<i>k</i> = <i>c_p</i> / <i>c_v</i>
Aire	28.97	0.2870	1.005	0.7180	1.400
Amoniaco, NH ₃	17.03	0.4882	2.093	1.605	1.304
Argón, Ar	39.95	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Bromo, Br ₂	159.81	0.05202	0.2253	0.1732	1.300
Isobutano, C ₄ H ₁₀	58.12	0.1430	1.663	1.520	1.094
<i>n</i> -Butano, C ₄ H ₁₀	58.12	0.1430	1.694	1.551	1.092
Carbono, bióxido de, CO ₂	44.01	0.1889	0.8439	0.6550	1.288
Carbono, monóxido de, CO	28.01	0.2968	1.039	0.7417	1.400
Cloro, Cl ₂	70.905	0.1173	0.4781	0.3608	1.325
Clorodifluorometano (R-22), CHClF ₂	86.47	0.09615	0.6496	0.5535	1.174
Etano, C ₂ H ₆	30.070	0.2765	1.744	1.468	1.188
Etileno, C ₂ H ₄	28.054	0.2964	1.527	1.231	1.241
Fluoruro, F ₂	38.00	0.2187	0.8237	0.6050	1.362
Helio, He	4.003	2.077	5.193	3.116	1.667
<i>n</i> -Heptano, C ₇ H ₁₆	100.20	0.08297	1.649	1.566	1.053
<i>n</i> -Hexano, C ₆ H ₁₄	86.18	0.09647	1.654	1.558	1.062
Hidrógeno, H ₂	2.016	4.124	14.30	10.18	1.405
Kriptón, Kr	83.80	0.09921	0.2480	0.1488	1.667
Metano, CH ₄	16.04	0.5182	2.226	1.708	1.303
Neón, Ne	20.183	0.4119	1.030	0.6180	1.667
Nitrógeno, N ₂	28.01	0.2968	1.040	0.7429	1.400
Óxido nítrico, NO	30.006	0.2771	0.9992	0.7221	1.384
Nitrógeno, bióxido de, NO ₂	46.006	0.1889	0.8060	0.6171	1.306
Oxígeno, O ₂	32.00	0.2598	0.9180	0.6582	1.395
<i>n</i> -Pentano, C ₅ H ₁₂	72.15	0.1152	1.664	1.549	1.074
Propano, C ₃ H ₈	44.097	0.1885	1.669	1.480	1.127
Propileno, C ₃ H ₆	42.08	0.1976	1.531	1.333	1.148
Agua, H ₂ O	18.015	0.4615	1.865	1.403	1.329
Sulfuro, bióxido de, SO ₂	64.06	0.1298	0.6228	0.4930	1.263
Tetraclorometano, CCl ₄	153.82	0.05405	0.5415	0.4875	1.111
Tetrafluoroetano (R-134a), C ₂ H ₂ F ₄	102.03	0.08149	0.8334	0.7519	1.108
Trifluoroetano (R-143a), C ₂ H ₃ F ₃	84.04	0.09893	0.9291	0.8302	1.119
Xenón, Xe	131.30	0.06332	0.1583	0.09499	1.667

Fuente: Adaptado de (Yunus A. Cengel, 2011)

