

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Análisis de eficiencia de proceso y propuesta de mejoras para una
planta de etanol

Trabajo de graduación en modalidad de megaproyecto presentado por

Juan Pablo Aquino de León

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica.

Paulina Isabel Contreras De La Roca y José Andrés Garavito Morales

para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Química.

Víctor Alberto López García Salas y Diego Roberto Mejía Acevedo

para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Química.

Roberto Estuardo Monzón Barrera

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Ciencia de la
Administración.

Guatemala,

2016

Análisis de eficiencia de proceso y propuesta de mejoras para una planta de etanol

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Análisis de eficiencia de proceso y propuesta de mejoras para una
planta de etanol

Trabajo de graduación en modalidad de megaproyecto presentado por

Juan Pablo Aquino de León

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica.

Paulina Isabel Contreras De La Roca y José Andrés Garavito Morales

para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Química.

Víctor Alberto López García Salas y Diego Roberto Mejía Acevedo

para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Química.

Roberto Estuardo Monzón Barrera

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Ciencia de la
Administración.

Guatemala,


2016

Vo. Bo. :


(f) 
Ing. Cristian Rossi Sosa

(f) 
Ing. Gamaliel Zambrano

Directores de los estudiantes que trabajaron el Mega proyecto:

(f) 
Ing. Gamaliel Zambrano

(f) 
Ing. Victor Hugo Ayerdi

(f) 
Lic. Raúl Dacaret

Fecha de aprobación: Guatemala. 11 de noviembre de 2016

ÍNDICE

Listado de ecuaciones	xv
Listado de figuras	xvii
Listado de tablas	xx
RESUMEN.....	xxiv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
A. Objetivo general	3
B. Objetivos específicos.....	3
III. JUSTIFICACIÓN	6
IV. MARCO TEÓRICO	9
A. Producción de azúcar	9
B. Producción de etanol	11
1. Preparación de materias primas.	11
2. Fermentación.	12
3. Destilación.	12
4. Deshidratación.	13
C. Melaza y mosto	14
D. Alcohol.....	15
E. Ciclo global del agua.....	15
F. Agua.....	16
G. Agua potable	16
H. Contaminación del agua	16
I. Agua subterránea.....	16
J. Agua no potable	17
K. Agua superficial	17
L. Ion	17
M. Impurezas contenidas en el agua	17

N. Microorganismos presentes en el agua.....	18
O. Algas	18
P. Organismos anaerobios	18
Q. Bacteria	18
R. Organismos coliformes	18
S. Incrustaciones minerales	18
1. Calcio.....	19
2. Magnesio.....	19
3. Carbonato.....	19
4. Bicarbonato.....	19
5. Sulfato.....	19
T. Contaminante	19
U. Sólidos disueltos totales	19
V. Incrustaciones y depósitos minerales	20
1. Factores de incrustación.....	20
2. Depósitos de carbonato de calcio.....	20
3. Depósitos de fosfato de calcio.	20
W. Operaciones para tratamiento de agua.....	20
1. Tratamiento de agua.....	20
2. Consideraciones para tratamiento.	20
3. Etapas del tratamiento de aguas.....	21
4. Intercambio iónico	22
5. Proceso de intercambio con catión de sodio	22
6. Lámpara ultravioleta	24
a. Concepto.....	24
b. Funcionamiento.	24
c. Aspectos relevantes.....	24
d. Factores que afectan el desempeño.....	25
7. Ósmosis.....	25

a.	Ósmosis inversa.....	26
b.	Funcionamiento.....	28
c.	Membranas de ósmosis inversa.....	28
d.	Tratamiento previo.....	30
X.	Levadura.....	30
1.	Rendimiento de etanol.....	30
2.	Importancia de los compuestos nitrogenados.....	31
3.	Efecto de los ácidos orgánicos.....	31
Y.	Contaminación bacteriana.....	31
1.	Bacteria productora de ácido acético.....	32
2.	Bacteria productora de ácido láctico.....	32
3.	Control bacteriológico con antibióticos.....	32
Z.	Fermentación.....	33
AA.	Tratamiento térmico para eliminar contaminaciones micobianas.....	34
1.	Fluidos.....	36
2.	Número de Reynolds.....	36
3.	Calor. E.....	37
4.	Temperatura.....	37
5.	Primera ley de la termodinámica.....	37
6.	Transferencia de calor.....	37
7.	Conducción.....	37
8.	Convección.....	38
9.	Radiación.....	38
10.	Resistencia térmica.....	38
11.	Número de Nusselt.....	39
12.	Número de Prandtl.....	39
13.	Método de diferencia media logarítmica de temperatura.....	39
BB.	Tipos de intercambiadores de calor.....	40
CC.	Dimensionamiento de intercambiadores de calor.....	41

DD. Caída de presión	43
EE. Producción más limpia	44
FF. Etanol	45
GG. Biogás.....	45
1. Metano y dióxido de carbono	46
HH. Digestión anaeróbica	46
II. Proceso de producción de metano	49
JJ. Demanda Química de Oxígeno (DQO)	49
KK. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	50
LL. Norma COGUANOR NTG 29001 y Acuerdo Gubernativo No. 236-2006	50
MM. Vinaza.....	51
1. Alternativas de uso de vinaza	52
2. Aprovechamiento de la vinaza.....	53
3. Vinaza para compost.....	53
NN. Compost	54
1. Fases del compostaje.	55
OO. Requerimientos de suelo	56
PP. Nutrientes del suelo	57
1. Elementos primarios.	57
2. Elementos secundarios.....	58
QQ. Acoplamiento de bombas rotodinámicas.....	60
2. Conexión en paralelo.	62
3. Funcionamiento de bombas conectadas en paralelo.	63
4. Eficiencia en operación de bombas paralelas.....	64
5. Cebado de bombas centrífugas.	65
RR. Diseño e instalación de un sistema de bombeo.	66
1. La bomba o grupo de bombas.	67
2. Tuberías de succión y descarga.....	67
3. Equipamiento de la descarga.	67

4.	Equipamiento de succión	67
5.	Depósito de succión y descarga.	68
SS.	Sellos mecánicos	68
TT.	Eficiencia de proceso	70
UU.	Administración estratégica	70
VV.	Gestión de proyectos	74
WW.	Contabilidad de costos	77
XX.	Tratamiento de agua con luz ultravioleta	80
YY.	Proceso de pasteurización	82
ZZ.	Equipo de bombeo.....	82
AAA.	Proceso del azúcar.....	84
BBB.	Análisis beneficio/costo.....	89
1.	Tasa mínima atractiva de rendimiento.	90
2.	Análisis del período de recuperación	90
V.	ANTECEDENTES	92
VI.	METODOLOGÍA.....	94
A.	Módulo 1: Diseño de pasteurizador para mosto	94
	Toma de muestras.....	94
	Tratamiento térmico	94
	Conteo microbiano	94
	Dimensionamiento de intercambiadores de calor.....	95
B.	Módulo 2: Estudio técnico de propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de agua	
	para mosto y posibles mejoras.....	95
	Reactivos y materias primas utilizadas.....	97
	Equipos y kit de mediciones utilizados	97
C.	Módulo 3: Producción de biogás a partir de fermentación de vinaza.....	98
D.	Módulo 4: Evaluación de la producción de compost a partir de lodos de vinaza.....	102
1.	Obtención de lodos de vinaza	102
2.	Caracterización	102

3.	Construcción del depósito de compostaje	102
4.	Realización de la mezcla de compostaje	102
5.	Proceso de compostaje.....	103
6.	Análisis del abono orgánico.....	103
E.	Módulo 5: Diseño de un sistema auxiliar de bombeo	104
1.	Requerimientos del sistema	104
2.	Restricciones del proyecto.....	105
F.	Módulo 6: Evaluación financiera para determinar la viabilidad de las mejoras propuestas	
	al proceso de producción de etanol en una planta productora	107
VII.	RESULTADOS	109
A.	Módulo 1: Diseño de pasteurizador para mosto	109
B.	Módulo 2: Estudio técnico de propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de agua.....	
	para mosto y posibles mejoras.....	112
C.	Módulo 3: Producción a biogás a partir de fermentación de vinaza.....	121
D.	Módulo 4: Evaluación de la producción de compost a partir de lodos de vinaza.....	123
E.	Módulo 5: Diseño de un sistema auxiliar de bombeo	127
F.	Módulo 6: Evaluación financiera para determinar la viabilidad de las mejoras propuestas	
	al proceso de producción de etanol en una planta productora	141
1.	Análisis financiero.	141
2.	Análisis de fuerzas competitivas.	142
3.	Análisis del ambiente interno y externo.....	146
6.	Costos de inversión.....	156
7.	Impacto esperado	159
VIII.	DISCUSIÓN	166
A.	Módulo 1: Diseño de pasteurizador para mosto	166
B.	Módulo 2: Estudio técnico de propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de agua.....	
	para mosto y posibles mejoras.....	169
C.	Módulo 2: Producción de biogás a partir de fermentación de vinaza.....	174
D.	Módulo 4: Evaluación de la producción de compost a partir de lodos de vinaza.....	182
E.	Módulo 5: Diseño de un sistema auxiliar de bombeo	184

F.	Módulo 6: Evaluación financiera para determinar la viabilidad de las mejoras propuestas al proceso de producción.....	186
IX.	CONCLUSIONES	188
A.	Módulo 1: Diseño de pasteurizador para mosto	188
B.	Módulo 2: Estudio técnico de propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de agua..... para mosto y posibles mejoras.....	188
C.	Módulo 3: Producción de biogás a partir de fermentación de vinaza.....	189
D.	Módulo 4: Evaluación de la producción de compost a partir de lodos de vinaza.....	190
E.	Módulo 5: Diseño de un sistema auxiliar de bombeo	190
F.	Módulo 6: Evaluación financiera para determinar la viabilidad de las mejoras propuestas al proceso de producción.....	191
X.	RECOMENDACIONES.....	192
A.	Módulo 1: Diseño de pasteurizador para mosto	192
B.	Módulo 2: Estudio técnico de propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de agua..... para mosto y posibles mejoras.....	192
C.	Módulo 3: Producción de biogás a partir de fermentación de vinaza.....	193
D.	Módulo 4: Evaluación de la producción de compost a partir de lodos de vinaza.....	193
E.	Módulo 5: Diseño de un sistema auxiliar de bombeo	194
F.	Módulo 6: Evaluación financiera para determinar la viabilidad de las mejoras propuestas al proceso de producción.....	194
XI.	BIBLIOGRAFÍA	196
XII.	ANEXOS	204
	Anexo 1. Indicadores de proceso planta productora.	204
	Anexo 2. Conteo microbiano antes y después de tratamiento térmico	205
	Anexo 3. Resumen de estadística descriptiva en la reducción de colonias microbianas.....	206
	Anexo 4. Datos teóricos utilizados para el dimensionamiento del intercambiador de calor.....	208
	Anexo 5. Cálculo de muestra.....	213
	Anexo 6. Condiciones de torres de enfriamiento	218
	Anexo 7. Fichas técnicas de equipo recomendado	220
	Anexo 8. Manual 55-Plus MONITOR F-type Filter Unit, marca Millipore ®	222

Anexo 9. Procedimiento para determinación de nitratos, utilizando el kit marca Hach ®	225
Anexo 10. Procedimiento para la determinación de fosfatos, utilizando el kit marca Hach ®	227
Anexo 11. Procedimiento para la determinación de sulfatos, utilizando el kit marca Hach ®	229
Anexo 12. Procedimiento para determinación de cloro libre, utilizando kit marca Hach ®	231
Anexo 13. Procedimiento de calibración de potenciómetro marca Hach ®	233
Anexo 14. Procedimiento para determinación de dureza total, utilizando kit marca Merck ®	235
Anexo 15. Norma agua potable COGUANOR NGO 29 001:99, páginas 2 y 5	237
Anexo 16. Análisis de Hierro utilizando equipo de absorción atómica	239
Anexo 17. Caldo de cultivo para coliformes totales	240
Anexo 18. Estadística descriptiva de parámetros fisicoquímicos del tanque de almacenamiento de agua	242
Anexo 19. Estadística descriptiva de parámetros fisicoquímicos de fondos de columna de destilación	243
Anexo 20. Flujos de agua utilizados en la empresa	243
Anexo 21. Cálculo de muestra	244
Anexo 22. Datos calculados.....	247
Anexo 23. Cromatogramas utilizados para la obtención de v/v de metano en una muestra	252
Anexo 24: Gráficas de la generación de biogás las muestras monitoreadas durante 30 días, agosto 2016.	259
Anexo 25. Análisis de la mezcla inicial de compostaje	269
Anexo 26. Análisis del compost obtenido	270
Anexo 27. Cotización de equipo y tubería del nuevo sistema de bombeo	271
Anexo 28. Detalle de los sellos mecánicos sugeridos.	273
Anexo 29. Cálculos de muestra para determinar la cabeza total de la bomba P150061	276
Anexo 30: Cotización de motor de inducción, bomba centrífuga marca Goulds	
y variador de frecuencia PumpSmart PS220.....	298
Anexo 31. Manuales de usuario de bombas Sulzer	305
Anexo 32. Manual de usuario de bomba Goulds	308
Anexo 33. Tabla de Damodaran (industrias)	312
Anexo 34. Equipo utilizado	313

Anexo 35. Especificaciones Portable Datalogging Colorimeter DR/820, DR/850, DR/890 marca Hach ®	317
Anexo 36. Especificaciones Portable Multiparameter marca Hach ®	318
Anexo 37. Autoclave Market Forge Sterilmatic	321
Anexo 38. Datos de placa espectrofotómetro de absorción atómica.....	321
Anexo 39. Datos de placa	322
Anexo 40. Lodos de vinaza.....	323
Anexo 41. Potenciómetro	323
Anexo 42. Refractómetro.....	324
Anexo 43. Espectrofotómetro de absorción atómica	325
Anexo 44. Soluciones	326
Anexo 45. Depósito de compostaje	326
Anexo 46. Balanza.....	327
Anexo 47. Secador de bandejas	327
Anexo 48. Mezcla de compostaje	328
Anexo 49. Termómetro.....	328
Anexo 50. Prueba de madurez Solvita ® para determinación de pH por colorimetría del compost	329
Anexo 51. Compost obtenido	330
Anexo 52. Proceso de compostaje	331
Anexo 53. Procedimiento estándar para utilizar el espectrofotómetro	
de absorción atómica Perkin Elmer	332
XIII. GLOSARIO	335

Listado de ecuaciones

Ecuación 1	36
Ecuación 2	37
Ecuación 3	37
Ecuación 4	38
Ecuación 5	38
Ecuación 6	38
Ecuación 7	38
Ecuación 8	38
Ecuación 9	39
Ecuación 10	39
Ecuación 11	39
Ecuación 12	39
Ecuación 13	39
Ecuación 14	41
Ecuación 15	41
Ecuación 16	42
Ecuación 17	42
Ecuación 18	42
Ecuación 19	43
Ecuación 20	43
Ecuación 21	43
Ecuación 22	43
Ecuación 23	49
Ecuación 24	49
Ecuación 25	70

Ecuación 26	89
Ecuación 27	89
Ecuación 28	90
Ecuación 29	278
Ecuación 30	278
Ecuación 31.....	271
Ecuación 32.....	271
Ecuación 33.....	271
Ecuación 34.....	272
Ecuación 35.....	273
Ecuación 36.....	273
Ecuación 37.....	274
Ecuación 38.....	274
Ecuación 39.....	282
Ecuación 40.....	287
Ecuación 41.....	288
Ecuación 42.....	289

Listado de figuras

Figura 1. Proceso de producción de azúcar.	9
Figura 2. Proceso de producción de etanol.	11
Figura 3. Diagrama de preparación de materias primas.	11
Figura 4. Diagrama de etapa de fermentación (CENICAÑA, 2016).	12
Figura 5. Diagrama de etapa de destilación.	13
Figura 6. Diagrama de etapa de deshidratación para etanol carburante.	13
Figura 7. Ciclo del agua en el planeta.	15
Figura 8. Esquema de reacción del ablandamiento del agua.	23
Figura 9. Esquema de reacción de regeneración de resina de intercambio iónico.	23
Figura 10. Esquema del proceso de ósmosis.	25
Figura 11. Esquema del proceso de ósmosis inversa.	26
Figura 12. Esquema simplificado del proceso de ósmosis inversa	28
Figura 13. Estructura de un elemento de ósmosis inversa.	29
Figura 14. Comparación de características para las membranas de ósmosis inversa.	30
Figura 15. Comparación de temperatura entre pasteurización y esterilización	35
Figura 16. Inhibición de patógenos utilizando pasteurización	35
Figura 17. Inhibición de patógenos utilizando esterilización.	36
Figura 18. Diferencia media logarítmica de temperatura.	40
Figura 19. Intercambiador de placas	41
Figura 20. Correlación F-NTU	42
Figura 21. Objetivos del Desarrollo Sostenible	44
Figura 22. Características contaminantes de la vinaza.	54
Figura 23. Curva característica para bombas instaladas en serie	60
Figura 24. Acoplamiento de bombas en serie	61
Figura 25: Curva característica para bombas instaladas en paralelo.	62

Figura 26. Acoplamiento de bombas en paralelo.....	60
Figura 27. Diversos esquemas de cebado de una bomba.	65
Figura 28. Niveles de los criterios a considerar para la construcción de un árbol lógico de fallas.	68
Figura 29. Elementos básicos de la administración estratégica	71
Figura 30. Ciclo de vida del proyecto	71
Figura 31. Impacto de las variables costo y riesgo en función del tiempo.....	76
Figura 32. Generación de luz UV	81
Figura 33. Clasificación de bombas.....	83
Figura 34. Esquema posicionamiento de reactores.....	100
Figura 35. Comparación de patógenos residuales después de aplicar el tratamiento térmico por intercambiador de calor.	109
Figura 36. Comportamiento de la temperatura y patógenos contra el tiempo en el mosto de la melaza relación 1:3, mayo 2016.....	109
Figura 37. Comportamiento de la temperatura y patógenos contra el tiempo en melaza. Mayo-septiembre 2016.....	110
Figura 38. Comportamiento de la temperatura contra el tiempo en producción de compost a partir de vinaza.....	124
Figura 39. Comportamiento del pH contra el tiempo en proceso de producción de compost a partir de vinaza.....	125
Figura 40. Comportamiento de la humedad de la pila única de compost contra el tiempo,.....	125
Figura 41. Diagrama del proceso factible para la producción de compst a partir de lodos de vinaza.	127
Figura 42: Ubicación de la nueva bomba, del sistema auxiliar de bombeo, en la planta destiladora con respecto a la posición de 2 de las bombas que se incluirán en el sistema.	135
Figura 43. Plan de lubricación 53ª para sellos mecánicos.	137
Figura 44. Viscosidad de mosto en el proceso de destilación de etanol a diferentes temperaturas.....	213
Figura 45. Condiciones del agua de la torre de enfriamiento de tipo CT-1401	218

Figura 46. Condiciones del agua de la torre de enfriamiento de tipo CT-1421	218
Figura 47. Condiciones del agua de la torre CT-3031	218
Figura 48. Condiciones del agua de la torre de enfriamiento de tipo CT-3021	219
Figura 49. Guía de selección de bombas centrífugas	285
Figura 50. Bomba centrífuga elegida con base en los cálculos realizados.....	285
Figura 51. Diagrama de Pareto con los problemas actuales de los sellos	287
Figura 52: Guía para preselección del sello mecánico.....	289
Figura 53. Determinación de fuelle para sellos mecánicos.....	291
Figura 54. Determinación del arreglo para el sello con base en la toxicidad del fluido a trabajar.....	291
Figura 55: Elección del plan API de lubricación para el nuevo sello.	292
Figura 56. Recomendación de planes de lubricación de acuerdo con la toxicidad de los productos	293
Figura 57: Tendencia de precio de etanol en mercado mundial.....	294
Figura 58: Autoclave del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.....	321
Figura 59. Espectrofotómetro de absorción atómica.....	321

Listado de tablas

Tabla 1. Composición general de la melaza de caña	14
Tabla 2. Composición promedio del biogás	45
Tabla 3. Clasificación de los costos	78
Tabla 4. Sistemas de costos	80
Tabla 5. Características de reactores evaluados	99
Tabla 6. Requerimientos generales del sistema de bombeo auxiliar.....	104
Tabla 7. Requisitos específicos del sistema de bombeo auxiliar.	105
Tabla 8. Matriz de criticidad de equipos de bombeo en la planta de destilación.	106
Tabla 9. Consumo de servicios auxiliares en el tratamiento térmico del mosto en planta productora de etanol analizada.....	110
Tabla 10. Datos calculados para proceso de calentamiento y enfriamiento de mosto.	111
Tabla 11. Características de equipo seleccionado para el proceso de calentamiento de mosto. *	111
Tabla 12. Características de equipo seleccionado para el proceso de enfriamiento de mosto. *	111
Tabla 13. Conteo microbiológico después de lámpara U. V. en agua de tanque de almacenamiento	112
Tabla 14. Conteo microbiológico después de lámpara U. V. en flujo de fondos de columnas de destilación.....	112
Tabla 15. Presencia de microorganismos después de lámpara U. V. en flujo del taque de almacenamiento de agua.....	113
Tabla 16. Presencia de microorganismos en flujo después de lámpara U. V. de fondos de columnas de destilación	115
Tabla 17. Comparación de escala con valor de 1, en presencia de microorganismos.....	117
Tabla 18. Comparación de escala con valor de 2, en presencia de microorganismos.....	117
Tabla 19. Comparación de escala con valor de 3, en presencia de microorganismos.....	118
Tabla 20. Comparación de escala con valor de 4, en presencia de microorganismos.....	118
Tabla 21. Comparación de escala con valor de 5, en presencia de microorganismos.....	119

Tabla 22. Datos fisicoquímicos del flujo de agua después de lámpara U. V. del tanque de almacenamiento.....	119
Tabla 23. Datos fisicoquímicos del flujo de agua después de lámpara U. V. de los fondos de las columnas de destilación.....	120
Tabla 24. Concentraciones de hierro en afluentes de agua	120
Tabla 25. Sistemas de acondicionamiento de aguas escogidos como propuesta de mejoras, para los flujos de fondos de columnas de destilación y de tanque de almacenamiento.	121
Tabla 26. Caracterización de vinaza de entrada y salida de digestores de fermentación de vinaza sin diluir promedio.....	121
Tabla 27. Uso de vinaza actual en destilería operando a máxima capacidad diaria, durante el período de zafra 2015-2016.	122
Tabla 28. Características de metano producido a las diferentes condiciones evaluadas abril 2016.....	122
Tabla 29. DQO y DBO removidos promedio en muestras de entrada y salida de reactores de vinaza sin diluir.....	122
Tabla 30. Análisis de lodos de vinaza obtenidos del Módulo “Producción de biogás a partir de fermentación de vinaza” el 24 de julio 2016.....	123
Tabla 31. Análisis de la mezcla de composteo (lodos de vinaza con residuos de frutas y verduras).....	124
Tabla 32. Análisis del compost producido a partir de lodos de vinaza obtenido luego de 50 días	126
Tabla 33. Análisis madurez del compost	126
Tabla 34. Bombas críticas de la planta de destilación para conectar con el nuevo sistema auxiliar de bombeo	127
Tabla 35. Resultados de la matriz de criticidad evaluados con el criterio de Pareto.	128
Tabla 36. Datos de las alturas de succión y descarga de las bombas	128
Tabla 37. Tuberías y accesorios de la bomba P150061	129
Tabla 38. Tuberías y accesorios de la bomba P150069.	130
Tabla 39. Tuberías y accesorios de la bomba P150072.	131
Tabla 40. Datos de diseño de las bombas obtenidos de manuales de usuario, ver Anexo 50.	132

Tabla 41: Promedios de las mediciones de presión y temperatura obtenidas de los manómetros y termómetros de las tuberías de descarga en la planta destiladora.	132
Tabla 42. Presiones y temperaturas promedios de las columnas según registros de la zafra 2014-2015	132
Tabla 43. Condiciones de operación actuales del equipo de bombeo en la planta destiladora.	132
Tabla 44. Listado y orden de los accesorios del nuevo sistema de bombeo propuesto, en la sección de succión.....	133
Tabla 45. Listado y orden de los accesorios del nuevo sistema de bombeo propuesto, en la sección de descarga.	134
Tabla 46. Datos operativos de la bomba Goulds, modelo 3196.....	136
Tabla 47: Detalle de sello recomendado para la bomba P-1506.....	137
Tabla 48. Resultados del impacto de la implementación del sistema de bombeo auxiliar, obtenidos en la sección: Impacto del nuevo sistema de bombeo.	138
Tabla 49. Empresa estudiada con respecto a la producción de azúcar y etanol a nivel nacional para la zafra 2012/2013	143
Tabla 50. Cogeneración de energía eléctrica por ingenio a nivel nacional para el 2011	144
Tabla 51. Factores influyentes en el análisis del ambiente interno.	147
Tabla 52: Factores influyentes en el análisis del ambiente externo.	149
Tabla 53: Factores influyentes en el análisis de factores estratégicos.	151
Tabla 54: Análisis de fortalezas y debilidades de la planta destiladora basado en factores internos.	152
Tabla 55: Análisis de fortalezas y debilidades de la planta destiladora basado en factores externos.	153
Tabla 56: Características del agua utilizada para la preparación del mosto.....	155
Tabla 57. Equipo de implementación para el tratamiento del agua con sus respectivos precios	156
Tabla 58. Costo del equipo del sistema auxiliar de bombeo.....	158
Tabla 59. Costo de la tubería del sistema auxiliar de bombeo.....	158
Tabla 60. Precio de los implementos del sistema auxiliar de bombeo.....	158

Tabla 61. Equipo de implementación para el proceso de pasteurización con sus respectivos precios	159
Tabla 62. Indicadores de proceso planta productora.....	204
Tabla 63. Conteo microbiano en melaza, abril – mayo 2016.....	205
Tabla 64. Conteo microbiano en mosto, abril – mayo 2016.	206
Tabla 65. Estadística descriptiva para reducción de colonias microbianas en melaza, abril – mayo 2016.	206
Tabla 66. Estadística descriptiva para reducción de colonias microbianas en mosto, abril – mayo 2016.....	208
Tabla 67. Factores de incrustación para diferentes fluidos.	208
Tabla 68. Coeficientes globales de transferencia de calor en distintos fluidos.	210
Tabla 69. Tablas de vapor saturado	211
Tabla 70. Datos de las presiones operativas en los manómetros de la descarga en las bombas.....	276
Tabla 71. Datos de las temperaturas operativas en los manómetros de la descarga en las bombas.....	276
Tabla 72. Instrumentos de medición de presión y caudal en las bombas analizadas	277
Tabla 73. Especificación de instrumentos utilizados para medición de datos operativos	278
Tabla 74. Valores adimensionales A, B y C obtenidos de la tabla B.4 para el cálculo de la presión de vapor.....	278
Tabla 75. Cabeza total en las bombas críticas luego de los cálculos.	283
Tabla 76. Tipo y frecuencia de fallo en bombas	287
Tabla 77: Datos operativos de las bombas necesarios para aplicación del criterio de selección de sellos mecánicos.....	288
Tabla 78: Unidad de costeo y costo del etanol en moneda local.....	295

RESUMEN

El siguiente trabajo de graduación en conjunto tiene como fin principal, aumentar la eficiencia de proceso de una planta de destilación de etanol a partir de melaza, mejorando áreas de bombeo de alcohol, calentamiento de melaza, uso alternativo de la vinaza, tratamiento del agua de recirculación y producción de biogás a partir de la melaza.

Los principales resultados se refieren a la aplicación del tratamiento térmico en el mosto para reducir en un 78% la cantidad total de microorganismos, mientras que al aplicarlo a la melaza únicamente se reduce en un 40%. Con estos resultados se determinó que el proceso más eficaz es el tratamiento del mosto. Tratando un flujo de mosto de 150 m³/h.

Así también, se realizaron ciertos análisis fisicoquímicos de comparación con los parámetros establecidos por la norma COGUANOR 29 001:99 y se analizó su efecto en las lámparas U. V. El agua del tanque de almacenamiento presentó una dureza de 61.78 ±0.93 mg/L, pH de 7.80 ±0.08, concentración de nitratos de 2.48 ±0.17 mg/L, concentración de fosfatos de 0.97±0.05 mg/L, sólidos disueltos totales de 83.60 ±1.92 mg/L, concentración de sulfatos de 11.00 ±1.25 mg/L, concentración de cloro libre de 0.20 ±0.01 mg/L y una concentración de hierro de 0.024 ±0.001 mg/L.

Con el objeto de analizar la generación de biogás a partir de vinaza obtenida como sub-producto en procesos de destilación de alcohol, también se realizó un análisis fisicoquímico de la vinaza generada por una destilería de alcohol, donde se incluyeron pruebas de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), entre otros.

A partir de los factores calculados se obtuvo un porcentaje de remoción de materia orgánica degradable y biodegradable (DQO) del 88.89% ± 1.26%, % y un porcentaje de remoción de materia orgánica biodegradable (DBO) de 95.04% ± 2.36% (ver tabla 9) en el efluente de los digestores. (ver tabla 4 y tabla 10)

Asimismo, se evaluó la producción de compost a partir de lodos de vinaza. Para ello se caracterizaron los lodos de vinaza antes del proceso de compostaje, obteniéndose los siguientes valores: pH: 7.20, K: 24888.00 mg/L, Ca: 2685.00 mg/L, Mg: 798.70, Fe: 46.90 mg/L, Zn: 4.39 mg/L, Mn: 6.82 mg/L, Cu: 63.74 mg/L y Na: 720.33 mg/L

I. INTRODUCCIÓN

Desde hace más de un siglo, los combustibles fósiles representan la principal fuente de energía en el mundo, ya sea a nivel domiciliario o industrial. Debido a esto, el problema ambiental que genera el uso inadecuado o irresponsable de los mismos es una de las principales causas de contaminación, por los millones emitidas de toneladas de dióxido de carbono hacia la atmósfera, así como otros gases de efecto invernadero lo cual repercute en el cambio climático y calentamiento global.

La industria azucarera es una de las más importantes y eficientes en el país, en la que constantemente se buscan nuevos procesos para aprovechar de mejor manera los diferentes residuos y subproductos del proceso de fabricación de azúcar. Uno de estos procesos es la producción de etanol fermentando melaza. La recuperación por cristalización de los azúcares posibles presentes en la melaza resulta poco rentable, y es por esto que la melaza era tratada como un desecho, sin embargo, estos azúcares podían ser aprovechados de diferentes maneras como sustrato para fermentaciones o en último caso, como abono para plantaciones.

El proceso de producción de etanol se realiza en una destilería, la cual necesita entre sus materias primas al agua. Esta necesidad de utilización de agua viene acompañada de diversos problemas como corrosión, incrustaciones, crecimiento microbiológico, entre otros, los cuales afectan al desempeño de equipos y del proceso en general. Es de mucha importancia tratar el agua correctamente para que su aprovechamiento sea de beneficio para el proceso

El proceso de producción de etanol se ve afectado por los altos costos de las materias primas requeridas, al igual que por los altos costos energéticos debido a que en Centroamérica los índices energéticos siguen siendo altos comparados contra los respectivos valores de países industrializados. El etanol es un commodity siendo su valor en el mercado regulado internacionalmente, por lo tanto, para que una planta productora de etanol resulte rentable es importante aumentar su producción y reducir sus costos.

La producción de etanol es una industria con mucha importancia a escala mundial. Los líderes en producción son Estados Unidos de América y Brasil, representando entre los dos el 85% de la oferta mundial (Asociación de Combustibles Renovables de Guatemala, 2014). Para el año 2014, Guatemala figuraba entre los países principales productores de etanol con una producción anual de 250 millones de litros en 2014 (Asociación de Combustibles Renovables de Guatemala, 2014).

Entre las principales ventajas del aprovechamiento de recursos renovables, tales como el biogás, se encuentran:

- Materia que es considerada desperdicio para su producción, en este caso la vinaza, que es utilizada en el campo para riego de plantaciones de caña y puede conllevar a una sobresaturación

del suelo debido a su alta carga orgánica o almacenada de manera expuesta al ambiente, de manera que exista una emanación de metano.

- Las emisiones de la combustión a la atmósfera son mucho menores que las presentadas por combustibles fósiles.
- Se evita la emanación directa de metano a la atmósfera.

Lo anterior toma en consideración estudios previos realizados acerca del uso de vinaza como sustrato, con potencial de producción de biogás. Por lo que la reutilización de este recurso para la generación de biogás puede conllevar a una reducción de costos en cuanto a energía, por lo cual se determinaría la cantidad de biogás a generar.

Por cada litro de etanol producido a partir de la melaza, se obtienen como consecuencia de 9 a 15 litros de vinaza como residuo. Por ende, en época de zafra se obtienen más de 300,000, 000 litros de vinaza al año, convirtiéndose en una situación problemática para la planta de etanol. Actualmente la planta de etanol produce aproximadamente 6,000 m³ de vinaza al día.

Actualmente la planta de destilación de alcohol procesa aproximadamente 2000 toneladas métricas de melaza al día durante el tiempo de zafra. En el caso de la sección de bombas que transportan una mezcla de alcohol, etanol, propanol y otros derivados de la fermentación en la planta de 150 m³/día, es necesario que dicha sección esté en funcionamiento veinticuatro horas al día, durante toda la zafra. Debido al funcionamiento de las bombas, los elementos motrices sufren desgaste y desperfectos que provocan fallas en las mismas.

También, se pretende evaluar la producción de biogás a partir de la vinaza generada por la producción de etanol, esto como una alternativa al uso de dicho efluente en la generación de energía, lo cual se traduzca en reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y un beneficio económico para la empresa. De esta forma, se propuso evaluar la producción de compost a partir de lodos de vinaza, lo cual permitiría aprovechar este subproducto, reciclando los componentes inorgánicos y evitando los efectos indeseables de su deposición.

En el ingenio, se sabe que al tener una falla en el proceso de destilación de etanol; directamente en el sistema de bombeo, se puede incurrir a costos que alcanzan los US\$. 100,000/día de producto no terminado. Evitar los paros causados por fallas es fundamental, a lo cual un sistema auxiliar de bombeo puede disminuir estos costos. Con respecto al tratamiento que se le da al agua utilizada para diluir la melaza involucra costos energéticos y de mantenimiento relativamente altos. Actualmente, la empresa estudiada opera con 4 pozos de agua; los cuales involucran costos de mantenimiento anual que oscilan entre los US\$.3, 272.52 y US\$.6, 545.03 por cada uno

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Analizar la eficiencia de los procesos de pasteurización, tratamiento de aguas, usos de vinaza, sistemas de bombeo y propuestas de mejora para una planta de etanol.

B. Objetivos específicos

1. Comparar la eficacia y eficiencia energética del proceso de pasteurización de melaza y mosto, realizando pruebas a escala de laboratorio, seleccionando el proceso más adecuado para determinar los requerimientos de insumos y equipo.
 - Realizar la caracterización microbiana de la melaza y el mosto, antes y después de la pasteurización, incubando muestras de cada fluido y determinando el cambio de unidades formadoras de colonias, para evaluar la eficacia de ambos procesos.
 - Determinar el consumo de servicios auxiliares en el tratamiento térmico más eficaz, realizando un balance energético, para dimensionar el equipo necesario.
 - Seleccionar el equipo de tratamiento y almacenaje, si fuera necesario, calculando el calor transferido y el área de transferencia requerida en el proceso, para recomendar el equipo adecuado.
2. Caracterizar propiedades relevantes de los afluentes, usando análisis fisicoquímicos y microbiológicos, para la preparación del mosto y determinar rangos de variación.
 - Realizar un conteo microbiológico total sin clasificación, utilizando filtración por membrana, de los afluentes de agua utilizados en la preparación del mosto para establecer los rangos de composición.
 - Caracterizar propiedades fisicoquímicas relevantes del agua proveniente del tanque de almacenamiento de aguas naturales y de los fondos de columnas de destilación, para establecer rangos adecuados de operación.
 - Proponer el control fisicoquímico para el proceso con base al análisis de los parámetros estudiados, para la reducción de la carga microbiológica.
3. Evaluar el potencial de la producción de biogás a partir de vinaza en diferentes condiciones de concentración y temperatura para un posterior uso considerando el porcentaje de metano presente.
 - Realizar una evaluación de la situación actual en cuanto al uso de vinaza generada en la planta de destilación de etanol.
 - Determinar la capacidad de producción de biogás en diferente concentración y temperatura a partir de vinaza de una planta de etanol.

Determinar la relación de biogás producido/remoción de DQO en diferentes condiciones de vinaza, según temperatura y concentración

4. Realizar una evaluación técnica para la producción de un compost efectivo usando como base lodos de fermentación de vinaza, para la recuperación de componentes inorgánicos
 - Realizar una caracterización fisicoquímica de los lodos de la vinaza proveniente de los biodigestores utilizados para producción de biogás, para determinar sus componentes y propiedades.
 - Determinar los compuestos necesarios a mezclar para utilizar los lodos de vinaza como abono orgánico, y así obtener un compost de alto rendimiento.
 - Analizar la composición del compost después del proceso microbiológico para determinar sus posibles aplicaciones.
 - Proponer un proceso factible de compostaje para aprovechar los componentes remanentes de la vinaza y producir un compost adecuado para caña.
5. Determinar el impacto al implementar un sistema auxiliar de bombeo en el proceso de destilación de etanol para una planta y aumentar la eficiencia de proceso.
 - Identificar las bombas críticas en el proceso de destilación de etanol a partir de melaza determinando el impacto que producen en el proceso para implementar el sistema auxiliar de bombeo.
 - Diseñar un sistema auxiliar con una bomba centrífuga en la planta de destilación de etanol que permita reducir tiempos muertos en el transporte de fluidos en áreas críticas de bombeo.
 - Determinar si los sellos mecánicos usados actualmente para las bombas centrífugas son los adecuados comparando el sello actual con el resultado de aplicar un criterio estándar de selección y proponer alternativas.
 - Cuantificar el incremento de la eficiencia productiva en el proceso, el beneficio económico y el período de recuperación de la inversión que involucra la correcta selección de los sellos mecánicos.
6. Desarrollar el análisis beneficio/costo para las propuestas de mejora al proceso de producción de etanol en una planta productora.
 - Establecer la línea base en las áreas de enfoque para las propuestas de mejora en el proceso de producción de etanol.
 - Calcular los costos de inversión requeridos por el ingenio para la posible implementación de las propuestas de mejora.
 - Estimar el impacto esperado de las propuestas de mejora en las respectivas áreas de enfoque en donde se incluye: el sistema de bombeo en el proceso de destilación, tratamiento de los afluentes utilizados para diluir melaza y el tratamiento de la melaza previo a su fermentación.

- Realizar una evaluación financiera para respaldar la viabilidad del beneficio esperado para cubrir los costos de inversión de las propuestas de mejora.

III. JUSTIFICACIÓN

El proceso de producción de etanol se ve afectado por los altos costos de las materias primas requeridas, al igual que por los altos costos energéticos debido a que en Centroamérica los índices energéticos siguen siendo altos comparados contra los respectivos valores de países industrializados.

El etanol es un commodity siendo su valor en el mercado regulado internacionalmente, por lo tanto, para que una planta productora de etanol resulte rentable es importante aumentar su producción y reducir sus costos.

El mosto es una solución de melaza con agua, que se utiliza para la fermentación y obtención de etanol en procesos industriales. Este es muy susceptible a contaminación ocasionada por mohos, hongos y bacterias, ya que es una solución rica en azúcares y nutrientes. Al ser una solución el agua influye en el crecimiento de las bacterias, con un valor menor de 0.60 (aw). Esta solución debe ser tratada, utilizando un método térmico o químico para evitar la proliferación de las mismas antes y durante la fermentación, ya que estos organismos contaminantes harían competencia con las levaduras utilizadas en la fermentación. Estos microorganismos contaminantes metabolizan los azúcares de distinta manera a las levaduras produciendo distintos compuestos orgánicos, lo que reduce el rendimiento en la producción de etanol durante la fermentación.

El uso de afluentes de agua naturales y el uso de aguas resultantes de un proceso en la dilución, puede generar problemas a los sistemas de distribución debido a incrustaciones y corrosión, que representan complicaciones técnicas al dañar tuberías y equipos; además de económicas para los procesos debido a la necesidad de reparaciones, limpieza o reemplazo de equipos. Además de esto, la carga microbiológica que acarrea ambos flujos es de suma importancia ya que los diferentes microorganismos pueden ser competitivos por nutrientes con la levadura, lo cual afectaría al rendimiento en la producción de etanol.

La pasteurización o tratamiento térmico podría ser un tratamiento alternativo para tratar la solución y eliminar los contaminantes presentes en ella. La pasteurización podría mejorar la fermentación, ya que los tratamientos químicos podrían afectar el crecimiento de levaduras durante la misma, además, es más amigable con el ambiente que el tratamiento químico utilizado en la actualidad, ya que reduce los contaminantes presentes en el mosto y los efluentes de vinaza, representando las principales ventajas en relación al mismo.

La estrategia de reutilización de desechos debe integrarse al proceso, donde no exista un enfoque único en metodología de control, disposición final de desechos o control de los mismos, ya que esto conlleva a la demanda de recursos. Por lo que debe existir un enfoque en la generación de los mismos.

Por cada litro de etanol producido a partir de la melaza, se obtienen como consecuencia de 9 a 15 litros de vinaza como residuo. Por ende, en época de zafra se obtienen más de 300,000,000 litros de vinaza al año, convirtiéndose en una situación problemática para la planta de etanol. Actualmente la planta de etanol produce aproximadamente 6,000 m³ de vinaza al día. Este residuo tiene altos valores de materia orgánica, DBO, DQO y sólidos suspendidos, por lo tanto, tiene un gran poder contaminante, que puede impactar negativamente el ambiente, en especial la calidad del agua y la vida acuática. Debido a su alta carga biológica puede utilizarse para producir biogás, obteniendo como residuos lodos de vinaza.

Es importante buscar alternativas para un uso adecuado y económico, y así mitigar el impacto ambiental de este residuo. Una buena alternativa es el compostaje, el cual es un proceso biológico que transforma residuos orgánicos degradables en productos estables e higienizados. Es una alternativa de bajo costo que aporta nutrientes y mejora la calidad de los suelos.

Actualmente la planta de destilación de alcohol procesa aproximadamente 2000 toneladas métricas de melaza al día durante el tiempo de zafra. En el caso de la sección de bombas que transportan una mezcla de alcohol, etanol, propanol y otros derivados de la fermentación en la planta de 150 m³/día, es necesario que dicha sección esté en funcionamiento veinticuatro horas al día, durante toda la zafra. Debido al funcionamiento de las bombas, los elementos motrices sufren desgaste y desperfectos que provocan fallas en las mismas.

Los retrasos por desperfectos en el área de bombas en el proceso de destilación repercuten en costos de reparación y adicionalmente costos por el alcohol no procesado, que tiene un impacto directo en la reducción de la eficiencia de producción. El impacto económico asociado a los fallos ha tenido un costo por mantenimiento preventivo y correctivo, adicionalmente a los costos por motivo de pérdida de oportunidad; dicho monto en conjunto asciende a US\$50,000.

En el ingenio, se sabe que al tener una falla en el proceso de destilación de etanol; directamente en el sistema de bombeo, se puede incurrir a costos que alcanzan los US\$. 100,000 por día de producto no terminado. Evitar los paros causados por fallas es fundamental, a lo cual un sistema auxiliar de bombeo puede disminuir estos costos. Con respecto al tratamiento que se le da al agua utilizada para diluir la melaza involucra costos energéticos y de mantenimiento relativamente altos. Actualmente, la empresa estudiada opera con 4 pozos de agua; los cuales involucran costos de mantenimiento anual que oscilan entre los US\$. 3,272.52 y US\$. 6,545.03 por cada uno. Para el costo energético se estiman US\$.9, 127.37 por cada motor operando 170 días en la zafra. Por último, el diseño de un adecuado proceso de pasteurización ya sea del mosto o de la melaza; en el cual no se podría mencionar un costo como tal ya que es un proceso que no se utiliza actualmente, podría evitar que el ingenio incurra a costos innecesarios y aprovechar de una mejor manera los recursos disponibles. Tomando en cuenta la situación actual del ingenio, el cálculo de los costos

necesarios para una posible inversión por parte de la empresa estudiada en las propuestas de mejora es clave para poder estimar el impacto esperado de las mismas con respecto a la línea base establecida.

Por último, realizar un análisis financiero para determinar la viabilidad de las propuestas de mejora al proceso de producción de etanol es fundamental. Cabe mencionar que la viabilidad de las propuestas de mejora se ve respaldada por un beneficio esperado que pueda cubrir los costos establecidos para su implementación.

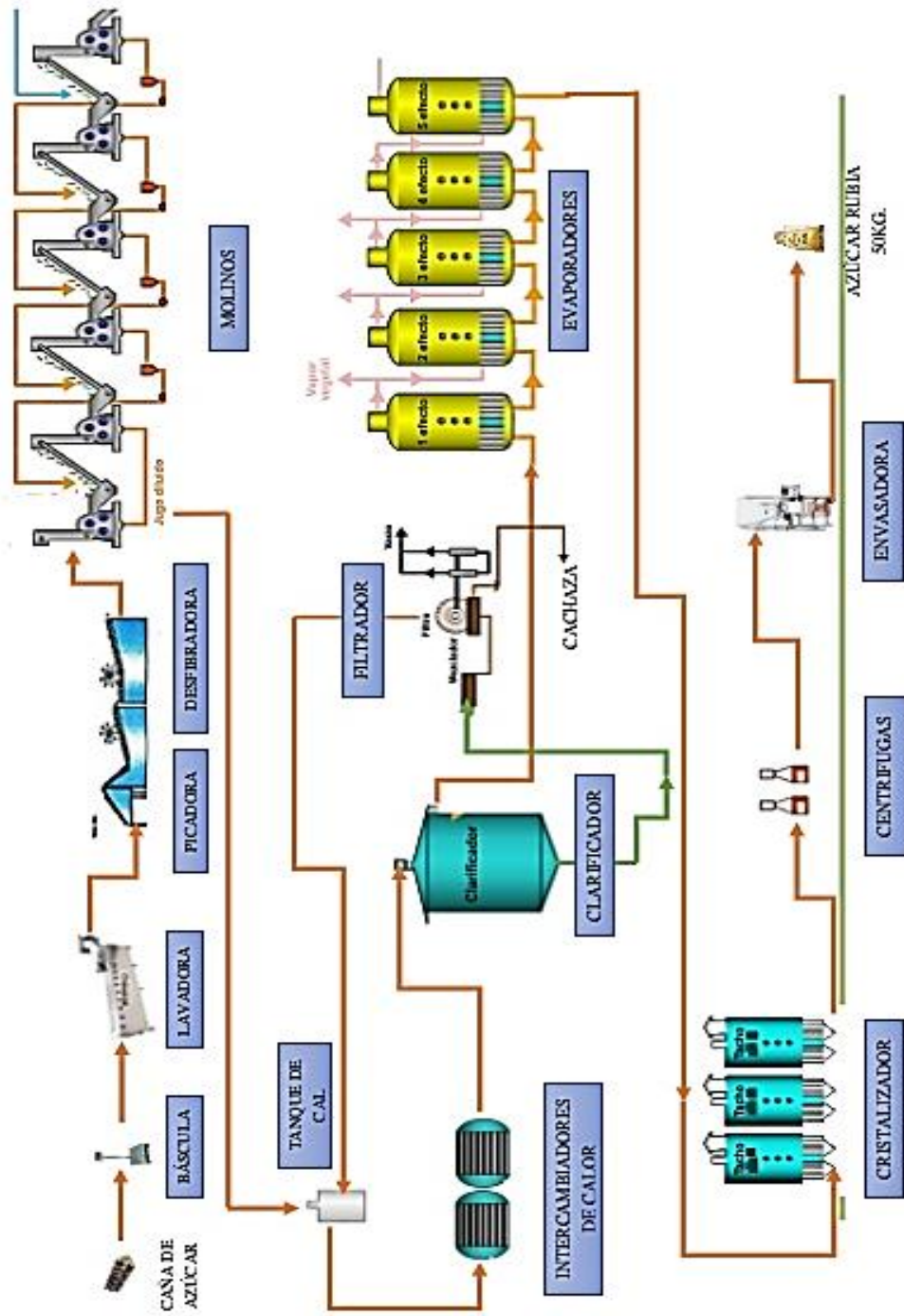
IV. MARCO TEÓRICO

A. Producción de azúcar

El proceso de fabricación (ver Figura 1) de caña cuenta con diferentes etapas siendo estas.

1. Preparación de caña: en esta etapa los tallos de caña son cortados y triturados con máquinas para facilitar la molienda y la extracción del jugo (Centro de Investigación de la Caña de Colombia, 2016).
2. Molienda: en este proceso, los tallos de caña cortados, son molidos para extraer el jugo en ellos, el proceso se realiza en una serie de molinos para poder aprovechar al máximo el jugo presente en la caña. De este proceso se produce el bagazo (restos de los tallos) y el jugo de caña diluido (Centro de Investigación de la Caña de Colombia, 2016).
3. Generación de vapor y electricidad: el bagazo obtenido en la molienda es quemado en calderas para producir vapor, parte de este vapor es utilizado más adelante en el proceso y parte de este es enviado a turbogeneradores para producir energía eléctrica (Centro de Investigación de la Caña de Colombia, 2016).
4. Encalado: al jugo de caña se le agrega cal para reducir el pH del mismo ya que ayuda a evitar la inversión de la sacarosa y a precipitar la mayor parte de las impurezas presentes en jugo (Centro de Investigación de la Caña de Colombia, 2016).
5. Clarificación: en este proceso, se separan los sólidos insolubles en el jugo de caña. Estos sólidos salen en la forma de lodo por la parte de abajo mientras el jugo clarificado es extraído por la parte superior del clarificador (Centro de Investigación de la Caña de Colombia, 2016).
6. Filtración: el lodo saliente del proceso anterior aún cuenta con jugo en su composición por lo que se trata en filtros al vacío para poder retirar la mayor cantidad de jugo posible. Los sólidos filtrados son llamados cachaza (Centro de Investigación de la Caña de Colombia, 2016).
7. Evaporación. el jugo clarificado es enviado a evaporadores de múltiple efecto donde es concentrado para ser cristalizado (Centro de Investigación de la Caña de Colombia, 2016).
8. Cristalización y centrifugación: en este proceso se forman los cristales de sacarosa, utilizando una semilla, se da inicio al proceso. Se utilizan múltiples tachos para obtener cristales de diferentes proporciones que luego son separados por centrifugación (Centro de Investigación de la Caña de Colombia, 2016).
9. Secado: se retiran restos de humedad presentes en los cristales para obtener el azúcar final (Centro de Investigación de la Caña de Colombia, 2016).

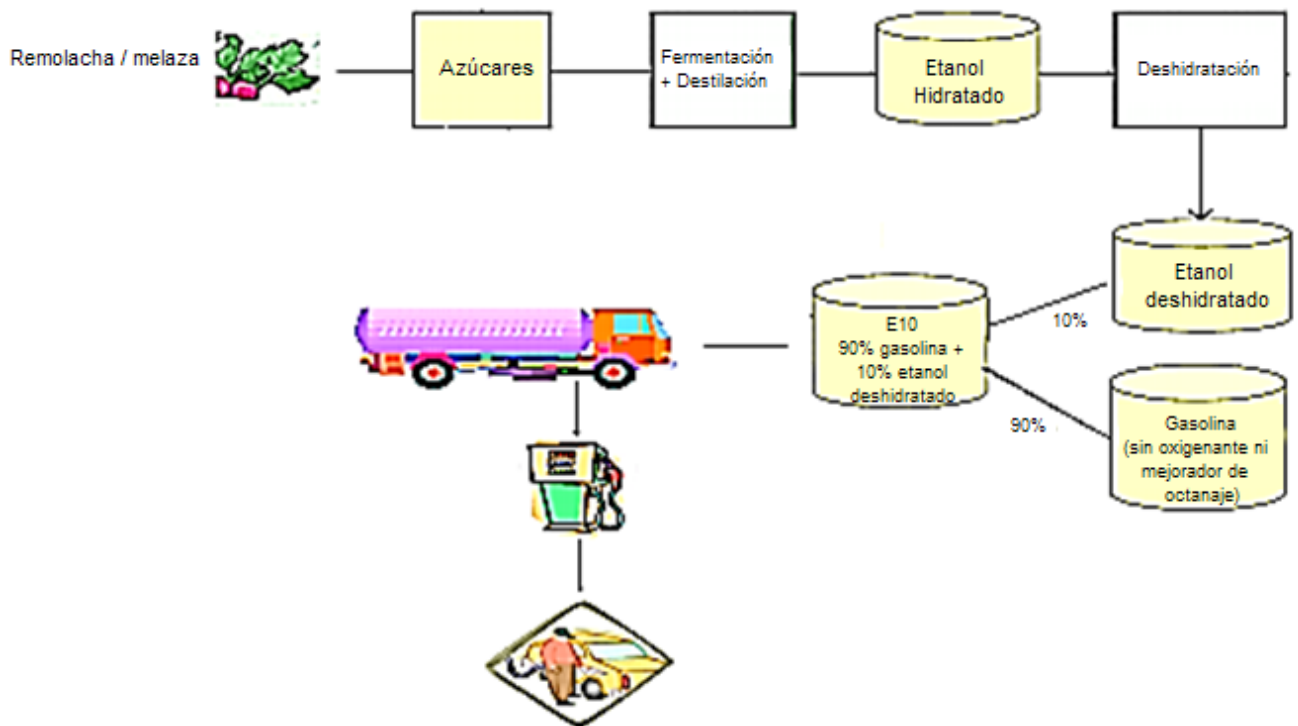
Figura 1. Proceso de producción de azúcar.



(Centro de Investigación de la Caña de Colombia, 2016)

B. Producción de etanol

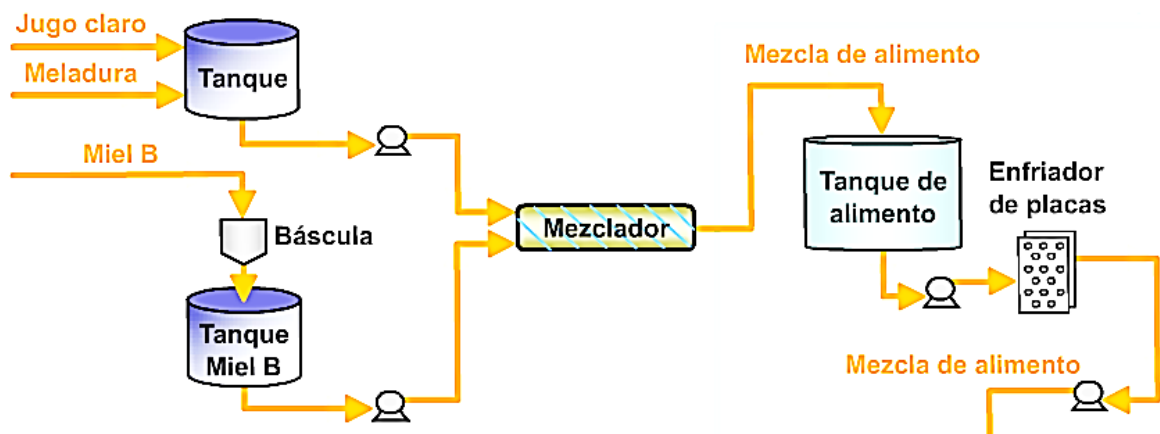
Figura 2. Proceso de producción de etanol.



(Asociación de Combustibles Renovables de Guatemala, 2016)

1. Preparación de materias primas. Es el proceso en el que se mezclan y se separan las materias primas (jugo claro, meladura y miel B) para que la mezcla de alimento resultante cumpla con las especificaciones requeridas en la fermentación (contenido de azúcares, sólidos y temperatura) (CENICAÑA, 2016).

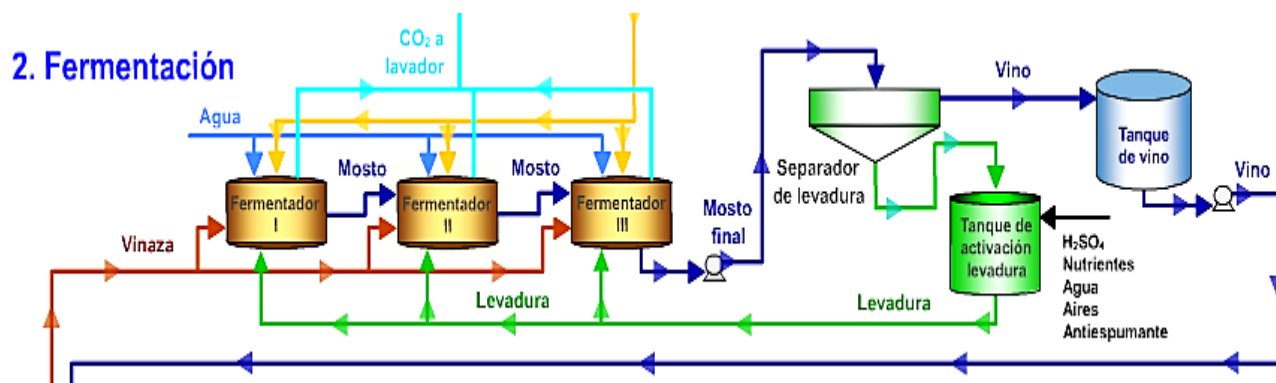
Figura 3. Diagrama de preparación de materias primas.



(CENICAÑA, 2016).

2. Fermentación. La fermentación es un proceso bioquímico efectuado por las levaduras en el que los azúcares presentes en la mezcla de alimento son transformados en etanol y dióxido de carbono, principalmente. Es la etapa de mayor importancia y cuidado, porque es en donde se genera el etanol. Se deben manejar condiciones específicas de temperatura, pH, concentración de azúcares y nutrientes para el desarrollo y desempeño de levaduras (CENICAÑA, 2016).

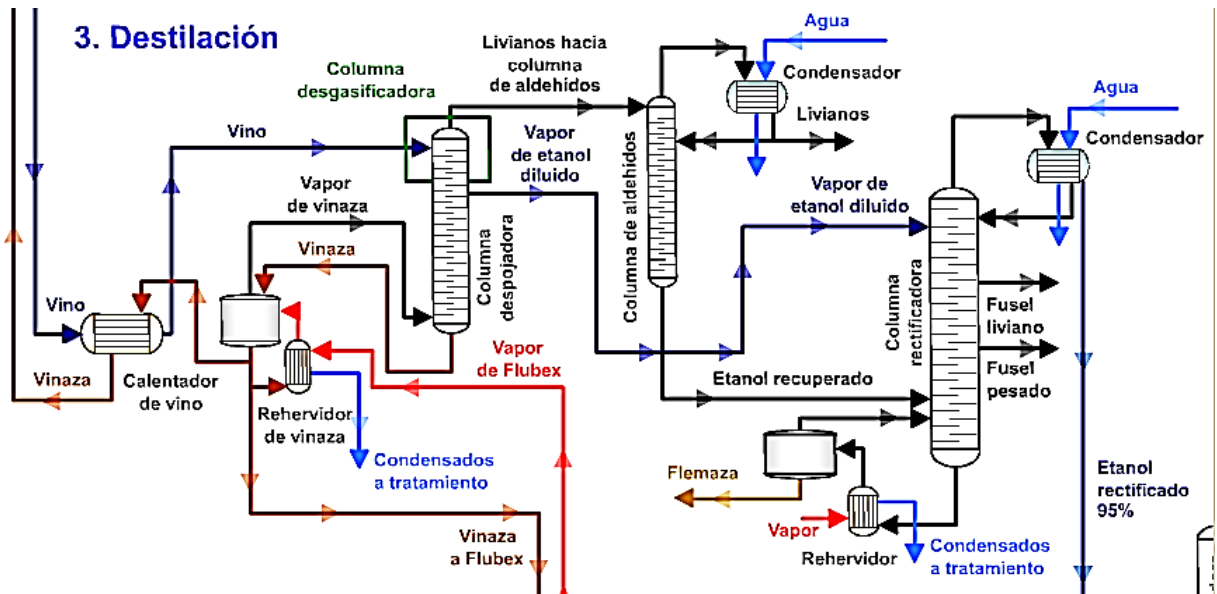
Figura 4. Diagrama de etapa de fermentación



(CENICAÑA, 2016).

3. Destilación. Es una operación de mezclas líquidas en sus constituyentes primarios, usando diferencias de puntos de ebullición. El principio es aprovechar que cada sustancia evapora a una temperatura diferente de las otras. Se lleva a cabo en columnas donde la diferencia de temperaturas se logra adicionando calor en el fondo con equipos llamados rehervidores, mientras que, por la parte superior o cima, las corrientes son retiradas y enfriadas con equipos denominados condensadores (CENICAÑA, 2016).

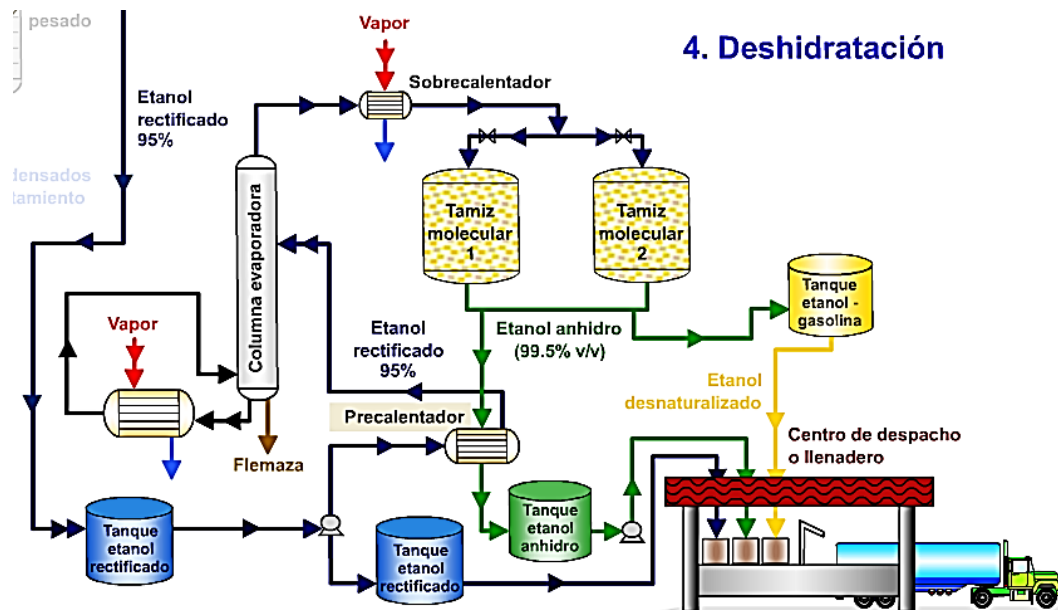
Figura 5. Diagrama de etapa de destilación.



(CENICAÑA, 2016).

4. Deshidratación. Es la etapa del proceso de producción de etanol carburante en la que se obtiene un producto de elevada concentración de etanol (> 99.5% v/v), retirando el agua remanente, usando técnicas de adsorción por tamices moleculares o utilizando otras técnicas como la destilación azeotrópica, destilación, destilación extractiva, entre otras (CENICAÑA, 2016).

Figura 6. Diagrama de etapa de deshidratación para etanol carburante.



(CENICAÑA, 2016).

C. Melaza y mosto

La melaza es un subproducto o residuo del proceso de fabricación de azúcar o del refinado de la misma, es un líquido oscuro, pesado y viscoso separado de la masa final de refinado de azúcar. La melaza contiene azúcares que no pueden ser removidos por métodos convencionales (Cheng, García Ferrer, & Alvarez Medina, 1991) (Tortora, Funke, & Case, 2007)

La melaza se puede definir en tres categorías principales:

- Melaza real: es el licor madre del cual fueron separados los cristales de sacarosa (Chen, García Ferrer y Alvarez Medina, 1991).
- Para-melazas: son obtenidas del proceso de fabricación de diferentes azúcares, como glucosa o lactosa (Chen, García Ferrer and Alvarez Medina, 1991).
- Pseudo-melazas: son producidas directamente de jarabes de azúcar (Chen, García Ferrer and Alvarez Medina, 1991).

La descripción, dada por los estándares estadounidenses para los Grados de Melaza de Caña de Azúcar, es que la melaza, “es el líquido, limpio producido por la evaporación del jugo de la caña de azúcar y la remoción total o parcial del azúcar cristalizable.” (Chen, García Ferrer and Alvarez Medina, 1991).

Mosto es el término utilizado para las diluciones de melaza a fermentar.

Tabla 1. Composición general de la melaza de caña

Constituyentes	Contenidos (m/m)
Materia seca	78
Proteínas	3
Sacarosa	60-63
Azúcares reductores	3-5
Sustancias disueltas	4-8
Agua	16
Grasas	0.4
Cenizas	9
Calcio	0.74
Magnesio	0.35
Fósforo	0.08
Potasio	3.67

(Molina y Quiñonez, 2012)

La composición de las melazas es muy heterogénea, ya que puede variar según la variedad de caña de azúcar, suelo, clima, períodos de cultivo, eficiencia de la operación de la fábrica, sistema de ebullición

del jugo, tipo y capacidad de evaporadores, entre otros factores. La melaza de caña se caracteriza por tener grados brix o sólidos disueltos entre 68-75%, así como un pH de 5.0-6.1. (Molina y Quiñonez, 2012)

Las principales azúcares en la melaza son la sacarosa (60-63% en m/m), la glucosa o dextrosa (6-9% m/m) y la fructuosa o levulosa (5-10% m/m). Los no azúcares están compuestos por aproximadamente 33% de sustancias inorgánicas (Fe, K, Na, Ca, Mg, Zn, As, Cd, Hg, Pb, Cl, NO₃, SO₄), donde el 42% corresponde a sustancias nitrogenadas (aminoácidos, péptidos, colorantes) y el 25% a sustancias libres de nitrógeno (ácidos carboxílicos, alcoholes, fenoles, ésteres, vitaminas, gomas) (Molina y Quiñonez, 2012)

La melaza es utilizada en la industria alcoholera para la elaboración de alcohol etílico por fermentación. La fermentación es un proceso metabólico energético que comprende la descomposición de moléculas, tales como carbohidratos, de manera anaerobia. (Molina y Quiñonez, 2012)

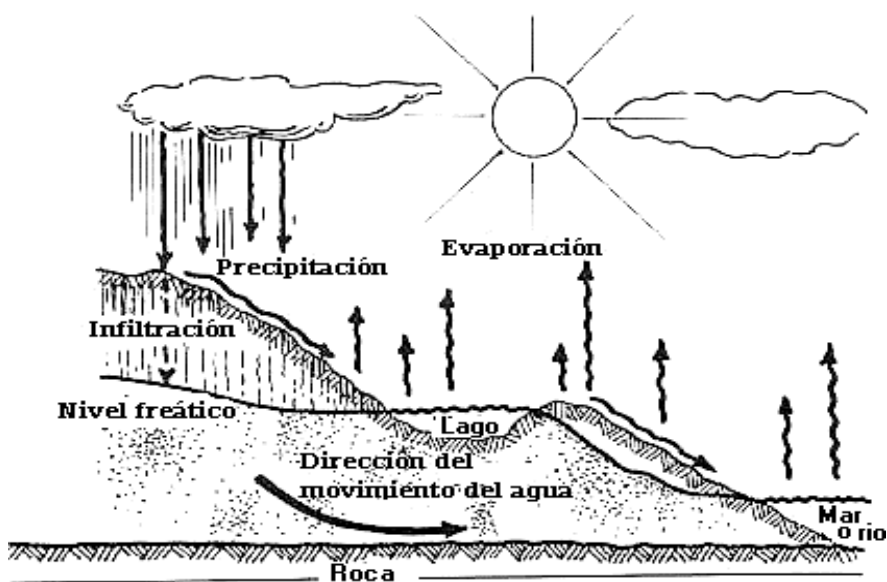
D. Alcohol

El alcohol puro es una sustancia líquida, compuesto por carbono, hidrógeno y oxígeno, en las siguientes proporciones: C: 52.17%, H: 13.04%, O: 34.79% (Wright, 2001).

E. Ciclo global del agua

El ciclo del agua es el movimiento que tiene el agua en el planeta. Inicia con la evaporación bajo la irradiación de la luz solar. Después, el agua se condensa en las nubes conforme la temperatura de las gotas disminuye en la atmósfera superior. Las corrientes de viento transportan el agua a de grandes distancias antes de precipitarse como gotas de lluvia. Durante esta condensación y precipitación, el agua absorbe gases del ambiente, siendo la principal causa de la denominada “lluvia ácida” (Campbell, 2001).

Figura 7. Ciclo del agua en el planeta.



(Campbell, 2001).

F. Agua

Compuesta por dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno. El agua pura es incolora, inodora y sin sabor. Debido a que el agua se contamina con sustancias con las que entra en contacto, no está disponible en un estado puro. Se ha denominado al agua como “solvente universal” debido a su capacidad de disolver cada sustancia natural presente en la Tierra hasta cierto grado. Esta ventaja representa una amenaza mayor para los equipos industriales ya que causa corrosión, reacciones de deposición generando incrustaciones en superficies de transferencia de calor que representan un cambio en la capacidad de disolución del agua al variar su temperatura (General Electric, 2015).

La distribución del agua en el planeta Tierra representa un 97.23% en los océanos, 2.14% en capas de hielo y glaciares, 0.61% se encuentra como agua subterránea, 0.01% en lagos de agua dulce y 0.01% en otras formas. Estudios indican que el 99% de toda el agua presente en el planeta no está disponible para consumo humano; además, el agua superficial representada por acuíferos y ríos que son los utilizados mayoritariamente para uso humano, representa un 0.0067% del agua total. Un depósito incluye generalmente varios aspectos de ensuciamiento como lo son productos de corrosión y microbiológicos, coloides o materia suspendida (Amjad, 2010).

G. Agua potable

Es el agua adecuada para el consumo humano y uso doméstico, que se encuentra libre sanitariamente de minerales, sustancias orgánicas y agentes tóxicos en exceso; o para usos domésticos razonables en el área adecuada en cantidad para los requisitos mínimos de salud (Spellman, 2009).

H. Contaminación del agua

Es la introducción al agua de materiales tóxicos, bacterias u otros agentes nocivos que convierten al agua no apta para su uso (Spellman, 2009).

I. Agua subterránea

Agua por debajo de la superficie que ocupa una formación geológica saturada, desde la cual los pozos y manantiales se alimentan (Spellman, 2009). Se sabe que el agua subterránea se mueve muy lento, por lo que su velocidad se mide en ft/año. Debido a esto, la composición de cualquier pozo es usualmente constante. Como el agua ha pasado por kilómetros de formaciones rocosas porosas, es invariablemente clara si el pozo fue desarrollado correctamente, de modo que la arena fina no entre en contacto con el agua. Conforme el agua se filtra por la tierra, los organismos de la tierra consumen el oxígeno disuelto y producen dióxido de carbono, el cual es uno de los principales agentes corrosivos al disolver los componentes minerales de las rocas. Debido a esto es común encontrar hierro, si es que entra el agua en contacto con materiales que contenían hierro (Amjad, 2010).

J. Agua no potable

Se refiere al agua sin tratamiento que está contaminada y necesita recibir tratamiento de purificación (Spellman, 2009).

K. Agua superficial

Es el agua sobre la superficie de la Tierra. El agua superficial debe de ser de una calidad adecuada para propiciar vida acuática y además, que sea agradable a la vista. Así también, si es utilizadas como fuente de suministro, debe poder tratarse con procesos convencionales de tratamiento de aguas para proveer suministros potables que cumplan con los estándares de agua bebible (Spellman, 2009).

Los contaminantes en las aguas superficiales se deben a la naturaleza del terreno por el cual fluyen. Varios factores afectan en el correr de los cauces superficiales, como el terreno, los tipos de suelo y roca, clima, precipitación local, saturación, vegetación y tiempo. Los ríos acarrear iones disueltos que reciben de la tierra y la superficialmente en su cauce hacia el mar. Estos iones incluyen Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} y Cl^- (Amjad, 2010).

L. Ion

Es un átomo o grupo de átomos que tienen una carga neta positiva o negativa. El número de protones, cargados positivamente, del núcleo de un átomo permanece igual durante los cambios químicos comunes (reacciones químicas), pero se pueden perder o ganar electrones, cargados negativamente. La pérdida de uno o más electrones a partir de un átomo neutro forma un catión, un ion con carga positiva. Un anión es un ion cuya carga neta es negativa debido a un incremento en el número de electrones (Chang, 2010).

M. Impurezas contenidas en el agua

- Compuestos inorgánicos disueltos como bicarbonatos, carbonatos, sulfatos, fluoruro de calcio, magnesio, bario, estroncio y pequeñas cantidades de hierro, manganeso, aluminio, entre otras (Amjad, 2010).
- Compuestos orgánicos disueltos como ácido húmico, ácido fúlvico y taninas. También se encuentran materia orgánica insoluble como hojas, bacteria muerta y otros productos biológicos y de desechos industriales (Amjad, 2010).
- Gases como oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, dióxido de azufre, sulfuro de hidrógeno y metano, los cuales son absorbidos de la atmósfera y de las fuentes subterráneas (Amjad, 2010).
- Materia suspendida como arcilla, tierra, grasas y hongos (Amjad, 2010).
- Microorganismos como bacterias, algas y hongos (Amjad, 2010).

N. Microorganismos presentes en el agua

Los microorganismos de interés son las bacterias, protozoos, virus, algas, hongos y nematodos. Estos organismos son el grupo más diverso de los organismos vivos en el planeta y ocupan nichos importantes en los ecosistemas. Debido a que los microorganismos son un asunto de salud mayor, los especialistas en tratamiento de agua están preocupados en controlar los patógenos del agua que causan enfermedades (Spellman, 2009).

O. Algas

Plantas usualmente microscópicas que contienen clorofila. Las algas de agua dulce tienen diversidad de forma, color, tamaño y hábitat. Sirven como la unión en la conversión de constituyentes inorgánicos a orgánicos en el agua (Spellman, 2009).

P. Organismos anaerobios

Organismos capaces de vivir y crecer en la ausencia de oxígeno (Spellman, 2009).

Q. Bacteria

Microorganismos unicelulares que tiene una pared celular rígida. Pueden ser aerobias, anaerobias o facultativas. Pueden producir enfermedades, pero algunas son importantes en control de contaminación (Spellman, 2009).

R. Organismos coliformes

Microorganismos encontrados en el tracto intestinal de humanos y animales. Su presencia en el agua indica contaminación fecal y potencialmente contaminación adversa de patógenos (Spellman, 2009).

S. Incrustaciones minerales

Las incrustaciones se pueden definir como una deposición de una capa sólida que sucede principalmente de la presencia de sales inorgánicas disueltas en el flujo que exhiben supersaturación bajo las condiciones del proceso, en estas se incluyen los carbonatos de calcio, fosfatos de calcio y sulfatos de calcio presentes (Amjad, 2010).

1. **Calcio.** El calcio siempre se encuentra presente como ion divalente que forma sales insolubles con varios aniones, como carbonato, fluoruro, oxalato, fosfato y polifosfato. Bajo ciertas condiciones, los iones de calcio también forman sales insolubles con compuestos organofosfonatos y polímeros de base ácida como el acrílico y maleico que comúnmente se usan para prevenir la precipitación de sales de calcio en sistemas de agua industrial (Amjad, 2010).

2. **Magnesio.** El magnesio forma sales de solubilidad limitada, como los silicatos de magnesio y, bajo condiciones de alto pH, hidróxido de magnesio. Ambos son comunes en sistemas de enfriamiento y de ebullición.

3. **Carbonato.** El carbonato forma sales insolubles con iones calcio y hierro que precipitan, y forman depósito de incrustaciones en membranas de ósmosis inversa y en las superficies de intercambiadores de calor. Los depósitos de carbonatos son normalmente controlados reduciendo el pH del agua o añadiendo un inhibidor de incrustaciones al agua de alimentación (Amjad, 2010).

4. **Bicarbonato.** Los iones de bicarbonato no forman sales insolubles, sin embargo, cuando se exponen a altos pH y temperatura, y bajo ciertas condiciones de concentración, pueden ser convertidos a iones de carbonato resultando en carbonatos de calcio. En esos casos es necesario la adición de un ácido o de un inhibidor de incrustaciones para prevenir la precipitación y deposición de carbonato de calcio en las superficies de equipos y tuberías (Amjad, 2010).

5. **Sulfato.** Aguas conteniendo altos niveles de sulfato causados por el drenaje de depósitos naturales de sulfato de magnesio o sulfato de sodio puede causar problemas de incrustaciones debido a la formación de sales insolubles con calcio, bario y estroncio (Amjad, 2010).

T. Contaminante

Se define como una sustancia que hace impura a otra sustancia. El término tiene una connotación negativa, por lo que usualmente se refiere a una sustancia no deseada (Hendricks, 2006).

U. Sólidos disueltos totales

Los sólidos disueltos totales (TDS) son una medida de la materia inorgánica y de factores de ensuciamiento potenciales.

Los sólidos disueltos totales se pueden remover del agua por destilación, electrodiálisis, ósmosis inversa o por resinas de intercambio iónico (Howe, 2012).

V. Incrustaciones y depósitos minerales

1. Factores de incrustación. Los factores de incrustación comúnmente encontrados en los sistemas de agua industrial son de dos tipos (Amjad, 2010):

- Incrustaciones minerales que consisten en precipitados duros, densos y cristalinos de carbonato de calcio, sulfato de calcio, sulfato de bario, fluoruro de calcio, fosfato de calcio, entre otros (Amjad, 2010).
- Depósitos, que consisten en materia coloidal o suspendida, crecimiento biológico, productos de corrosión, entre otros (Amjad, 2010).

2. Depósitos de carbonato de calcio. Los depósitos de carbonato de calcio son encontrados en intercambiadores de calor, torres de enfriamiento, tuberías de distribución de agua, proceso de desalinización de agua empleando ósmosis inversa o evaporación, etc. La naturaleza de estos depósitos depende de la presencia de iones orgánicos e inorgánicos en el medio acuoso, la temperatura de la solución, el flujo y del pH (Amjad, 2010).

3. Depósitos de fosfato de calcio. Los fosfatos de calcio son importantes para los sistemas industriales de agua porque ocurren en la formación de depósitos en equipos y membranas (Amjad, 2010).

W. Operaciones para tratamiento de agua

1. Tratamiento de agua. Se define como cualquier unidad de proceso que cambia o altera química, física o bacteriológicamente la calidad del agua con el propósito de hacerla apta y segura para el consumo humano o atractiva para el cliente. El tratamiento de aguas también es utilizado para proteger los sistemas de distribución de agua de la corrosión (Spellman, 2009).

El ablandamiento del agua es el término utilizado para los procesos que eliminan o reducen la dureza del agua. El término purificación se refiere por lo general, a la eliminación de la materia orgánica y de los microorganismos del agua (Austin, 1990).

2. Consideraciones para tratamiento. Algunas regulaciones declaran que, si los contaminantes listados bajo varias regulaciones se encuentran en exceso de los niveles máximos de contaminantes, el agua deberá ser tratada para reducir esos niveles. Si un pozo o manantial es influenciado por la superficie, el tratamiento es requerido sin importar la presencia actual de contaminación.

Si el suministro de agua es subterráneo, existen un número común de problemas que requieren tratamiento y es posible que posean otro tipo de problemas, como por ejemplo (Spellman, 2009):

- Contaminación bacteriológica
- Olores de sulfuro de hidrógeno
- Dureza del agua
- Agua corrosiva
- Hierro y Manganeseo

3. Etapas del tratamiento de aguas. A continuación, se muestra un modelo convencional de tratamiento de agua, está conformado por varias etapas de proceso combinadas para formar un sistema de tratamiento. Es importante mencionar que dicho sistema puede contener todas las unidades o una combinación de ellas, también es importante mencionar que para algunos sistemas pequeños el tratamiento de agua puede consistir en solo algunas de las etapas mencionadas (Spellman, 2009).

Etapas del tratamiento de aguas:

- Tamizaje: Remueve grandes partículas (hojas, palos, pescado) que pueden dañar los equipos o ensuciarlos (Spellman, 2009).
- Pretratamiento químico: Acondiciona el agua para la remoción de algas y otros aspectos inapropiados (Spellman, 2009).
- Pre-sedimentación: Remueve grava, arena, sedimentos y otros materiales arenosos (Spellman, 2009).
- Microfiltraje: Remueve algas, plantas acuáticas y pequeñas partículas por medio de filtración (Spellman, 2009).
- Mezcla y adición de químicos: Añade químicos (ej. Coagulantes, pH, ajustadores) al agua para sedimentación (Spellman, 2009).
- Coagulación/ floculación: Convierte las partículas no sedimentables en sedimentables por medio de cargas eléctricas entre moléculas (Spellman, 2009).
- Sedimentación: Remueve partículas suspendidas en el agua (Spellman, 2009).
- Suavizadores: Remueven compuestos como el caso de las sales, que le dan la dureza al agua (Spellman, 2009).
- Filtración: Remueve partículas de materia sólida, se incluye la contaminación biológica y turbidez (Spellman, 2009).
- Desinfección: Mata los organismos causantes de enfermedades (Spellman, 2009).

- Adsorción utilizando carbón granular activado: Remueve radón y muchos químicos orgánicos como pesticidas, solventes y trihalometanos (Spellman, 2009).
- Aireación: Remueve compuestos orgánicos volátiles (VOCs), radón, H₂S y otros gases disueltos; oxida el hierro y el manganeso (Spellman, 2009).
- Control de corrosión: Previene las incrustaciones y la corrosión regulando las características del agua (Spellman, 2009).
- Ósmosis inversa, electrodiálisis: Remueve casi todos los contaminantes inorgánicos (Spellman, 2009).
- Intercambio iónico: Remueve algunos contaminantes inorgánicos incluyendo los químicos que causan la dureza del agua (Spellman, 2009).
- Filtración por oxidación: Remueve algunos contaminantes inorgánicos como hierro, manganeso y radón (Spellman, 2009).

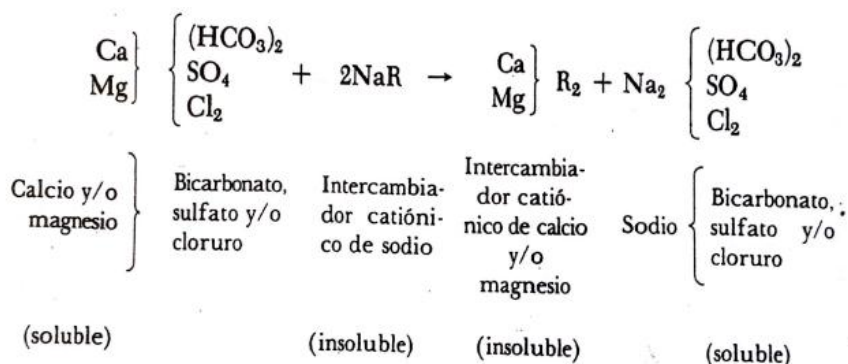
4. **Intercambio iónico.** El intercambio iónico es una reacción química en la que los iones móviles hidratados de un sólido son intercambiados equivalentemente, por iones de igual carga en solución. El sólido tiene una estructura similar a una red de pesca abierta y los iones móviles neutralizan eléctricamente a los grupos cargados o potencialmente cargados y unidos al grupo cargado negativamente, esté a su vez fijo en el intercambiador iónico, se cambia por otro catión en solución. De igual modo, el intercambio de aniones ocurre cuando el anión móvil, cargado negativamente, unido al positivo y, fijo sobre la resina intercambiadora, se intercambia por otro anión en la solución.

Más del 80% de las resinas intercambiadoras se emplean para el tratamiento de aguas. Estas se fabrican comúnmente a partir de poliestireno-divinilbenceno (SDVB), ya que son de alta capacidad de intercambio iónico. Las aplicaciones son muy extensas. Pueden utilizarse para eliminar y purificar uranio, itrio o estreptomycin, para retirar impurezas de soluciones acuosas, para catalizadores o para secar solventes no polares.

5. **Proceso de intercambio con catión de sodio.** Este proceso es el más utilizado para el ablandamiento del agua. Durante la operación, los iones de calcio y magnesio son eliminados del agua dura por intercambio catiónico, con los iones sodio. Los intercambiadores catiónicos del ciclo de sodio o del hidrógeno para el tratamiento del agua son por lo general, del tipo de resina sintética de estireno-divinilbenceno sulfonado. Este tipo es excepcionalmente estable a temperaturas elevadas (hasta 150°C) y en todo el amplio intervalo de pH (desde 0 hasta 14). Además, es muy resistente a las condiciones de oxidación. La capacidad total de intercambio es de hasta 925 CaCO₃ kg/m³ en intercambiador con un ciclo de hidrógeno y arriba de 810 CaCO₃ kg/m³ con un ciclo de sodio.

Reacciones de ablandamiento del agua, el símbolo R representa el radical del intercambiador catiónico:

Figura 8. Esquema de reacción del ablandamiento del agua.

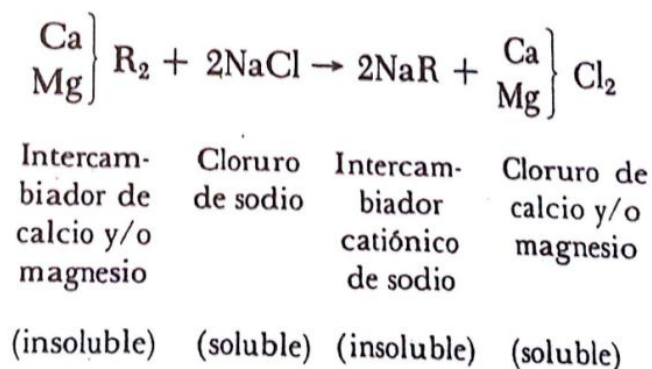


(Austin, 1990)

Regeneración: Cuando la resina intercambiadora ha removido los iones calcio y magnesio, prácticamente al límite de su capacidad, se regenera la resina a su forma original con una solución de sal, en el intervalo de 6 a 8 de pH. La capacidad de intercambio de las resinas de poliestireno es de 650 kg/m³ cuando se regeneran con 250 g de sal/kilogramo de dureza eliminada.

La unidad se pone fuera de servicio y se hace un lavado inverso, con solución de sal común (NaCl), para limpiar y reclasificar hidráulicamente las partículas de resina en el lecho. Esto elimina el calcio y el magnesio en forma de sus cloruros solubles y simultáneamente vuelve al intercambiador catiónico a su forma de sodio. Se le enjuaga para que quede libre de los subproductos solubles y del exceso de sal (ciclo de sodio). También se puede regenerar empleando ácido sulfúrico (ciclo de hidrógeno).

Figura 9. Esquema de reacción de regeneración de resina de intercambio iónico.