Figura 53. Tabla con la viscosidad del agua

TABLA A-9													
Propiedades del agua saturada													
Temp., T °C	Presión de saturación, P_{sat} , kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpía de vaporización, h_g , kJ/kg	Calor específico, c_p , J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792×10^{-3}	0.922×10^{-5}	13.5	1.00	-0.068×10^{-3}
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519×10^{-3}	0.934×10^{-5}	11.2	1.00	0.015×10^{-3}
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307×10^{-3}	0.946×10^{-5}	9.45	1.00	0.733×10^{-3}
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138×10^{-3}	0.959×10^{-5}	8.09	1.00	0.138×10^{-3}
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002×10^{-3}	0.973×10^{-5}	7.01	1.00	0.195×10^{-3}
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891×10^{-3}	0.987×10^{-5}	6.14	1.00	0.247×10^{-3}
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798×10^{-3}	1.001×10^{-5}	5.42	1.00	0.294×10^{-3}
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720×10^{-3}	1.016×10^{-5}	4.83	1.00	0.337×10^{-3}
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653×10^{-3}	1.031×10^{-5}	4.32	1.00	0.377×10^{-3}
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596×10^{-3}	1.046×10^{-5}	3.91	1.00	0.415×10^{-3}
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547×10^{-3}	1.062×10^{-5}	3.55	1.00	0.451×10^{-3}
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504×10^{-3}	1.077×10^{-5}	3.25	1.00	0.484×10^{-3}
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467×10^{-3}	1.093×10^{-5}	2.99	1.00	0.517×10^{-3}
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433×10^{-3}	1.110×10^{-5}	2.75	1.00	0.548×10^{-3}
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404×10^{-3}	1.126×10^{-5}	2.55	1.00	0.578×10^{-3}
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378×10^{-3}	1.142×10^{-5}	2.38	1.00	0.607×10^{-3}
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355×10^{-3}	1.159×10^{-5}	2.22	1.00	0.653×10^{-3}
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333×10^{-3}	1.176×10^{-5}	2.08	1.00	0.670×10^{-3}

Fuente: Adaptado de (Yunus A. Cengel, 2011)

ANEXO J

FACTOR DE ENSUCIAMIENTO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Figura 54. Factor de ensuciamiento del agua potable (agua de ciudad)

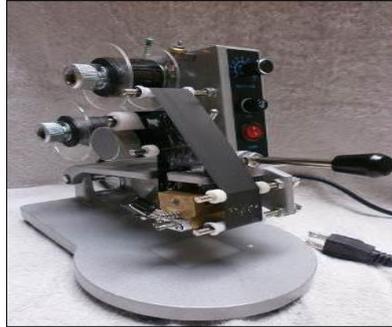
Temperatura del medio calefactor	Hasta 240°F		240-400°F †	
Temperatura del agua	125°F o menos		Más de 125°F	
Agua	Velocidad del agua, pps		Velocidad del agua, pps	
	3 pies o menos	Más de 3 pies	3 pies o menos	Más de 3 pies
Agua de mar	0.0005	0.0005	0.001	0.001
Salmuera natural	0.002	0.001	0.003	0.002
Torre de enfriamiento y tanque con rocío artificial:				
Agua de compensación tratada	0.001	0.001	0.002	0.002
Sin tratar	0.003	0.003	0.005	0.004
Agua de la ciudad o de pozo (como Grandes Lagos)	0.001	0.001	0.002	0.002
Grandes Lagos	0.001	0.001	0.002	0.002
Agua de río:				
Mínimo	0.002	0.001	0.003	0.002
Mississippi	0.003	0.002	0.004	0.003
Delaware, Schykill	0.003	0.002	0.004	0.003
East River y New York Bay	0.003	0.002	0.004	0.003
Canal sanitario de Chicago	0.008	0.006	0.010	0.008
Lodosa o turbia	0.003	0.002	0.004	0.003
Dura (más de 15 granos/gal)	0.003	0.003	0.005	0.005
Enfriamiento de máquinas	0.001	0.001	0.001	0.001
Destilada	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Alimentación tratada para calderas	0.001	0.0005	0.001	0.001
Purga de calderas	0.002	0.002	0.002	0.002

† Las cifras de las últimas dos columnas se basan en una temperatura del medio calefactor de 240 a 400°F. Si la temperatura de este medio es mayor de 400°F, y si se sabe que el medio enfriador forma depósitos, estas cifras deben modificarse convenientemente.