(Austin, 1990)

6. Lámpara ultravioleta

a. **Concepto.** Los sistemas de desinfección por luz ultravioleta involucran circula el flujo de agua a través de un equipo que contiene lámpara ultravioleta en su interior. Conforme el agua fluye a través del equipo, los microorganismos son expuestos a una radiación ultravioleta intensa que causa un daño a las moléculas genéticas como el ADN y el ARN, que son vitales para las funciones reproductivas de los microorganismos. Debido a que no se pueden reproducir, entonces no ocurre la infección, por lo que la luz U.V. causa una inactivación microbiana (Harley, 2008).

b. **Funcionamiento.** Generalmente, una unidad de desinfección por luz ultravioleta se compone de la lámpara, una fuente de poder y un balasto electrónico. La luz U. V. es una radiación electromagnética que viaja en longitudes de onda de 200 a 3000 nm en todas direcciones dese su fuente de emisión (Harley, 2008).

c. Aspectos relevantes

- La radiación U. V. en el rango de 200 a 3000 nm causa un daño al ADN, lo que previene la replicación del mismo y por ello inactiva al organismo. Estudios han demostrado que una longitud de onda menor a 260 nm es más letal para los microorganismos, aunque normalmente las lámparas U. V de baja presión utilizan 254 nm, por lo cual es menor en su efectividad. La dosis debe ser suficientemente alta para que la fotoreactivación (reparación en presencia de luz) o la reparación en oscuro (sin luz) no sean relevantes (Hendricks, 2006).
- Para un reactor dado, el tiempo de contacto es determinado por estudios de prueba. Un valor conservativo para este tiempo, es un valor en el cual el 90% del flujo de agua sea detenido (Hendricks, 2006).
- El orden de susceptibilidad de los organismos a la radiación U. V. es: bacteria > virus > esporas de bacterias > protozoos (Hendricks, 2006).

d. Factores que afectan el desempeño

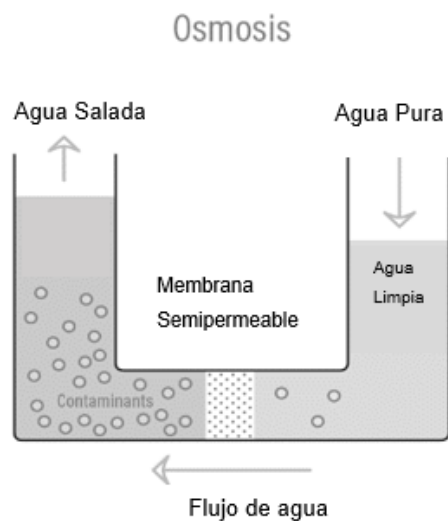
- Solarización o degradación del electrodo (Harley, 2008).
- Incrustaciones por depósitos minerales (hierro, dureza por calcio y magnesio, manganeso, entre otros y de depósitos biológicos que ocurren en la superficie de las lámparas o del protector de cuarzo (Harley, 2008).

La dureza, alcalinidad, temperatura, concentración de hierro y el pH influyen las incrustaciones. Los compuestos que exhiben una disminución en su solubilidad al aumentar las temperaturas como CaCO_3 , CaSO_4 , FeCO_3 , son los principales contribuyentes a la incrustación de la lámpara. Un estudio demostró que con niveles de dureza total menores a 140 mg/L y hierro menor a 0.1 mg/L, limpieza mecánica cada 15 minutos a una hora durante la operación de una lámpara U. V. de flujo continuo ayudan a disminuir el efecto de las incrustaciones (Clarke, 2006).

- Color (Harley, 2008).
- Turbidez (Harley, 2008).
- Transmitancia de la U. V. (Harley, 2008).
- Material orgánico e inorgánico disuelto (Harley, 2008).
- Sólidos Totales Disueltos (TDS): Evitan la penetración de la luz a través del agua. Es una medida de la materia inorgánica y ensuciadore potenciales inorgánicos. Debe de ser menor a 800 mg/L a 1,000 mg/L (Harley, 2008).

7. **Ósmosis.** La ósmosis es un fenómeno natural de la mayoría de procesos importantes en la naturaleza. Es un proceso en el cual una solución salina débil tiende a migrar hacia una solución salina fuerte. Una solución menos concentrada tiene una tendencia natural a migrar hacia una solución con mayor concentración (Puretec Industrial Water, 2016). Después, se alcanza un equilibrio osmótico entre las dos soluciones el cual es limitado por la presión osmótica de la solución con mayor concentración (Degrémont, 1979).

Figura 10. Esquema del proceso de ósmosis.



(Puretec Industrial Water, 2016)

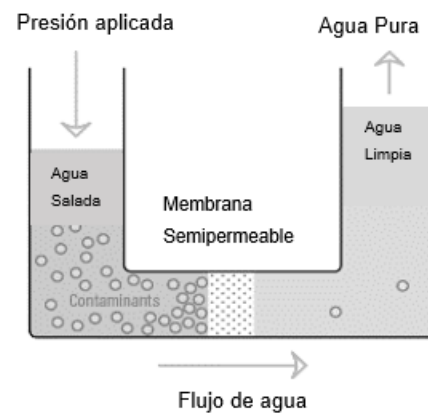
a. **Ósmosis inversa.** Ocurre cuando se le aplica una presión hidrostática en mayor por exceso a la presión osmótica. Esto causa que el flujo de agua pura fluya en sentido opuesto al de la ósmosis natural a través de una membrana semipermeable en donde son retenidas las sales (Degrémont, 1979).

La ósmosis inversa utiliza una membrana semipermeable que permiten el paso del agua mientras se retienen el 90-99% del total de sustancias inorgánicas en la solución, el 95-99% de los constituyentes orgánicos y el 100% de la materia coloidal más finamente dividida, como bacterias, virus, sílica coloidal, entre otros (Degrémont, 1979).

El agua de alimentación en un sistema de ósmosis inversa es presurizada y cierta cantidad de agua, llamada el permeado, pasa a través de la membrana. Los solutos son rechazados y el flujo de alimentación se vuelve más concentrado. El permeado es relativamente libre de solutos disueltos y fluye a presión atmosférica mientras que el agua remanente, llamada concentrado, sale hasta el final del recipiente presurizado casi a la presión de alimentación. Es un proceso continuo de separación (Howe, 2012).

Figura 11. Esquema del proceso de ósmosis inversa.

Ósmosis Inversa

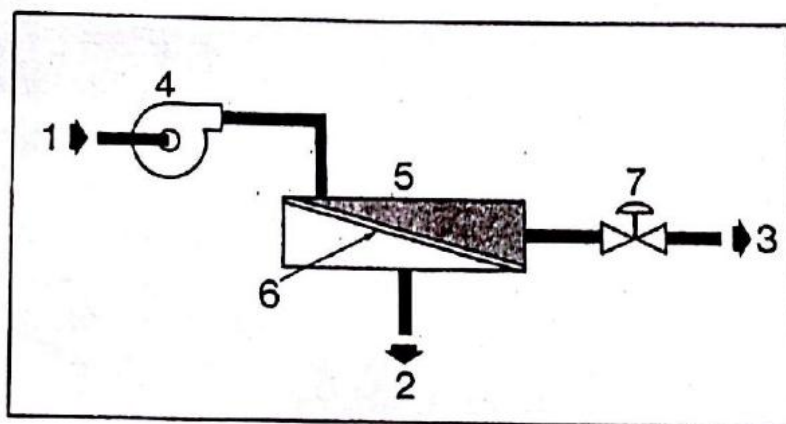


(Puretec Industrial Water, 2016)

b. **Funcionamiento.** Un esquema simplificado del proceso de ósmosis inversa, elaborado por Degrémont, se puede observar a continuación. La numeración correspondiente es la siguiente:

- 1: Agua cruda
- 2: Agua purificada (permeado)
- 3: Concentrado (agua de desecho)
- 4: Bomba de alta presión
- 5: Módulo de ósmosis inversa
- 6: Membrana semipermeable
- 7: Válvula de descarga

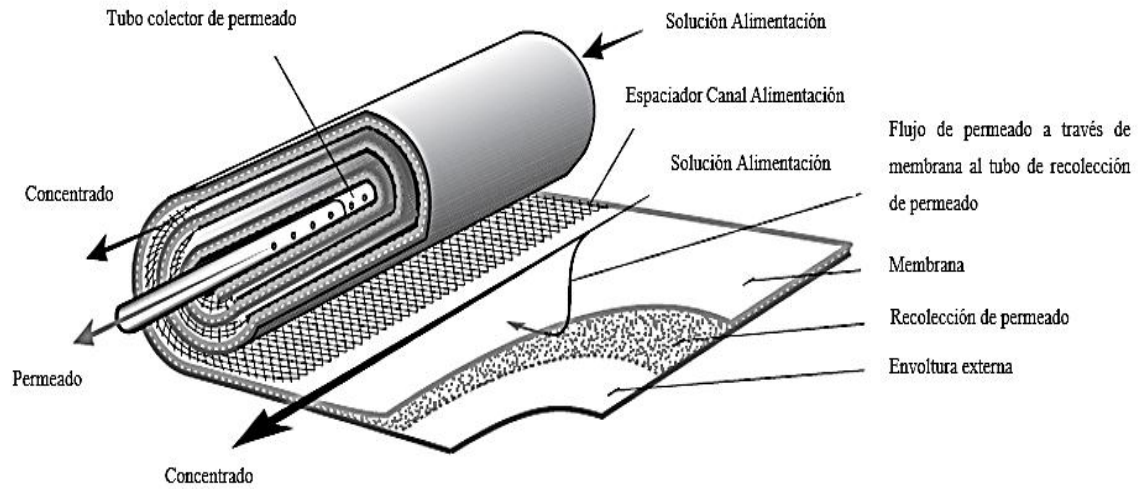
Figura 12. Esquema simplificado del proceso de ósmosis inversa



(Degrémont, 1979).

c. **Membranas de ósmosis inversa.** Una especie de sobre es formado sellando dos hojas de membranas delgadas en tres lados con el lado para el agua de alimentación en la parte externa. Un espaciador de permeado es colocado para evitar que las superficies se toquen y para permitir que exista un espacio para el flujo del permeado. El lado abierto de cierta cantidad de sobres formados, es conectado a un tubo central perforado conocido como el tubo de colección de permeado. Espaciadores de mesh son colocados del lado de la alimentación entre los sobres para permitir un flujo turbulento en el agua de alimentación (Howe, 2012).

Figura 13. Estructura de un elemento de ósmosis inversa.



(Howe, 2012)

En el mercado existen dos tipos de membranas, las de acetato de celulosa, compuestas de una mezcla de mono-, di- y triacetato y las membranas de poliamidas aromáticas. Las membranas son ensambladas en unidades llamadas módulos y la forma más simple de arreglo es conectar una bomba de alta presión junto con un módulo (Degrémont, 1979).

Figura 14. Comparación de características para las membranas de ósmosis inversa.

Tabla 2
Membranas de Acetato Enrollado en espiral
Y Fibra de Poliamida

Aplicado al tratamiento de agua con salinidad ≤ 15 g/L

Membranas		
1. Material	B-9 Poliamida aromática	Acetato de celulosa
2. Configuración	Fibras huecas	Fibras huecas enrolladas en espiral
3. Datos físicos -Presión trabajo normal -Presión contraria de agua tratada -Temperatura máxima de operación -Temperatura máxima almacenaje	28 bar 3.5 bar 35 °C 40 °C	30-42 bar 30 °C 30 °C
4. Características Químicas -pH aceptable -Hidrólisis -Ataque bacteriano -Cloro libre máximo aceptable dosis continua -Otros agentes oxidantes	4-11 No afectado No afectado pH \leq 8: 0.10 mg/L pH $>$ 8: 0.25 mg/L Altamente resistente	4.5-6.5 Altamente Sensible Altamente Sensible 0.5-1 mg/L Moderadamente resistente
5. Vida Útil	3-5 años	2-3 años
6. Paso de Sal (NaCl)	5-10 %	5-10 %

(Degrémont, 1979)

d. **Tratamiento previo.** Para evitar las incrustaciones en las membranas de ósmosis inversa, el agua puede ser suavizada usando resinas de intercambio iónico. Así también, se debe instalar filtros multimedia para reducir el ensuciamiento de las membranas (Puretec Industrial Water, 2016). El ajuste del pH o la adición de químicos para evitar las incrustaciones, ayudan a que las sales no se precipiten adentro de las membranas, dañándolas (Howe, 2012).

X. Levadura

1. **Rendimiento de etanol.** Las levaduras no son capaces de convertir etanol al 100% los azúcares presentes. El primer objetivo de las células es producir células hijas que sobrevivan al medio en el que están, esta actividad utiliza un porcentaje entre el 7-10% de los azúcares. Así también, las levaduras producen otros subproductos como glicerol, ácidos orgánicos, ésteres, aldehídos y alcoholes altos (Ingledeew, 2009).

Posteriormente, los azúcares son metabolizados conteniendo bacteria y levadura salvaje lo cual puede conllevar a pérdidas de hasta 4% si no se realiza una limpieza adecuada. Las otras pérdidas se deben a fermentación estancada, que resulta cuando la fermentación no concluye debido a razones nutricionales o de estrés de levadura (Ingledeew, 2009).

2. **Importancia de los compuestos nitrogenados.** Para la industria de producción de etanol para uso combustible, se ha determinado que todas las mezclas de granos (maíz, trigo u otros), son deficientes en nitrógeno utilizable y esto conlleva a un menor rendimiento en la producción de etanol. Para complementar la disponibilidad de nitrógeno utilizable, se puede agregar urea grado (fertilizante). En el caso de la producción de etanol a partir de trigo, se aumentó de 18% v/v a 21% v/v a diferentes temperaturas, con la adición suplementaria de nitrógeno (Ingledeew, 2009).

3. **Efecto de los ácidos orgánicos.** Los dos principales ácidos orgánicos que son dañinos para el metabolismo de la levadura son el ácido láctico y el ácido acético. Estos compuestos son producto de una fermentación en la presencia de bacteria y/o levadura salvaje y ocurre cuando no existe un control microbiológico. El metabolismo de la glucosa por estos microorganismos varía considerablemente del de las levaduras *Saccharomyces*, con una alta producción de ácido láctico usando bacterias lácticas y menor producción de ácido acético. Sin embargo, el poder inhibitor del ácido acético es mayor. El efecto de estos ácidos se incrementa con el tiempo debido al reciclaje de vinaza y el uso de otros efluentes, llegando aproximadamente a 1.4% m/v de ácido láctico y causando hasta 60% de muerte de levadura en las subsecuentes cuarta y quinta fermentación (Ingledeew, 2009).

Y. Contaminación bacteriana

Las fuentes principales de contaminación son el polvo, aire y agua, principalmente. Los contaminantes encontrados comúnmente en la producción de alcohol son bacterias gram-positivas, como bacterias lácticas, y gram-negativas, como las ácidas. En la industria de producción de etanol, la presencia de contaminantes bacterianos es inevitable. La limpieza y sanitización son mucho menos rigurosas que en las cervecerías y las materias primas usualmente no son estériles. La contaminación prolifera en almacenaje en tanques, líneas de transferencia, intercambiadores de calor, materias primas, levadura seca activada y la recirculación continua de lodos de levaduras usadas como inóculo. La ocurrencia de $1 \cdot 10^7$ lactobacilos por mililitro de la mezcla inicial resultan en aproximadamente una reducción del 1% v/v de producción de etanol (Ingledeew, 2009).

Aunque son más pequeñas en tamaño, cuando los números exceden a los de levadura por uno o dos niveles de magnitud, las bacterias son capaces de competir con levaduras por los nutrientes en el fermentador y convertir la glucosa a ácido láctico o acético. Esto inhibe el crecimiento y metabolismo de la levadura. Las pérdidas en el rendimiento pueden llegar a ser de 1-4% en la industria del etanol combustible. Cuando las infecciones son altas se puede alcanzar hasta un 17% de pérdida en rendimiento (Ingledeew, 2009).

1. **Bacteria productora de ácido acético.** Son bacterias gram-negativas. Existen dos géneros de bacterias que ácido acético, *Acetobacter* y *Gluconobacter*. El género *acetobacter* produce ácido acético, que se oxidan a dióxido de carbono y agua. El género *gluconobacter* solamente produce ácido acético de los azúcares y no degrada el ácido producido. La producción de ácido acético inhibe o ralentiza el crecimiento de la levadura (Ingledeew, 2009).

2. **Bacteria productora de ácido láctico.** Son bacterias gram-positivas y anaerobias aerotolerantes cuyo principal producto es ácido láctico. Estas bacterias pueden crecer en un amplio rango de temperaturas, desde los 2°C hasta casi 60°C. El pH óptimo de crecimiento es de 5.5 a 6.0 aunque su crecimiento se da generalmente a un pH menor a 5.0. Estas bacterias lácticas son capaces de crecer rápidamente y sobrevivir en la presencia de hasta 15% v/v de etanol (Ingledeew, 2009).

La levadura y las bacterias lácticas usualmente son encontradas juntas en sistemas naturales y compiten por los mismos nutrientes. El género *Lactobacillus* es de principal interés para las destilerías y plantas de etanol combustible. Altas concentraciones de estas bacterias, en estudios realizados, demostraron una reducción del crecimiento de las levaduras y una reducción del 17% en el rendimiento de producción de etanol (Ingledeew, 2009).

3. **Control bacteriológico con antibióticos.** Los compuestos antimicrobianos inhiben el crecimiento de microorganismos. Varios de estos compuestos han sido probados para el control bacterial bajo condiciones de laboratorio con variantes en el grado de éxito. Se utilizan antisépticos como el peróxido de hidrógeno o antibióticos como penicilina, tetraciclina, monensina, estreptomina y virginiamicina. Una de las principales preocupaciones en la industria es el surgimiento de adaptación antimicrobiana y de la resistencia de los microorganismos a los antibióticos comúnmente utilizados (Ingledeew, 2009).

Z. Fermentación

Generalmente se relaciona la fermentación con la fermentación alcohólica, sin embargo, el término es mucho más extenso. La fermentación puede definirse como, cualquier descomposición de alimentos producida por microorganismos, cualquier proceso que genere alcoholes, productos lácteos o ácidos. También se define como cualquier proceso metabólico microbiano que descompone moléculas grandes en moléculas más pequeñas, en condiciones aerobias o anaerobias (Tortora, Funke and Case, 2007).

Existen diferentes tipos de fermentación según la sustancia que produzcan. Los principales tipos de fermentación para la melaza son:

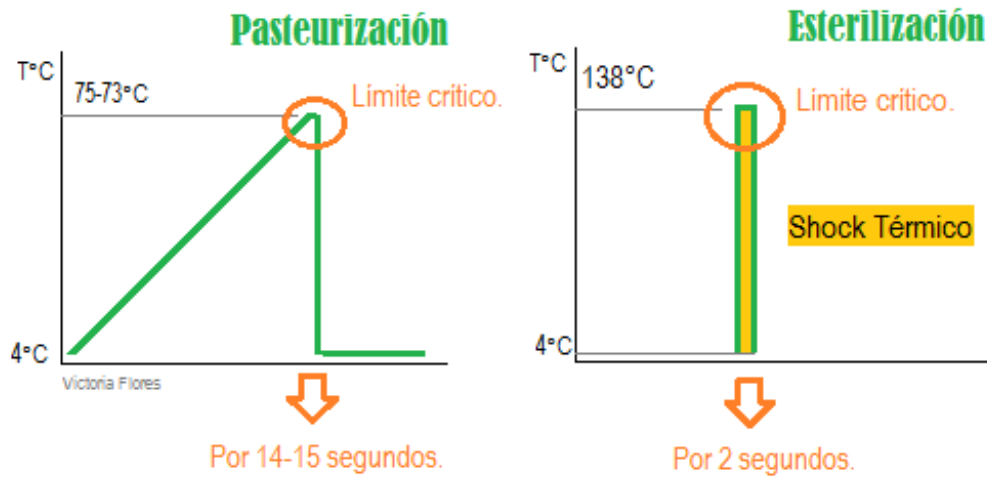
- Láctica: la oxidación de una molécula de glucosa produce dos moléculas de ácido pirúvico, estas moléculas son reducidas por moléculas de NADH (Nicotinamida adenina dinucleótido) para formar ácido láctico. El ácido láctico es el producto final de la fermentación por lo que la mayoría de la energía de reacción permanece en el ácido láctico. Los principales géneros de bacterias productoras de ácido láctico son, *Streptococcus* y *Lactobacillus*, estas bacterias también son conocidas como homolácticos u homofermentadores. Este tipo de fermentación también puede ocurrir durante la descomposición de alimentos (Tortora, Funke, & Case, 2007).
- Alcohólica: al igual que la fermentación láctica, la fermentación alcohólica, produce dos moléculas de ácido pirúvico. En el siguiente paso, estas moléculas son transformadas en moléculas de acetaldehído y CO₂, luego las moléculas de ácido son reducidas por NADH y forman dos moléculas de etanol. La fermentación alcohólica también produce poca energía ya que el etanol retiene la misma. Esta fermentación alcohólica se observa en diferentes microorganismos como, bacterias y levaduras. La levadura *Sacharomyces*, produce etanol y CO₂, productos de desecho en su metabolismo, pero provechosos para el ser humano. El etanol se aprovecha en bebidas alcohólicas o combustibles y el CO₂ para darle cuerpo en la fabricación del pan (Tortora, Funke, & Case, 2007).
- Cítrica: en este tipo de fermentación son utilizados hongos para su realización. Cada molécula de glucosa produce dos moléculas de ácido cítrico. Este es un producto importante en diferentes industrias como la alimenticia (Tortora, Funke, & Case, 2007).
- Acética: es una fermentación que ocurre luego de la fermentación alcohólica, fermenta el etanol, convirtiéndolo a ácido acético. (Tortora, Funke, & Case, 2007)

AA. Tratamiento térmico para eliminar contaminaciones micobianas.

Pasteurización: se define como los procesos térmicos controlados que se aplican a los alimentos que no permiten el crecimiento de microorganismos resistentes al calor, o que posteriormente, serán refrigerados, congelados o deshidratados para prevenir el crecimiento de microorganismos resistentes al calor (Academia del Área de Plantas Piloto de Alimentos, 2004).

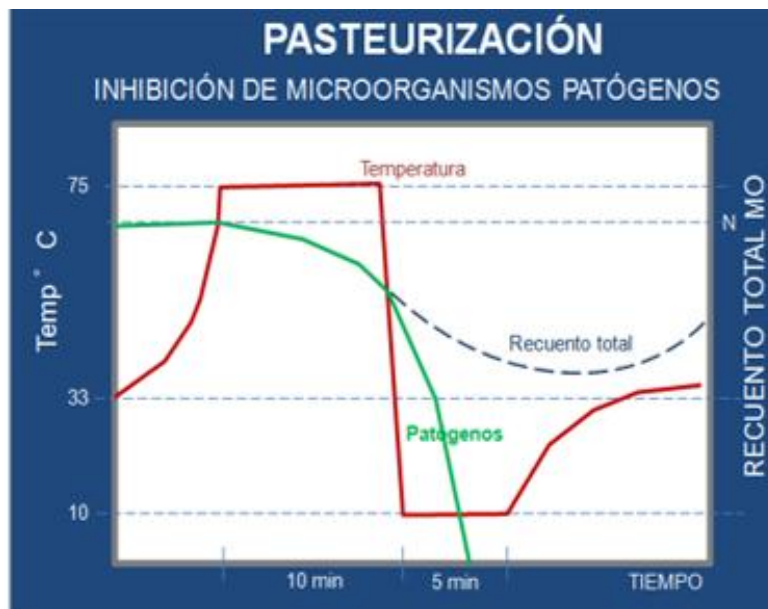
Esterilización: se define como el tratamiento térmico aplicado a alimentos que busca destruir todos los microorganismos no deseados presentes en el mismo (Academia del Área de Plantas Piloto de Alimentos, 2004)

Figura 15. Comparación de temperatura entre pasteurización y esterilización



(Alberú, 2015).

Figura 16. Inhibición de patógenos utilizando pasteurización



(Alberú, 2015).

Figura 17. Inhibición de patógenos utilizando esterilización.



(Alberú, 2015).

1. **Fluidos.** Un fluido se define como la sustancia incapaz de resistir a fuerzas cortantes, deformándose y moviéndose mientras dicha fuerza se encuentre presente. Los fluidos pueden clasificarse como compresibles o incompresibles según el comportamiento de su densidad en cambios de presión. Los fluidos compresibles, son aquellos en los que la densidad cambia al cambiar la presión, mientras que, los incompresibles, mantienen una densidad casi constante ante los cambios de presión (McCabe, y otros, 2007)

2. **Número de Reynolds.** El flujo de un fluido puede ser laminar o turbulento, dependiendo de las condiciones a las que se encuentre. Las condiciones que afectan al flujo son, geometría y aspereza del lugar donde fluye, velocidad de flujo, temperatura y tipo de flujo. Osborn Reynolds descubrió una manera de relacionar las fuerzas de inercia y las fuerzas de viscosidad del flujo, encontrando una manera para determinar el tipo de flujo con un número adimensional. Esta relación se conoce como el número de Reynolds y está dada por la siguiente ecuación (McCabe, y otros, 2007).

$$Re = \frac{\rho * d * v}{\mu}$$

Ecuación 1

Donde Re es el número de Reynolds; ρ la densidad del fluido; d, el diámetro por el cual fluye; v, la velocidad con la que fluye y μ la viscosidad del fluido

3. **Calor.** El calor se puede definir como la energía en transición entre dos cuerpos a diferentes temperaturas, siempre fluye del cuerpo con mayor temperatura al cuerpo con menor. (Smith, Van Ness, & Abbott, 2007). El calor que gana o pierde un cuerpo se describe con la siguiente ecuación.

$$Q = m * C * (T_f - T_o)$$

Ecuación 2

Donde Q, es el calor que el cuerpo gana o pierde, m, la masa de dicho cuerpo, C, el calor específico de dicho cuerpo, T_f , la temperatura que alcanza el cuerpo y T_o , la temperatura a la que se encontraba previo a la transferencia de calor.

4. **Temperatura.** La materia está formada por moléculas en vibración, estas moléculas cuentan con energía cinética. La temperatura de un cuerpo es la medida relacionada a dicha energía. Además, la temperatura, indica el estado de dicho cuerpo ya que una temperatura mayor significa una mayor actividad de moléculas y viceversa (Smith, Van Ness, & Abbott, 2007)

5. **Primera ley de la termodinámica.** La primera ley de la termodinámica o principio de conservación de la energía, establece que la energía en el universo es constante, es decir, durante un proceso no se puede crear o destruir energía, únicamente, transformarla. Esta ley aplica a cualquier sistema y se puede expresar como una igualdad entre el cambio neto en la energía total de un sistema y la diferencia de energía que entra al sistema con la que sale de él (Smith, Van Ness, & Abbott, 2007).

6. **Transferencia de calor.** La energía se puede transferir entre cuerpos por dos mecanismos diferentes, calor o trabajo. Si la temperatura es la causante de la interacción energética es llamado calor, cualquier otro causante ocasionará trabajo. La energía térmica es conocida como calor y a la transferencia o intercambio de la misma, transferencia de calor. El calor transferido se denota como Q, y al flujo de calor \dot{Q} . Existen tres diferentes mecanismos de transferencia de calor; conducción, convección y radiación (Çengel & Ghajar, 2011).

7. **Conducción.** La transferencia de energía entre partículas, con mayor carga energética a partículas con menor carga, en contacto es conocida como conducción: Esta puede darse en los estados, sólido, líquido y gaseoso de la materia y se ve afectada por la conductividad térmica (la capacidad para transferir calor) de cada material. La conducción entre dos materiales puede describirse por la siguiente ecuación. (Çengel & Ghajar, 2011)

$$\dot{Q} = -kA * \frac{\Delta T}{L}$$

Ecuación 3

Donde, k es la conductividad térmica; A , el área de transferencia; ΔT , el cambio de temperatura y L la distancia.

8. **Convección.** Es un método de transferencia de calor entre una superficie sólida y el gas o líquido que contiene, comprende tanto conducción como movimiento de fluidos. A mayor velocidad con la que se mueva el flujo, mayor será la transferencia de calor, se puede describir por la siguiente ecuación (Çengel & Ghajar, 2011).

$$\dot{Q} = hA(T_s - T_f)$$

Ecuación 4

Donde \dot{Q} es el flujo de calor; h , el coeficiente de transferencia de calor con convección; T_s , la temperatura en la fase sólida y T_f , la temperatura en la parte más lejana del fluido.

9. **Radiación.** Es el tipo de transferencia de calor que se da por las emisiones de ondas electromagnéticas de la materia, dando como resultado cambios en las configuraciones electrónicas de átomos o moléculas. A diferencia de los otros dos métodos, la radiación, no necesita un medio que intervenga en la transferencia de calor (Çengel & Ghajar, 2011).

$$\dot{Q} = \varepsilon\sigma AT^4$$

Ecuación 5

10. **Resistencia térmica.** Cada uno de los mecanismos de transferencia de calor ofrece un tipo resistencia a la misma. Esta resistencia depende de la configuración geométrica y de las propiedades termodinámicas del medio. Para la conducción se define como:

$$R_{cond} = \frac{L}{kA}$$

Ecuación 6

Para la convección como

$$R_{Conv} = \frac{1}{hA}$$

Ecuación 7

En sistemas en serie la resistencia se puede calcular como la suma de las resistencias.

$$R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Ecuación 8

En sistemas en paralelo, el inverso de la resistencia total es igual a la suma de los inversos de las resistencias

$$\frac{1}{R_{TOT}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Ecuación 9

El coeficiente global de transferencia, está relacionado con las resistencias y se calcula de la siguiente manera

$$U = \frac{1}{AR_{TOT}}$$

Ecuación 10

(Çengel & Ghajar, 2011)

11. Número de Nusselt. En los cálculos de ingeniería es práctico eliminar variables con el uso de números adimensionales como el número de Nusselt. Este número adimensionas, sirve para relacionar la transferencia de calor por conducción y convección. Se calcula por la siguiente ecuación.

$$Nu = \frac{hL}{K}$$

Ecuación 11

Manteniendo la nomenclatura explicada con anterioridad. (Çengel & Ghajar, 2011)

12. Número de Prandtl. Es un número adimensional que permite relacionar el espesor relativo de las capas límite de velocidad y térmica está definido como

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k}$$

Ecuación 12

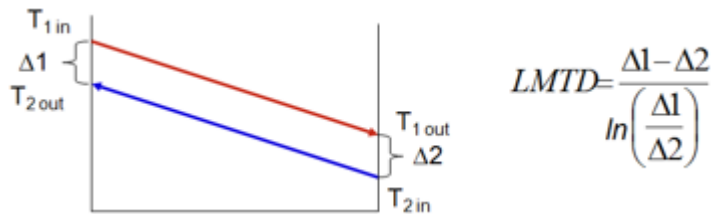
Manteniendo la nomenclatura previamente descrita (Çengel & Ghajar, 2011).

13. Método de diferencia media logarítmica de temperatura. A lo largo de un intercambiador de calor, la temperatura de los flujos varia, por lo que es necesario contar con una temperatura media para poder usar en la siguiente ecuación.

$$\dot{Q} = UA\Delta T_m$$

Ecuación 13

Figura 18. Diferencia media logarítmica de temperatura



(Çengel & Ghajar, 2011).

BB. Tipos de intercambiadores de calor

- Doble tubo: es el tipo más simple de intercambiador de calor, consta de dos tubos concéntricos de diámetros distintos. Uno de los fluidos pasa por el tubo con diámetro menor mientras el otro en el de diámetro mayor. Este intercambiador puede trabajar en diferentes configuraciones (Çengel & Ghajar, 2011).
- Tubos y coraza: estos intercambiadores de calor contienen un gran número de tubos empacados en una coraza, con ejes paralelos. La transferencia de calor ocurre a medida que uno de los fluidos pasa por dentro de los tubos mientras el otro por fuera de ellos (Çengel & Ghajar, 2011).
- Placas: consta de una serie de placas con pasos corrugados para el flujo. Los fluidos fluyen en pasos alternados, de esta manera cada corriente de flujo frío queda rodeada por dos corrientes de flujo caliente, permitiendo así, un intercambio de calor muy eficaz. Cabe mencionar que en este intercambiador no se puede trabajar a presiones altas debido al empaque de las placas (Çengel & Ghajar, 2011)

Figura 19. Intercambiador de placas



(Alfa Laval, 2013)

CC. Dimensionamiento de intercambiadores de calor

En el dimensionamiento de intercambiadores de calor es necesario contar con el requerimiento de transferencia de calor, para esto se utiliza la Ecuación 2, la capacidad calorífica de las soluciones de melaza está determinada por la siguiente ecuación (Sinott, 2005):

$$C = 1 - 0.006B$$

Ecuación 14

(Cheng, García Ferrer, & Alvarez Medina, 1991)

Donde C es la capacidad calorífica en $\text{cal/kg}^\circ\text{C}$ y B °Brix de la solución (Cheng, García Ferrer, & Alvarez Medina, 1991).

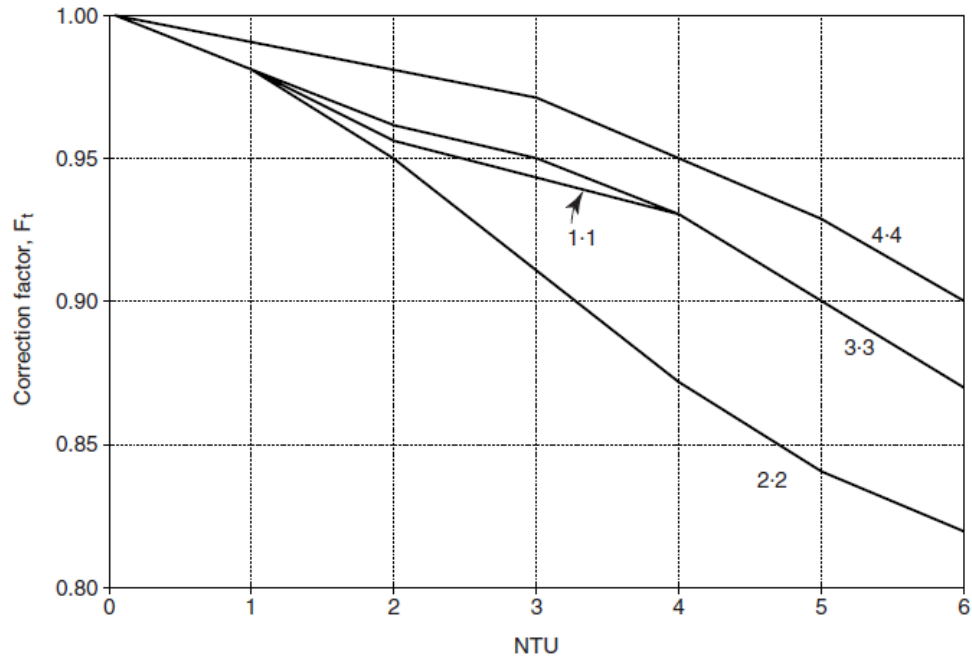
Se calcula la diferencia media logarítmica de temperatura con el método previamente descrito. Esta temperatura requiere una corrección, se utiliza el número de unidades de transferencia (NTU) y se encuentra por la siguiente ecuación.

$$NTU = \frac{(t_f - t_o)}{\Delta T_{LM}}$$

Ecuación 15

Donde NTU es el número de unidades de transferencia, t_f la temperatura del flujo de salida y t_o del flujo de entrada. Conociendo el NTU se realiza una correlación gráfica utilizando la siguiente figura.

Figura 20. Correlación F-NTU



(Sinott, 2005)

Se requiere determinar la cantidad de flujo requerido para llevar a cabo el intercambio de calor, conociendo la demanda requerida de calor se calcula el flujo del fluido a utilizar por la siguiente ecuación

$$\dot{Q} = \dot{m}\Delta H_{vap}$$

Ecuación 16

(Sinott, 2005)

Conociendo estos datos, se debe tomar un valor inicial de coeficiente global de transferencia de masa inicial y calcular un área. Con esta área y las condiciones de cada uno de los flujos se calcula una resistencia nueva para cada uno de ellos con la siguiente ecuación

$$\frac{h_p d_e}{k_f} = 0.26 Re^{0.65} Pr^{0.4} (\mu/\mu_w)^{0.14}$$

Ecuación 17

(Sinott, 2005)

La velocidad del flujo se calcula partiendo del flujo másico utilizando la siguiente ecuación.

$$v = \frac{m}{\rho b W (N_{placas} - 1)/2}$$

Ecuación 18

Donde b es el espacio entre placas, w el ancho de las mimas y N el número de placas. (Sinott, 2005)

El número de Prandtl se calcula utilizando la ecuación 12. Estas nuevas resistencias servirán para encontrar un nuevo coeficiente global de transferencia, el proceso se repite hasta que el mismo no tenga variaciones. Este es el coeficiente global de transferencia real y es utilizado para encontrar el área real utilizando la ecuación 12. Esta área permite encontrar el número de placas que debe tener el intercambiador utilizando la siguiente relación:

$$A_{TOT} = N_{placas} A_{placas}$$

Ecuación 19

(Sinott, 2005)

DD. Caída de presión

La fricción de tuberías, accesorios y equipo ocasionan una pérdida en la presión del flujo. En intercambiador de placas está definida como la suma de la presión perdida en las placas y la pérdida ocasionada por la contracción y expansión en los puertos de los platos y está definida por la siguiente ecuación (Sinott, 2005).

$$\Delta P = 8j_f \left(\frac{L_d}{d_e} \right) \frac{\rho u_p^2}{2}$$

Ecuación 20

Donde ΔP es la caída de presión; j_f , el factor de fricción, L el largo; d , diámetro; ρ densidad el flujo a tratar y por último u , velocidad de flujo (Sinott, 2005). El factor de fricción se relaciona con el número de Reynolds de la siguiente manera

$$j_f = 0.6Re^{-0.3}$$

Ecuación 21

(Sinott, 2005)

La caída de presión ocasionada por la contracción y expansión en los puertos de los platos se calcula por la siguiente ecuación.

$$\Delta P = 1.3 \frac{\rho u^2}{2} N_p$$

Ecuación 22

(Sinott, 2005)

Donde N_p es el número de platos, las demás variables mantienen la nomenclatura descrita con anterioridad.

EE. Producción más limpia

La producción más limpia está definida como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada a los procesos, productos y servicio, con el fin de aumentar la eficiencia global y reducir los riesgos para los seres humanos y el ambiente. La producción más limpia aborda diferentes campos según donde se aplique (Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo industrial, 2016):

- Procesos de producción: abordan el ahorro de materias primas y energía, la eliminación de materias primas tóxicas y la reducción en cantidades y toxicidad de desechos y emisiones (Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo industrial, 2016).
- Desarrollo y diseño de producto: reducción de impactos negativos a lo largo del ciclo de vida del producto. Toma en cuenta desde la extracción de la materia prima hasta la disposición final (Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo industrial, 2016).
- Servicios: incorporan consideraciones ambientales en el diseño y entrega de servicios (Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo industrial, 2016).

La producción más limpia es la aplicación continua de estrategias y metodología preventivas, es decir, efficientizar los procesos de tal manera que no tengan un impacto ambiental, reduciendo o eliminando las emisiones y desechos, evitando costos de tratamiento y el impacto ambiental (Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo industrial, 2016).

Figura 21. Objetivos del Desarrollo Sostenible



(Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo industrial, 2016)

FF. Etanol

La melaza es utilizada en la industria alcoholera para la elaboración de alcohol etílico o bioetanol por fermentación. La fermentación es un proceso metabólico energético que comprende la descomposición de moléculas, tales como carbohidratos, de manera anaerobia. (Molina y Quiñonez, 2012)

La fermentación ha sido utilizada desde tiempos antiguos para la preparación de alimentos y bebidas. Con el pasar de los años el desarrollo químico ha revelado la naturaleza biológica de dicho proceso. El producto de la fermentación es el alcohol etílico, pequeñas cantidades de propanol, butanol, ácido acético y ácido láctico. (Molina y Quiñonez, 2012)

El alcohol etílico está familiarizado con las bebidas alcohólicas. En su forma no natural es utilizado como solvente industrial y materia prima para la manufactura de acetaldehído, acetato etílico, dibromito de etileno, glicol y muchos otros químicos orgánicos. El alcohol puro puede ser utilizado con fines medicinales farmacéuticos e incluso saborizantes. (Molina y Quiñonez, 2012)

GG. Biogás

El biogás se define como el producto de la actividad metanogénica de una bacteria bajo condiciones anaeróbicas en materia biodegradable, comúnmente conocido como biodegradación de materia orgánica (Molina y Quiñonez, 2012).

Tabla 2. Composición promedio del biogás

Sustancia	Símbolo	Porcentaje v/v
Metano	CH ₄	50-70%
Dióxido de Carbono	CO ₂	30-40%
Hidrógeno	H ₂	5-10%
Nitrógeno	N ₂	1-2%
Agua	H ₂ O	0.1-1%
Ácido Sulhídrico	H ₂ S	Trazas

Es un gas que dentro de sus características físicas se puede describir su similitud con el GLP, es incoloro e inodoro. Puede utilizarse como combustible gaseoso, con una eficiencia de combustión promedio del 60%, en estufas de biogás convencionales (Molina y Quiñonez, 2012).

El biogás es comúnmente llamado metano, esto debido a que es el compuesto químico que se presenta en mayor proporción, por tanto, es el metano quien propone la mayoría de características físicas y químicas en dicho gas. Posee una densidad de 0.67 kg/m³, un menor peso en comparación con el aire y posee una temperatura de ignición de 670-750°C (Diesel 350°C; Gasolina y Propano 500°C) su capacidad calorífica es de 20-25MJ/m³ la cual es relativamente baja en comparación del 33-38MJ/m³ del GLP y la temperatura de llama del biogás alcanza unos 870°C.

La duración de la reducción del material biológico depende de los microorganismos especiales y de sus temperaturas adecuadas de crecimiento. La composición del biogás varía de acuerdo a la biomasa utilizada.

1. **Metano y dióxido de carbono.** La composición del biogás se refiere principalmente a la razón $\text{CO}_2\text{-CH}_4$ que puede ser controlada parcialmente tomando en cuenta los siguientes factores:

- Adición de materiales ricos en grasa, ya que estos mejoran la calidad del biogás, tomando en cuenta que al agregar una cantidad superior a la de mayor eficiencia, el biodigestor puede acidificarse. (Deublin, 2008)
- La descomposición de la biomasa se mejora con tiempos de exposición mayores. (Deublin, 2008)
- El proceso de fermentación es más rápido si el material en el biorreactor está homogéneamente bien activado, haciendo que el tiempo de exposición sea más corto. (Deublin, 2008)

HH. Digestión anaeróbica

Digestión anaeróbica hace referencia a la ruptura y descomposición de la mayoría de tipos de materia orgánica, por acción de microorganismos, que son principalmente bacterias, en ausencia de oxígeno y agentes oxidantes fuertes. (Molina y Quiñonez, 2012)

La generación de biogás constituye un proceso vital dentro del ciclo de la materia orgánica en la naturaleza. Las bacterias metanogénicas constituyen el último eslabón de la cadena de microorganismos encargados de digerir la materia orgánica y devolver al medio los elementos básicos para reiniciar el ciclo. Se estima que anualmente la actividad microbiológica libera a la atmósfera entre 500 y 900 millones de toneladas de metano. (Molina y Quiñonez, 2012)

La fermentación anaeróbica involucra a un complejo número de microorganismos de distinto tipo que pueden ser divididos en tres grandes grupos principales. La real producción de metano es la última parte del proceso y no ocurre si no han actuado los primeros dos grupos de microorganismos. (Campos, 2012)

La digestión anaerobia está caracterizada por cuatro fases diferenciadas en el proceso de degradación de sustratos. Dichas fases son las siguientes:

- Etapa hidrolítica: los compuestos complejos, como las proteínas son despolimerizados debido a la acción de enzimas hidrolíticas. Estos son convertidos en moléculas solubles y fácilmente degradables por otras bacterias. (Campos, 2012)
- Etapa acidogénica; Los compuestos solubles obtenidos en la etapa anterior se transforman en ácidos grasos volátiles como el ácido acético, ácido propiónico, ácido butírico y ácido valérico. Durante esta fase, el pH baja a valores menores a 5. (Campos, 2012)

- Etapa acetogénica: Las bacterias acetogénicas transforman los compuestos intermediarios en productos como ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono. (Campos, 2012)
- Etapa metanogénica: es la etapa final del proceso, en el que los compuestos como el ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono son transformados en metano y dióxido de carbono. (Campos, 2012)

En las fases de hidrólisis y acidogénesis los microorganismos que están involucrados son facultativos, mientras que en la acetogénesis los organismos son estrictos con una tasa de crecimiento cinco veces menor que la de la acidogénesis. Si las bacterias metanogénicas llegarán a tener problemas para reproducirse o consumir ácidos, lo que provocaría la acumulación de los últimos mencionados, afectando las condiciones metanogénicas. (Campos, 2012)

Los metanógenos son organismos claves en el biodigestor. Su desarrollo es lento y son sensibles a las condiciones del medio. Existen dos grandes clases de bacterias metanogénicas que difieren entre sí en las temperaturas de desarrollo. Las bacterias mesofílicas tienen una temperatura óptima de desarrollo entre 33-45°C y las termófilas entre 45-65°C. (Hilbert, 2008)

Se debe tener control sobre las condiciones a las que se operan los biodigestores para cumplir con los requerimientos específicos de los microorganismos para vivir. Una de las variables más importantes que debe ser controlada es la temperatura. Los microorganismos anaerobios pueden desarrollarse en un amplio rango de temperaturas que oscilan entre los -5°C y los 80°C. (Fernández, 2008)

El proceso de biodigestión controlada es comúnmente utilizado por complejos industriales de caña de azúcar, debido a que el fertirriego con vinaza posee un alto potencial de emisiones de gases de efecto invernadero. Cabe mencionar que las lagunas de almacenamiento y canales de distribución emiten metano, como consecuencia de la descomposición anaerobia de la materia orgánica presente en la vinaza. El metano cuenta con un efecto invernadero aproximadamente 21 veces superior al dióxido de carbono, por lo que estas emisiones influyen en el balance de emisiones del bioetanol.

Una de las posibles soluciones a la emisión de metano es la biodigestión, ya que no solo reduce de una manera significativa la carga orgánica del efluente, sino que también mejora sus propiedades fertilizantes, donde se posibilita la captura y uso de biogás con fines energéticos en el mismo complejo industrial (García y Rojas, 2015).

Es difícil de medir la eficiencia de la producción de metano en la biodigestión de la vinaza, esto debido a la gran cantidad de variables que existen relacionadas a la composición de la misma, adicionalmente se contemplan temperaturas del proceso, tipo de biodigestor, entre otros (García and Rojas, 2015).

Un rendimiento promedio en la producción de metano radica entre 4 y 14 metros cúbicos del gas por cada metro cúbico de vinaza, esto a una temperatura de 25^o C y una presión de 1atm. La proporción volumétrica en cuanto al metano se refiere, oscila entre 50-60% de biogás producido. (Joseph i Gual, 1999)

La vinaza es un efluente obtenido de la primera columna de destilación del proceso de producción de bioetanol. La biodegradación anaeróbica de la vinaza en las destilerías de alcohol, tiende a emitir metano a la atmósfera, por lo que utilizar dicho efluente en el proceso de biogás, permitiría no solo valorizar el residuo sino disminuir el calentamiento global. (Joseph i Gual, 1999)

El proceso de producción de biogás a partir de vinazas, se cuenta con las siguientes etapas (Lorenzo-Acosta *et al.*, 2015):

- Área de recepción de vinaza: Evaluación de temperatura y carga orgánica presente en la vinaza. Debido a las altas temperaturas de salida, es posible aprovechar las mismas por medio de un intercambiador de calor.
- Adecuación de medio de fermentación: Enfriamiento, adición de nutrientes, ajuste de pH. Se controla la temperatura y pH de la vinaza a tal punto que sea el adecuado para el crecimiento de biomasa.
- Pre-acidificación y digestión anaerobia: Se realiza una sedimentación de sólidos, así como también remoción de partículas suspendidas que puedan impedir la generación de biomasa.
- Disposición final del residual tratado: el efluente líquido obtenido a partir de la vinaza es recogido por canales para ser utilizado posteriormente en fertirriego.
- Adecuación y almacenamiento de biogás: Se dispone del gas obtenido por el proceso a partir de vinaza, donde es posible remover el azufre presente en el mismo mediante un proceso de desulfuración, para luego ser almacenado y posteriormente utilizado en calderas.

La utilización de biogás, contempla una alternativa para evitar el consumo de combustibles fósiles, y así disminuir el impacto ambiental de los mismos.

Los residuos de la fermentación (efluentes), poseen un alto grado de concentración de nutrientes y material orgánico, estos son utilizados como un fertilizante o componente de los mismos.

Cuando la temperatura en un digestor aumenta también lo hace la actividad metabólica de las bacterias, haciendo que el tiempo de retención de menor. Se deben tomar precauciones con el tiempo de retención, ya que de ser muy corto las bacterias pueden salir del biodigestor a un ritmo acelerado, originando un tratamiento deficiente del sustrato.

II. Proceso de producción de metano

El proceso de producción de metano consta de tres etapas: Hidrólisis, etapa en la cual los polisacáridos (como celulosa, almidón, etc), los lípidos (grasas) y las proteínas, son reducidas a moléculas más simples; acidogénesis, etapa en que los productos formados anteriormente son transformados principalmente en ácido acético, hidrógeno y CO₂; Metanogénesis, los productos resultantes de esta etapa son metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), principalmente. El metano es el producto esperado en mayor porcentaje. (Campos, 2012)

Tomando en cuenta que las bacterias son parte fundamental del proceso, se deben mantener condiciones que permitan el aseguramiento y optimización de su ciclo biológico. Los principales parámetros de producción de biogás son: (CEDECAP, 2007)

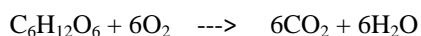
- Temperatura
- pH
- Tiempo de retención
- Relación carbono/nitrógeno
- Porcentaje de sólidos
- Agitación.

JJ. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) es una medida aproximada de la cantidad de materia orgánica contenida en una muestra líquida. La materia orgánica en condiciones naturales puede ser biodegradada a dióxido de carbono y agua a través de un proceso muy lento que puede tardar varios días. (Grisales, 2012)

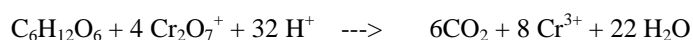
El proceso de degradación realizado por los microorganismos, es acelerado en las pruebas de DQO mediante procesos de oxidación forzada en los cuales se utilizan oxidantes químicos y métodos estandarizados. (Grisales, 2012).

La degradación biológica de un carbohidrato en condiciones aeróbicas puede expresarse como:



Ecuación 23

Esto puede compararse con la degradación química de la misma sustancia pero acelerando el proceso con dicromato de potasio: (Grisales, 2012)



Ecuación 24

La DQO determinada se expresa como oxígeno equivalente al necesario para degradar la materia orgánica por litro (mg/L) (Grisales, 2012)

Puede emplearse una mezcla de ácido sulfúrico y dicromato de potasio, con iones plata como catalizador. El tiempo de digestión es de dos horas a una temperatura de 150°C, donde el cromo VI pasa de estado de oxidación a cromo III, oxidando la materia orgánica. (Grisales, 2012)

KK. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una prueba utilizada en la determinación de los requerimientos de oxígeno para degradación bioquímica de materia orgánica en las aguas municipales, industriales y residuales en general. La aplicación de la misma permite el cálculo de los efectos de las descargas de efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de cuerpos receptores. Los datos de DBO son utilizados para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. (Santambrosio, 2007)

La prueba de la DBO es un procedimiento experimental, el cual mide el oxígeno requerido por los organismos en sus procesos metabólicos al consumir la materia orgánica presente en aguas residuales o naturales. Las condiciones estándar del ensayo incluyen incubación en la oscuridad a 20°C por un tiempo determinado, generalmente cinco días. Las condiciones naturales de temperatura, población biológica, movimiento del agua, luz solar y la concentración de oxígeno no pueden ser reproducidas en el laboratorio. Los resultados obtenidos deben tomar en cuenta los factores anteriores para su interpretación. (Santambrosio, 2007)

LL. Norma COGUANOR NTG 29001 y Acuerdo Gubernativo No. 236-2006

La norma COGUANOR NTG 29001 establece los valores de las características que definen la calidad del agua apta para consumo humano. Se aplica a toda agua para consumo humano, preparación de alimentos y uso doméstico. Proveniente de fuentes como: pozos, nacimientos, ríos, entre otras y que puede estar ubicada en una red de distribución, en reservorios o depósitos. Se excluyen el agua purificada envasada y el agua carbonatada, las cuales son cubiertas por normas específicas.

El acuerdo gubernativo No. 236-2006 es conocido como el reglamento de aguas residuales y de la disposición de lodos en Guatemala. Su objetivo es establecer criterios y requisitos que se deben cumplir al pie de la letra, todo con el fin de proteger a los receptores de aguas residuales

El uso de estas normas hace que no sea viable bajo ninguna circunstancia el descarte de vinaza en cuerpos de agua.

MM. Vinaza

La vinaza es el efluente proveniente del proceso de destilación de bioetanol, siendo este generado en grandes cantidades, en una relación aproximada de 10-15 L de vinaza/L de etanol producido.

La caña de azúcar, al ser una gramínea, cuenta con un mecanismo fisiológico C4, que permite que la utilización de luz y agua sea realmente eficiente en comparación a otras especies. La utilización de luz y agua es indispensable en la asimilación del CO₂, en cuanto a la producción de azúcares. En dicho proceso la caña absorbe considerables cantidades de potasio, lo que se traduce en el elemento más abundante en la composición de la vinaza. (Molina y Quiñonez, 2012)

Debido a que provienen de la caña de azúcar, la vinaza cuenta con una composición prevaleciente de materiales orgánicos y nutrientes minerales, donde predominan constituyentes vegetales tales como aminoácidos, proteínas, lípidos, enzimas, ácidos diversos, ácidos nucleicos, clorofila, lignina, quinonas, azúcares, ceras. Estos componentes son descompuestos por procesos microbiológicos de la naturaleza. (Molina y Quiñonez, 2012)

No se puede hacer mención a que la composición de la vinaza permanece estable en cada lote producido de alcohol en una destilería, debido a que las características de la materia prima utilizada en la destilación presentan variaciones lote a lote. Las variaciones se pueden presentar debido a diferentes características del suelo de siembra de la caña, maduración y cuidados de la misma, tipo y eficiencia de fermentación, destilación y variedades de caña. Cabe recalcar que la vinaza, proveniente del proceso de destilación de melaza fermentada, cuenta con los componentes del vino arrastrado por el vapor de agua, así como también azúcar residual y algunos componentes volátiles no eliminados en la destilación (García and Rojas, 2015).

Los componentes mayoritarios presentes en la vinaza del proceso de destilación son los siguientes (García and Rojas, 2015):

- Sustancias orgánicas de alta volatilidad.
- Compuestos orgánicos insolubles
- Células muertas de levadura provenientes del proceso de fermentación.
- Sustancias orgánicas, obtenidas como resultados de proceso de fermentación.
- Microorganismos contaminantes.
- Sustancias inorgánicas solubles, con predominancia de iones de potasio, calcio y sulfuros.
- Alcohol residual
- Azúcares que no fueron removidas durante el proceso.

La vinaza se presenta como el residuo mayoritario de la producción de bioetanol, esta cuenta con una coloración parda y un mal olor, el cual se intensifica con el pasar de los días debido a la putrefacción. La vinaza es extraída del proceso de destilación a una temperatura cercana a los 100°C, donde su pH se localiza usualmente entre 3.7 y 5. Cabe resaltar que la vinaza cuenta con propiedades tales que la hacen un fluido altamente corrosivo. (Molina y Quiñonez, 2012)

Debido a la presencia de potasio y compuestos con nitrógeno y fósforo, puede ser una fuente de gases de efecto invernadero, así como también contaminador de aguas superficiales y subterráneas. En su contenido es común encontrar antibióticos que proceden de los procesos de fermentación previa a la destilación (García and Rojas, 2015).

Durante el proceso industrial de la caña, se origina gran cantidad de residuos o subproductos, técnica y económicamente factibles para emplearse para el fertirriego, producción de energía alternativa, alimento balanceado animal. Durante la transformación de las melazas en alcohol, la vinaza obtenida es un desecho altamente contaminante por su alta carga orgánica y contenido de potasio. (Molina y Quiñonez, 2012)

Debido a su elevado contenido de materia orgánica, la vinaza se constituye en un material altamente contaminante, si se dispone directamente a un cuerpo de agua, ya que sus valores de DQO y DBO, para un contenido aproximado de 10% de sólidos, rondan los 130,000 mg/L y 80,000mg/L respectivamente, lo cual hace necesario su tratamiento antes de ser eliminado. (Molina y Quiñonez, 2012)

La vinaza es uno de los contaminantes más problemáticos en un cauce de agua por las siguientes razones (Molina y Quiñonez, 2012):

- Alto DBO, por lo que requiere alta cantidad de oxígeno para su oxidación.
- Volumen elevado de producción en una planta de destilación de alcohol (10-15 litros de vinaza por litro de alcohol producido)
- Alta acidez y corrosividad
- Alto riesgo para la vida y reproducción de fauna y flora acuática.
- Su almacenamiento en grandes reservorios emite gases de efecto invernadero.

1. **Alternativas de uso de vinaza.** La vinaza es un residuo de la fermentación y destilación de alcohol, cuya composición varía ampliamente con el proceso de destilación empleado, la materia prima (melaza), sistema de preparación del medio, conducción de la fermentación y el tipo de levaduras empleadas en el proceso, etc. El tema vinculado con el tratamiento, reducción de la carga orgánica y posible uso de vinaza es de gran interés ambiental y económico, especialmente si se trata de la valorización de un residuo.

Las opciones de manejo técnico de la vinaza pueden resumirse en las siguientes acciones (Molina y Quiñonez, 2012):

- Aplicación al suelo como fertilizante
- Concentración por evaporación
- Fermentación anaerobia para la producción de metano
- Bioconversión para la producción de biomasa
- Incineración de vinaza concentrada

2. **Aprovechamiento de la vinaza.** El empleo de las vinazas ocurre básicamente en los ingenios y destilerías. Los efluentes líquidos presentan diversas alternativas de aprovechamiento como:

- Producción de biogás y biosólidos
- Recirculación de un porcentaje de vinaza a la fermentación
- Incineración
- Fertilizante orgánico (compostaje y fertirrigación)
- Obtención de proteína celular
- Suplemento alimenticio
- Aditivo para cemento
- Agente plastificante
- Fabricación de ladrillos
- Materia prima para obtener Sulfatos de cloruro y potasio

(Irisarri 2006)

3. **Vinaza para compost.** La vinaza es producida como resultado de la fermentación de melazas durante la producción de alcohol. Este material posee altos valores de DQO (Demanda Química de Oxígeno) y DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), un bajo valor de pH, taninos y otras sustancias que podrían provocar disminución en el oxígeno disuelto en el medio, favoreciendo la proliferación de organismos patógenos y la muerte de animales benignos para el ecosistema. (García, 2006)

Figura 22. Características contaminantes de la vinaza

Características	Unidades	Concentración	
		V10	V60*
DQO	mg/l	116 000	590 000
DBO	mg/l	41 200	240 000
PH	—	4.5	4.5
SST	mg/l	8 990	53 900
SSV	mg/l	7 100	—
Sulfatos (como SO ₄)	mg/l	5 626	33 750
Fósforo (como P)	mg/l	97	580

(García, 2006)

La alternativa propuesta de los residuos de las destilerías, es la obtención de compost a partir de sustratos ricos en materia orgánica y que sean susceptibles de transformación. Un sistema como este puede ser implementado con el objetivo de reducir los costos de producción y mejorar así la sostenibilidad agrícola y la rentabilidad del cultivo. Las vinazas contienen cantidades apreciables de nitrógeno que pueden suponer un beneficio para el agricultor. Sin embargo, hay que tener en cuenta este aporte de nitrógeno en el plan de abonado del cultivo para evitar el exceso de nitrógeno en el suelo, ya que este exceso puede disminuir la producción y/o la calidad en cultivos. (García, 2006)

NN. Compost

El compostaje es un proceso biológico, que ocurre en condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno). Con la adecuada humedad y temperatura, se asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y asimilable por las plantas. Es posible interpretar el compostaje como el sumatorio de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos, que en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, que es llamado compost. Al descomponer el C, el N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Según la temperatura generada durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable. (Golueke, 1975)

1. **Fases del compostaje.** Las diferentes fases del compostaje se dividen según la temperatura, en:

Fase mesófila. El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días). (Golueke, 1975)

Fase termófila o de higienización. Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores. Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. Igualmente, como se verá en el capítulo 3.4, esta fase es importante pues las temperaturas por encima de los 55°C eliminan los quistes y huevos de helminto. (Golueke, 1975)

Fase de enfriamiento o mesófila II. Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar de 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración. (Golueke, 1975)

Fase de maduración. Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos. (Golueke, 1975)

2. Métodos de compostaje:

Compostaje en pila: El método de compostaje en pila no requiere materiales, solamente se amontonan los residuos orgánicos en una pila. (Insam, 2012)

Compostaje en contenedores: Un contenedor para compostaje puede ser cualquier cosa que contenga los residuos del jardín mientras se descomponen. Aparte de la construcción del recipiente, se deben colocar los residuos orgánicos en el contenedor. Este proceso requiere relativamente mucho tiempo (entre 6 meses y dos años) porque como no se revuelve, no se está añadiendo aire a la composta. Se puede acelerar el proceso si se recorta o se tritura los residuos orgánicos antes de ponerlos en la composta. (Insam, 2012)

Compostaje revuelto: El compostaje revuelto se hace en tres unidades que contienen composta lado a lado. Mientras la composta en una unidad está madurando, se deben añadir residuos a la unidad vacía al lado. En el compostaje revuelto los residuos se revuelven o mezclan aproximadamente cada semana. Esto acelera la descomposición al aumentar la cantidad de aire disponible para los animales y microorganismos del suelo. (Insam, 2012)

Compostaje en contenedor comercial o manufacturado: Hay contenedores para compostaje disponibles a la venta. Estos pueden ser estáticos o giratorios. Las unidades estáticas generalmente se colocan directamente en el suelo para que los gusanos y otros organismos puedan subir del suelo para asistir en el proceso del compostaje. Para usar una unidad estática, se debe añadir residuos de comida (materia húmeda) continuamente y cubrirlos con material seco (hojas o grama seca). Después de 6 meses o un año se recoge la composta del fondo de la pila y, se comienza el proceso de nuevo. (Insam, 2012)

OO. Requerimientos de suelo

El suelo es el medio para el crecimiento de la planta. Proporciona nutrientes, agua y anclaje a las plantas en crecimiento. La mantención de condiciones físicas, químicas y biológicas adecuadas en el suelo, es necesaria para lograr mayor crecimiento, rendimiento y calidad de la caña de azúcar. La caña de azúcar no exige ningún tipo específico de suelo y puede ser cultivada exitosamente en diversos tipos de suelo, desde los arenosos a los franco-arcillosos y arcillosos (Netafim, 2016).

Las condiciones ideales de suelo para el cultivo de la caña de azúcar son: suelo bien drenado, profundo, franco, con una densidad aparente de 1.1 a 1.2 g/cm³ (1.3 - 1.4 g/cm³ en suelos arenosos), con un adecuado equilibrio entre los poros de distintos tamaños, con porosidad total superior al 50%; una capa freática bajo los 1.5 a 2 m desde la superficie y una capacidad de retención de la humedad disponible del 15% o superior (15 cm por metro de profundidad del suelo) (Netafim, 2016).

El pH óptimo del suelo es cercano a 6.5, pero la caña de azúcar puede tolerar un rango considerable de acidez y alcalinidad del suelo. Por esta razón se cultiva caña de azúcar en suelos con pH entre 5.0 y 8.5. El encalado es necesario cuando el pH es inferior a 5.0, y la aplicación de yeso es necesaria cuando el pH

sobrepasa 9.5. Las infestaciones por nematodos ocurren naturalmente en suelos muy arenosos (Netafim, 2016).

El análisis del suelo antes de la plantación es recomendable para determinar la cantidad óptima de aplicación de macro y micronutrientes. Las restricciones químicas en los suelos, tales como la acidez y una baja fertilidad, son relativamente fáciles de corregir o controlar (Netafim, 2016).

Los suelos salinos y sódicos son muy comunes en las áreas de cultivo de la caña de azúcar en todo el mundo. Un suelo con conductividad eléctrica (CEe) bajo 2 dS/M no afecta considerablemente al crecimiento de la planta. La caña de azúcar es moderadamente sensible a la salinidad del suelo. La reducción del rendimiento del cultivo varía según el nivel de salinidad del suelo. La reducción del rendimiento del cultivo es de 0% con una CEe de 1.7 dS/m; 10% con CEe de 3.3 dS/m; 25% con CEe de 6.0; 50% con CEe de 10.4 y 100% con CEe de 18.6 dS/m. La salinidad del suelo también afecta adversamente al contenido de humedad de las vainas y al contenido de nitrógeno (Netafim, 2016).

PP. Nutrientes del suelo

Los macronutrientes son asimilados por las plantas en cantidades mayores que los micronutrientes. Los macronutrientes primarios son indispensables para el proceso de transferencia de energía y, además, se constituyen en los componentes esenciales de la vida vegetal, como proteínas, ácidos nucleicos y clorofila. (Fernández, 2016)

Macronutrientes: Elementos primarios (N, P y K) y secundarios (Ca, Mg y S): Los macronutrientes son los elementos necesarios en cantidades relativamente abundantes para asegurar el crecimiento y la supervivencia de las plantas. La presencia de una cantidad suficiente de elementos nutritivos en el suelo no garantiza por sí misma la correcta nutrición de las plantas, pues estos elementos han de encontrarse en formas moleculares que permitan su asimilabilidad por la vegetación. En síntesis, se puede decir que una cantidad suficiente y una adecuada disponibilidad son fundamentales para el correcto desarrollo de la vegetación. (Fernández, 2016)

1. **Elementos primarios.** En la mayoría de los cultivos, las necesidades de las plantas son superiores a las reservas existentes en forma asimilable de los elementos en el suelo, por lo que es necesario realizar aportes de los mismos mediante el uso de abono y sustancias fertilizantes. Se considera que los elementos primarios son N, P y K. (Fernández, 2016)

- **Nitrógeno:** Los procesos de combinación del N con otro elemento reciben el nombre de fijación del nitrógeno y se realizan, en la naturaleza, gracias a la acción de ciertos microorganismos y a las descargas eléctricas que tienen lugar en la atmósfera. Sin embargo, la cantidad de N fijado suele ser pequeña en comparación con la que las plantas podrían utilizar. Cerca del 99% del N combinado en el

suelo, se halla contenido en la materia orgánica. El N orgánico, incluido en moléculas grandes y complejas, sería inaccesible a los vegetales superiores si no fuera, previamente, liberado por los microorganismos. La actividad microbiana descompone, gradualmente, los materiales orgánicos complejos en iones inorgánicos simples, que pueden ser utilizados por las plantas. (Fernández, 2016)

- Fósforo: La cantidad de P total del suelo, expresada como P_2O_5 , en raras ocasiones sobrepasa el 0,50% y puede clasificarse, como inorgánico y orgánico. El P inorgánico es suministrado por la meteorización de minerales como el apatito $Ca_5(PO_4)_3F$ y en menor proporción puede formar parte de la cadena de silicatos donde sustituye al silicio, o encontrarse en minerales neoformados. El P orgánico es de gran importancia para la fertilidad del suelo debido a que determinados compuestos orgánicos son una fuente indirecta de formas solubles. (Fernández, 2016)

- Potasio: El K es el elemento mineral que se encuentra en mayor proporción en las plantas. El K se halla en la mayoría de los suelos en cantidades relativamente grandes. En general, su contenido como K_2O oscila entre 0,20-3,30% y depende de la textura. En suelos sódicos, varía entre 2,50-6,70%. La fracción arcillosa es la que presenta un mayor contenido de K, por lo que los suelos arcillosos y limo-arcillosos son más ricos que los limo-arenosos y arenosos, teniendo en cuenta también que la variación en el contenido de K está influenciada por la intensidad de las pérdidas debidas a la extracción por los cultivos, lixiviación y erosión. (Fernández, 2016)

2. Elementos secundarios. Las cantidades de estos elementos presentes en el suelo suelen cubrir las necesidades de los cultivos, por lo que, en general, no es preciso realizar aportes de ningún tipo al suelo. Este grupo de elementos comprende Ca, Mg y S. (Fernández, 2016)

- Calcio: En los suelos considerados no calizos oscila entre el 0,10 y 0,20%, mientras que en los calizos puede alcanzar hasta un 25%. De forma general, se puede decir que el Ca proviene de la meteorización de los minerales. Estos materiales son tan comunes que la mayoría de los suelos contienen suficiente Ca para cubrir gran parte de las necesidades de la planta. (Fernández, 2016)

- Magnesio: El Mg es un elemento químicamente muy activo pero que no aparece por sí solo como elemento libre en la naturaleza sino que se encuentra distribuido en forma mineral. Según diversas estimaciones su contenido medio en la corteza terrestre puede situarse en torno a un 2,30% mientras que en el suelo se aproxima a un 0,50% (Fernández, 2016).

- Micronutrientes: Reciben el nombre de micronutrientes, aquellos elementos indispensables para que las plantas puedan completar su ciclo vital, aunque las cantidades necesarias de ellos sean muy pequeñas. Aquellos elementos cuya concentración total en el suelo es normalmente inferior a 1000 mg/kg son llamados elementos traza. Dentro de este grupo podemos incluir a los micronutrientes (Cu, Mn y Zn), imprescindibles para las plantas y para los animales en baja concentración, pero que pueden volverse

tóxicos al alcanzar determinados niveles. La excepción entre ellos está en el Fe, que es un micronutriente pero no estrictamente un elemento traza. (Fernández, 2016)

- Hierro: A pesar de su abundancia en suelos y rocas, es uno de los micronutrientes más deficiente. Es el microelemento más abundante en los suelos, ya sea como constituyente mineral o bien bajo la forma de óxidos e hidróxidos. No obstante, en suelos con horizontes enriquecidos en materia orgánica, el Fe aparece principalmente en forma de quelatos. Su contenido en los suelos templados suele variar entre el 1 y 5%. En casos aislados, pueden hallarse valores cercanos al 10%. En el suelo, el contenido de Fe fluctúa en el rango de 0,20 al 5%, en un orden de magnitud similar al de la roca subyacente. (Fernández, 2016)

- Cobre: El Cu es uno de los elementos esenciales más importantes tanto para las plantas como para los animales; sin embargo, cantidades excesivas de éste pueden producir efectos tóxicos. Entre los diferentes tipos de rocas ígneas, el Cu prevalece en los basaltos. En las rocas sedimentarias es más abundante en los esquistos. En general, su abundancia en las rocas basálticas es más alta que en las graníticas, y muy baja en las rocas carbonatadas. (Fernández, 2016)

- Manganeso: Es un microelemento similar al Fe, tanto en su química como en su geología y muy abundante en la litosfera. En las rocas, el contenido de Mn varía entre 350 y 2000 mg/kg. El contenido en el suelo muestra variaciones considerables, pero normalmente fluctúa entre 20 y 800 mg/kg. No obstante, y al igual que en el caso del Fe, estos contenidos totales no pueden considerarse como una indicación de su disponibilidad para las plantas ya que existen muchos factores que afectan a su absorción. (Fernández, 2016)

- Zinc: El Zn es un elemento ampliamente distribuido que se halla en cantidades pequeñas, pero suficientes, en la mayoría de los suelos y plantas. La cantidad de Zn que se puede encontrar en un suelo depende directamente de la naturaleza de la roca madre. Se cree que este hecho se debe por una parte a que los residuos de las plantas, al quedar depositados en la superficie del suelo, proporcionan tras su descomposición, cierta cantidad del elemento; por otra, el Zn no presenta una emigración descendente en el perfil, como ocurre con otros elementos, ya que tiende a quedar adsorbido por las arcillas y la materia orgánica. (Fernández, 2016)

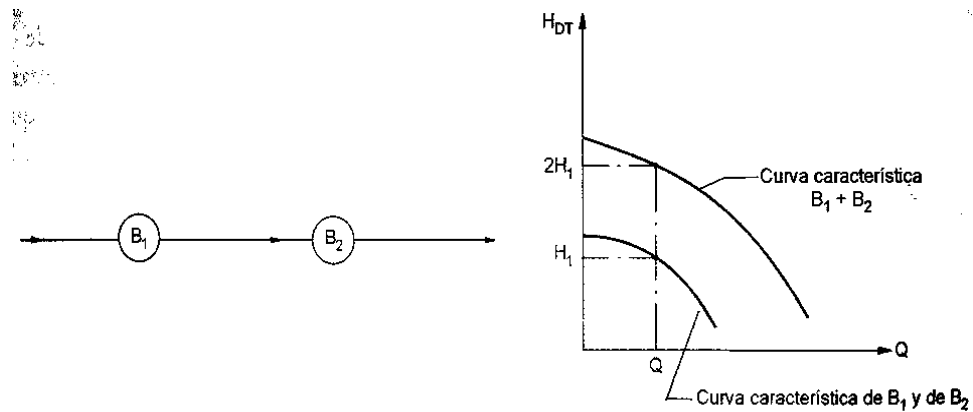
QQ. Acoplamiento de bombas rotodinámicas

El acoplamiento de dos o más bombas es posible, ya sea en serie o en paralelo, según sea la aplicación. A continuación, se detallan ambos casos:

1. **Conexión en serie.** Si se conectan dos o más bombas en serie, una a continuación de la otra, se obtiene una curva característica resultante como la que se muestra en la Figura 23 (Rodríguez, 2000).

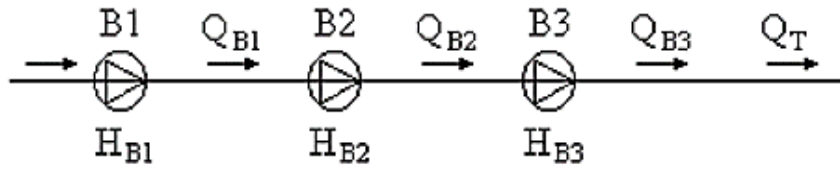
En una conexión en serie, la tubería de impulsión de una bomba se constituye en la tubería de aspiración de la siguiente unidad conectada, por tanto, el caudal bombeado (Q_b), es el mismo para todas las unidades, y la altura del conjunto de bombas (H_{BT}) es la suma de las alturas desarrolladas por las bombas individualmente ($H_{B1} + H_{B2} + H_{B3} + \dots + H_{Bn}$) como lo indica la Figura 24 (Pérez, 2007).

Figura 23. Curva característica para bombas instaladas en serie



(Pérez, 2007)

Figura 24. Acoplamiento de bombas en serie



$$Q_T = Q_{\text{conjunto serie}} = Q_{B1} = Q_{B2} = Q_{B3} = \dots = Q_{Bn}$$

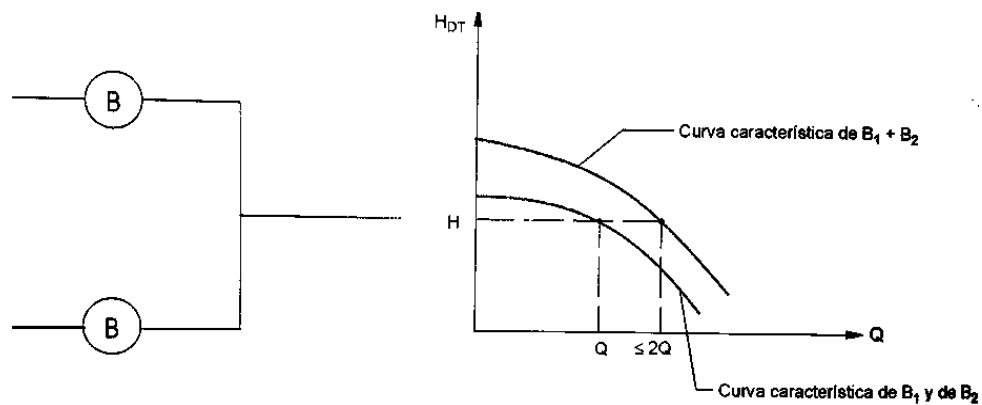
$$H_{BT} = H_{B1} + H_{B2} + H_{B3} + \dots + H_{Bn}$$

(Pérez, 2007)

2. **Conexión en paralelo.** Si se conectan dos o más bombas en paralelo, la curva característica del sistema resulta como se muestra en la Figura 25 (Rodríguez, 2000).

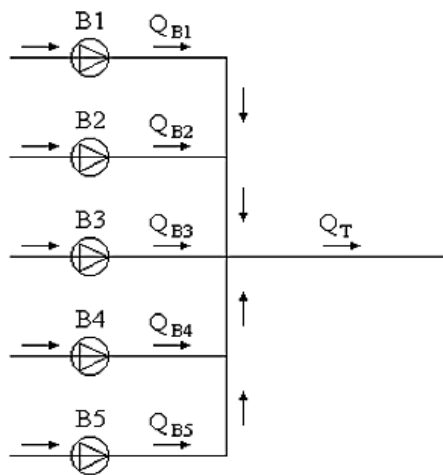
Las bombas conectadas en paralelo, cada una de estas aspira el fluido desde un tanque o depósito común, para luego reunir sus respectivos caudales en una tubería de impulsión común. En este tipo de acoplamiento, el caudal total (Q_T) del acoplamiento es la suma de los caudales individuales ($Q_{B1} + Q_{B2} + Q_{B3} + \dots + Q_{Bn}$), mientras que la altura total es constante e igual a la de cada una de las bombas individualmente ($H_{B1} = H_{B2} = H_{B3} = \dots = H_{Bn}$), como lo indica la Figura 26 (Pérez, 2007).

Figura 25: Curva característica para bombas instaladas en paralelo



(Pérez, 2007)

Figura 26. Acoplamiento de bombas en paralelo



$$Q_T = Q_{\text{conjunto paralelo}} = Q_{B1} + Q_{B2} + Q_{B3} + \dots + Q_{Bn}$$

$$H_{BT} = H_{B1} = H_{B2} = H_{B3} = \dots = H_{Bn}$$

(Pérez, 2007)

3. **Funcionamiento de bombas conectadas en paralelo.** Las bombas en paralelo tienen la particularidad de funcionar con una interconexión no sólo física, sino también de rendimiento. Para identificar las bombas con bajo rendimiento dentro de una operación en paralelo en la cual se presentan varias unidades, se requiere calcular la eficiencia basándose en los datos de una bomba individual. Cuando la operación es de una sola bomba centrífuga en una conexión en paralelo con otras bombas, los datos de esa bomba en específico sólo pueden obtenerse midiendo en forma simultánea la cabeza de presión de la descarga y el flujo de la descarga de cada bomba, en forma individual.

Cuando se trata de satisfacer las necesidades o demandas, variables en el tiempo, como en redes de distribución, se justifica el acoplamiento de dos o más bombas en paralelo. El empleo de una sola bomba, para satisfacer los consumos altamente variables con el tiempo, sería factible también, pero nada económico, puesto que dicha bomba tendría que trabajar con eficiencias muy bajas, correspondientes a los distintos puntos de funcionamiento, debido a que las curvas de η vs. Q no son planas o con una pendiente constante (Pérez, 2007).

Por el contrario, el suministro de cual sea el fluido trasegado, variable según la demanda, puede garantizarse por medio de una progresiva entrada en funcionamiento de distintos grupos de bombas, conformado por bombas en paralelo, manteniendo el rendimiento del conjunto de bombeo dentro de valores aceptables, y de esa manera no impactar en la economía por el consumo innecesario de energía (Pérez, 2007).

Normalmente se piensa que la instalación de bombas en paralelo se hace para aumentar el caudal de un sistema existente, lo más común es que dicha instalación se use para fraccionar un caudal total en caudales parciales para resolver situaciones especiales de operación. Como característica fundamental a resaltar en un acoplamiento de bombas en paralelo, es que el caudal total del conjunto siempre será menor que el caudal que se entregaría una bomba por la cantidad de bombas en el sistema. La relación existente entre el caudal que suministra una bomba y el que suministra el conjunto de bombeo estará relacionado directamente con las características de cada bomba presentes en el sistema, del conjunto en paralelo y de la curva característica que el sistema de tuberías presente (Martínez, 2010).

Los casos comunes de instalación de bombas en paralelo son:

- Caso 1: Bombas iguales operando en sistemas de tuberías iguales hasta el punto de unión de la succión del sistema. En este caso se suman los gastos para cargas iguales.
- Caso 2: Bombas iguales operando en diferentes sistemas de tuberías hasta el punto en común de la descarga del sistema. En este caso las dos bombas están operando contra una carga diferente, debido a que el sistema en que se encuentra cada una es diferente.
- Caso 3: Bombas diferentes operando en sistemas de tuberías iguales hasta el punto en común donde comienza la descarga del sistema. En este caso los gastos serán diferentes y como consecuencia las pérdidas que se tienen en el sistema también son diferentes hasta el punto en común de la descarga, por tanto, las curvas de los sistemas serán distintas.
- Caso 4: Bombas diferentes operando en sistemas de tuberías diferentes hasta el punto de descarga en común. Basándose en los casos 2 y 3, se determina que las bombas operan contra cargas distintas.

Los casos expuestos anteriormente para la operación de bombas en paralelo nos indican que dichos sistemas no siempre se resuelven sumando los gastos de las bombas conectadas (Martínez, 2010)

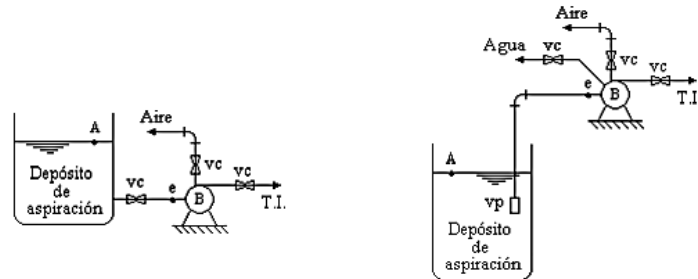
4. Eficiencia en operación de bombas paralelas. El resultado de este tipo de conexión es que las presiones de toma y descarga, como también las tasas de flujo, se correlacionan, haciendo así más difícil la evaluación de la eficiencia de las bombas en forma individual y crearán interdependencias entre los desempeños individuales de cada bomba (Alex van der Spek, 2014).

Una clave para manejar los costos de energía y mantenimiento del equipo consiste en medir y vigilar la eficiencia hidráulica de las bombas individuales. Lo anterior requiere la medición exacta y seguimiento de distintos parámetros, uno de los cuales corresponde a la tasa de flujo. No obstante, el diseño del sistema de tuberías transforma esto en un desafío mayor debido a cada una de las estaciones de bombeo tiene varias bombas en paralelo operando y, con frecuencia, los flujómetros están instalados únicamente en la tubería principal, lo que imposibilita o dificulta demasiado la medición individual de la eficiencia hidráulica (Alex van der Spek, 2014).

Los parámetros tales como vibración y temperatura de los cojinetes pueden dar un indicio sobre la necesidad del mantenimiento en una unidad de bombeo. No obstante, algunos parámetros como la disminución de la eficiencia hidráulica debido al desgaste del impulsor o al aumento de la fricción hidráulica interna, únicamente pueden detectarse al medir la eficiencia hidráulica de la bomba, y esto implica una medición de flujo. Una técnica bastante práctica que se recomienda es el uso de medidores sonares, ya que elimina los problemas causados con los medidores invasivos en las tuberías, pues representan pérdidas menores bastantes altas en las líneas (Alex van der Spek, 2014).

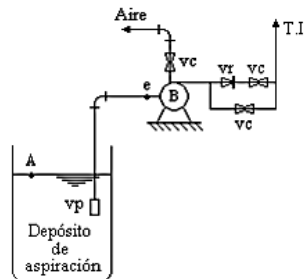
5. **Cebado de bombas centrífugas.** Cebado de una bomba significa reemplazar el aire, gas o vapor que se encuentre en la bomba y sus tuberías, por el líquido que se desea trasegar. Las formas de cebado de una bomba pueden ser: automática o manualmente (Viejo Zubicaray, 2003). En la figura 5 se muestran 5 esquemas de cebado de bombas rotodinámicas (bombas centrífugas) (Pérez, 2007).

Figura 27. Diversos esquemas de cebado de una bomba.

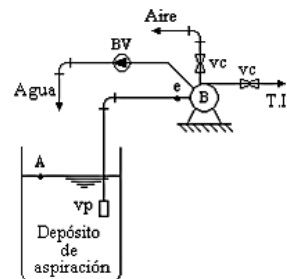


1. Cebado automático por gravedad de bomba en carga desde el tanque de aspiración (succión negativa). $H_s = (z_e - z_A) < 0$

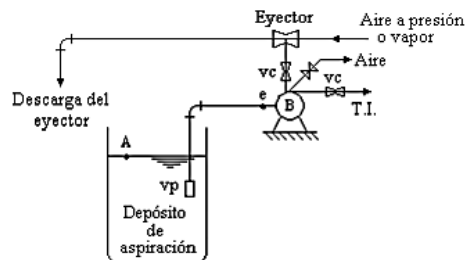
2. Cebado de bomba en aspiración por medio de llenado manual o automático de agua (succión positiva). $H_s = (z_e - z_A) > 0$



3. Cebado de bomba en carga por medio de retorno de agua desde la tubería de impulsión (succión positiva)



4. Cebado de bomba en carga a través de una bomba de vacío auxiliar. No requiere de válvula de pie (succión positiva)



(Pérez, 2007)

RR. Diseño e instalación de un sistema de bombeo.

Los principales constituyentes de una instalación de bombeo son (Pérez, 2007):

- La bomba o grupo de bombas
- Las tuberías de succión y descarga
- La cámara o depósito de aspiración
- Equipamiento de la aspiración
- Equipamiento de la descarga
- La cámara o depósito de descarga

1. **La bomba o grupo de bombas.** En las instalaciones de bombeo elemental, el número mínimo de bombas es dos, con una en reserva, alternando su operación con la otra de manera regular. En las instalaciones con dos o más bombas asociadas en serie o en paralelo, se aconseja que sean iguales, y debe existir siempre como mínimo una bomba más que alterne su funcionamiento con las demás del grupo. La velocidad de giro de las bombas puede ser constante o variable, dependiendo de las necesidades y variaciones de los consumos requeridos (Pérez, 2007).

2. **Tuberías de succión y descarga.** La tubería de succión debe ser lo más corta posible, teniendo la menor cantidad de accesorios posible, y con un diámetro siempre mayor que el de tubería de impulsión. El fin es reducir la altura de succión positiva, la velocidad del flujo y las pérdidas de carga. La velocidad del flujo justo antes del orificio de la succión en la bomba debe ser del orden de 2.5 m/s , para ello será necesario utilizar un cono recto (reductor concéntrico) de 10° a 30° de apertura (Pérez, 2007).

En la descarga de la bomba, la velocidad del flujo es del orden de 3.0 a 7.0 m/s , mientras en la tubería de descarga la velocidad debería ser del orden de 1.0 a 1.5 m/s . Para lograr la reducción de velocidad en la tubería de descarga se debe acoplar un difusor, con un ángulo de 8° a 10° de apertura, entre la brida de salida de la bomba el extremo inicial de la tubería de descarga (Pérez, 2007).

3. **Equipamiento de la descarga.** Este incluye las válvulas, en el siguiente orden: una de retención, seguida de una de compuerta. El objetivo de la primera es evitar que la tubería se vacíe cuando la bomba se detenga e impedir que el rodete gire en sentido inverso y la válvula de compuerta sirve para aislar la bomba de la tubería y para variar el punto de funcionamiento del sistema de bombeo. Pueden estar presentes también dispositivos de protección como válvulas de alivio, ventosas, tanques hidroneumáticos, entre otros (Pérez, 2007).

4. Equipamiento de succión

Los componentes a instalar en la tubería de succión son:

- **Válvula anti retorno:** se instala en la base de la tubería de aspiración y su función es impedir que la tubería de succión se quede vacía y el vaciado de la bomba (Pérez, 2007).
- **Válvula de succión:** su función es cerrar el paso de fluido de la tubería de succión hacia la bomba, esto permite el acceso y desmonte de la bomba (Pérez, 2007).
- **Colector de succión:** Cuando se instalan varias bombas acopladas en paralelo, el colector permite la derivación de las distintas tuberías de succión que tendrán comunicación con la bomba auxiliar (Pérez, 2007).