Fuente: Adaptado de (Huayamave Lainez, 2005)

ANEXO K
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EQUIPOS DE LA EMPRESA PASTOLAC

Figura 55. Fechadora manual



FICHA TÉCNICA FECHADORA

Fuente de alimentación	110V/50Hz
Potencia	40w
Número de letras	3 Líneas 45 números
Temperatura	0-200 °C
Peso de la Máquina	2.5 kg
Tamaño de la máquina	225x200x155 mm

Figura 56. Compresor



Datos técnicos Compresor

Potencia motor: 10 HP
Refrigerante: R-407C
Cilindro: 215,44 cm³
Código motor/Voltaje: 4 400 V III
Trifásico
Frecuencia motor: 50 Hz.
Aplicación Alta temperatura
A/A - Bomba de Calor

Figura 57. Bomba para el Caldero Marca PAOLO



Datos técnicos de Bomba Paolo	
Potencia	1 HP
Consumo Eléctrico	0.75 KW
Frecuencia	60 Hz
Voltaje	115/230 V
Intensidad	4.6 A

Figura 58. Equipo Ekomilk Ultra

Ekomilk Ultra

Analizador de leche para medir grasas, proteínas, sólidos no grasos, densidad, lactosa, punto de congelación, agua añadida, conductividad, pH y temperatura

Características:

- Compacto, portátil y ligero, robusto
- Listo para usar, no necesita reactivos
- Medida rápida (40 sec), fácil y precisa

2 canales de calibración a elegir: vaca, búfalo, oveja, cabra, leche procesada (pasteurización), otros

- Conexión a impresora y ordenador
- CD con programa para ordenador
- Memoria interna para 120 medidas
- Calibrable por el usuario, programa de limpieza
- Volumen de muestra muy reducido (25ml)
- 12VDC cable (para coche)

• Certificado TUV y CE, ISO 9001:2008

• 1 año de garantía

Portátil, compacto y rápido

Especificaciones Cuarto Frio

Temperatura interior : -20 °C

Temperatura exterior: 35 °C

Potencia frig. necesaria: 3039 W

Volumen de cámara : 35 m³

Gama de producto: Gama Comercial ▼

Tipo de equipo: Semicompacto horizontal ▼

Versión: standard ▼

Modelo de equipo: intarsplit BSH-NF 3096 P.frig: 2720 W (90%) ▼



ANEXO L

Tabla 38. Compilación bibliográfica de sustratos

COMPILACION BIBLIOGRAFICA SUSTRATOS Y RESULTADOS													
Sustrato	Reactor	Solidos suspendidos totales ST (g/L)	Solidos suspendidos volátiles SV (g/L)	pH	COD (Demanda Química de Oxígeno) mg/L	BOD (Demanda de oxígeno Biológico) mg/L	Proteínas (g/100g)	Grasas (g/100g)	Acidez (°D)	Temperatura (°C)	Tiempo de retención	Carga diaria (kg/m3.día)	REFERENCIA
Suero de leche	Reactor de polietileno	3,1	2,8	6,5	54300	26700	0,91	1,23	2,1	32-35°C	4 días	-----	(Rodríguez, Bailat, & Testasecca, 2014)
Suero de leche	-----	68,814	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	(Malaspina F, 1995)
Suero de leche	HIBRIDO	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	37	2 días	sobre 11kg COD/m3.día	(Patel C, 1998)
Suero de leche	*Rotación biológica *Reactor de contacto	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	37	3 días	-----	(Mawson, 1994)
Suero de leche	*Reactor móvil	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	20	4,5 horas	-----	(Patel C, 1999)
Suero de leche	UASB	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	31 g COD/día	(Gutierrez Rico JL, 1991)
Suero de leche	Flujo continuo	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	4,9 días	13	(Van Den Berg L, 1992)
Suero de leche	-----	56,8	47,9	5	75,8	40-60	-----	-----	-----	-----	-----	-----	(Ghaly AE, 1989)
Suero de leche	Semicontinuo	1-5 %	80-95%-	6,5	-----	-----	-----	-----	-----	-----	5	-----	(Hernández, 2015)
Suero de leche	2 estaciones	0,06593	0,04728	6,6-7,2	72.220	69,640	-----	-----	-----	25°C	2 días	-----	(Ghaly, 1989)

Fuente: Cuasque K, Toapaxi J.