5. **Depósito de succión y descarga.** Son los componentes primordiales en todo sistema de bombeo, porque en función de su diseño dependen las condiciones del flujo en la instalación. Su función es tener la capacidad suficiente para almacenar y garantizar un flujo lo más uniforme posible de los distintos fluidos que se trasiegan en el proceso afín. Los depósitos de succión y descarga pueden ser de sección rectangular, cuadrada o circular y pueden encontrarse en la superficie, enterrados o semienterrados, dependiendo de las condiciones topográficas (Pérez, 2007).

SS. Sellos mecánicos

Las causas que originan falla en los sellos mecánicos pueden ser investigadas basándose en la herramienta llamada Análisis de Causa Raíz (RCA por sus siglas en inglés) (Latino, 2001). Para llevar a cabo dicho análisis es necesario contar con información sobre la falla en diversas fuentes de información como: personas con participación activa en los procesos de operación y mantenimiento como también el historial de fallos del sistema de bombeo. Con dicha información se puede realizar una lista de criterios con las posibles causas que llevan a la falla de los sellos mecánicos, presentada en la Figura 6 (Gómez, 2010).

Figura 28. Niveles de los criterios a considerar para la construcción de un árbol lógico de fallas.

Nivel	Criterio	Hipótesis valoradas
I	Potenciales puntos de fuga de un sello mecánico.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fuga por sellantes secundarios. 2. Fuga entre las caras de sellado primario. 3. Fuga por sellantes terciarios. 4. Fuga debido a daño en los herrajes.
II	La fuga entre las caras de estos sellos se produciría si ocurriera...	<ol style="list-style-type: none"> 1. La simple apertura de las caras. 2. La distorsión de alguna de las caras. 3. La fractura de alguna de las caras. 4. Un ataque químico al material de las caras. 5. La vaporización del aceite de barrera. 6. El desgaste prematuro del anillo primario. 7. Un diseño inadecuado del sello mecánico.
III-a	En la apertura se puede observar...	<ol style="list-style-type: none"> 1. Presencia de partículas extrañas en Plan API 53B. 2. Desplazamiento axial del eje por cargas axiales. 3. Mal montaje del sello en el equipo. 4. Atascamiento del sello. 5. Desgaste de las caras de sellado primario.
III-b	El desgaste prematuro está asociado a...	<ol style="list-style-type: none"> 1. Abrasión de las caras del sello. 2. Mal montaje del sello en el equipo.
IV	La presencia de partículas extrañas se vincula a...	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reservorio de aceite contaminado. 2. Contaminantes provenientes del mismo aceite. 3. Sólidos producto de la corrosión de las tuberías. 4. Contaminación de la barrera con isobutano. 5. Contaminación de la barrera con HF.

(Gómez, 2010)

TT. Eficiencia de proceso

La eficiencia del proceso puede ser calculada con la ratio estándar internacional OEE (Eficiencia General de los Equipos, por sus siglas en inglés). Dicha ratio es usada para medir la eficiencia productiva de cualquier proceso, sean personas, máquinas o combinación de estos. (Edinn, 2016)

$$OEE = Disponibilidad \times Eficiencia$$

Ecuación 25

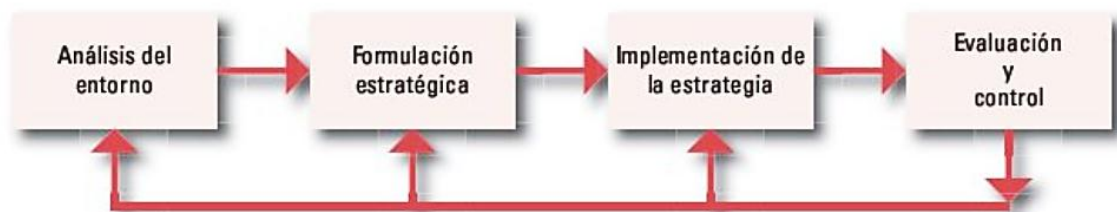
UU. Administración estratégica

La administración estratégica es un conjunto de decisiones y acciones administrativas que determinan el rendimiento a largo plazo de una compañía. Conocida originalmente como política empresarial, la administración estratégica involucra la planificación estratégica, análisis del entorno y análisis de la industria. La administración estratégica está compuesta por cuatro etapas:

- Planificación financiera básica: los administradores inician una planificación seria cuando se les solicita que propongan el presupuesto del año siguiente. Los proyectos se proponen con base en un análisis poco profundo en que la mayor parte de la información procede de la misma empresa. El horizonte temporal es regularmente de un año.
- Planificación basada en pronósticos: además de la información interna, los administradores ubican cualquier dato del entorno disponible, generalmente de manera específica. El horizonte temporal es usualmente de tres a cinco años.
- Planificación (estratégica) orientada por el entorno: búsqueda de responder más adecuadamente a los cambios en los mercados y la competencia mediante el pensamiento estratégico. Esta planificación destaca la formulación de la estrategia formal y deja los aspectos de implementación a los directivos de niveles inferiores. Usualmente son planes a cinco años.
- Administración estratégica: la alta gerencia determina grupos de planificación integrados por administrativos y empleados clave de diversos niveles que participan en diferentes departamentos y grupos de trabajo. Se desarrollan e integran una serie de planes estratégicos dirigidos al logro de los principales objetivos de la empresa. En vez de intentar predecir perfectamente al futuro, los planes contienen escenarios probables y estrategias de contingencia. Implementación del pensamiento estratégico en todos los niveles de la organización.

En general, la administración estratégica incluye el análisis del entorno (tanto externo como interno), la formulación de la estrategia (planificación estratégica o a largo plazo), implementación de la estrategia; así como la evaluación y el control como se puede observar en la siguiente Figura 29:

Figura 29. Elementos básicos de la administración estratégica



(Wheelen & Hunger, 2013)

El análisis del entorno implica la vigilancia, evaluación y difusión de información desde el entorno externo e interno, hasta el personal clave de la empresa. Su principal objetivo es identificar los factores estratégicos, es decir, los elementos externos e internos que determinarán el futuro de la compañía. El entorno externo está integrado por variables que se encuentran fuera de la organización (Oportunidades y Amenazas) y que no están comúnmente bajo el control a corto plazo de la alta gerencia. Estas son generalmente fuerzas y tendencias que están en el entorno social general o factores específicos que operan dentro del contexto de tareas de una organización, llamado con frecuencia su industria. Por otra parte, el entorno interno está integrado por variables que se encuentran dentro de la organización misma (Fortalezas y Debilidades). Estas variables forman el contexto en el que se realiza el trabajo e incluyen la estructura, la cultura y los recursos de la empresa. La forma más sencilla de realizar el monitoreo del entorno es utilizando el análisis FODA, el cual es un acrónimo que se usa para describir las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas específicas que son los factores estratégicos de una empresa determinada. Por otra parte, el análisis de la industria o el entorno de trabajo es fundamental. Una industria es un grupo de empresas que elaboran un producto o servicio similar. El examen de los grupos de interés importantes que se encuentran en el entorno de trabajo de una organización específica forma parte del análisis de la industria. Para este análisis se puede utilizar un enfoque en las cinco fuerzas competitivas de Michael Porter que se conforman de: amenaza de nuevos participantes, rivalidad entre empresas existentes, amenaza de productos y servicios sustitutos, poder de negociación de los proveedores y poder de negociación de los compradores.

La formulación de la estrategia es el desarrollo de planes a largo plazo para administrar de manera eficaz las oportunidades y amenazas del entorno con base en las fortalezas y debilidades empresariales. En este elemento de la administración estratégica se incluye definir o establecer:

- Misión: es el propósito o razón de existir de una organización.
- Objetivos: son los resultados finales de la actividad planeada. El logro de los objetivos empresariales debe dar como resultado el cumplimiento de la misión de la organización.
- Estrategias: son un plan maestro integral que establecen la manera en que se logrará la misión y los objetivos. Maximiza la ventaja competitiva y minimiza la desventaja competitiva.
- Políticas: es una directriz amplia para la toma de decisiones que relaciona la formulación de las estrategias con su implementación. Aseguran que se llevan a cabo acciones que apoyen la misión, los objetivos y las estrategias de la empresa.

La implementación de la estrategia es un proceso que puede llegar a implicar cambios en la cultura general, en la estructura o en el sistema administrativo de toda la organización. Denominada en ocasiones planificación operativa, esta implica con frecuencia la toma diaria de decisiones en la distribución de recursos. La implementación de la estrategia es un proceso mediante el cual las estrategias y políticas se ejecutan utilizando el desarrollo de:

- Programas: es una declaración de las actividades o pasos necesarios para llevar a cabo un plan de uso único. Hace que la estrategia se oriente hacia la acción. Puede incluir la reestructuración de la empresa, el cambio de la cultura interna o el inicio de un nuevo proyecto de investigación.
- Presupuestos: es una declaración de los programas de una empresa en términos de dinero.
- Procedimientos: constituyen un sistema de pasos sucesivos o técnicas que describen en detalle la manera de realizar una tarea o trabajo en particular. Por lo general, enumeran las diversas actividades que se deben realizar para completar el programa de la empresa.

La evaluación y control es un proceso en el que se supervisan las actividades empresariales y los resultados del desempeño de tal manera que el rendimiento real se compare con el rendimiento deseado. Se utiliza la información que se obtiene para tomar medidas correctivas y resolver problemas. También, puede llegar a señalar las debilidades de planes estratégicos implantados anteriormente y estimular así todo el proceso para comenzar de nuevo. El rendimiento es el resultado final de las actividades. Incluye los resultados reales del proceso de administración estratégica. La práctica de la administración estratégica se justifica por su capacidad para mejorar el rendimiento de una organización, medido comúnmente en relación con las utilidades y el retorno sobre la inversión. Para que la evaluación y el control sean eficaces, los administradores deben obtener información clara, oportuna e imparcial del personal que está a su cargo en la jerarquía de la empresa. Con esta información, se compara lo que sucede en realidad con lo que se planeó originalmente en la etapa de formulación. Cabe mencionar también la importancia de la implementación de un proceso de retroalimentación y aprendizaje. Es decir, que a medida en que una empresa o unidad de negocios desarrolla estrategias, programas y cuestiones similares; con frecuencia debe volver atrás para revisar o corregir las decisiones que tomó previamente en el proceso (*Wheelen & Hunger, 2013*)

VV. Gestión de proyectos

Un proyecto es un esfuerzo temporal que se realiza para crear un producto, servicio o resultado único. Cada proyecto tiene un comienzo y un final definido, ya que no son esfuerzos continuos. Al igual que, la singularidad es una característica importante de los productos entregables de un proyecto; en donde los productos entregables son los: productos, servicios o resultados. El final se alcanza cuando se logran los objetivos del proyecto o cuando se termina el proyecto porque sus objetivos no se cumplirán o no pueden ser cumplidos, o simplemente cuando ya no existe la necesidad que dio origen al proyecto. Por otra parte, los proyectos pueden tener impactos sociales, económicos y ambientales podrían durar mucho más que los propios proyectos. Todo proyecto genera entregables únicos; aunque en algunas ocasiones se puede obtener elementos repetitivos en algunos entregables del proyecto. Esta repetición no altera la unicidad fundamental del trabajo del proyecto. Un esfuerzo de trabajo permanente es por lo general un proceso repetitivo, puesto que sigue los procedimientos existentes de una organización. En contraposición, debido a la naturaleza única de los proyectos, puede existir incertidumbre respecto a los productos, servicios o resultados que el proyecto genera. (*Project Management Institute, Inc. 2008*)

La dirección de proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para poder cumplir con los requisitos del mismo. Se logra mediante la aplicación e integración adecuada de los cinco grupos de procesos:

- **Iniciación:** son los procesos que se realizan para definir un nuevo proyecto o una nueva fase de un proyecto ya existente, mediante la autorización para comenzar dicho proyecto o fase.
- **Planificación:** sirven para establecer el alcance del proyecto, refinar los objetivos y definir el curso de acción necesario para alcanzar los objetivos para cuyo logro se emprendió el proyecto.
- **Ejecución:** son los que se utilizan para completar el trabajo definido en el plan para la dirección del proyecto a fin de cumplir con las especificaciones del mismo.
- **Seguimiento y control:** son requeridos para monitorear, analizar y regular el progreso y el desempeño del proyecto, para identificar áreas en las que el plan requiera cambio y para iniciar los cambios correspondientes.
- **Cierre:** sirven para finalizar todas las actividades a través de todos los grupos de procesos a fin de cerrar formalmente el proyecto o una fase del mismo.

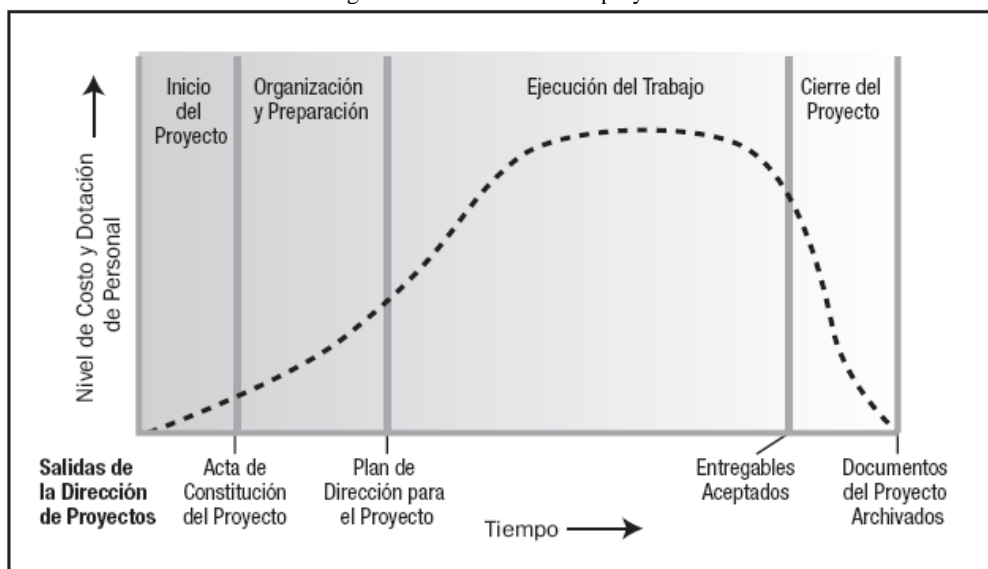
Dirigir un proyecto implica:

- Identificar requisitos
- Abordar las diversas necesidades, inquietudes y expectativas de los interesados según se planifica y efectúa el proyecto
- Equilibrar las restricciones contrapuestas del proyecto que se relacionan a través del alcance, calidad, cronograma, presupuesto, recursos y riesgo

(Project Management Institute, Inc. 2008)

El ciclo de vida de un proyecto es un conjunto de fases del mismo, usualmente secuenciales y en ocasiones superpuestas; cuyo nombre y número se determinan por las necesidades de gestión y control de la organización u organizaciones que participan en el proyecto, la naturaleza propia del proyecto y su área de aplicación. Un ciclo de vida del proyecto puede documentarse con ayuda de una metodología, al igual que proporciona el marco de referencia básico para dirigir el proyecto, independientemente del trabajo específico involucrado. Cabe mencionar también que el ciclo de vida del proyecto puede ser determinado o conformado por los aspectos únicos de la organización, de la industria o de la tecnología empleada. El ciclo de vida de un proyecto se puede observar en la Figura 30:

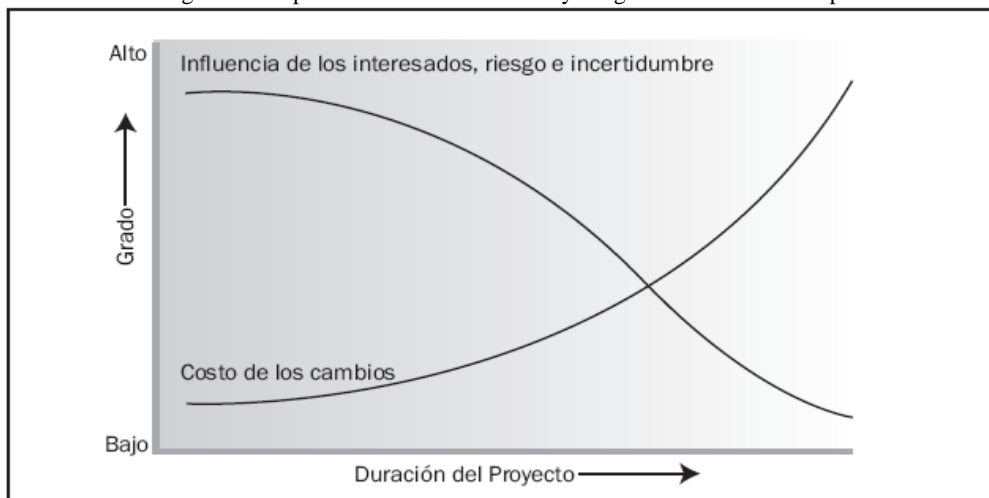
Figura 30. Ciclo de vida del proyecto



(Project Management Institute, Inc. 2008)

Los niveles de costos y dotación del personal son bajos al inicio del proyecto, alcanzan su punto máximo según se desarrolla el trabajo y caen rápidamente cuando el proyecto se acerca al cierre o al final. Es por esta razón, que el establecimiento de los recursos es fundamental según la etapa del ciclo de vida del proyecto en la que se vea involucrado. Como se puede observar en la Figura 31 la etapa en la cual se necesita la mayor cantidad de recursos es en la ejecución del trabajo; por lo tanto, los recursos deben ser administrados eficientemente desde el inicio ya que la falta de los mismos en la etapa de mayor demanda puede causar el fracaso del proyecto. La influencia de los interesados, al igual que los riesgos y la incertidumbre son mayores al inicio del proyecto; estos factores van disminuyendo durante la vida del proyecto. Por otra parte, la capacidad de influir en las características finales del producto del proyecto sin afectar significativamente el costo, es más alta al inicio del proyecto y va disminuyendo a medida que el proyecto avanza hacia su conclusión. Es decir, que conforme avanza el proyecto el costo de hacer cambios es más caro, por lo tanto, se pueden realizar cambios al avanzar en el proyecto, pero el costo de los mismos será mayor. Esto se ve representado en la Figura 31:

Figura 31. Impacto de las variables costo y riesgo en función del tiempo



(Project Management Institute, Inc. 2008)

Los interesados son personas u organizaciones que participan activamente en el proyecto, o cuyos intereses pueden verse afectados positiva o negativamente por la ejecución o finalización del proyecto. Los interesados también pueden ejercer influencia sobre el proyecto, los entregables y los miembros del equipo. El equipo de dirección del proyecto debe identificar tanto a los interesados internos como externos, con objeto de determinar los requisitos del proyecto y las expectativas de todas las partes involucradas. Más aún, el director del proyecto debe gestionar la influencia de los diversos interesados con relación a los requisitos del proyecto, para asegurar un resultado exitoso. Los interesados tienen diferentes niveles de responsabilidad y autoridad cuando participan en un proyecto y éstos pueden cambiar durante el ciclo de vida del mismo. Su responsabilidad y autoridad pueden variar desde una participación ocasional en encuestas o grupos de opinión, hasta el patrocinio total de un proyecto; lo cual incluye proporcionar apoyo político y financiero (Project Management Institute, Inc. 2008).

La identificación de los interesados es un proceso continuo y puede resultar difícil. Resulta crucial la identificación de los mismos al igual que comprender su grado relativo de influencia en un proyecto, ya que no hacerlo puede prolongar la duración y elevar sustancialmente los costos del proyecto. Ignorar a los interesados negativos puede traer como consecuencia un aumento en la probabilidad de fracaso del proyecto. Es por esta razón que una de las principales responsabilidades del director del proyecto consiste en administrar de una manera eficiente las expectativas de los interesados, al igual que balancear estos intereses y asegurarse de que el equipo del proyecto interactúe con los interesados de una manera profesional y cooperativa. (Project Management Institute, Inc. 2008)

Finalmente, para que un proyecto tenga éxito, el equipo de trabajo debe:

- Seleccionar los procesos adecuados requeridos para alcanzar los objetivos del proyecto
- Utilizar un enfoque definido que pueda adoptarse para cumplir con los requisitos
- Cumplir con los requisitos a fin de satisfacer las necesidades y expectativas de los interesados
- Equilibrar las demandas contrapuestas relativas al alcance, tiempo, costo, calidad, recursos y riesgo para producir el producto, servicio o resultado esperado

(Project Management Institute, Inc. 2008)

WW. Contabilidad de costos

La contabilidad de costos es el proceso de medir, analizar, calcular e informar sobre el costo, la rentabilidad y la ejecución de las operaciones. La naturaleza de los negocios es tal, que todas las empresas requieren una gran variedad de información sobre costos para la toma de decisiones operativas diarias. La fase dinámica de la contabilidad de costos está relacionada fundamentalmente con la planeación (la selección de objetivos y los medios para alcanzarlos) y el control (lograr concordancia con los planes establecidos). Existen dos tipos de planeación:

- Planeación de proyectos: es el proceso mediante el cual, ante un problema específico, la gerencia evalúa cada alternativa con el fin de tomar una decisión sobre el futuro. Puesto que la planeación requiere una comparación de los costos de las diferentes alternativas, deberá determinarse el costo de cada una.
- Planeación por períodos: es el proceso mediante el cual la gerencia desarrolla de manera sistemática un conjunto aceptable de planes para el total de las actividades futuras de la empresa, o de alguna subdivisión funcional, para un período específico de tiempo. Este tipo de planeación, que cubre un período de un año o más, comprende por lo general la elaboración de un presupuesto global.

Por otra parte, el control implica la vigilancia sistemática del desempeño de las funciones con el fin de determinar el grado de consistencia de los objetivos establecidos. Los resultados reales se comparan permanentemente con los puntos de referencia previamente establecidos para las actividades de producción, mercadeo, finanzas, entre otros; de las empresas, tales como el presupuesto, los costos estándar, las normas de estudio de tiempo, entre otros. Cualquier desviación significativa de los puntos de referencia se podrá detectar rápidamente con el fin que la gerencia tome las medidas de corrección correspondientes. Cabe mencionar que es de suma importancia definir la diferencia principal entre un costo y un gasto, ya que suele crear confusiones. Un costo es el monto medido en términos monetarios, del dinero desembolsado o demás bienes transferidos, acciones de capital emitidas, servicios ejecutados o la adquisición de un pasivo, a cambio de bienes o servicios recibidos o que se espera recibir. Mientras que un gasto comprende todos los costos expirados que pueden deducirse de los ingresos. Ya definida esta diferencia, entre las principales actividades o funciones que se pueden encontrar de la contabilidad de costos se incluyen las siguientes:

- Suministrar información de apoyo a la gerencia con el fin de que esta pueda escoger entre dos o más alternativas.
- Preparar la información necesaria para ayudar a reducir o mejorar los costos.
- Ayudar en la elaboración y ejecución de presupuestos.
- Calcular costos y utilidades para un período contable.
- Calcular los costos para efectos de control y valuación de los inventarios.

La clasificación de los costos es necesaria a fin de determinar el método más adecuado para su acumulación y asignación; los cuales se muestran en el Tabla 3:

Tabla 3. Clasificación de los costos

Por función	<p><u>Producción</u>: Costos aplicados a la elaboración de un producto.</p> <p><u>Mercadeo</u>: Costos causados por la venta de un servicio o producto.</p> <p><u>Administrativa</u>: Costos causados en actividades de formulación de políticas.</p> <p><u>Financiera</u>: Costos relacionados con actividades financieras.</p>
Por elementos	<p><u>Materiales directos</u>: Materiales que hacen parte integral del producto terminado.</p> <p><u>Mano de obra directa</u>: Mano de obra aplicada directamente a los componentes del producto terminado.</p> <p><u>Costos indirectos</u>: Costos de materiales, de mano de obra indirecta y de gastos de fabricación que no pueden cargarse directamente a unidades, trabajos o productos específicos.</p>
Por producto	<p><u>Directos</u>: Costos cargados al producto y que no requieren más prorrateo.</p> <p><u>Indirectos</u>: Costos que son prorrateados.</p>
Por departamento	<p><u>Producción</u>: Una unidad en donde las operaciones se ejecutan sobre la parte o el producto, sin que sus costos requieran prorrateo posterior.</p> <p><u>Servicio</u>: Una unidad que no está comprometida directamente en la producción y cuyos costos se prorratean en última instancia a una unidad de producción.</p>

Costos que se cargan al ingreso	<p><u>Producto</u>: Costos incluidos cuando se hace el cálculo de los costos del producto. Los costos del producto se incluyen en el inventario y en el costo de ventas, cuando se vende el producto.</p> <p><u>Período</u>: Costos asociados con el transcurso del tiempo y no con el producto. Estos costos se cierran contra la cuenta resumen de ingresos en cada período, puesto que no se espera que rindan beneficios futuros.</p>
Con relación al volumen	<p><u>Variable</u>: Costos cuyo total varía en proporción directa a los cambios en su actividad correspondiente. El costo unitario se mantiene igual, independientemente del volumen de producción.</p> <p><u>Fijos</u>: Costos cuyo total no varía a lo largo de un gran volumen de producción. Los costos unitarios disminuyen en la medida en que el volumen de producción aumenta.</p> <p><u>Semivariantes</u>: Costos que varían, pero no en proporción directa al volumen o al nivel de actividad.</p>
Periodo cubierto	<p><u>Capital</u>: Costos que pueden beneficiar períodos futuros y que se clasifican como activos.</p> <p><u>Ingresos</u>: Costos que benefician únicamente al período corriente y que se consideran como gastos.</p>
Nivel de promedio	<p><u>Total</u>: El costo acumulado para la categoría establecida.</p> <p><u>Unitario</u>: El costo total dividido por el número de unidades de actividad o volumen.</p>

(Cashin & Polimen, 1980)

La clasificación de costos no suministra toda la información requerida con relación a los costos. La mayoría de los datos para planeación y control solo podrán suministrarse con un sistema adecuado de costos diseñado de tal forma que tanto los supervisores como los jefes de departamento y los ejecutivos respondan por los costos a su cargo. La acumulación y clasificación de costos rutinarios e información contable se convierten en una tarea de máxima importancia, la cual consume mucho tiempo y además exige un sistema contable muy bien planificado; por lo tanto, un sistema de costos es fundamental para la acumulación de los mismos. Dicho sistema de costos debe enfocarse directamente a la estructura orgánica de la empresa, al proceso de producción y al tipo de información deseada y requerida por los ejecutivos.

Existen diversas clases de sistemas de costos y cada una tiene tanto sus ventajas como también sus desventajas. A continuación, se describen de una manera más detallada los principales sistemas de costos con sus respectivas características en el Tabla 4:

Tabla 4. Sistemas de costos

Naturaleza de la producción	<p><u>Orden de trabajo</u>: La unidad de costo es el trabajo y los costos se acumulan por trabajo. Este tipo de costo es más apropiado en aquellos sitios donde cada orden de trabajo es diferente a los demás.</p> <p><u>Proceso</u>: La unidad de costo es el costo promedio de las unidades producidas durante un determinado período de tiempo. Este método es más conveniente cuando se produce un alto volumen de productos similares.</p>
Época para cálculo	<p><u>Real</u>: Los costos se recopilan a medida que se causan, pero la determinación de los costos unitarios debe esperar hasta la finalización de las operaciones de producción durante el período.</p> <p><u>Estándar</u>: Los costos se determinan antes de que la producción se lleva a cabo. Esta época se puede emplear tanto para la cantidad como para el valor monetario. La diferencia entre los costos estándar y los reales se refleja en las cuentas diferentes y éstas se analizan posteriormente para determinar las causas de la discrepancia.</p>
Aplicación de costos indirectos	<p><u>Costeo directo</u>: Este método, conocido también como costeo variable, asigna al inventario solamente los costos directos del producto. Los ingresos del periodo se castigan con los costos fijos indirectos correspondientes.</p> <p><u>Absorción plena</u>: Todos los costos, incluyendo los costos fijos indirectos, se aplican al producto y se incluyen en el inventario.</p>

(Cashin & Polimen, 1980)

XX. Tratamiento de agua con luz ultravioleta

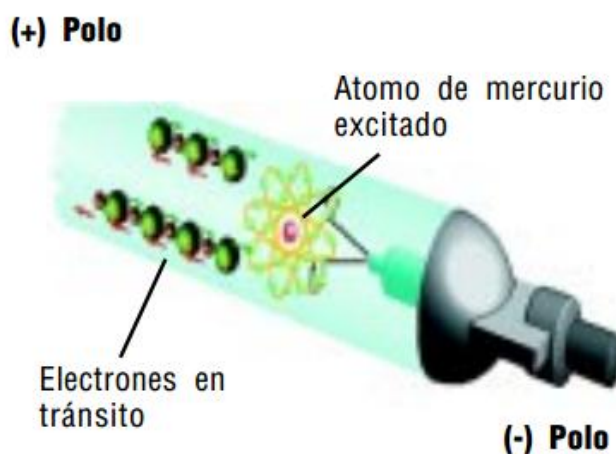
La contaminación del agua es uno de los principales aspectos que afectan directamente en la salud tanto de los seres humanos como también de los animales. Es por esta razón que las normativas sanitarias con el objetivo de la descontaminación del agua son muy estrictas. Estas regulaciones se pueden encontrar en la mayoría de los países para poder ofrecer agua segura que ya ha pasado por un proceso de potabilización. Por lo tanto, es de suma importancia para las empresas saber los lineamientos requeridos para la utilización del agua en sus procesos industriales. Actualmente, el método de desinfección del agua por medio de luz ultravioleta es considerado uno de los métodos más novedosos utilizados para el tratamiento del agua. Básicamente, este método se enfoca en prevenir, proteger y desinfectar el agua

controlando la propagación de microorganismos; y de esta manera evitando la dispersión de diversas enfermedades.

La tecnología de la luz ultravioleta conlleva a muchos beneficios en comparación a otros métodos para descontaminar el agua como por ejemplo el cloro; ya que en grandes cantidades este resulta ser tóxico en su forma basal al igual que en algunos casos los tratamientos de disminución del contenido de cloro pueden llegar a incurrir en costos significativos. Se puede mencionar también que este método no altera ninguna de las propiedades físicas del agua a diferencia de los procesos químicos de desinfección, además de ser efectiva en un lapso relativamente corto de tiempo y evita el manejo de sustancias que pueden llegar a dañar la salud. La luz ultravioleta es parte del espectro electromagnético de radiación la cual también es emitida por el sol con longitudes de onda que van desde 180 hasta 400 nanómetros. Más conocida como UV, esta es emitida en tres diferentes bandas: UV-A, UV-B, UV-C. Cabe mencionar que la radiación con mayor efecto germicida se encuentra entre las bandas UV-B y UV-C, correspondiente a 260 nanómetros.

Esta radiación básicamente inactiva a los cinco principales grupos de microorganismos al entrar en contacto con ellos incluyendo: virus, bacterias, algas, hongos y protozoos. La radiación UV penetra en la pared celular llegando hasta el núcleo en donde se encuentra la información genética de los microorganismos, destruyendo la cadena de ADN y por lo tanto impidiendo su reproducción. Para la generación de luz ultravioleta, esta es radiada por tubos de cuarzo que contienen vapor de mercurio (emisor). Luego se induce una corriente eléctrica en los polos generando un arco voltaico que ioniza a los átomos de este metal (Hg), en donde los electrones aumentan de energía hasta que son convertidos en fotones de luz UV.

Figura 32. Generación de luz UV



(Díaz & Serrano, s.f.)

YY. Proceso de pasteurización

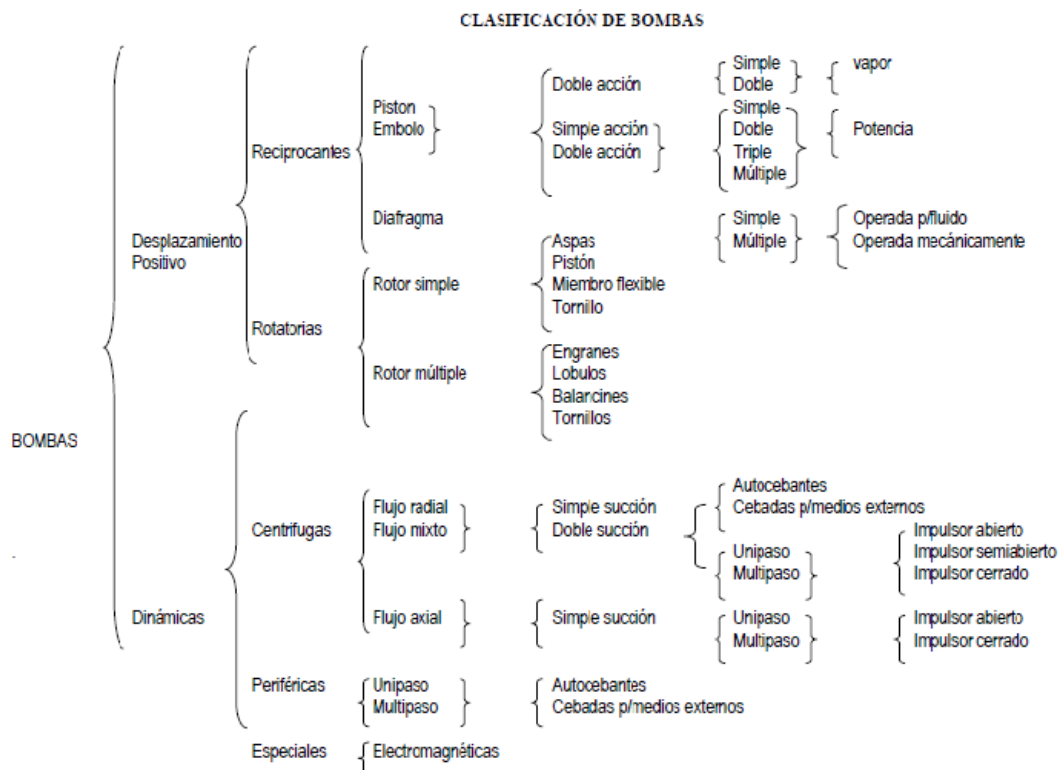
El proceso de pasteurización se encarga de matar o inactivar a organismos causantes de enfermedades o contaminantes por medio de un tratamiento térmico. El proceso más utilizado de pasteurización es el de conservación en el cual se eleva la temperatura de la sustancia a pasteurizar rápidamente y luego se enfría. El calentamiento y enfriamiento es realizado en intercambiadores de calor. La transferencia rápida de calor en dichos intercambiadores es el fundamento de las maneras más modernas de pasteurización a alta temperatura y bajo corto tiempo (*Raventós, 2010*).

ZZ. Equipo de bombeo

Un equipo de bombeo es un transformador de energía. Recibe energía mecánica, que puede preceder de un motor eléctrico, térmico, entre otros; y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, posición o velocidad. Un ejemplo claro de una bomba utilizada para cambiar la posición de un cierto fluido sería una bomba de pozo profunda, la cual adiciona energía para que el agua del subsuelo salga a la superficie. Por otra parte, un ejemplo de bombas que adicionan energía de presión podría ser una bomba en un oleoducto, en donde las cotas de altura, así como los diámetros de tuberías y consecuentemente las velocidades fuesen iguales, en tanto que la presión es incrementada para poder vencer las pérdidas de fricción que se tuviesen en la conducción. Lo inverso a lo que sucede en una bomba se tiene en una máquina llamada comúnmente turbina, la cual transforma la energía de un fluido, en sus diferentes formas citadas, en energía mecánica. Para una mayor claridad, buscando una analogía con las máquinas eléctricas, y para el caso específico del agua, una bomba sería un generador hidráulico, en tanto que una turbina sería un motor hidráulico.

Siendo tan variados los tipos de bombas que existen, es conveniente hacer una clasificación adecuada de las mismas. Una que se considera muy completa es la del “Hydraulic Institute”, en última edición. A continuación, se muestra esta clasificación en la Figura 33:

Figura 33. Clasificación de bombas



(Zubicaray & Fernández, 2003)

La clasificación anterior, permite apreciar la diversidad de tipos de bombas que existen y si a ello se agrega los materiales de construcción, tamaños diferentes para manejos de gastos y presiones sumamente variables y los diferentes líquidos a manejar, entre otros; se puede entender la importancia de este tipo de maquinaria en una amplia cantidad de aplicaciones. Entre las principales aplicaciones se puede encontrar:

- Bombas para manejo de diferentes sustancias químicas
- Bombas rotatorias para manejo de aceites, mieles, fibras, entre otros
- Bombas elevadoras de aguas subterráneas
- Bombas centrífugas de construcción horizontal y vertical, flujo mixto y axial
- Bomba de siete etapas para oleoducto

La selección adecuada de equipo asegura una buena operación que, indudablemente, se traduce en economía y duración del sistema. Independientemente del tipo de bomba, los elementos de instalación tales como la carga, capacidad, líquidos a manejar, tuberías y sus accesorios y motores; tienen prácticamente los mismos problemas de operación y mantenimiento. Por lo tanto, es sumamente importante controlar diferentes aspectos como las condiciones de succión, descargas, entre otros.

La parte del sistema de bombeo que una la bomba con el tanque de almacenamiento y la red de distribución se le denomina como la conducción. Este está conformado básicamente por el conjunto de tuberías, válvulas y accesorios que existen entre la bomba y el tanque; o bien entre la bomba y la red. Uno de los principales problemas que se presentan en una conducción es poder evaluar las pérdidas que se originan en ella. Las pérdidas de energía en una conducción se clasifican en:

- Pérdidas menores o locales: Son aquellas que ocurren en una zona definida de la conducción y que son originadas por válvulas, cambios de dirección, ampliaciones o reducciones, entradas o salidas, entre otras.
- Pérdidas mayores o de fricción: Son las que crecen linealmente con el desarrollo de la conducción, y se deben al rozamiento de las partículas de agua entre sí o con las paredes de la tubería.

Otros aspectos importantes de la conducción son:

- El diseño de la misma para una condición de carga y caudal dados, así como el tipo de esfuerzos que son originados por ciertas cargas adicionales, como el golpe de ariete.
- El anclaje que se debe proporcionar en los cambios de dirección de la conducción
- La selección del tipo de válvulas a emplear en cada caso

(Zubicaray & Fernández, 2003)

AAA. Proceso del azúcar

En condiciones normales la caña cede más del 60% de su peso en jugo al pasar a través de la desmenzadora y el primer molino, es decir que se extrae más del 70% de la sacarosa contenida en la caña. El residuo leñoso de la molienda se denomina bagazo. A medida que el bagazo avanza por los molinos, se comprime cada vez más, perdiendo parte de su jugo, hasta que finalmente, en condiciones buenas de trabajo, sale de los molinos conteniendo aproximadamente un 50% de fibra leñosa. En la mayoría de los ingenios, la caña se tritura en varios juegos de molinos montados en tándem y, después de cada molino, se le agrega al bagazo el agua o jugo, con el objeto de diluir el jugo remanente y aumentar así la extracción de la sacarosa. A continuación, se presenta el proceso de elaboración de azúcar:

- Maceración e imbibición: La maceración consiste en hacer pasar el bagazo por un baño de agua antes de remolerlo, con el objeto de diluir el jugo remanente; la imbibición, en lugar de agua, utiliza jugo diluido para el baño. A este proceso también se le denomina como saturación. La saturación puede ser simple, doble o compuesta. La saturación simple solamente usa agua; en la doble saturación se usa agua y los jugos diluidos del último o últimos jugos de molinos; mientras que en la saturación compuesta se usan agua y los jugos de dos o más de los últimos juegos de molinos, inyectado estos líquidos, separadamente, a los molinos precedentes de cada juego. Los procesos de saturación simple y doble se usan cuando el tándem consta de tres molinos. La saturación compuesta se puede aplicar cuando el tándem consta de cuatro molinos o más. El jugo

del tercer molino se agrega al bagazo el primero, el jugo del último molino al del segundo, y el agua se inyecta sobre el bagazo del tercer molino; el jugo obtenido de la desmenuzadora y de los dos primeros molinos se envía al departamento de fabricación. En la práctica, la maceración suele efectuarse solo en los dos últimos molinos del tándem. La extracción en los molinos es prácticamente la misma con agua de maceración fría o caliente. Por cuestión de calidad del agua, usualmente se emplea el agua caliente, ya que esto no implica mayor gasto en combustible. En la fabricación de azúcar blanco no se debe usar agua alcalina. El agua caliente es la sobrante de los retornos de los evaporadores y, por tanto, es pura agua destilada; el resto del vapor se aprovecha para el calentamiento del jugo en el proceso de purificación. Las unidades calóricas que pasan al jugo, junto con el agua de maceración e imbibición, se economizan en gran parte, hay también cierta evaporación de humedad ligeramente mayor en el camino desde los molinos hasta los hornos, en el caso de imbibición con agua caliente.

- Eficiencia de la molienda: La eficiencia de la molienda se expresa más convenientemente en términos del tanto por ciento de la sacarosa en la caña (sacarosa en el jugo por ciento de sacarosa en la caña), y este coeficiente se conoce como “extracción de sacarosa”. La eficiencia de la molienda también se determina a base de los datos analíticos del bagazo o de la proporción entre la fibra y sacarosa en el residuo citado. Anteriormente, la cantidad de jugo del normar extraído de la caña se consideraba como índice de eficiencia; pero, en la actualidad, se reconoce generalmente que la extracción de la sacarosa es un dato más valioso. Una buena eficiencia se considera de 94% a 99%.
- Coladores del jugo de los molinos: Los jugos, cuando salen entre las mazas, arrastran consigo el bagazo y el bagacillo; por lo tanto, se necesita colarlos. En primer lugar, para poder manejarlos por medio de bombas corrientes, y, en segundo lugar, para eliminar del proceso la mayor cantidad posible de materias extrañas. El tipo más corriente de un colador, consta con una placa de latón perforada la superficie de la misma de limpia constantemente por medio de tablillas movidas por cadenas sinfín, o rastrillos. Estas tablillas, al raspar la superficie del colador, arrastran el bagacillo y lo elevan para descargarlo sobre el conductor de bagazo del primer molino.
- Purificación del jugo: La purificación del jugo se denomina también como “clarificación” o “defecación”. El uso de bombas en esta etapa es imprescindible. El objeto de la purificación es separar del jugo el máximo de impureza, en la fase más temprana posible de la elaboración del jugo. En el procedimiento de purificación por medio de cal y el calor, la cantidad de cal empleada, el método de aplicarla, y la temperatura de calentamiento del jugo varían mucho, según las condiciones y localidades. En general, se añade suficiente cal para neutralizar los ácidos orgánicos presentes en el jugo, elevando después la temperatura a 200°F o más. El tratamiento por medio de cal y el calor produce un precipitado de composición compleja, con una parte más ligera y otra más pesada del jugo. Dicho precipitado contiene sales cálcicas insolubles, albumina coagulada y distintas cantidades de grasa, cera y gomas. Por lo general, la separación del precipitado del jugo

se efectúa por medio de decantación, dejándolo en reposo para asentar, y tratando el jugo en diversos tipos de defecadores y clarificadores. Esta separación se debe efectuar tan completa y rápidamente como sea posible.

- **Alcalinización:** La alcalinización del jugo se efectúa en forma continua; un chorro de lechada de cal, por un lado y un chorro de guarapo por el otro, caen en un tanque provisto de aspas que agitan la mezcla. En la fabricación del azúcar crudo el control automático de la alcalinización de los jugos de la caña se efectúa por medio de un potenciómetro. Investigaciones recientes sobre la relación entre el pH y la purificación parecen estar de acuerdo en que alcalinizando el jugo frío de 8.0 hasta 8.5 pH produce los mejores resultados, por las siguientes razones: brillantez de jugo, volumen de cachaza, aumento de pureza entre jugo mixto, curdo y clarificado; además se evitan la destrucción de glucosa e inversiones posteriores en el proceso.
- **Temperatura:** La temperatura a la que se calientan los jugos durante la purificación varía mucho, siendo los límites de 294°F a 238°F. Por lo general se calientan hasta el punto de ebullición o ligeramente más. Cuando se calientan hasta el punto de ebullición, se obtiene decantación más rápida y cachaza más compacta, pero de acuerdo con diversos estudios la temperatura conveniente para el guarapo claro está en los límites de 200°F a 210°F, y para el jugo alcalinizado entre 90°F y 120°F.
- **Sulfitación:** Debido principalmente a los diferentes grados de pureza de la materia prima, es difícil producir en el ingenio un azúcar de calidad perfectamente uniforme, por lo cual, en la fabricación de azúcar blanco; se recurre a la sulfitación, carbonatación y filtración. Existen diferentes métodos para la sulfitación, antes o después de la carbonatación, por lo que estos no se examinan a fondo. Algunos procesos establecen que, a cada 3,780 litros de jugo crudo frío, se añaden de 18.92 a 26.49 litros de lechada de cal de 26.5° Brix; el jugo se filtra hasta la neutralidad o sea a 7 de pH, se lleva hasta la ebullición y se deja asentar el jugo claro, decantándose como en la purificación ordinaria. Luego, el jugo claro se concentra hasta la densidad de costumbre, de unos 55° Brix. Durante la sulfitación se produce espuma abundante por lo que se necesita disponer de un tanque bastante alto.
- **Calentadores:** A continuación, el jugo se bombea a los calentadores que son recipientes cilíndricos cerrados, en sus dos extremos, con platos de cobre. Estos soportan numerosos tubos del mismo material que van de un extremo a otro y por los que circula el jugo a gran velocidad. Los tubos se calientan exteriormente con vapor. Se requiere aproximadamente un pie cuadrado de superficie calórica por tonelada de caña. En estos aparatos se usa vapor de los evaporadores y la temperatura del jugo se eleva hasta el punto de ebullición o ligeramente mayor. Después, el jugo caliente pasa por su defecación hacia los clarificadores.
- **Cachaza, clarificación y filtración:** En el fondo de los clarificadores, queda un residuo en forma de torta, llamado cachaza. Está compuesto principalmente de bagacillo, carbón, tierra, entre otros; y una considerable cantidad de sacarosa. La cachaza se envía por medio de bombas hacia un

mezclador, y luego hacia los filtros. Los filtros son cilíndricos colocados horizontalmente que giran a 1.5 r.p.m con su parte inferior sumergida en cachaza a la que se ha agregado agua caliente. Luego a través de una línea de vacío, estos filtros extraen el jugo por succión, recogiendo el bagazo sobrante por medio de cuchillas. El jugo recogido de esta manera se envía hasta los precalentadores, por medio de bombas, dirigiéndolo hasta la siguiente etapa la cual es cocción de la masa. El equipo de bombeo es el siguiente:

- Bomba de diafragma para bombeo de lodos; hacia las cachaceras
 - Bomba para manejo de cachaza
 - Bomba para bombeo de cachaza de las cachaceras a los filtros
 - Bomba de desplazamiento positivo de acción directa
 - Bomba para envío de licor de los filtros hacia los calentadores
- Evaporación y concentración del guarapo: El guarapo tiene que ser concentrado hasta que tenga la consistencia de meladura, de aproximadamente 50° Brix a 60° Brix; este proceso se realiza en evaporadores al vacío. El guarapo clarificado se debe bombear a los evaporadores rápidamente y en forma continua, según va saliendo de la defecación o clarificación, manteniéndose el volumen del guarapo al nivel más bajo posible; evitando que descienda la temperatura dentro de los evaporadores. Esta debe ser aproximadamente de 205°F y el flujo de guarapo se regula de acuerdo con la capacidad del evaporador. Durante este proceso el guarapo clarificado pierde alrededor del 70% del agua, la cual se aprovecha para alimentar las calderas y en la imbibición de los molinos. Calentando el guarapo al vacío, se disminuye la presión que actúa sobre él y con ello su punto de ebullición; por lo tanto, si se extraen los gases y vapores que se forman al calentarlo y se aplica suficiente calor, el agua se evapora con rapidez a una temperatura relativamente baja, la cual evita la inversión de azúcar que se encuentra en solución en el guarapo. Por esta razón la concentración del guarapo se hace al vacío y se utilizan las bombas de vacío para extraer los gases y vapores, y mantener baja la presión sobre la superficie del líquido. La concentración del azúcar en la meladura no debe pasar ciertos límites; ya que se debe buscar el más conveniente para el trabajo de los tachos, porque con mayor concentración se produce un azúcar de poca consistencia. A menos de 50° Brix, hay demasiada evaporación en los tachos, con gran consumo de vapor y disminución de la capacidad del mismo; la ideal es tener una concentración en la meladura de 54° Brix a 57° Brix.
 - Tachos: Estos son evaporadores de simple-efecto en donde circula una masa cocida, con un contenido bajo de agua de 4% a 7%, a diferencia de la meladura con 50% de agua. Los tachos más comúnmente usados son los de calandria, los cuales trabajan con vapor de escape de 48,263.3 a 68,947.6 pascales. Estos tachos consumen poco vapor. Algunos tachos de calandria tienen serpentín debajo de las calandrias para admitir vapor directo con el fin de revolver la masa cocida en el fondo del tacho; también pueden tener uno o dos serpentines en la parte superior de la calandria para acelerar la evaporación, trabajando esto serpentines con vapor directo de baja

presión. Los tachos trabajan al vacío, por lo que requieren bombas de vacío, la de inyección y la del condensador. Se requiere que la evaporación en los tachos se efectúe a la misma presión que en los evaporadores. Los tachos están provistos de una compuerta en la parte inferior, para descargar la masa cocida o bien una válvula construida totalmente de bronce. Cuando los tachos trabajan a un ritmo normal, y la cristalización de la templa es satisfactoria, no es necesario variar la temperatura ni la presión. De acuerdo con la evolución de las plantas generadoras de vapor, así como de las turbinas, existe una tendencia a aumentar la presión del vapor de escape. A consecuencia, los tachos actuales tienen una estructura más fuerte por lo que, en los ingenios modernos es normal que trabajen con vapor de escape de 55,158.1 a 137,895 pascales.

- **Cristalizadores:** En los cristalizadores los temples no se cristalizan, sino más bien se preparan y el grano sólo aumenta ligeramente de tamaño según el tiempo que permanezca en ellos. Todos los cristalizadores tienen serpentines de agua caliente y fría. Los dos tipos de cristalizadores usados más comúnmente son: tipo cilíndrico y el tipo U. Ambos tipos contienen paletas agitadoras para mezclar la masa cocida y a la vez, enfriarla lentamente. Las paletas que están dispuestas en forma de espiral arrollan la masa cocida hasta la puerta de salida. La masa cocida o de agotamiento, cuando sale de los tachos, es una mezcla de cristales de azúcar y de miel que contiene todavía mucha sacarosa diluida en el agua madre. El proceso denominado “cristalización en movimiento” consiste, esencialmente, en mantener en movimiento los cristales o granos de azúcar, mientras se enfría la masa cocida. Así, se logra que la sacarosa disuelta en la miel se deposite sobre los cristales ya formados. La velocidad de varía, según el caso. Lo más común es que para masas de primera y de segunda, la velocidad más conveniente sea de 5 a 6 r.p.m. Por otra parte, la masa de tercera requiere agitación continua durante un período de 72 horas y una velocidad comprendida entre 0.5 y 1.25 r.p.m. El azúcar se separa de las mieles por fuerza centrífuga en un aparato llamado “centrífuga”. La miel de segunda es la que se extrae directamente del giro de la centrífuga, denominándose purga el producto de la miel y del agua rociada sobre la masa de segunda, con el objeto principal de lavar el grano.
- **Refinación:** El proceso de refinación del azúcar de caña es sencillo, en teoría, pero muy complejo en la práctica. La refinación empieza con la afinación o “lavado”, lo cual consiste en separar la capa o película de miel adherida a la superficie de los granos de azúcar. Esta tiene una pureza de 65% aproximadamente, según la clase de la masa cocida de la que se obtuvo, mientras que el cristal es prácticamente sacarosa pura. La separación se efectúa mezclando el azúcar crudo con un sirope espeso (65 a 70° Brix), purgando la mezcla en centrífuga y luego lavándolo con agua; después de que haya separado o escurrido el sirope. Los crudos entran en los mezcladores, y se mezclan con agua para formar un magma espeso y frío que después se descarga a mezcladores del mismo tipo que los usados en la fabricación del azúcar crudo. Luego el magma se purga en centrífuga y el azúcar lavado, pasa al disolutor. La operación de lavado en condiciones normales debe rendir un azúcar de color amarillento y de aproximadamente 99% de pureza. Luego se

descarga a los mezcladores el sirope obtenido de las purgas para formar el magma con el azúcar crudo. Es evidente que, con las sucesivas operaciones de mezclar y purgar esta miel de primera o miel de lavado, disminuye su pureza y aumenta el volumen de la misma; hasta que se tiene una cantidad mayor de la que se requiere para la formación del magma. El licor del crudo lavado del disolutor contiene algunas materias insolubles como por ejemplo bagacillo, arcilla, arena, entre otros. Por último, los lavados del crudo son purificados; y para lograr una mayor purificación generalmente se utiliza ácido fosfórico.

(Zubicaray & Fernández, 2003)

BBB. Análisis beneficio/costo

El análisis beneficio/costo se creó para asignar una mayor objetividad a la economía y se considera un método de análisis fundamental para diferentes tipos de proyectos. La razón beneficio/costo se conforma de muchas variaciones; sin embargo, el enfoque fundamental es el mismo: todos los cálculos de costos y beneficios deben convertirse a una unidad monetaria de equivalencia común (VP, VA o VF) con la tasa de descuento (tasa de interés). La razón convencional beneficio/costo se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{B}{C} = \frac{VP \text{ de los beneficios}}{VP \text{ de los costos}} = \frac{VA \text{ de los beneficios}}{VA \text{ de los costos}} = \frac{VF \text{ de los beneficios}}{VF \text{ de los costos}}$$

Ecuación 26

Las equivalencias del valor presente (VP) y valor anual (VA) se utilizan más que las del valor futuro (VF). LA convención de signos para el análisis beneficio/costo consiste en signos positivos; así, los costos van precedidos por un signo +. Cuando se calculan los valores de rescate, se deducen los costos. Los contrabeneficios se consideran de diferentes maneras, según el modelo que se utilice. Generalmente, los contrabeneficios se restan de los beneficios y se coloquen en el numerador. La razón beneficio/costo convencional, y quizá la más utilizada se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{beneficios} - \text{contrabeneficios}}{\text{costos}} = \frac{B - D}{C}$$

Ecuación 27

Al obtener la razón beneficio costo, realmente la directriz de decisión es sencilla:

- Si $B/C \geq 1.0$, se determina que el proyecto es económicamente aceptable para los estimados y la tasa de descuento aplicada.
- Si $B/C < 1.0$, se determina que el proyecto no es económicamente aceptable.

Cabe mencionar que si por algún motivo el valor B/C es igual o está muy cerca de 1.0, los factores no económicos ayudarán a tomar la decisión de la mejor opción. Por otra parte, se puede mencionar también que existe una razón B/C modificada; en la cual se incluye todas las estimaciones propias del proyecto una vez en operación. Los costos de mantenimiento y operación (O y M) se colocan en el numerador y se trata de forma similar a los contrabeneficios. Es decir, que el denominador sólo incluye el costo de la inversión inicial. Una vez expresadas todas las cantidades en términos de VP, VA o VF; la razón B/C modificada se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{B}{C} \text{ modificada} = \frac{\text{beneficios} - \text{contrabeneficios} - \text{costos de O y M}}{\text{inversión inicial}}$$

Ecuación 28

El valor de rescate por lo general se incluye en el denominador como un costo negativo. La razón B/C modificada produce un valor diferente que el que arroja el método B/C convencional. Sin embargo, como sucede con los contrabeneficios; el procedimiento modificado puede cambiar la magnitud de la razón, pero no la decisión de aceptar o rechazar el proyecto (*Blank & Tarquin, 2012*).

1. **Tasa mínima atractiva de rendimiento.** También conocida como la TMAR, es una tasa de retorno razonable para evaluar y elegir una opción. Un proyecto no es económicamente viable a menos que se espere un rendimiento mayor a una TMAR establecida. Esta tasa también recibe el nombre de tasa por superar, tasa de corte, tasa paramétrica y tasa mínima aceptable de rendimiento. Es decir, que para que una inversión sea rentable, el inversionista (corporación o individuo) espera recibir una cantidad de dinero mayor de la que originalmente se invirtió. Debe estar dentro de las posibilidades obtener una tasa de retorno o retorno sobre la inversión atractivos. Realmente, la TMAR es establecida por los directivos (financieros) y se utiliza como criterio contra el cual se compara una tasa de retorno alternativa cuando se toma la decisión de aceptar o rechazar alguna inversión. Finalmente, aunque la TMAR sirve como criterio para decidir si se invierte en un proyecto, el monto de la misma está relacionado fundamentalmente con lo que cuesta obtener los fondos de capital que se requieren para un proyecto (*Blank & Tarquin, 2012*).

2. **Análisis del período de recuperación** El análisis del período de recuperación es empleado para determinar la cantidad de tiempo, por lo general expresada en años, que se requiere para recuperar el costo inicial de un activo o un proyecto. Es otras palabras, es el tiempo estimado en que los ingresos, ahorros y otros beneficios económicos estimados recuperan la inversión inicial y una tasa de rendimiento establecida. Cabe mencionar que es otro uso que se le puede dar a la técnica del valor presente. Este análisis tiene las siguientes definiciones y tipos:

- Sin rendimiento: También llamado recuperación simple, consiste en la recuperación sólo de la inversión inicial.

- Recuperación descontada: El valor del dinero en el tiempo se considera en cierta forma como rendimiento, además de recuperar la inversión inicial.

Cabe mencionar que, en este análisis, se ignoran todos los flujos netos de efectivo que ocurran después de cierta cantidad de años al momento de recuperar la inversión inicial. Por lo tanto, el análisis de recuperación se debe utilizar sólo como método de sondeo inicial o herramienta complementaria, y no como un medio principal para seleccionar una alternativa, las razones son las siguientes:

- La recuperación sin rendimiento ignora el valor del dinero en el tiempo, pues no se requiere ningún rendimiento sobre la inversión.
- Todo tipo de recuperación ignora todos los flujos de efectivo que ocurren después del periodo de recuperación. (*Blank & Tarquin, 2012*)

V. ANTECEDENTES

La planta de producción de etanol está ubicada en el municipio de Siquinalá, departamento de Escuintla, Guatemala. Esta cuenta con dos líneas de producción, de capacidad distinta y con tecnologías de origen diferente. La primera planta, fue diseñada por una empresa estadounidense, instalada en el año 2003 y cuenta con una capacidad de producción para 150,000 L/día. La segunda, diseñada por una empresa india, cuenta con una capacidad de 450,000 L/día. Todo el equipamiento de ambas fue adquirido en dichas empresas.

La primera planta fue diseñada por una empresa estadounidense y cuenta con capacidad de producción de 150,000 L/día. La segunda planta fue diseñada por una empresa de la india y cuenta con una capacidad de producción de 450,000 L/día, dicha planta es identificada como “450” y fue la escogida para realizar el estudio. El agua que se utiliza en el proceso productivo para la planta numerada como “450”, está conformada por un afluente de aguas naturales provenientes de ríos y pozos y un afluente de agua de los fondos de columnas de destilación.

La producción de etanol inicia con la recepción de la materia prima, en este caso, melaza (sustrato del proceso). Esta melaza proviene de ingenios azucareros del grupo industrial ya que la misma es un residuo del proceso de producción de azúcar al que no resulta rentable extraer la sacarosa presente. Estos azúcares pueden ser aprovechados como sustrato para fermentaciones.

Se cuenta con cuatro tanques dentro de la planta donde se realiza la fermentación. Actualmente, se realiza el tratamiento de la melaza con químicos y, se realiza para reducir la carga microbiana, ya que compete con la levadura por los azúcares en la melaza y producen compuestos orgánicos no deseados. La melaza se diluye para formar un mosto que es trasladado a tanques donde será fermentado.

Tras la producción de vino por parte de las levaduras, este es sometido a diferentes procesos con tal de obtener la mayor cantidad posible de alcohol. Por esta razón es que el vino es llevado a dos columnas “destrozadoras” o de destilación primaria en donde se obtiene como producto principal una solución alcohólica entre 40 y 50%. La primera columna destrozadora T-507 funciona con vacío con el objetivo de minimizar la cantidad de calor a utilizar para la destilación. Por otro lado, la columna T-516 no usa un sistema de vacío por lo que requiere mucho más calor. Del cien por ciento del flujo de vino, generalmente 43% va hacia T-507 y 57% hacia la T-516.

Se utilizaron estudios previos para fundamentar este trabajo, tales estudios han sido realizados a lo largo de los años en las diferentes áreas evaluadas en este megaproyecto. Algunos estudios son:

En cuanto al diseño de un pasteurizador para mosto, se tomó en cuenta el informe de megaproyecto titulado “Estudio de la eficiencia energética y propuesta de mejoras para una planta productora de

etanol a partir de melaza” presentado en el 2015. Especialmente el módulo presentado por Rolando Santamaría.

Para el módulo de “Estudio técnico de propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de agua para mosto y posibles mejoras” se revisó un estudio previo realizado por la estudiante Karen Alejandra Cifuentes Godínez de la licenciatura en Bioquímica y Microbiología de la Universidad del Valle de Guatemala, que evaluó la presencia microbiológica en la otra planta de producción de etanol para el agua proveniente del tanque de almacenamiento durante el periodo de zafra 2014-2015. Este análisis determinó la carga microbiológica y la efectividad de la lámpara U. V. para dicha planta.

Entre los estudios previos sobre producción de biogás, realizados como trabajo de graduación en la Universidad del Valle de Guatemala, se encuentran los siguientes:

- Diseño de un reactor anaeróbico para la producción de biogás partir de levadura de desecho en una industria cervecera, por Mariela Montenegro Reyes, 2006.
- Prototipo de biodigestor para aguas residuales para la generación de biogás. En modalidad de Megaproyecto, 2011.
- Diseño de un sistema integrado generador de energía que incluye la producción de biogás, electricidad y compost, utilizando residuos orgánicos de origen animal en la finca Rama Blanca de Sipacate, Escuintla, en modalidad de Megaproyecto, 2013
- Estimación del potencial de producción de energía eléctrica a partir de la extracción del biogás de los efluentes en granjas porcinas, en modalidad de Megaproyecto, 2009.

Por otro lado, para la “Evaluación de la producción de compost a partir de lodos de vinaza”, algunos ejemplos de estudios anteriores son:

- En Guatemala se realizó una Tesis por Eddy Saúl Guinea Díaz (2013) con el siguiente título: Efecto de la adición de vinaza a la cachaza para la elaboración de compost como alternativa al uso de los subproductos de la industrialización de la caña de azúcar; la democracia, Escuintla.
- En la Universidad “Ezequiel Zamora Guanare” de Venezuela, se realizó un estudio por José A. Farreras y Carlos E. Párraga (2012) con el título: *Evaluación de lodos de vinaza como biofertilizante en dos tipos de suelo.*
- En el año 2008 en México se elaboró un artículo con el título: *Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar, en un gleysol mólico de Chiapas, México.* Se evaluó el efecto de la vinaza y composta de cachaza sobre las propiedades químicas del suelo.

Con base en los datos generales, lo observado en la planta y lo revisado en los estudios ya mencionados, se logró trabajar los diferentes módulos de una forma más delimitada, específica y concreta.

VI. METODOLOGÍA

A. Módulo 1: Diseño de pasteurizador para mosto

Toma de muestras

1. Se utilizó recipientes de plástico con capacidad de un galón para la melaza y de vidrio con capacidad de un litro para el agua de proceso (ver Anexo 7). Los recipientes fueron esterilizados utilizando el autoclave (ver Anexo 8) del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala a 125°C
2. Se tomó muestra de agua y melaza, cada semana durante dos meses de zafra (marzo y abril), en los recipientes mencionados con anterioridad
3. Se tomó un L de agua de proceso en la planta 2 y un galón de melaza en la misma planta.
4. Las muestras fueron transportadas de la empresa al Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala en hieleras

Tratamiento térmico

1. Se diluyó la melaza, con el agua de proceso, hasta 30°Brix, se agitó con una varilla de vidrio en beakers de Pyrex.
2. Se tomó 10 mL de melaza y mosto para analizar el contenido microbiano antes del tratamiento
3. Se utilizó los reactores (ver Anexo 8) del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala como equipo para tratar térmicamente ambos fluidos.
4. Se calentó ambos fluidos hasta los 70°C tomando diferentes tiempos en cada uno, utilizando el control de temperatura de los reactores.
5. Al llegar a 70°C, inmediatamente, se inició el enfriamiento de ambos reactores, utilizando agua suave a 25°C, a través del serpentín con el que están equipados los reactores. Se enfrió hasta los 35°C.
6. De cada compuesto, se tomó 10 mL, diluyendo en una proporción de 1:30v/v con agua destilada, se tomó tres muestras de 25 mL cada uno.
7. Se filtró esta nueva solución utilizando monitores Merck (ver Anexo 8).

Conteo microbiano

1. Se trabajó en un ambiente estéril utilizando un mechero de algodón y etanol
2. Se filtró 20 mL de ambas soluciones en monitores marca MERCK para conteo microbiano.
3. Se utilizó un kitasato y vacío para llevar a cabo la filtración (ver Anexo 8)
4. Los filtros fueron incubados durante 48 horas a 30°C (ver Anexo 8)
5. Se midió el diámetro de los filtros con un vernier para obtener el área total

6. Se contó el número de unidades formadoras de colonias (UFC) en una unidad de área
7. Se realizó lo mismo en las muestras antes y después del tratamiento
8. Se comparó el cambio en cada una de las muestras, obteniendo un porcentaje de reducción en las unidades formadoras de colonias.

Dimensionamiento de intercambiadores de calor

Nota: las ecuaciones utilizadas se encuentran detalladas en marco teórico.

1. Se calculó la demanda de calor y el flujo de calor transferido utilizando la ecuación número 2.
2. Realizando un balance energético, se determinó el flujo de vapor y agua de enfriamiento requerido
3. Se seleccionó un intercambiador de referencia de acuerdo a los flujos que se manejaron, tomando como referencia el manual Heating and Cooling Solutions by ALFA LAVAL
4. Se calculó la diferencia media logarítmica de la temperatura entre los diferentes flujos (ver figura 18)
5. Se determinó el factor de corrección para la temperatura con el NTU utilizando la figura 20 y la ecuación 15
6. Se calculó la nueva media logarítmica de temperatura con el factor de corrección
7. Se estimó un coeficiente global de transferencia teórico
8. Se calculó el área superficial requerida utilizando la ecuación 13
9. Se determinó el número de placas utilizando la relación del área total y el área de placas
10. Con el número de placas y las condiciones de los flujos se calculó nuevas resistencias para cada flujo utilizando la ecuación 17.
11. Se calculó un coeficiente global de transferencia con base en las resistencias del flujo utilizando la ecuación número 10
12. Utilizando iteraciones con el software de computación Microsoft Excel y la herramienta solver, se varió el coeficiente global de transferencia hasta que no presentó variaciones
13. Se calculó nuevamente el área con el nuevo coeficiente con la ecuación número 10.
14. Se determinó el número de placas requeridas utilizando las especificaciones de manual de Alfa Laval en cada uno de los casos con la relación del área total y el área de una placa.

B. Módulo 2: Estudio técnico de propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de agua para mosto y posibles mejoras

El estudio se llevó a cabo en una empresa productora de etanol, ubicada en el municipio de Siquinalá en el departamento de Escuintla. Se recibió capacitación de seguridad industrial en instalaciones previo a realizar cualquier acción dentro de la planta. El periodo de muestreo fue durante los meses de abril y mayo

de la zafra 2015-2016. La empresa cuenta con dos plantas productoras, el estudio se realizó únicamente en la planta identificada como “450”.

1. Se esterilizaron los frascos a utilizar para la toma de muestra utilizando la autoclave en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, marca Market Forge Sterilmatic (Anexo 24).
2. Se recolectaron muestras de los flujos provenientes del tanque de almacenamiento de agua y de los fondos de las columnas de destilación. Para ambos casos, se tomó muestra después de la lámpara U. V.:
 - a. Se limpió la boquilla con alcohol étílico al 70%, utilizando algodón esterilizado, para eliminar cualquier fuente de contaminación externa.
 - b. Se abrió la llave de paso correspondiente a la salida y dejar que fluya aproximadamente 1 minuto.
 - c. Se abrió el frasco de 1000 mL y se realizó un lavado con la muestra, desechando dicha cantidad al alcantarillado.
 - d. Se llenó el frasco nuevamente, evitando la formación de espuma. Luego se cerró firmemente.
 - e. Se cerró la válvula de paso de la boquilla.
3. Se almacenaron los frascos en una hielera, cubriéndolos en su totalidad con 3 bolsas de hielo.
4. Se transportaron las muestras en el baúl de un automóvil con destino al Laboratorio de Operaciones Unitarias y se almacenaron en refrigeración.
5. Al día siguiente, se retiraron las muestras de la refrigeradora y se dejó que alcanzaran la temperatura ambiente antes de iniciar los análisis.
6. Se realizó la filtración por membrana para recuento microbiológico dentro de la cabina del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala:
 - a. En un erlenmeyer con capacidad de 25 mL, se vertieron 10 mL de etanol. Se humedeció un paño de limpieza con un poco de etanol y se introdujo dentro del erlenmeyer de manera que tocara el volumen previamente añadido. Se encendió con un fósforo el extremo del paño de limpieza prominente del erlenmeyer y se dejó la llama durante el periodo de filtración, esto se hizo para mantener un ambiente estéril.
 - b. Se preparó el sistema de filtración. Para ello se utilizó *55-PlusTM Monitor* (Millipore, JBRMHWG05505). Para ello se utilizó las instrucciones dadas por el fabricante (Anexo A).
 - c. Se colocó una mascarilla sobre la boca y nariz del experimentador, para evitar contaminación a las muestras.
 - d. Se realizó el procedimiento con cada muestra que se filtró. Al finalizar, se transportaron al Laboratorio de Ingeniería Bioquímica de la Universidad del Valle de Guatemala y se dejaron las muestras adentro de la incubadora por 2 días a una temperatura de 32 °C.

7. Se realizó análisis fisicoquímicos utilizando el Portable Datalogging Colorimeter DR/890 marca Hach ® (Anexo 22):
 - a. Se dejaron las muestras afuera de la refrigeradora para que alcanzaran la temperatura ambiente.
 - b. Se analizaron nitratos (Anexo 10), fosfatos (Anexo 11), sulfatos (Anexo 12), cloro libre (Anexo 13), siguiendo las instrucciones dadas para cada análisis en el manual de procedimientos Hach.
8. Se determinó el pH de las muestras utilizando el potenciómetro marca Hach ® (Anexo 23). Primero se calibró el potenciómetro siguiendo las instrucciones dadas en el Anexo F. Luego, se lavó con agua destilada el potenciómetro y después se introdujo en las muestras. Se presionó el botón “pH” y luego el botón “Read” y se esperó que se estabilizara el valor la medición del potenciómetro (apareció un candado en la pantalla del equipo). Por último, se lavó nuevamente el electrodo con agua destilada. Se repitió el procedimiento para todas las muestras analizadas.
9. Se determinó la conductividad de las muestras utilizando el potenciómetro, presionando el botón con el nombre “Con/TDS/sal” y luego el botón “Read”. Se esperó que se estabilizara la medición del equipo. Después se lavó el potenciómetro con agua destilada.
10. Se determinó la dureza total de las muestras utilizando el kit de análisis de dureza total marca Merck ®, se realizó el procedimiento descrito provisto por Merck ® (Anexo 15). Posteriormente, lavar con agua destilada los recipientes del kit.
11. Se determinó la presencia de Hierro en las muestras de agua utilizando el espectrofotómetro de absorción atómica (Anexo Q25)
12. Se analizó los resultados obtenidos en comparación con valores establecidos para poder establecer propuestas de mejora al proceso.

Reactivos y materias primas utilizadas

- Caldo de cultivo, m-Endo Total Coliform Broth MHA000P2E marca Millipore ® (Anexo 18)
- NitraVer 5 Nitrate Reagent Powder Pillow, marca Hach ® (Anexo 10)
- PhosVer 3 Phosphate Powder Pillow, marca Hach ® (Anexo 11)
- SulfaVer 4 Sulfate Reagent Powder Pillow, marca Hach ® (Anexo 12)
- DPD Free Chlorine Powder Pillow, marca Hach ® (Anexo 13)

Equipos y kit de mediciones utilizados

- Test Dureza Total MColortest™, marca Merck ® (Anexo 15)
- Portable Datalogging Colorimeter DR/820, DR/850, DR/890 marca Hach ® (Anexo 22)
- Portable Multiparameter marca Hach ® (Anexo 23)
- Autoclave Market Forge Sterilmatic (Anexo 24)
- Espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer ® PinAAcle 900F (Anexo 25)

C. Módulo 3: Producción de biogás a partir de fermentación de vinaza

La metodología desarrollada en la evaluación de producción de biogás a partir de vinaza conllevó las siguientes etapas:

- Se realizaron pruebas fisicoquímicas a la vinaza obtenida en el proceso de producción de etanol, en triplicado utilizando diferentes lotes. Las pruebas fisicoquímicas realizadas contemplan los siguientes análisis:
 - Demanda Química de Oxígeno, fueron utilizados viales de digestión de alto rango en equipo Hach, siguiendo el procedimiento del equipo. El equipo se utilizó tomando en cuenta “High Range” para todas las muestras analizadas.
 - DBO, se utilizó metodología Hach conjuntamente con diluciones 1/1000. Fueron tomadas únicamente las diferencias de mg/L de oxígeno en el primer y quinto día, de donde se calculó la diferencia de dichas mediciones.
 - pH, se utilizó un potenciómetro (ver anexos).
 - Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro (Fe), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu), Sodio (Na), fueron analizados utilizando un espectrofotómetro de llama, para dichos análisis se contó con curvas de calibración de cada uno de los minerales. Ver anexos para detalles del equipo.
 - El porcentaje de materia orgánica fue calculado a partir del resultado de DBO, el cual es expresado en mg/L.
 - Sólidos totales, se utilizó una estufa eléctrica, donde fue tarado un recipiente, dónde se colocó una muestra de 100 mL de vinaza, la cual fue pesada previamente. Se elevó la temperatura de la estufa a una superior al punto de ebullición de la vinaza, a tal punto de evaporar el líquido presente. Al encontrarse únicamente material sólido, se removió de la estufa y se calculó la proporción de mg/L presentes en la muestra.
- Los organismos metanógenos contenidos en estiércol de res se adaptaron a un diferente medio, en este caso vinaza. Un kilogramo de estiércol en 2 litros de vinaza. Esto hasta inicializar la producción de biogás, lo cual se presentó como indicativo de la adaptación de los organismos encargados de la producción de metano al medio, aproximadamente 5-7 días. Cabe mencionar que el excremento es proveniente de vacas de la raza “Jersey”, con una alimentación diaria de 80% silo y 20% concentrado.
- A partir del paso anterior fueron trasvasadas las bacterias a diferentes reactores.
 - Reactores: se fabricaron a partir de botellas PET de 2 L, cerrados herméticamente, con una salida hacía otra botella del mismo volumen llena de agua e invertida, donde al

ingresar el agua exista un desplazamiento de agua y capturaba el biogás producido por burbujeo. Ambos recipientes conectados por una manguera con un sello de silicón. Las botellas utilizadas contaban con forma cuadrada en su parte inferior de 13x13 cm.

- Se realizó la colocación de organismos adecuados al medio (vinaza) en 12 sistemas como el anteriormente mencionado, eso para obtener resultados en triplicado de cada sistema con las mismas características. En los casos que se superaron los 2L de biogás colectado, fue sustituida la botella, siempre bajo de agua para evitar el escape de biogás.
- Los reactores son nombrados como “No.1”, “No.2”, “No.3” y “No.4”, donde cada uno de estos presentó distintas características. Así como también denominados A, B o C, tomando en cuenta el triplicado de la experimentación.

Tabla 5. Características de reactores evaluados

No.	Temperatura constante de 34°C	Temperatura ambiente*	Vinaza No diluida	Vinaza diluida 1:1 en agua
1 A		X	x	
1 B		X	x	
1 C		X	x	
2 A	x		x	
2 B	x		x	
2 C	x		x	
3 A		X		X
3 B		X		X
3 C		X		X
4 A	x			X
4 B	x			X
4 C	x			X

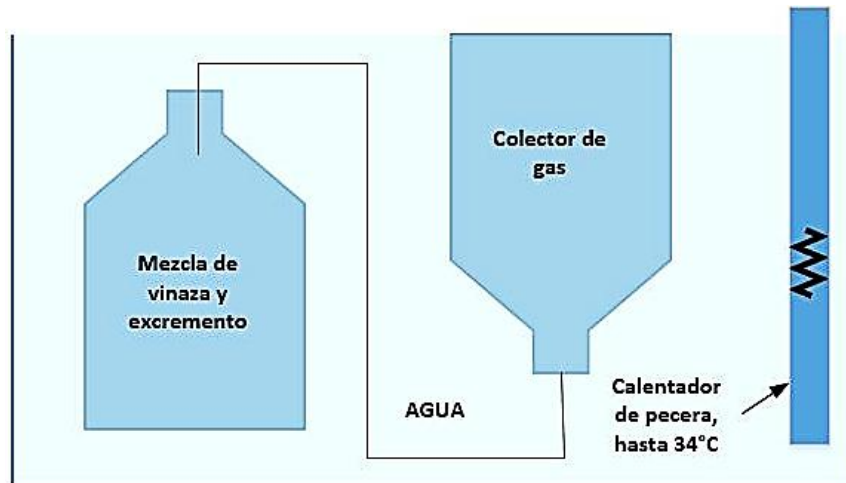
*Temperatura ambiente trabajada: 24.73°C ± 0.35°C.

Cada reactor se cargó con 25 mL del componente (heces de ganado bovino) con organismos productores de metano y vinaza formado anteriormente, así como 250 mL de solución, ya sea vinaza sin diluir, o vinaza diluida 1 a 1. La presión atmosférica de trabajo fue de 88,000 Pa en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

- Las botellas utilizadas como reactores fueron calibradas con una probeta de 50 mL.
- Se realizaron lecturas diarias sobre el incremento de biogás en la botella destinada para ello. En el caso de los reactores a temperatura ambiente, una toma diaria de la temperatura alrededor de las

11:00 am bajo sombra. El calentamiento de los reactores a temperatura constante, se llevó acabo por medio de un calentador de pecera (calentador de resistencia). En el siguiente esquema se detalla la posición de los recipientes. Cabe mencionar, que estos fueron sujetos con alambre, para evitar su volteo y escape de gas al ambiente.

Figura 34. Esquema posicionamiento de reactores.



- El tiempo de generación de biogás (tiempo de residencia) evaluado fue de 30 días.
- Pasado dicho tiempo se cuantificó en su totalidad el biogás producido. Así como también realizar un análisis del porcentaje de metano contenido en el mismo, las botellas invertidas en el sistema fueron cerradas bajo el agua, con la finalidad de evitar el escape de biogás.
- El porcentaje de metano fue determinado a partir de la extracción del biogás contenido en las botellas, las cuales fueron perforadas con una jeringa, para luego ser inyectada en un cromatógrafo de gases (Ver anexos). Fueron analizadas tres diferentes muestras de vinaza en refrigeración, con la finalidad de identificar presencia de metano. Adicional a los objetivos del estudio se realizaron pruebas para verificar la presencia de metano en el almacenaje de vinaza, la cual se mantuvo en refrigeración por tres días previo a la extracción de gas en la parte superior del recipiente que la contenía.
- Se realizó otra caracterización de la vinaza luego del proceso de digestión biológica, con la finalidad de obtener datos acerca de la reducción de materia orgánica presente y posibles cambios en su composición. Se utilizó el mismo procedimiento empleado en la vinaza previa al proceso de biodigestión, anteriormente descrita.
- Se realizaron comparativas para proporcionar un estimado acerca de la producción de biogás con las variables manejadas.

- Basado en la literatura y entrevistas realizadas acerca de la producción de biogás a partir de vinaza a nivel nacional e internacional, proponer beneficios de la purificación de biogás para uso en una planta de destilación.

Las pruebas realizadas se basaron en estudios previos, así como también consultas acerca del tema en diferentes fuentes bibliográficas, incluyendo entrevistas con expertos en la implementación de plantas de biogás en Guatemala.

Las recomendaciones a proporcionar van dirigidas a aquellas plantas de producción de etanol, en las cuales no se le dé un uso factible o ambientalmente responsable a la vinaza.

Listado de equipo utilizado:

- Espectrofotómetro de llama PerkinElmer 900F (ver Anexo 30).
- Potenciómetro Conductronic 120 (ver Anexo 30).
- Cromatógrafo de gases 9890N (ver Anexo 30).
- Balanza analítica (ver Anexo 30).
- Equipo Hach utilizado para medición de DBO y DQO (ver Anexo 30).

Reactivos utilizados:

- Excremento de ganado bovino, raza Jersey, con alimentación 80% silo y 20% concentrado.
- Vinaza proveniente de una destilería de etanol.
- Nitrógeno como gas de arrastre en la cromatografía de gases.
- Soluciones utilizadas por equipo Hach, para medición de DBO y DQO. Consultar manuales y procedimientos. (Ver Anexo 30)

Todos los procedimientos del equipo Hach, fueron ejecutados según manuales. (Ver Anexo 30).

D. Módulo 4: Evaluación de la producción de compost a partir de lodos de vinaza

1. Obtención de lodos de vinaza

- Se obtuvo tres galones de lodos de vinaza del módulo de “Producción de biogás a partir de fermentación de vinaza”. Ver Anexo 31

2. Caracterización

- Se suspendió en 20 mL de agua destilada 10 gramos de material dejando en reposo por una hora, y se midió el pH utilizando el potenciómetro pHTestr20. Se hicieron tres corridas. Ver Anexo 32
- Se midió los grados brix utilizando el refractómetro ATAGO. Se hicieron tres corridas. Ver Anexo 33
- Se analizaron los minerales (Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro (Fe), Zinc (Zn), Manganeso (Mn), Cobre (Cu) y Sodio (Na)) utilizando el espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer. Ver Anexo 4. Para ello se realizaron diluciones (1/1000) con agua destilada, y con cada elemento se utilizó una curva de calibración con soluciones a distintas concentraciones. Ver Anexo 35. Se hicieron tres corridas. Ver el procedimiento estándar en Anexo 46.

3. Construcción del depósito de compostaje

- Se utilizó una caja de plástico con tapa, con las siguientes dimensiones 0.70 x 0.35 x 0.30 m.
- Se utilizó un barreno para realizar varios agujeros (con diámetro de 1 cm) en todas las paredes de la caja, para permitir la entrada de aire. Ver Anexo 36.
- Se colocó una malla en las paredes dentro de la caja para evitar la salida de los sólidos de la mezcla de compostaje. Ver Anexo 36.

4. Realización de la mezcla de compostaje

- Se recolectaron en bolsas plásticas, los restos de cocina de vegetales y frutas (papaya, piña, limón, papa, zanahoria, fresa, sandía, espinaca, camote, aguacate y tomate).
- Se determinó la humedad de una muestra de los restos orgánicos, siendo esta de 67.63% m/m. Para ello se pesó la muestra inicial, se deshidrató en el secador de bandejas Extech y se volvió a pesar en una balanza Incship. Se realizaron 3 corridas. Ver Anexo 37.
- Se decidió deshidratar los restos orgánicos (12 kg) para utilizar una mayor cantidad de lodos de vinaza. La deshidratación se realizó en un secador de bandejas Extech por cuatro horas. Ver Anexo 38.
- Para llegar a una humedad cercana a 70% m/m, se mezclaron 4 kg de los restos deshidratados con 8 kg de vinaza, y se colocó la mezcla en el depósito de compostaje. Ver Anexo 39.

- Se analizó la mezcla de compostaje en un laboratorio externo. (pH, concentración de sales, materia orgánica, relación C/N, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, boro, cobre, hierro, manganeso y zinc.) Ver Anexo 40

5. Proceso de compostaje

- Se colocó la caja de plástico al aire libre, con la mezcla de vinaza.
- Se midió la temperatura con un termómetro de vidrio cada dos días (para ello se introdujo el termómetro ,0-100°C, ± 0.5 °C, en medio de la pila). Se realizaron 3 corridas. Se hizo una gráfica con las temperaturas obtenidas. Ver Anexo 41
- Se midió la humedad utilizando una balanza de humedad cada siete días. Para ello se abrió la cámara de secado de la balanza, se taró el platillo, se colocó la muestra en el platillo, se cerró la cámara, se presionó el botón de inicio y se dejó el tiempo necesario para obtener el dato de la humedad.
- Se midió el pH utilizando el potenciómetro pHTestr20 cada siete días (siguiendo el procedimiento descrito en el paso 1.B)
- Se realizaron volteos a la mezcla de compostaje cada dos días utilizando una pala. Esto se realizó con el fin de dejar en medio de la pila lo que se encontraba en la superficie.
- Cada dos días se realizó la técnica “del puño cerrado”, la cual consistió en sacar un puñado de material y abrir la mano. Si escurría agua, se realizaba un volteo. Si el material quedaba suelto en la mano, se hidrataba la mezcla utilizando los lodos de vinaza, hasta que el material quedara apelmazado pero sin escurrir.

6. Análisis del abono orgánico

- Se realizó un análisis del abono orgánico obtenido en un laboratorio externo. (pH, concentración de sales, materia orgánica, relación C/N, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, boro, cobre, hierro, manganeso y zinc.) Ver Anexo 42
- Se realizó una prueba de madurez utilizando el kit Solvita., para determinar la condición del compost y sus posibles usos. Ver Anexo 43

E. Módulo 5: Diseño de un sistema auxiliar de bombeo

1. **Requerimientos del sistema.** Para el diseño del sistema de bombeo auxiliar fue necesario listar los requerimientos impuestos por las normas NEMA (ABB, 2014) y los requisitos de las bombas usadas para Industrias de Procesos Químicos (IPQ) (McNaughton, 1999). Además de tomar en cuenta el aprovechamiento de la energía, es decir, la eficiencia del proceso calculando el ratio de Eficiencia General de los Equipos (OEE, por sus siglas en inglés).

Tabla 6. Requerimientos generales del sistema de bombeo auxiliar.

ID	Requerimientos generales.	Prioridad	Predecesor	Sucesor	Origen
RGSBA-01	La bomba debe ser adecuada para transportar líquidos volátiles y altamente corrosivos.	Alta	-	-	Requisitos de IPQ
RGSBA-02	Los materiales de la bomba deben soportar el contacto con productos corrosivos.	Alta	-	-	Requisitos de IPQ
RGSBA-03	El motor eléctrico debe ser a prueba de explosiones.	Alta	-	RSBA-04	Normas NEMA
RGSBA-04	La conexión del motor eléctrico debe ser trifásica y debe evitar chispas.	Alta	RSBA-03	RESBA-01	Normas NEMA
RGSBA-05	La selección del material y diámetro del eje debe soportar la corrosión por contacto con productos corrosivos y fallos prematuros por la torsión provocada por los arranques del motor.	Alta	-	RESBA-02 RESBA-03	Requisitos IPQ
RGSBA-06	La tubería debe soportar el efecto corrosivo del etanol en contacto.	Alta	-	RESBA-05	Requisito de IPQ
RGSBA-07	Las pérdidas por accesorios en las tuberías no deben ser mayores que las pérdidas por fricción.	Alta	-	-	Requisito de eficiencia.
RGSBA-08	El conjunto bomba-motor debe contar con un proceso de disipación de calor.	Media	-	-	Requisito de eficiencia.
RGSBA-09	El conjunto bomba-motor deberá variar la velocidad de rotación para ajustarse a la operación que se requiera.	Alta	-	-	Requisito de módulo.
RGSBA-10	El sistema de bomba-motor auxiliar debe aumentar la eficiencia del proceso.	Alta	-	-	Requisito de módulo.
RGSBA-11	Los sellos mecánicos deben estar fabricados con materiales que soporten el ataque corrosivo del etanol.	Alta	-	-	Requisito de módulo.