ANEXO M
PLANOS CONSTRUCTIVOS

INFORMACIÓN PERSONAL

Nombres y Apellidos: Ángel Salvador Hernández Moreno

Fecha de Nacimiento: 1966

Lugar de Nacimiento: Cienfuegos, Cuba

Ciudad Domicilio: Cotopaxi - Latacunga

Número Celular: 0984160559

Email: angel.hernandez@utc.edu.ec

Tipo Sanguíneo: O+



Se graduó de "Ingeniero Termoenergético" en 1989, por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cienfuegos (UCf), Cuba. Obtuvo el título de "Doctor Ingeniero Industrial" por la Universidad de Oviedo, España, en 1999, dentro del Programa de Doctorado de "Tecnología y Ahorro Energético". En 2001 recibió el "Premio Extraordinario de Doctorado", correspondiente al curso académico 1998 – 1999, concedido por la Comisión de Doctorado y la Junta de Gobierno de la Universidad de Oviedo. Durante su carrera profesional ha trabajado como profesor e investigador en diferentes centros de investigación científica e instituciones de educación superior, tales como el Instituto Nacional del Carbón (INCAR), perteneciente a la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), de España, la Universidad de Cienfuegos (UCf) y la Delegación de la Academia de Ciencias de Cuba (ACC), en Cienfuegos. Actualmente trabaja como docente e investigador en la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), en Ecuador, donde es miembro de su Comité Científico. Ha impartido las siguientes asignaturas: Máquinas Motrices y Térmicas, Termodinámica, Transmisión de Calor, Generadores de Vapor, Proyecto Integrador y Proyecto de Titulación. Ha participado en diversos proyectos de investigación en el campo de la reducción de las emisiones contaminantes procedentes de la combustión de combustibles fósiles y el incremento de la eficiencia energética de equipos y procesos industriales. Es autor y coautor de varios artículos científicos y de otras publicaciones en libros y volúmenes colectivos; y más de 20 comunicaciones presentadas

DATOS PERSONALES

Apellidos: Cuasque Romero

Nombres: Klever Giovanni

Fecha De Nacimiento: 06 De Febrero De 1991

Cédula De Ciudadanía: 1716533615

Dirección Domiciliaria: San Felipe

Teléfono Celular: 0979052727

Email: klevercuasque1991@gmail.com



FORMACIÓN ACADÉMICA

NIVEL	INSTITUCIÓN	Registro SENESCYT
Primaria	Escuela "Juan Raymundo Figueroa".	
Secundaria	Colegio Técnico Aeronáutico "Coronel Maya"	278761
Técnico / Tecnológico	Universidad De Las Fuerzas Armadas – ESPE.	1079-2016- 1688380
Profesional (Tercer Nivel)	Universidad Técnica De Cotopaxi	

FIRMA

DATOS PERSONALES:

Apellidos: Toapaxi Hidalgo

Nombres: Jaime David

Fecha De Nacimiento: 25 De Abril De 1992

Cédula De Ciudadanía: 1804764692

Dirección Domiciliaria: Salcedo

Teléfono: 0984173764

Email: jaime.toapaxi4692@utc.edu.ec



FORMACIÓN ACADÉMICA

NIVEL	INSTITUCIÓN	Registro SENESCYT
Primaria	Escuela Fiscal "Joaquín Lalama"	
Secundaria	Instituto Tecnológico Superior Docente "Guayaquil"	
Técnico / Tecnológico	Universidad De Las Fuerzas Armadas – ESPE	1079-16- 1449042
Profesional (Tercer Nivel)	Universidad Técnica De Cotopaxi	



FIRMA