Tabla 7. Requisitos específicos del sistema de bombeo auxiliar.

ID	Requerimientos específicos.	Prioridad	Predecesor	Sucesor	Origen
RESBA-01	La conexión del motor debe ser en distribución delta.	Alta	RGSBA-03, RGSBA-04	-	Normas NEMA
RESBA-02	El material del eje del motor debe ser Acero al carbono	Alta	RGSBA-05	-	Normas NEMA
RESBA-03	La flexión del eje de la bomba debe ser menor a 0.002 in (0.0508 mm)	Alta	RGSBA-05	-	Estándares API
RESBA-04	Diámetro del eje del motor debe ser mayor a 1.5 in	Alta	RGSBA-05	-	Normas NEMA
RESBA-05	La tubería debe ser de acero 304 o similar, resistente al ataque corrosivo	Alta	RGSBA-06	-	Requisito de IPQ
REBSA-06	El motor eléctrico deberá utilizar un variador de frecuencia para controlar la velocidad de operación de la bomba.	Alta	RGSBA-09	-	Requisito de módulo
REBSA-07	La eficiencia de proceso debe aumentar, por lo menos 1%, eliminando tiempos muertos en la producción de etanol.	Alta	RGSBA-10	-	Requisito de eficiencia

2. Restricciones del proyecto

- Confidencialidad de la información proporcionada por la empresa y restricción para publicar cierta información.
- El tiempo disponible del personal para atender las consultas hechas por parte del grupo de megaproyecto en la planta destiladora de alcohol.
- La cantidad reducida de días disponibles por parte del grupo de megaproyecto para asistir a la planta y recolectar datos, debido a la poca disponibilidad de brindar información de parte de la empresa.

La recopilación de datos en el área de bombas de la planta destiladora de alcohol se llevó a cabo en abril del 2016 durante 4 días hábiles, en los cuales se obtuvo mediciones en tres momentos distintos que representa cada uno de los turnos de trabajo de la empresa. En agosto de 2016, se obtuvo la matriz de criticidad que la empresa utiliza, mostrada en la Tabla 8; de la misma se determinó las bombas críticas que serían incluidas en el sistema de bombeo auxiliar. Dicha selección obtuvo como resultado preliminar nueve bombas críticas, y luego de evaluar la falta de datos operativos, el tipo de fluido trasegado y la posición en la planta, la selección se redujo a tres bombas. La matriz de criticidad se muestra a continuación:

Tabla 8. Matriz de criticidad de equipos de bombeo en la planta de destilación.

TAG	DESCRIPCIÓN DE RIESGOS APLICACIÓN	Riesgo de Seguridad Ocupacional.	Riesgo al medio ambiente.	Tiene equipo auxiliar.	Afecta la eficiencia de producción.	Afecta la calidad del alcohol.	Criticidad	Clasificación
		15%	15%	20%	40%	10%		
P-150061	Reflujo columna rectificadora neutro T-557	7	5	10	10	10	8.80	A
P-150063	Reflujo columna hidroselectora T-552	7	5	10	10	10	8.80	A
P-150065	Alimentación de etoh rectificado a la columna desmetiladora T-566	7	5	10	10	10	8.80	A
P-150069	Reflujo columna desmetiladora T-566	7	5	10	10	10	8.80	A
P-150072	Reflujo columna rectificadora T-524	7	5	10	10	10	8.80	A
P-150010	Crudo columna de agotamiento de vino T-1507	7	5	10	10	7	8.50	A
P-150076	Dosificación de sulfato de cobre a columna rectificadora T-557	10	10	10	5	10	8.00	A
P-150011	Fluido al sello de la bomba de vacío P-513	5	3	10	10	7	7.90	B
P-150056	Recirculación de fondos columna hidroselectora T-552	3	3	10	10	10	7.90	B
P-150013	Vacío columnas de agotamiento de vino	3	3	10	10	10	7.90	B
P-150008	Hervidor columna de agotamiento de vino # 1	3	3	10	10	10	7.90	B
P-150045	Alimentación de vino a columna agotamiento de vino T-516	5	3	10	10	7	7.90	B
P-150027	Vinaza columna de agotamiento de vino # 1	3	3	10	10	7	7.60	B
P-150029	Vinaza columna de agotamiento de vino # 2	3	3	10	10	7	7.60	B
P-150022	Alimentación columna rectificadora de recidos T-524	7	5	10	7	10	7.60	B
P-150054	Agua de dilución a columna hidroselectora T-552	7	5	10	7	7	7.30	B
P-150036	Reflujo columna rectificadora de crudo T-533	7	5	10	7	7	7.30	B
P-150019	Alimentación de alcohol crudo a la columna rectificadora T-533	7	5	10	7	7	7.30	B
P-150049	Alimentación de crudo a columna hidroselectora T-552	7	5	10	7	7	7.30	B
P-150041	Bombeo fondo de flemaza tanque de flasheo drum-517	3	0	10	10	3	6.75	B
P-150073	Transferencia de neutro a tanques de diario	7	5	10	5	3	6.10	B
P-150096 A	Bomba de vacío tamiz molecular A	3	3	0	10	10	5.90	B
P-150096 B	Bomba de vacío tamiz molecular B	3	3	0	10	10	5.90	B
P-150092	Regeneración tamiz molecular	7	3	10	5	3	5.80	B
P-150088	Transferencia de anhídrido a tanques de diario	7	0	10	5	3	5.35	B
P-150006	Condensado de baja presión	3	3	10	5	0	4.90	B
P-180004	Bombeo de neutro no conforme a reproceso	7	5	10	0	7	4.50	B
P-180022	Despacio de aceite de fusel	7	7	10	0	0	4.10	B
P-180024	Transferencia de neutro al predio sur	7	5	10	0	0	3.80	C
P-180002	Transferencia de anhídrido al predio sur	7	3	10	0	0	3.50	C
P-150086	Retorno de condensado de vapor #150 a PSA	5	3	10	0	0	3.20	C

En función de la matriz de criticidad realizada con base en el principio de Pareto, mostrada anteriormente en la Tabla 8, se procede a elegir las bombas más críticas teniendo los siguientes criterios:

- La potencia del motor del equipo de bombeo
- La función que cumplen dentro del proceso de destilación
- La ubicación del equipo de bombeo en la planta
- El tipo de fluido que impulsa la bomba

F. Módulo 6: Evaluación financiera para determinar la viabilidad de las mejoras propuestas al proceso de producción de etanol en una planta productora

Se definió lo que se iba a llevar a cabo, al igual que a dónde se quería llegar. En este caso, fue fundamental el establecimiento de las actividades que debían realizarse para poder alcanzar los resultados esperados. El establecimiento de los objetivos fue clave, ya que de esta manera se tuvo claro cuáles eran los resultados que se deseaban obtener. Cabe mencionar también que la administración eficiente y la planeación estratégica formaron parte de esta etapa. Al igual, que la administración de los recursos disponibles y del tiempo establecido que se tenía para el megaproyecto.

- Se determinó tema de megaproyecto.
- Se determinaron los objetivos que se deseaban alcanzar en el megaproyecto.
- Se implementó el cronograma del megaproyecto para tener claro las actividades involucradas que cada módulo debía realizar en el tiempo disponible.
- Se identificaron las áreas de enfoque del proceso de producción de etanol para cada módulo.

Se obtuvo los datos y la información necesaria para llevar a cabo las actividades establecidas en la planificación. Es decir, se obtuvo los datos actuales de la planta para poder medir la eficiencia de los procesos, al igual que el funcionamiento actual del proceso de producción de etanol en las respectivas áreas de enfoque. Se identificó información relevante del entorno del ingenio, tanto interna como externa. La recopilación de datos y análisis del entorno se realizaron con el objetivo principal de identificar la situación actual en la que se encuentra el ingenio, con respecto a las áreas de enfoque.

- Se obtuvo información y datos actuales con visitas a la planta, cada módulo enfocándose en su área respectiva para identificar el funcionamiento actual de las áreas de enfoque en el proceso de producción de etanol.
- Se determinaron los costos involucrados que actualmente se tiene en las áreas del proceso de producción de etanol en las cuales se enfocan los diferentes módulos, esto para tener un marco de referencia con el cual se pudo estimar el impacto esperado.
- Se obtuvo información interna del ingenio (fortalezas y debilidades), al igual que externa (amenazas y oportunidades).
- Se utilizaron herramientas administrativas para poder entender de una mejor manera el funcionamiento de la empresa, al igual que su desempeño en el mercado actual con respecto a las áreas de enfoque; en donde se incluyó:

- Análisis de fuerzas competitivas
- Análisis del ambiente interno y externo
- Análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas
- Se estableció la situación inicial para las respectivas áreas de enfoque en el proceso de producción de etanol de la empresa estudiada en donde se incluye: tratamiento de afluentes para diluir melaza, sistema de bombeo en el proceso de destilación y tratamiento de la melaza previo a su fermentación.

Se seleccionó el equipo y los recursos necesarios para poder llevar a cabo las propuestas de mejora. Por otra parte, también se calcularon los costos involucrados en la posible inversión por parte del ingenio en las propuestas de mejora al proceso de producción para las respectivas áreas de enfoque.

- Se cotizó el equipo necesario para la implementación de las propuestas de mejora con el propósito de determinar la inversión inicial que se tendría por parte del ingenio.
- Se calcularon los costos de operación del equipo requerido para la implementación en la posible inversión por parte del ingenio en las propuestas de mejora; únicamente cuando era necesario.

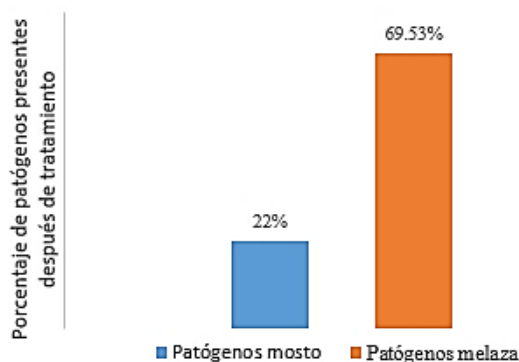
En este caso, se describió realmente que es lo que se espera de las propuestas de mejora al momento de una posible implementación. Es decir, que se indicó que efectos iban a causar las propuestas de mejora en las respectivas áreas de enfoque del proceso de producción de etanol de la empresa.

- Se estimó el impacto que debía esperarse al implementar las propuestas de mejora en las áreas de enfoque, con respecto a la situación inicial determinada previamente.

VII. RESULTADOS

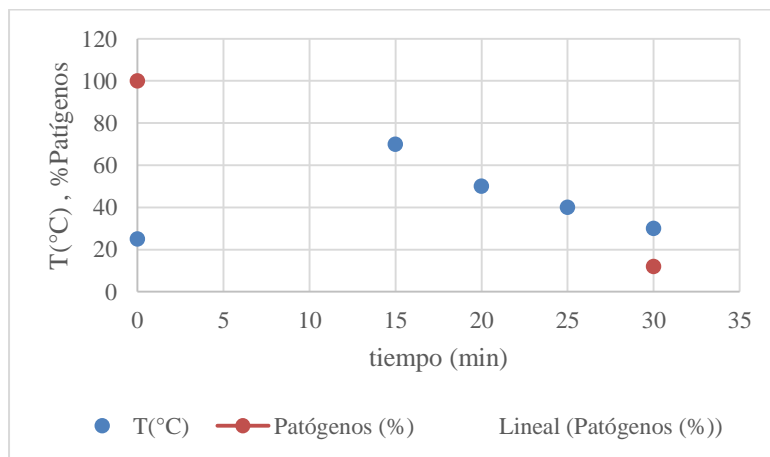
A. Módulo 1: Diseño de pasteurizador para mosto

Figura 35. Comparación de patógenos residuales después de aplicar el tratamiento térmico por intercambiador de calor.



Nota: el tratamiento térmico se realizó calentando de 35°C a 70°C y enfriando nuevamente a 35°C. Se trató 1L de cada uno de los fluidos. El mosto se trató durante 30min, mientras la melaza en 60, ambos fueron tratados en tanques enchaquetados con enfriamiento y agitación de 180RPM.

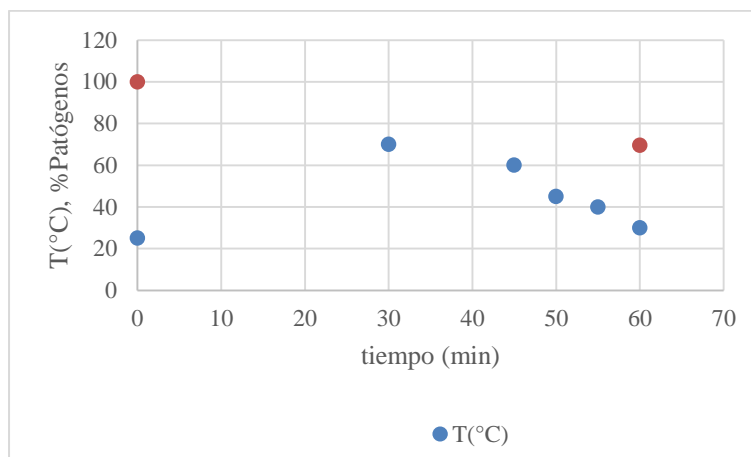
Figura 36. Comportamiento de la temperatura y patógenos contra el tiempo en el mosto de la melaza relación 1:3, mayo 2016.



Nota:

*Únicamente se cuenta con valores de referencia para el conteo total de patógenos y temperatura, no se cuenta con datos intermedios debido a que las mediciones se realizaron periódicamente. En el eje “y” se presentan temperaturas en °C y porcentaje de microorganismos presentes en el fluido a tratar. Se trabajó con 1L de mosto a 30°Brix. El porcentaje de disminución de microorganismos fue 78.00%. Se trabajó a 180RPM.

Figura 37. Comportamiento de la temperatura y patógenos contra el tiempo en melaza. Mayo-septiembre 2016.



Nota:

*Únicamente se cuenta con valores de referencia para el conteo total de patógenos y temperatura, no se cuenta con datos intermedios debido a que las mediciones se realizaron periódicamente. En el eje “y” se presentan temperaturas en °C y porcentaje de microorganismos presentes en el fluido a tratar. Se trabajó con 1L de melaza. El porcentaje de disminución en los microorganismos fue 30.47%. Se trabajó a 180RPM.

Tabla 9. Consumo de servicios auxiliares en el tratamiento térmico del mosto en planta productora de etanol analizada.

Servicio	Valor
Vapor saturado (1atm)	3.00 kg/s
Agua enfriamiento (40°C)	137.70 kg/s
Caída de presión calentamiento	33.61 kPa
Caída de presión enfriamiento	172 kPa

Nota:

*Se trabajó con vapor saturado a 2392.48 kPa (34.97 psia o 20 psig)

**Agua de enfriamiento con temperatura promedio de 29°C y un rango de (26.1-33°C) ya que estas son las condiciones actuales de estos servicios en la empresa. (Ver cálculo en anexo 5). El pH del mosto está en el rango de 5.5 a 5.6.

Tabla 10. Datos calculados para proceso de calentamiento y enfriamiento de mosto.

Característica	Valor
Flujo a tratar	171,000 kg/h (150 m ³ /h)
Coefficiente global de transferencia de calor (calentamiento)	259.83 W/m ² K
Área de transferencia de calor (calentamiento)	193.14 m ²
Coefficiente global de transferencia de calor (enfriamiento)	1333.43 W/m ² K
Área de transferencia de calor (enfriamiento)	335.50 m ²

Nota: Ver cálculo en anexos

Tabla 11. Características de equipo seleccionado para el proceso de calentamiento de mosto. *

Característica	Valor
Marca	ALFA LAVAL
Modelo	AlfaCond600 PED
Alto	2,085 mm (2.085 m)
Ancho	888 mm (0.888 m)
Número de placas	105
Material de placas	Titanio**

Notas:

*El equipo se seleccionó con los datos de diseño calculados en la tabla 10. Ver cálculo en anexos, ficha técnica en anexo 7.

**Se seleccionó titanio como material de las placas ya que resulta más resistente para los fluidos a tratar, además de contar con una buena conductividad térmica (21.9W/mK). El calentamiento se realiza de 35°C a 70°C.

Tabla 12. Características de equipo seleccionado para el proceso de enfriamiento de mosto. *

Característica	Valor
Marca	ALFA LAVAL
Modelo	HPE M30
Alto	2,882mm (2.882m)
Ancho	1,150 mm (1.150 m)
Número de placas	101
Material de placas	Titanio**

Nota:

* El equipo se seleccionó con los datos de diseño calculados en la tabla 10. Ver cálculo en anexo 5, ficha técnica en anexo 7.

**Se seleccionó titanio como material de las placas ya que resulta más resistente para los fluidos a tratar, además de contar con una buena conductividad térmica (21.9W/mK). El enfriamiento se realiza de 70°C a 35°C. El agua se calienta en 20°C.

B. Módulo 2: Estudio técnico de propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de agua para mosto y posibles mejoras

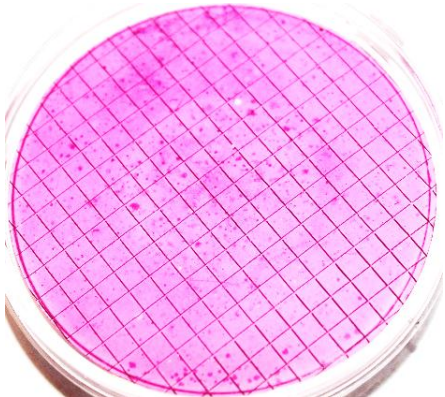
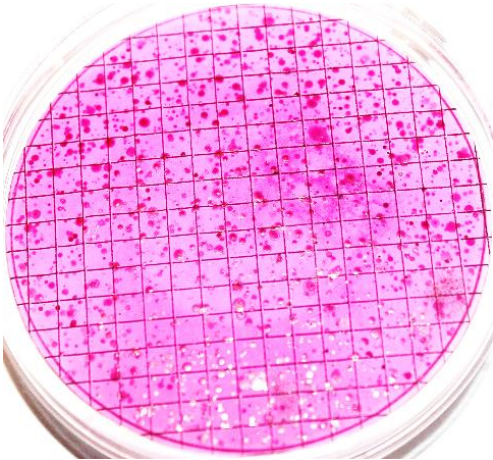
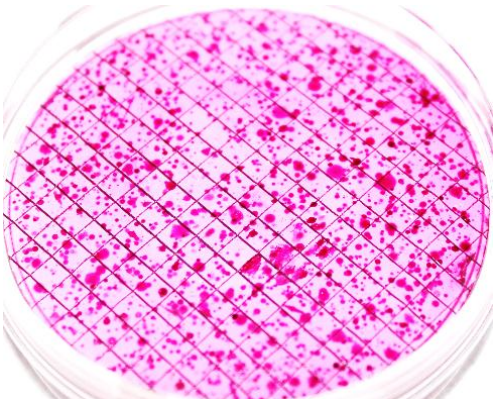
Tabla 13. Conteo microbiológico después de lámpara U. V. en agua de tanque de almacenamiento

Tanque de almacenamiento de agua	
Fecha	UFC/100 mL
08-04-16	Muy numeroso para contar
13-04-16	Muy numeroso para contar
15-04-16	Muy numeroso para contar
19-04-16	Muy numeroso para contar
22-04-16	Muy numeroso para contar
06-05-16	Muy numeroso para contar
10-05-16	Muy numeroso para contar

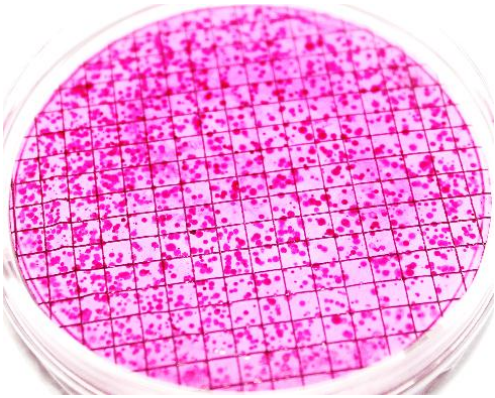
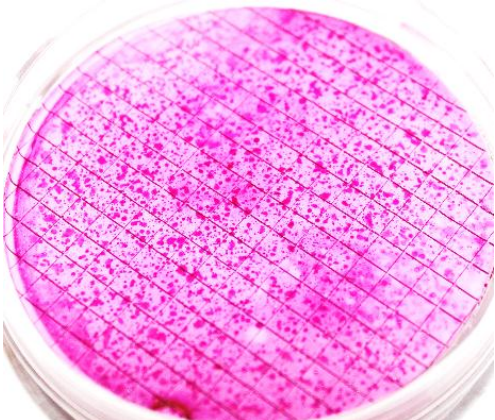
Tabla 14. Conteo microbiológico después de lámpara U. V. en flujo de fondos de columnas de destilación

Fondos de columnas de destilación	
Fecha	UFC/100 mL
08-04-16	Muy numeroso para contar
13-04-16	Muy numeroso para contar
15-04-16	Muy numeroso para contar
19-04-16	Muy numeroso para contar
22-04-16	Muy numeroso para contar
06-05-16	Muy numeroso para contar
10-05-16	Muy numeroso para contar

Tabla 15. Presencia de microorganismos después de lámpara U. V. en flujo del taque de almacenamiento de agua

Fecha	Fotografía	Escala asignada	Observaciones
06/05/2016		1	Cada punto con coloración representa una UFC.
22/04/2016		2	Existe mayor cantidad de puntos en la membrana, que en la escala anterior.
08/04/2016		3	La presencia de UFC es mayor, con colonias unidas formando puntos visiblemente más grandes.

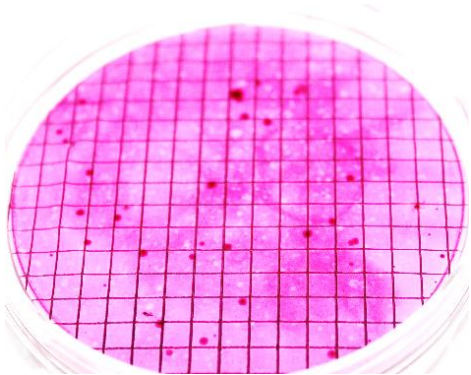
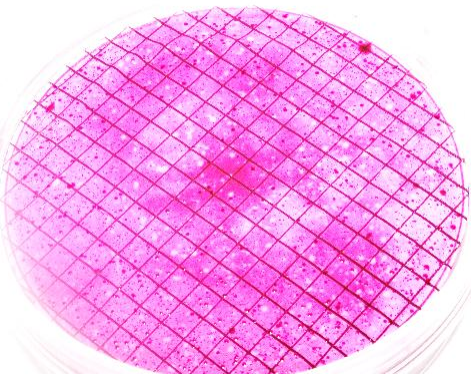
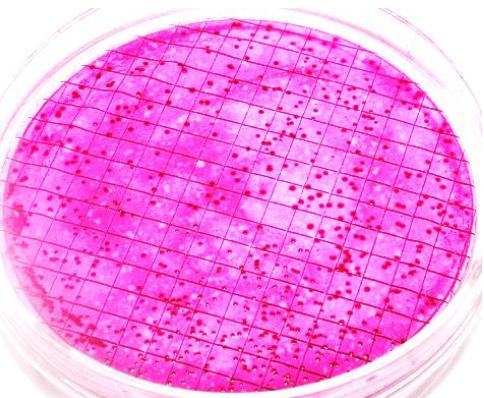
Continuación Tabla 15.

Fecha	Fotografía	Escala asignada	Observaciones
15/04/2016		4	Existen mayor cantidad de UFC en toda la membrana, con espaciamiento menor entre cada uno.
19/04/2016		5	Mayor cantidad de UFC en toda la membrana, con la presencia de sombras oscuras las cuales están formadas por colonias más pequeñas.

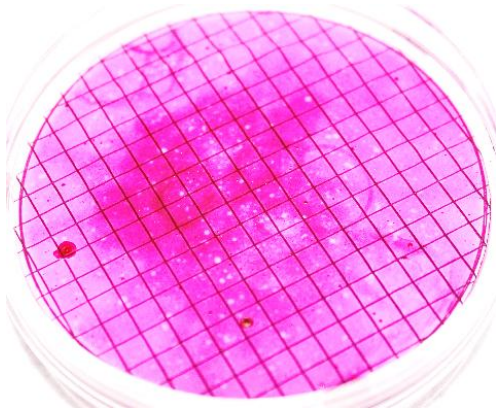
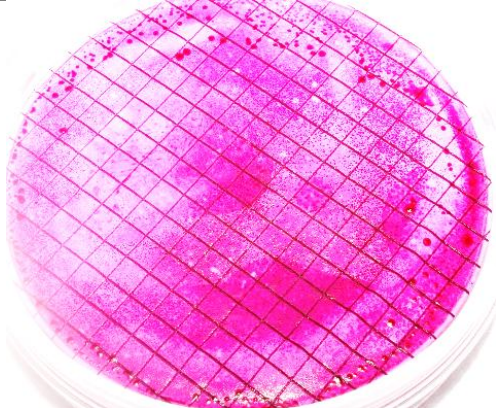
Nota:

* La escala se estableció con respecto a la percepción visual de la carga microbiológica presente. El valor de 1 corresponde a la menor presencia de unidades formadoras de colonias y el valor de 5 para la mayor presencia.

Tabla 16. Presencia de microorganismos en flujo después de lámpara U. V. de fondos de columnas de destilación

Fecha	Fotografía	Escala asignada	Observaciones
06/05/2016		1	Se observan los puntos con coloración y áreas sombreadas indicando la presencia de UFC.
08/04/2016		2	Los puntos son más pequeños pero mucho más numerosos, con áreas sombreadas ocupando una mayor área de la membrana que la escala anterior.
15/04/2016		3	Existe la presencia de UFC en toda la membrana en forma de puntos grandes y además áreas sombreadas más extensas que contiene UFC más pequeñas.

Continuación Tabla 16.

Fecha	Fotografía	Escala asignada	Observaciones
22/04/2016		4	Las UFC se concentraron en una zona de la membrana, pero la coloración es más oscura que las escalas anteriores, indicando mayor presencia.
19/04/2016		5	Existen UFC en toda la membrana con diferentes tamaños, con áreas sombreadas predominantes en toda la superficie.

Nota:

*La escala se estableció con respecto a la percepción visual de la carga microbiológica presente. El valor de 1 corresponde a la menor presencia de unidades formadoras de colonias y el valor de 5 para la mayor presencia.

Tabla 17. Comparación de escala con valor de 1, en presencia de microorganismos

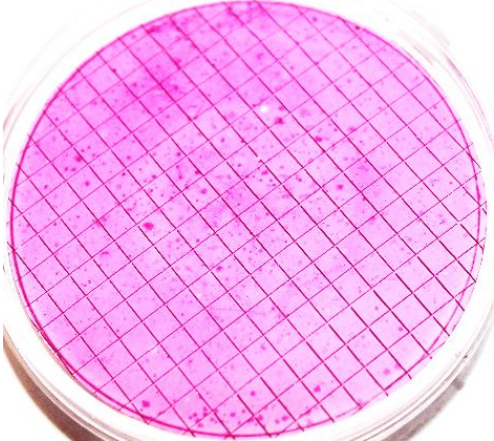
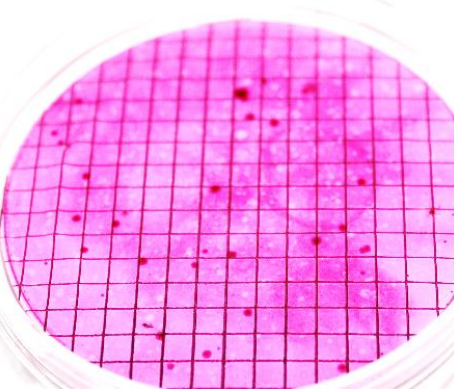
Tanque almacenamiento de agua	Fondos columnas de destilación	Mayor presencia en:
Fecha: 06/05/2016	Fecha:06/05/2016	
		Fondos de columnas de destilación

Tabla 18. Comparación de escala con valor de 2, en presencia de microorganismos

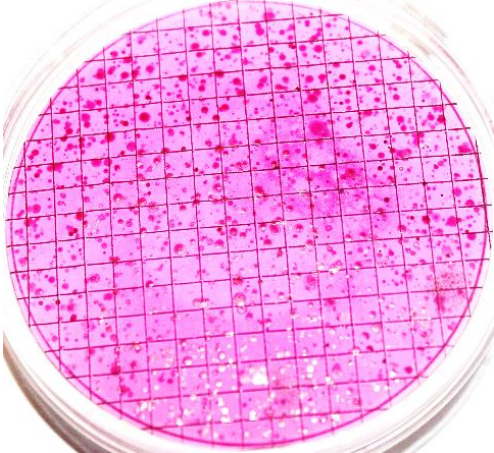
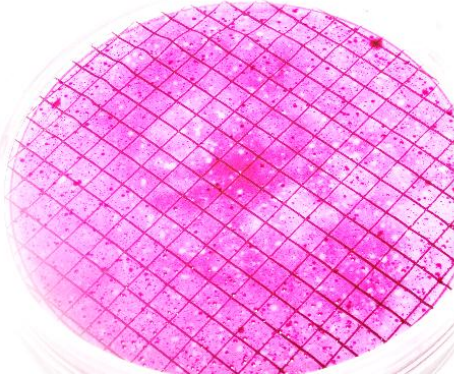
Tanque almacenamiento de agua	Fondos columnas de destilación	Mayor presencia en:
Fecha: 22/04/2016	Fecha:08/04/2016	
		Fondos de columnas de destilación

Tabla 19. Comparación de escala con valor de 3, en presencia de microorganismos

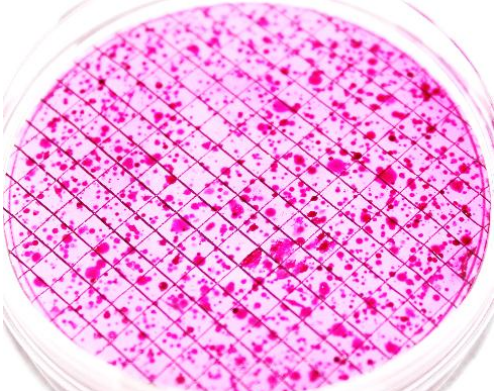
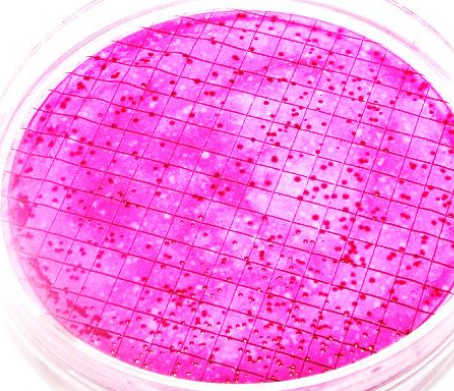
Tanque almacenamiento de agua	Fondos columnas de destilación	Mayor presencia en:
Fecha: 08/04/2016	Fecha: 15/04/2016	
		Fondos de columnas de destilación

Tabla 20. Comparación de escala con valor de 4, en presencia de microorganismos

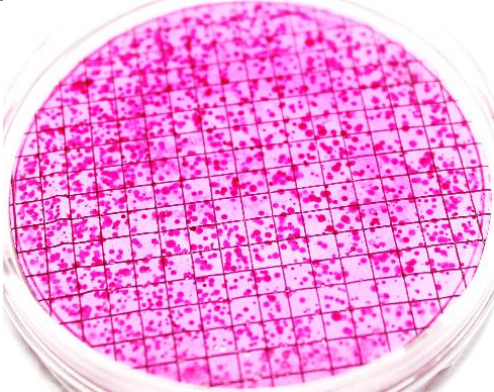
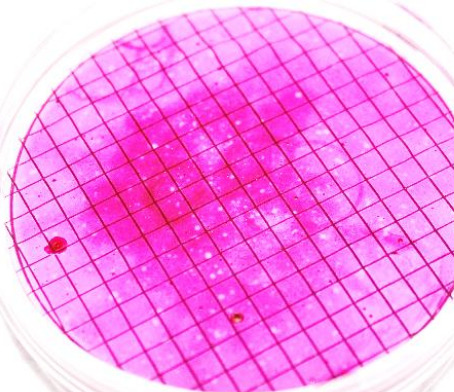
Tanque almacenamiento de agua	Fondos columnas de destilación	Mayor presencia en:
Fecha: 15/04/2016	Fecha: 22/04/2016	
		Fondos de columnas de destilación

Tabla 21. Comparación de escala con valor de 5, en presencia de microorganismos

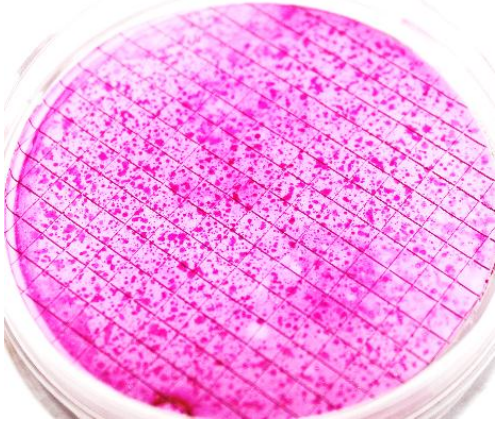
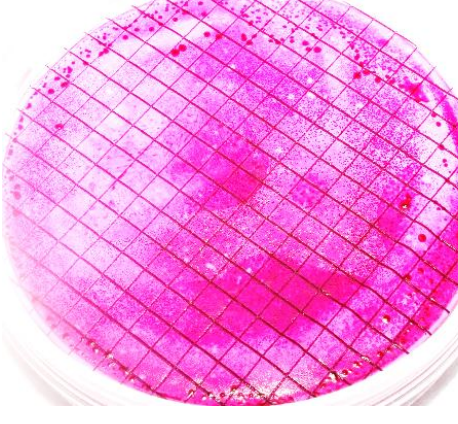
Tanque almacenamiento de agua Fecha: 19/04/2016	Fondos columnas de destilación Fecha: 19/04/2016	Mayor presencia en:
		Fondos de columnas de destilación

Tabla 22. Datos fisicoquímicos del flujo de agua después de lámpara U. V. del tanque de almacenamiento

Tanque de almacenamiento de agua							
Fecha	Dureza (mg/L ±0.93)	pH ±0.08	Nitratos (mg NO ₃ - N/L ±0.17)	Fosfatos (mg PO ₄ /L ±0.05)	TDS (mg/L ±1.92)	Sulfatos (mg SO ₄ /L ±1.25)	Cloro Libre (mg Cl ₂ / L ±0.01)
11-03-16	61.00	7.85	2.60	1.02	88.00	10.00	0.22
30-03-16	61.00	7.61	3.90	0.88	91.60	13.00	0.18
01-04-16	67.00	7.76	2.40	0.89	92.80	15.00	0.19
06-04-16	65.00	7.35	2.30	1.35	83.00	7.00	0.23
08-04-16	58.00	7.93	2.10	1.00	83.20	8.00	0.21
13-04-16	57.00	7.40	2.25	1.03	83.10	12.00	0.18
19-04-16	62.00	7.95	2.09	0.86	77.20	9.00	0.20
22-04-16	62.00	8.00	2.30	0.90	77.70	11.00	0.18
06-05-16	63.00	7.97	2.07	0.82	85.10	6.00	0.15
10-05-16	61.00	8.16	2.80	0.92	74.30	19.00	0.26
Promedio	61.78	7.80	2.48	0.97	83.60	11.00	0.20

Nota: Los parámetros fisicoquímicos se escogieron con base en la norma COGUANOR NGO 29 001:99. Todos resultaron dentro de los rangos establecidos por la norma.

Tabla 23. Datos fisicoquímicos del flujo de agua después de lámpara U. V. de los fondos de las columnas de destilación

Fondos de columnas de destilación							
Fecha	Dureza (mg/L ±1.69)	pH (±0.08)	Nitratos (mg NO3-N/L ±0.37)	Fosfatos (mg PO4/L ±0.04)	TDS (mg/L ±10.89)	Sulfatos (mg SO4/L ±0.36)	Cloro Libre (mg Cl2/L ±0.01)
11-03-16	18.50	3.61	0.90	1.06	131.00	6.00	0.96
30-03-16	16.00	3.28	1.10	0.80	154.00	6.20	0.98
01-04-16	33.00	3.77	1.30	0.98	189.70	4.50	1.00
06-04-16	18.50	3.64	1.20	0.84	83.60	5.50	0.99
08-04-16	13.00	3.79	1.00	0.64	83.80	5.00	0.96
13-04-16	16.00	3.65	1.10	0.90	83.60	4.50	0.97
19-04-16	18.00	3.15	3.20	0.76	135.80	5.00	0.97
22-04-16	17.00	3.19	3.10	0.85	136.70	6.00	1.00
06-05-16	18.00	3.14	2.90	0.96	135.00	8.00	0.98
10-05-16	17.50	3.23	3.90	0.68	139.00	4.00	1.01
Promedio	18.55	3.45	1.97	0.85	123.40	5.47	0.98

Nota: Los parámetros fisicoquímicos se escogieron con base en la norma COGUANOR NGO 29 001:99. Todos resultaron dentro de los rangos establecidos por la norma, excepto el pH que resultó ser ácido.

Tabla 24. Concentraciones de hierro en afluentes de agua

Hierro		
Corrida No.	Fondos columnas de destilación (mg/L ±0.001)	Agua de tanque almacenamiento (mg/L ±0.001)
1	0.513	0.026
2	0.509	0.026
3	0.507	0.021
Promedio	0.510	0.024

Nota: Los parámetros fisicoquímicos se escogieron con base en la norma COGUANOR NGO 29 001:99.

Los fondos de columnas de destilación resultaron con una concentración mayor a los 0.1 mg/L establecidos por la norma y por los fabricantes de lámparas ultravioleta.

Tabla 25. Sistemas de acondicionamiento de aguas escogidos como propuesta de mejoras, para los flujos de fondos de columnas de destilación y de tanque de almacenamiento.

Sistema	Función	Motivo de elección
Resinas de intercambio iónico	Reducción de iones formadores de dureza.	Reducción de incrustaciones en tuberías y lámparas U. V. para mejorar el desempeño desinfectante.
Ósmosis inversa	Eliminación de la carga microbiológica de los flujos.	Desinfección de hasta 100% de los microorganismos presentes, para disminuir la competencia por nutrientes con la levadura y mejorar el rendimiento de etanol.

C. Módulo 3: Producción a biogás a partir de fermentación de vinaza

Tabla 26. Caracterización de vinaza de entrada y salida de digestores de fermentación de vinaza sin diluir promedio

Parámetro	Dimensionales	Promedio entrada	Promedio salida
Densidad	g/mL	1.13 ± 0.12	1.15± 0.18
pH	Unidades pH	4.77 ± 0.42	7.20 ± 0.86
DBO	mL/L	76080.00 ± 10966.06	20500.00 ± 3500.35
DQO	mL/L	134930.00 ± 38789.07	37600.00 ± 5233.33
Potasio	mg/L	26380.00 ± 2832.50	24888.00 ± 3589.36
Calcio	mg/L	2663.20 ± 326.84	2685.20 ± 112.36
Magnesio	mg/L	876.77 ± 115.74	798.70 ± 66.52
Hierro	mg/L	42.71 ± 9.65	46.90 ± 3.68
Zinc	mg/L	5.77 ± 1.84	4.39 ± 0.98
Manganeso	mg/L	5.36 ± 1.22	6.82 ± 1.33
Cobre	mg/L	65.22 ± 4.36	63.74 ± 7.35
Sodio	mg/L	695.20 ± 33.95	720.33 ± 36.69
Materia Orgánica	%	10.68 ± 2.35	2.68± 0.89
Solidos totales	mg/L	121713.20 ± 18325.74	32600 ± 5200.00

Tabla 27. Uso de vinaza actual en destilería operando a máxima capacidad diaria, durante el período de zafra 2015-2016.

Descripción	Volumen (m ³)	Grados Brix
Vinaza total	6260	15
Fertirriego	1400	15
Retorno al proceso	1400	15
Vinaza a concentrar	3460	15
Vinaza concentrada	1300	40

Tabla 28. Características de metano producido a las diferentes condiciones evaluadas, abril 2016.

Volumen utilizado (L)	Condiciones temperatura Dilución		DQO removido (mg)	mL Metano/ mg DQO removido	% de Metano (v/v)	Estimación de biogás a generar en (m ³)	Estimación metano (m ³)
0.25	Ambiente	Sin diluir	39500	0.042413	71.29	7.77	5.51
0.25	34°C	Sin diluir	40750	0.065082	76.43	11.13	8.46
0.25 *	Ambiente	Dilución 1/2	16250	0.033394	71.68	6.13	4.41
0.25*	34°C	Dilución 1/2	15250	0.045715	77.44	7.72	5.94

Notas:

*Presión a la que se encontraba expuesto el biogás y metano contenido en el mismo: 88,000 Pa.

Temperatura ambiente: 24.73 ± 0.35 °C. Dilución agua 1:1 v/v

Tabla 29. DQO y DBO removidos promedio en muestras de entrada y salida de reactores de vinaza sin diluir.

Parámetro	Entrada promedio (mg/L)	Salida promedio (mg/L)	% remoción
DQO	134930.00 ± 38789.07	37600.00 ± 5233.33	95.04 ± 1.35
DBO	76080.00 ± 10966.06	20500.00 ± 3500.35	88.89 ± 2.11

D. Módulo 4: Evaluación de la producción de compost a partir de lodos de vinaza

Tabla 30. Análisis de lodos de vinaza obtenidos del Módulo “Producción de biogás a partir de fermentación de vinaza” el 24 de julio 2016

Parámetro	Dimensionales	Valor promedio
pH	-	7.20 ± 0.86
Brix	%	6.5 ± 0.05
Potasio	mg/L	24888.00 ± 3589.36
Calcio	mg/L	2685.20 ± 112.36
Magnesio	mg/L	798.70 ± 66.52
Hierro	mg/L	46.90 ± 3.68
Zinc	mg/L	4.39 ± 0.98
Manganeso	mg/L	6.82 ± 1.33
Cobre	mg/L	63.74 ± 7.35
Sodio	mg/L	720.33 ± 36.69

Notas:

*Los lodos de vinaza cuentan con macronutrientes y micronutrientes necesarios para los suelos. Estos lodos presentan altos niveles de potasio y calcio, y niveles medios de magnesio, hierro, zinc, manganeso, cobre y sodio.

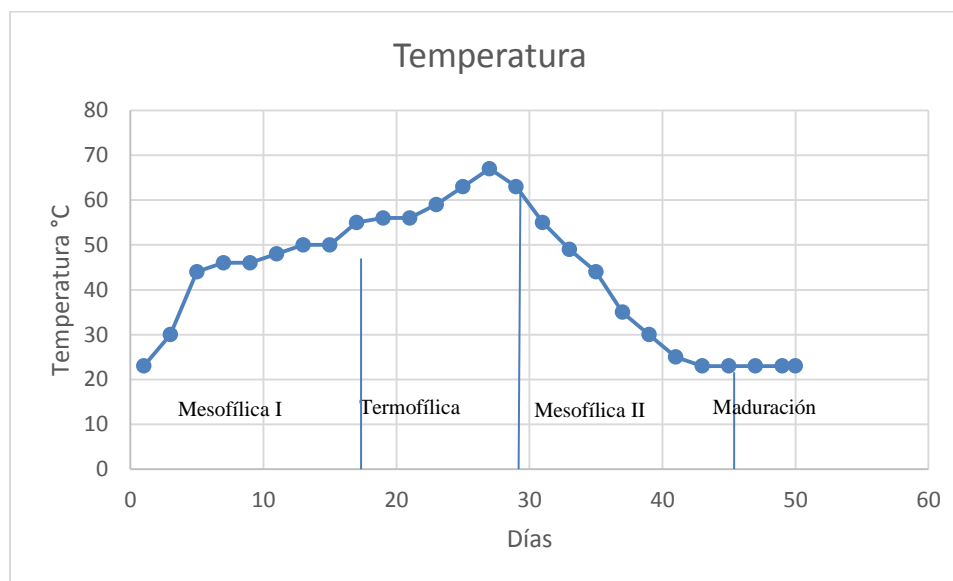
Tabla 31. Análisis de la mezcla de composteo (lodos de vinaza con residuos de frutas y verduras)

Parámetro	Dimensionales	Valor promedio
pH	-	6.2
Concentración de sales	dS/m	4.98
Materia orgánica	%	59.6
Relación C/N	-	25.9
Nitrógeno	%	1.29
Fósforo	%	0.37
Potasio	%	0.91
Calcio	%	0.27
Magnesio	%	0.25
Boro	ppm	0.00
Cobre	ppm	34.00
Hierro	ppm	10960.00
Manganeso	ppm	258.90
Zinc	ppm	80.95

Notas:

*La mezcla inicial contenía 4 kg de restos orgánicos deshidratados (los cuales se pueden obtener de reciclaje de comunidades vecinas, de la municipalidad y de los residuos de la alimentación de los empleados) y 8 kg de lodos de vinaza. El pH se encuentra dentro del parámetro adecuado (6-8). El porcentaje de materia orgánica es adecuado para iniciar un proceso de compostaje. La relación C/N se encuentra en el rango óptimo (25-25). Y los nutrientes están dentro de los valores adecuados.

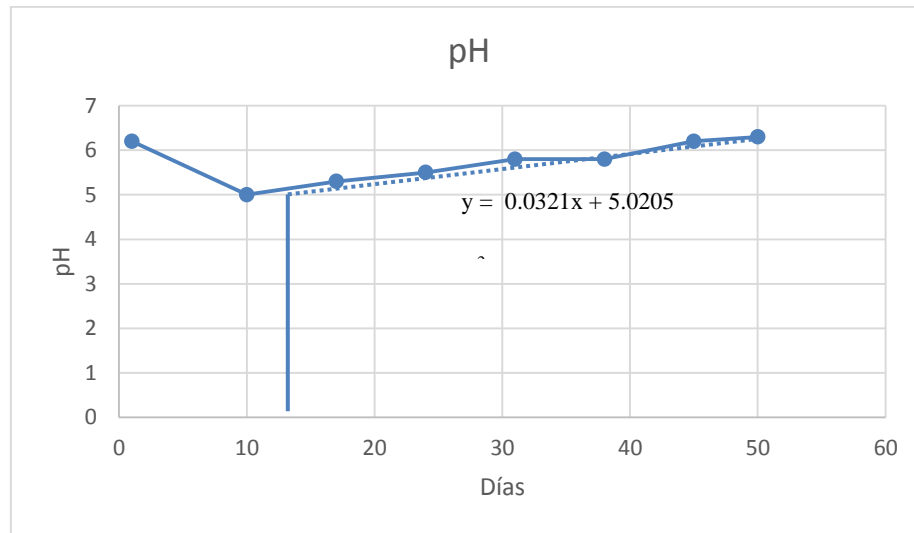
Figura 38. Comportamiento de la temperatura contra el tiempo en producción de compost a partir de vinaza.



Notas:

*La etapa mesofílica I se dio del día 1 al 15. La termofílica se dio del día 15 al 28, llegando a una temperatura de 68°C. La etapa mesofílica II se llevó a cabo del día 28 al 43. La etapa de maduración inició el día 43 y la temperatura se mantuvo constante a partir de este día.

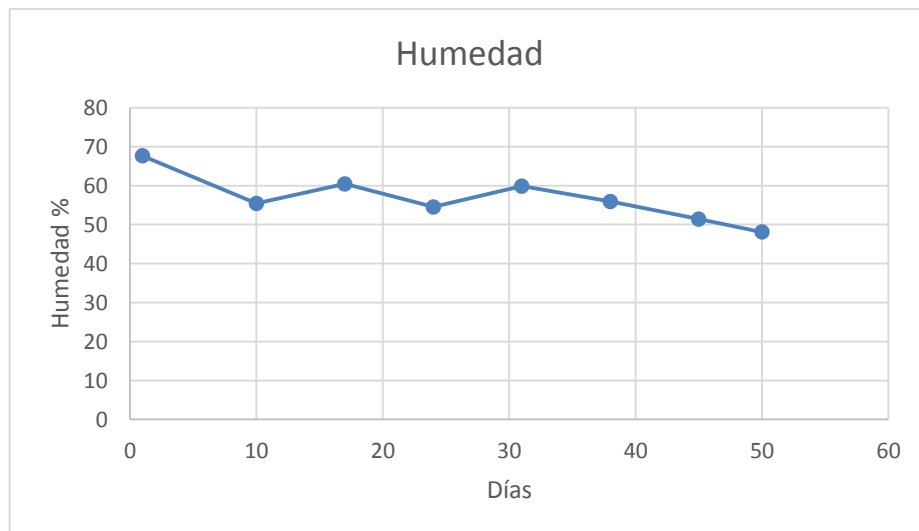
Figura 39. Comportamiento del pH contra el tiempo en proceso de producción de compost a partir de vinaza.



Notas:

*Los primeros 10 días el pH disminuyó a 5 debido a la formación de ácidos orgánicos. Luego incrementó de forma lineal ($y = 0.0321x + 5.0205$) ya que a lo largo del proceso estos ácidos se convierten en metano y dióxido de carbono.

Figura 40. Comportamiento de la humedad de la pila única de compost contra el tiempo,



Notas:

*Se determinó la humedad utilizando una balanza de humedad. Además cada día se monitoreó la humedad de la pila con la prueba del puño cerrado, la cual consiste en agarrar un puñado del material; si escurre agua hay demasiada humedad y se deben realizar más volteos; si el material queda suelta hay poca humedad y se debe hidratar la mezcla. La pila de compostaje fue hidratada con los lodos de vinaza.

Tabla 32. Análisis del compost producido a partir de lodos de vinaza obtenido luego de 50 días

Parámetro	Dimensionales	Valor promedio
pH	-	6.3
Concentración de sales	dS/m	4.05
Materia orgánica	%	44.0
Relación C/N	-	18.1
Nitrógeno	%	2.97
Fósforo	%	0.77
Potasio	%	1.38
Calcio	%	2.29
Magnesio	%	0.59
Boro	Ppm	0.00
Cobre	Ppm	36.68
Hierro	Ppm	11645.00
Manganeso	Ppm	297.75
Zinc	ppm	85.15

Notas: ppm esta dado en mg/kg. La concentración de sales dS/m es la conductividad eléctrica del suelo. Los suelos salinos son comunes en las áreas de cultivo de caña de azúcar, sin embargo una concentración mayor a 6.00 dS/m reduce el rendimiento del cultivo más de 25%.

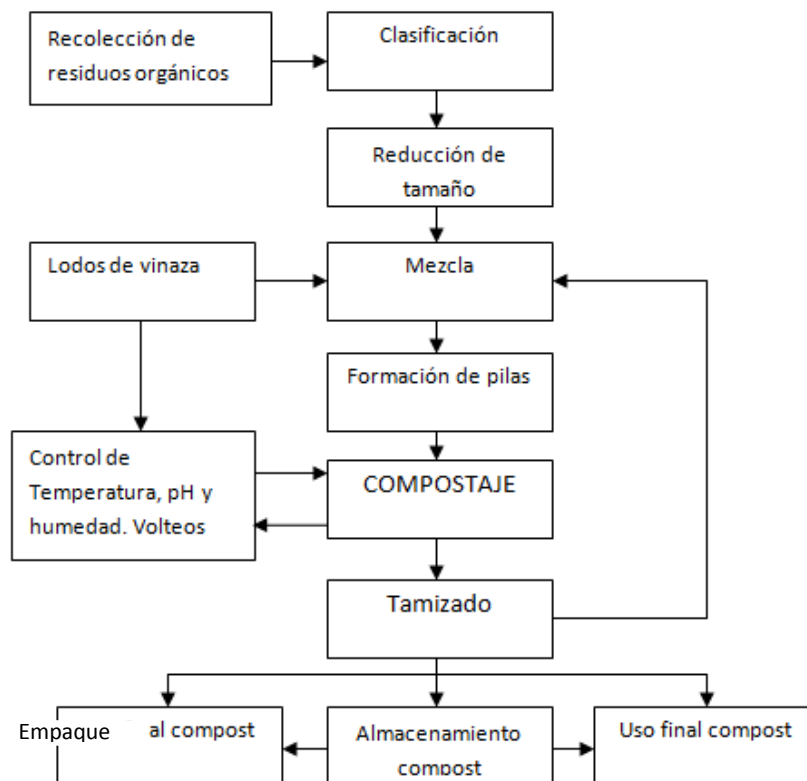
Tabla 33. Análisis madurez del compost

Índice	Estado
7	Curado, puede ser usado

Notas:

*El índice va de 1 a 8. Un índice de 1 y 2 indica que el compost está crudo, con un índice de 3 a 6 el compost sigue activo y con un índice de 7 y 8 el compost ya está curado. El compost obtenido está maduro, puede ser utilizado y tiene diversas aplicaciones.

Figura 41. Diagrama del proceso factible para la producción de compost a partir de lodos de vinaza.



E. Módulo 5: Diseño de un sistema auxiliar de bombeo

Tabla 34. Bombas críticas de la planta de destilación para conectar con el nuevo sistema auxiliar de bombeo

No.	Bomba	Función
1	P150061	Recircula etanol líquido en columna rectificadora T-557
2	P150069	Recircula etanol líquido en la columna desmetilizadora T-566
3	P150072	Recircula etanol de la columna de destilación T-524.

Nota:

*La criticidad de las bombas anteriores es debido a que al momento de fallar provocan que el etanol con altas concentraciones, por encima de 90%, de final de proceso tenga que ser enviado a un tanque común con etanol de concentraciones debajo del 50% y sea procesado de nuevo, con lo cual se pierde parte de la energía utilizada para elevar el grado de concentración.

Tabla 35. Resultados de la matriz de criticidad evaluados con el criterio de Pareto.

Nomenclatura	Descripción	Clasificación	Cantidad de Equipos	Equipos en riesgo
A	Crítico	$A > 8$	7	22.6%
B	No Tan Crítico	$4 < B < 7$	21	67.7%
C	No Crítico	$C < 4$	3	9.7%
		Número total de equipos	31	

Una vez elegidas las bombas, catalogadas como críticas, se procede a calcular la potencia del nuevo equipo auxiliar de bombeo y el sistema de tuberías que será el encargado de sustituir la función de los equipos críticos ya seleccionados.

1. Datos de la cabeza estática de las bombas

Tabla 36. Datos de las alturas de succión y descarga de las bombas

Bomba	Altura de succión m (ft)	Altura de descarga m (ft)
P150061	9.71 (31.85)	41,3 (135.50)
P150069	8.68 (28.49)	45.85 (150.44)
P150072	3.60 (11.82)	23.08(75.73)

2. Datos de tuberías y accesorios de las bombas

Tabla 37. Tuberías y accesorios de la bomba P150061

Bomba	Descripción	Cantidad	Unidad
P150061			
Succión	Tubería 6"	8.83 (28.98)	m (ft)
	Tubería 8"	1.83 (6)	m (ft)
	Codo 90°, 6"	2	Unidades
	Unión 8"	1	Unidad
	Reductor 6" x 3"	1	Unidad
	Reductor 8" x 6"	1	Unidad
	Tee 6"	1	Unidad
	V. Mariposa 6"	1	Unidad
	Unión 3"	1	Unidad
Descarga	Tubería 4"	51.19 (167.93)	m (ft)
	Unión 1 1/2 "	1	Unidad
	Difusor 1 1/2" x 4"	1	Unidad
	V. Cheque 4"	1	Unidad
	V. Mariposa 4"	1	Unidad
	Unión 4"	4	unidad
	Unión 2"	2	Unidades
	Difusor 2" x 4"	1	Unidades
	Reducidor 4" x 2"	1	Unidades
	Codo 90°, 4"	6	Unidades
	V. de Control 2"	1	Unidad

Tabla 38. Tuberías y accesorios de la bomba P150069.

Bomba	Accesorios	Cantidad	Unidad
P150069			
Succión	Tubería 8"	3.76 (12.34)	m (ft)
	Tubería 6"	7.74 (25.40)	m (ft)
	Unión 8"	3	Unidades
	Codo 90°, 8"	1	Unidad
	Reductor 8" x 6"	1	Unidad
	Tee 6"	1	Unidad
	V. Mariposa 6"	1	Unidad
	Reductor 6" x 2"	1	Unidad
	Unión 2"	1	Unidad
Descarga	Tubería 3"	57.81 (189.67)	m (ft)
	Unión 1"	1	Unidad
	Difusor 1" x 3"	1	Unidad
	Unión 3"	4	Unidades
	V. Cheque 3"	1	Unidad
	V. Mariposa 3"	1	Unidad
	Reducidor 3" x 2"	1	Unidad
	Difusor 2" x 3"	1	Unidad
	Codo 90°, 3"	7	Unidad
	V. de Control 2"	1	Unidad

Tabla 39. Tuberías y accesorios de la bomba P150072.

Bomba	Accesorios	Cantidad	Unidad
P150072			
Succión	Tubería 6"	4.11 (13.49)	m (ft)
	Unión 6"	3	Unidades
	Codo 90°, 6"	2	Unidades
	Difusor 6" x 10"	1	Unidad
	Difusor 10" x 20"	1	Unidad
	Reductor 20" x 10"	1	Unidades
	Reductor 10" x 6"	1	Unidades
	V. Mariposa 6"	1	Unidad
	Reductor 6" x 2"	1	Unidad
Descarga	Tubería 3"	29.19 (95.76)	m (ft)
	Tubería 1"	0.15 (0.50)	m (ft)
	Unión 1"	1	Unidad
	Reductor 3" x 1"	1	Unidad
	Difusor 1" x 3"	1	Unidad
	V. Cheque 3"	1	Unidad
	Unión 3"	4	Unidades
	Tee 3"	1	Unidad
	V. Globo 1"	1	Unidad
	V. Mariposa	1	Unidad
	Reductor 3" x 2"	1	Unidades
	Difusor 2" x 3"	1	Unidad
	Unión 2"	2	Unidades
	Codos 90°, 3"	4	Unidades
	V. de Control 2"	1	Unidad

3. Datos de diseño de las bombas

Tabla 40. Datos de diseño de las bombas obtenidos de manuales de usuario, ver Anexo 50.

Bomba	Marca	Velocidad en rpm	Cabeza total en m (ft)	Flujo en $\frac{m^3}{h}$ (gpm)	Potencia requerida en kW (hp)	$NPSH_R$ en m (ft)	$NPSH_A$ en m(ft)	Fluido	Gravedad específica del fluido
P150061	Sulzer	3550	58.2 (191)	32.93 (145)	7.08 (9.5)	2.53 (8.3)	4.51 (14.8)	Etanol 95%	0.74
P150063	Sulzer	3550	70.71 (232)	21.58 (95)	6.93 (9.3)	1.78 (5.8)	2.29 (7.5)	Etanol 95%	0.74
P150072	Sulzer	3550	83.82 (275)	13.63 (60)	6.63 (8.9)	1.49 (4.9)	2.41 (7.9)	Etanol 95%	0.74

4. Datos recopilados en la empresa durante Zafra 2016

Tabla 41: Promedios de las mediciones de presión y temperatura obtenidas de los manómetros y termómetros de las tuberías de descarga en la planta destiladora.

Bomba	Presión en kPa (psig)	Temperatura en °C (°F)
P150061	571.09 ± 25.92 (82.83 ± 3.76)	68.84 ± 3.23(155.92 ± 5.82)
P150069	526.28 ± 46.88 (76.33 ± 6.80)	64.44 ± 2.87 (82.83 ± 3.76)
P150072	919.90 ± 26.68(133.42 ± 3.87)	96.48 ± 3.06 (82.83 ± 3.76)

Tabla 42. Presiones y temperaturas promedios de las columnas según registros de la zafra 2014-2015 ¹.

Columna	Presión kPa (psig)		Temperatura en °C (°F)	
	Fondo	Cabeza	Fondo	Cabeza
T-524	600 (87)-	102.5(14.87)-	165 (329)	144.4 (292)
T-557	74.5 (10.8)	102.5 (14.87)	111.5 (238.0)	78.85 (174)
T-566	43.7 (6.3)	102.5 (14.87)	78.1 (172.4)	78.35 (173)

Tabla 43. Condiciones de operación actuales del equipo de bombeo en la planta destiladora.

Bomba	Velocidad en rpm	Cabeza total en m (ft)	Caudal en $\frac{m^3}{h}$ (gpm)	Potencia requerida en kW (hp)	$NPSH_R$ en m (ft)	$NPSH_A$ en m (ft)
P150061	3553 ± 11	19.33 (63.43)	34.06 (150)	7.53 (10.10)	2.53 (8.3)	22.79 (74.77)
P150069	3543 ± 9	45.92 (150,64)	21.57 (95)	4.44 (5.96)	1.78 (5.8)	21.77 (71.41)
P150072	3468 ± 7	36.18 (118.69)	13.63 (60)	4.42 (5.92)	1.49 (4.9)	16.67 (54.69)

¹ Se recurre a utilizar datos de la zafra pasada porque no fue posible que los datos recientes fueran provistos por parte de la empresa.

En función de las posiciones actuales de las bombas P150061, P150069 y P150072 en la planta y la ubicación de la nueva bomba, que por motivos de confidencialidad de la empresa no se proporcionan planos, se brinda la siguiente lista con el orden del nuevo sistema de bombeo en el cual se optimizó la conexión entre bombas.

Tabla 44. Listado y orden de los accesorios del nuevo sistema de bombeo propuesto, en la sección de succión.

Línea	Especificaciones	Diámetro en mm (in)	Unidad(es) o longitud
Succión de bomba nueva	Tubería	38.1 (1.5)	0.15 m (6 in)
	Tee	38.1 (1.5)	1
	Reducidor	38.1 – 25.4 (1.5 – 1)	1
	Válvula de globo	25.4 (1)	1
	Reducidor	76.2 – 38.1 (3 – 1.5)	1
	Cruz	76.2 (3)	1
Succión auxiliar de bomba P150061	Tee	152.4 (6)	1
	Tubería	152.4 (6)	0.25 m (10 in)
	Codo 90°	152.4 (6)	1
	Tubería	152.4 (6)	0.51 m (20 in)
	Reducidor	152.4 – 76.2 (6 – 3)	1
	Tubería	76.2 (3)	1.02 m (40 in)
	Codo 90°	76.2 (3)	1
	Tubería	76.2 (3)	1.93 m (76 in.)
	Unión	76.2 (3)	1
	Válvula de Mariposa	76.2 (3)	1
	Unión	76.2 (3)	1
	Tubería	76.2 (3)	0.31 m (12 in)
	Reducidor	76.2 – 38.1 (3 – 1.5)	1
	Tubería	38.1 (1.5)	0,11 m (4.5 in)
Succión auxiliar de bomba P150069	Tee	152.4 (6)	1
	Tubería	152.4 (6)	1.02 m (40 in)
	Codo 90°	152.4 (6)	1
	Tubería	152.4 (6)	0.51 m (20 in)
	Reducidor	152.4 – 76.2 (6 – 3)	1
	Tubería	76.2 (3)	1.02 m (40 in)
	Codo 90°	76.2 (3)	1
	Tubería	76.2 (3)	3.81 m (150 in)
	Unión	76.2 (3)	1
	Válvula de mariposa	76.2 (3)	1
	Unión	76.2 (3)	1
	Tubería	76.2 (3)	0.20 m (8 in)
	Reducidor	76.2 – 38.1 (3 – 1.5)	1
	Tubería	38.1 (1.5)	0.20 m (8 in)

Continuación Tabla 44.

Línea	Especificaciones	Diámetro en mm (in)	Unidad(es) o longitud
Succión auxiliar de bomba P1500072	Tee	152.4 (6)	1
	Tubería	152.4 (6)	0.501 m (20 in)
	Reducidor	152.4 – 76.2 (6 – 3)	1
	Tubería	76.2 (3)	0.50 m (20 in)
	Codo 90°	76.2 (3)	1
	Tubería	76.2 (3)	6.48 m (255 in)
	Codo 90°	76.2 (3)	1
	Tubería	76.2 (3)	4.39 m (173 in.)
	Codo 90°	76.2 (3)	1
	Tubería	76.2 (3)	0.20 m (8 in)
	Unión	76.2 (3)	1
	Válvula de mariposa	76.2 (3)	1
	Unión	76.2 (3)	1
	Tubería	76.2 (3)	0.10 m (4 in)
	Reducidor	76.2 – 38.1 (3 – 1.5)	1
	Tubería	38.1 (1.5)	0.20 m (8 in)

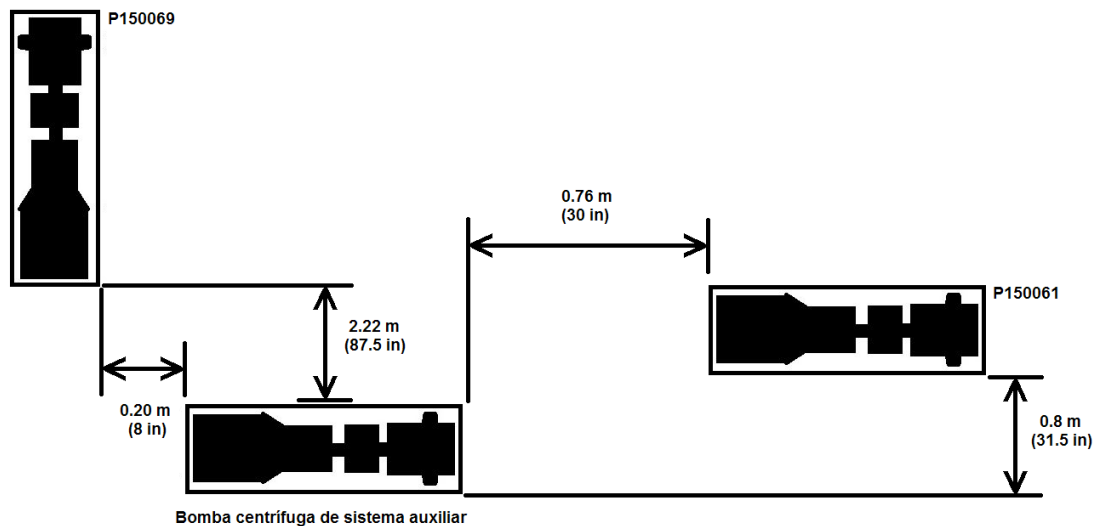
Tabla 45. Listado y orden de los accesorios del nuevo sistema de bombeo propuesto, en la sección de descarga.

Línea	Especificaciones	Diámetro (in)	Unidad
Descarga de bomba nueva	Tubería	25.4 (1)	0.20 m (8 in)
	Unión	25.4 (1)	1
	Válvula cheque	25.4 (1)	1
	Unión	25.4 (1)	1
	Tubería	25.4 (1)	0.20 m (8 in)
	Tee	25.4 (1)	1
	Tubería	25.4 (1)	0.31 m (12 in)
	Válvula de globo	25.4 (1)	1
	Tubería	25.4 (1)	0.20 m (8 in)
	Cruz	25.4 (1)	1
Descarga auxiliar de bomba P1500061	Tee	12.7 (0.5)	1
	Tubería	12.7 (0.5)	2.44 m (96 in)
	Codo 90°	12.7 (0.5)	1
	Tubería	12.7 (0.5)	0.20 m (8 in)
	Reducidor	25.4 – 12.7 (1 – 0.5)	1
	Tubería	25.4 (1)	0.20 m (8 in)
	Unión	25.4 (1)	1
	Válvula de mariposa	25.4 (1)	1
	Unión	25.4 (1)	1
	Tubería	25.4 (1)	0.20 m (8 in)
Descarga auxiliar de bomba P1500069	Tee	76.2 (3)	1
	Tubería	76.2 (3)	2.41 m (95 in)
	Codo 90°	76.2 (3)	1

Continuación Tabla 45.

Línea	Especificaciones	Diámetro (in)	Unidad	
	Tubería	76.2 (3)	4.19 m (165 in)	
	Codo 90°	76.2 (3)	1	
	Especificaciones	Diámetro (in)	Unidad	
	Tubería	76.2 (3)	0.20 m (8 in)	
	Especificaciones	Diámetro (in)	Unidad	
	Unión	76.2 (3)	1	
	Válvula de mariposa	76.2 (3)	1	
	Unión	76.2 (3)	1	
	Tubería	76.2 (3)	0.20 m (8 in)	
	Reducidor	76.2 – 25.4 (3 – 1)	1	
	Tubería	25.4 (1)	0.31 m (12 in)	
	Descarga auxiliar de bomba P1500072	Tee	76.2 (3)	1
		Tubería	76.2 (3)	6.60 m (260 in)
Codo 90°		76.2 (3)	1	
Tubería		76.2 (3)	3.81 m (150 in)	
Unión		76.2 (3)	1	
Válvula de mariposa		76.2 (3)	1	
Unión		76.2 (3)	1	
Tubería		76.2 (3)	0.64 m (25 in)	
Codo 90°		76.2 (3)	1	
Tubería		76.2 (3)	0.15 m (6 in)	
Reducidor		76.2 – 25.4 (3 – 1)	1	
Tubería		25.4 (1)	0.15 m (6 in)	

Figura 42: Ubicación de la nueva bomba, del sistema auxiliar de bombeo, en la planta destiladora con respecto a la posición de 2 de las bombas que se incluirán en el sistema.



Con base en los cálculos realizados en la sección F: Selección de bomba y motor del sistema auxiliar de bombeo, se elige la bomba centrífuga del distribuidor Goulds, cuyos datos se muestran a continuación:

Tabla 46. Datos operativos de la bomba Goulds, modelo 3196

Característica de la bomba	Descripción
Velocidad de rotación	3395 rpm
Caudal de operación	0 – 200 Galones/minuto
Cabeza total desarrollada	0 – 152.4 m (0 – 500 ft)
Diámetro de entrada	50.8 mm (2 in)
Diámetro de salida	25.4 mm (1 in)
Diámetro de impulsor	203.2 mm (8 in)
Grupo al que pertenece la bomba	MTi
Peso de la bomba	99.8 kg (220 lb)
Material de carcasa	Hierro fundido
Material de impulsor	Hierro dúctil
Material del eje	Acero inoxidable 316SS
Camisa del eje	Acero inoxidable 316
Material de la cámara del sello	Hierro dúctil
Material de caja de cojinetes	Hierro fundido
Material de anillo de retención en caja de cojinetes	Acero

(Goulds pumps, 2000)

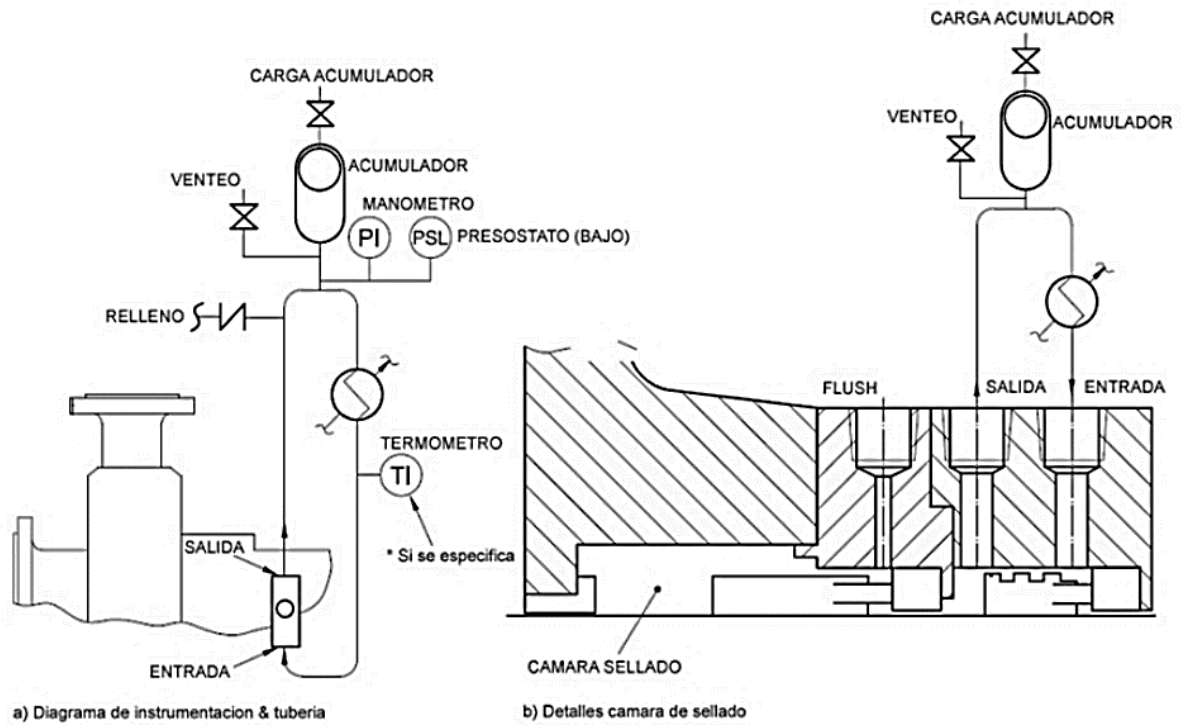
El equipo anterior es una recomendación para dicha operación pues se adecúa al proceso de bombeo, sin embargo, puede estar sujeto a cambios o preferencias de parte de la empresa por equipos de otra marca.

Usando el criterio de selección descrito en la sección G: Criterio de selección de sellos mecánicos, se determinó que el sello que se recomienda usar en la bomba P-1506 en el proceso es el siguiente:

Tabla 47: Detalle de sello recomendado para la bomba P-1506

SELLO MECÁNICO	
SELLO CARTUCHO DOBLE PARA EJE 1.750"	
MATERIAL DE CARA ROTATIVA	CARBÓN / CARBÓN
MATERIAL DE CARA ESTACIONARIA	TUNGSTENO / TUNGSTENO
O-RINGS	VITÓN
RESORTES	HASTELLOY C
BRIDA	SS316
JUNTA DE BRIDA	TEFLÓN

Figura 43. Plan de lubricación 53ª para sellos mecánicos.



(Grupo Técnico RIVI, 2014)

La tubería externa suministra fluido al sello externo en una disposición de sello doble. Un acumulador de membrana presurizado suministra presión al sistema de circulación. El caudal es mantenido por un anillo interno de bombeo. El calor se elimina mediante un intercambiador aire-aceite o agua-aceite. Se utiliza en aplicaciones donde los productos tienen altas presiones y son nocivos o peligrosos (Grupo Técnico RIVI, 2014).

Tabla 48. Resultados del impacto de la implementación del sistema de bombeo auxiliar, obtenidos en la sección:
Impacto del nuevo sistema de bombeo.

Área de impacto	Valor
Aumento de eficiencia del proceso de destilación de etanol si se instalara el sistema auxiliar de bombeo.	7.97%
Activos por producto terminado aprovechados evitando paros por fallas en las bombas.	Q.826,892
Beneficio estimado de retorno por inversión en el proyecto del sistema de bombeo.	Q.47.89
Período de recuperación de inversión en el sistema auxiliar de bombeo.	10.08Meses

5. Requerimientos de ingeniería cumplidos en el proyecto

ID	Requerimientos	Prioridad	Comprobación
RGSBA-01	La bomba debe ser adecuada para transportar líquidos volátiles y altamente corrosivos.	Alta	El modelo 3196 STX es específico para procesos químicos.
RGSBA-02	Los materiales de la bomba deben soportar el contacto con productos corrosivos.	Alta	Los materiales de la bomba como hierro dúctil, hierro fundido y acero 316 soportan la corrosión.
RGSBA-03	El motor eléctrico debe ser a prueba de explosiones.	Alta	La conexión en delta y el tipo de motor garantizan que no se producirán explosiones.
RGSBA-04	La conexión del motor eléctrico debe ser trifásica y debe evitar chispas.	Alta	La conexión del motor es de 3 fases y a prueba de explosiones.
RGSBA-05	La selección del material y diámetro del eje debe soportar la corrosión por contacto con productos corrosivos.	Alta	El material del eje rígido es acero inoxidable 316, el cual puede trabajar con productos corrosivos.
RGSBA-06	La tubería debe soportar el efecto corrosivo del etanol en contacto.	Alta	La tubería está fabricada de acero 304L cédula 40 ASTM-A312 cuya aplicación principal es la industria química.
RGSBA-07	Las pérdidas por accesorios en las tuberías no deben ser mayores que las pérdidas por fricción.	Alta	No se cumple en el diseño actual de la planta, debido a que la suma de K_f , K_c y K_e (pérdidas por accesorios) es mayor que h_f (pérdidas por fricción).
RGSBA-08	El conjunto bomba-motor debe contar con un proceso de disipación de calor.	Media	El motor cuenta con aletas incorporadas en la carcasa para disipar el calor.
RGSBA-09	El conjunto bomba-motor deberá variar la velocidad de rotación para ajustarse a la operación que se requiera.	Alta	Se utilizará un variador de frecuencia marca LSLVS100 para controlar la velocidad del conjunto bomba-motor.

RGSBA-10	El sistema de bomba-motor auxiliar debe aumentar la eficiencia del proceso.	Alta	La eficiencia del proceso aumentará un 7.97% si se implementa el proyecto.
RGSBA-11	Los sellos mecánicos deben estar fabricados con materiales que soporten el ataque corrosivo del etanol.	Alta	Los componentes de las caras de los sellos son carbón, silicio y tungsteno, que soportan la corrosión.
RESBA-01	La conexión del motor debe ser en distribución delta.	Alta	La conexión del motor es trifásica en distribución delta.
RESBA-02	El material del eje del motor debe ser Acero al carbono	Alta	El material del eje del motor es acero al carbono 1008
RESBA-03	La flexión del eje de la bomba debe ser menor a 0.04 in (0.1 mm)	Alta	El eje rígido de la bomba está diseñado para evitar deflexiones mayores a 0.05 mm (0.002 in).
RESBA-04	Diámetro del eje del motor debe ser mayor a 1.5 in	Alta	El diámetro del eje del motor es 1.62 in.
RESBA-05	La tubería debe ser de acero 304 o similar, resistente al ataque corrosivo	Alta	La tubería está fabricada de acero 304L cédula 40 ASTM-A312.
REBSA-06	El motor eléctrico deberá utilizar un variador de frecuencia para controlar la velocidad de operación de la bomba.	Alta	Se usará un variador de frecuencia marca LSLVS100.
REBSA-07	La eficiencia de proceso debe aumentar, por lo menos 1%, eliminando tiempos muertos en la producción de etanol.	Alta	La eficiencia del proceso aumentará 7.97% con el nuevo sistema.

F. Módulo 6: Evaluación financiera para determinar la viabilidad de las mejoras propuestas al proceso de producción de etanol en una planta productora

1. **Análisis financiero.** Se realizó una evaluación financiera y se determinó la viabilidad de las propuestas de mejora al proceso de producción de etanol en las respectivas áreas de enfoque, lo cual se vio respaldado por el beneficio esperado que deben cubrir los costos de la posible inversión que debe realizarse para una implementación adecuada de las mismas. Esto con el objetivo de verificar que se minimicen costos lo más posible optimizando de una manera adecuada los procesos de las áreas de enfoque.

- Se estableció una TMAR y proyección de años necesarios para el análisis financiero de las propuestas de mejora, al igual que ciertos parámetros utilizados por empresas para una inversión adecuada en proyectos de mejora con el objetivo de tomarse como puntos de comparación. Se calculó también el costo promedio ponderado del capital (CPPC) de la industria en donde se encuentra la empresa estudiada para ser comparado con respecto a la TMAR.
- Se determinaron los criterios financieros adecuados para verificar viabilidad de propuestas. En este caso se utilizó: Análisis costo-beneficio
- Se analizó la viabilidad de las propuestas de mejora establecidas en las cuales el ingenio podría invertir para mejorar sus instalaciones y eficiencia de proceso para obtener etanol.
- Se concluyó si las posibles propuestas de mejora de cada módulo respectivamente son viables, o simplemente la situación actual es más eficiente monetariamente hablando.
- Los resultados fueron revisados por parte de asesor de megaproyecto.
- Se validaron los resultados con respecto a la viabilidad de las propuestas de mejora establecidas por los otros módulos.

A continuación, se presentan las herramientas administrativas utilizadas para un mejor entendimiento del entorno:

2. **Análisis de fuerzas competitivas.** Una industria es un grupo de empresas que elaboran un producto o servicio similar. La examinación y comprensión de los grupos de interés importantes, como los proveedores y los clientes, que se encuentran en el entorno de trabajo de una organización específica, forma parte de un análisis de la industria. Michael Porter, una autoridad en estrategia competitiva, sostiene que una organización se interesa mucho en la intensidad de la competencia en su industria. El nivel de esta intensidad está determinado por cinco fuerzas competitivas básicas. Acorde a Porter, cuanto más poderosa sea cada una de estas fuerzas, más limitada será la capacidad de las empresas para aumentar sus precios y obtener mayores beneficios. Por lo tanto, una fuerza poderosa es considerada como una amenaza porque tiene la posibilidad de reducir los beneficios. En contraste, una fuerza menor puede ser vista como una oportunidad porque permite a la empresa obtener mayores beneficios (*Wheelen y Hunger, 2013*). A continuación, se presenta el análisis de las cinco fuerzas competitivas de Porter con respecto a la empresa estudiada y la industria en donde se ve involucrado:

- **Amenaza de nuevas incorporaciones:** El desarrollo de una nueva vía para fabricar etanol de manera eficiente sin utilizar maíz u otros cultivos es una fuerte amenaza actual. Esta nueva forma desarrollada por científicos de la Universidad de Stanford, California; involucra un proceso que transforma monóxido de carbono en etanol. Este proceso innovador puede producir cantidades apreciables de etanol a partir de monóxido de carbono a presión y temperatura ambiente, una reacción electroquímica muy difícil. Cabe mencionar que no requiere un proceso de fermentación, y además ayudaría a resolver una gran cantidad de los problemas del uso de la tierra y el agua que rodean la producción de etanol con los métodos utilizados actualmente. Se diseñó una célula electroquímica, un dispositivo que consiste en dos electrodos que fueron puestos en agua saturada con monóxido de carbono. Uno de los electrodos estaba compuesto de un material al que se le denominó “cobre derivado del óxido”. Al momento de aplicar voltaje por los electrodos, el monóxido de carbono fue convertido en etanol. El objetivo es capturar dióxido de carbono en la atmósfera y convertirlo en monóxido de carbono, que luego será transferido a un catalizador de cobre-óxido para poder producir etanol. Esta es una incorporación al mercado que puede representar una amenaza para los métodos que actualmente se utilizan para producir etanol; es decir generalmente en instalaciones de fermentación a alta temperatura que químicamente transforman maíz, caña de azúcar y otras plantas en etanol. Con el desarrollo de la tecnología para optimizar procesos, no es de extrañar que se estarán viendo nuevos procesos, tal y como este, en el mercado con el objetivo de producir etanol de una manera fácil y relativamente barata.
- **Rivalidad entre los competidores existentes:** Para realizar un mejor análisis de los competidores existentes en el mercado, en la tabla 49 se muestra el desempeño de la empresa estudiada en Guatemala con respecto a la producción de azúcar y etanol a nivel nacional para la zafra 2012/2013:

Tabla 49. Empresa estudiada con respecto a la producción de azúcar y etanol a nivel nacional para la zafra 2012/2013

	Azúcar	Etanol
Unidad	Toneladas métricas (t)	Litros (L)
Empresa estudiada (producción total)	638,490	75,534,000
Producción a nivel nacional	2,782,476	269,000,000

Se puede observar que la empresa estudiada es altamente competitiva con respecto a la producción de azúcar, representando aproximadamente el 23% de la producción a nivel nacional. Se sabe que la agroindustria guatemalteca está posicionada en el tercer lugar a nivel mundial en productividad de azúcar, y representar casi el 25% de esta alta productividad, estableciendo que realmente es una empresa con ventaja competitiva, siendo superior a su competencia y liderando el mercado nacional. Con respecto al etanol, se puede mencionar que la empresa estudiada representa aproximadamente el 28% de la producción a nivel nacional. Por lo tanto, se puede establecer que también se tiene una alta productividad con respecto a las otras cuatro empresas que producen etanol. Es decir, que tanto para el azúcar y el etanol, la empresa estudiada se posiciona como un competidor bastante fuerte a nivel nacional; además de presentar alta estabilidad y eficiencia.

En la Tabla 50 se puede observar todos los ingenios que se ven involucrados en la cogeneración de energía eléctrica a nivel nacional para el 2011, al igual que la cantidad de potencia efectiva que suministran al mercado mayorista. Se puede observar que la empresa estudiada representa aproximadamente el 19% de la potencia efectiva ofrecida a nivel nacional, viéndose superado únicamente por el Ingenio Magdalena representando aproximadamente el 35%. En general, la empresa estudiada representa aproximadamente el 27% de la potencia efectiva suministrada al mercado mayorista a nivel nacional. Se puede establecer, que al igual que para el azúcar y etanol, la empresa estudiada es un competidor bastante fuerte y estable; ya que para cualquiera de los productos que ofrecen siendo analizado presentan ser altamente eficientes representando gran parte de su producción a nivel nacional.

Tabla 50. Cogeneración de energía eléctrica por ingenio a nivel nacional para el 2011

Ingenio	MW
Magdalena	111.2
Pantaleón	58.7
La Unión	37.0
Santa Ana	35.4
Concepción	26.7
Madre Tierra	21.2
Trinidad	14.1
Tululá	13.7
Total	318.1

Fuente: Administrador del Mercado Mayorista- AMM-. Enero 2011

- Amenaza de productos o servicios sustitutos: Los productos sustitutos son directamente los que ofrecen los demás ingenios guatemaltecos; es decir azúcar, etanol y energía. Con respecto al azúcar, en Guatemala actualmente operan 14 ingenios. La agroindustria azucarera nacional genera aproximadamente 425,000 empleos directos e indirectos, de los cuales aproximadamente 32,000 son cortadores de caña. Para la zafra 2013/2014 se aproximó una producción de 2, 806,578 toneladas métricas, permitiendo que la agroindustria azucarera guatemalteca pueda ubicarse en el tercer lugar a nivel mundial en productividad de azúcar.

Por otra parte, con respecto al etanol se debe mencionar que actualmente existen otras cinco empresas productoras de etanol. Se estima que en la actualidad estas cinco empresas alcanzan una producción de aproximadamente 269 millones de litros al año. La mayor parte de este producto es exportado a la Unión Europea, América Central y México.

Por último, existen otros seis ingenios involucrados en la cogeneración de energía. Del proceso de caña se aprovecha el bagazo para la cogeneración de energía eléctrica. Durante el período de zafra, se estima que actualmente estos ocho ingenios azucareros suministran aproximadamente 408 MW de potencia efectiva al mercado mayorista, lo cual supera la potencia de Chixoy; la principal hidroeléctrica nacional.

- Poder de negociación de los proveedores: La empresa estudiada es una organización agroindustrial que actualmente, como grupo, es el principal productor en la región centroamericana y se encuentra posicionado entre los diez más importantes de Latinoamérica. Para poder obtener esta alta productividad que lo posiciona como líder, se necesita de procesos eficientes y mano de obra capacitada; pero un aspecto fundamental que también afecta es la calidad de los productos que los proveedores de la organización pueden ofrecer. Aproximadamente el 82% de los insumos adquiridos se compran a proveedores locales alcanzando los \$ 105, 771,774 anualmente. Las

compras a proveedores extranjeros alcanzan los \$ 22, 637,202 cada año, representando el otro 18%, y dando un total de \$ 128, 408,977 en compra de insumos. Los insumos o productos comprados por la empresa estudiada están conformados por: agroquímicos y fertilizantes, combustibles, materiales y equipo, químicos industriales y servicios prestados. La empresa selecciona proveedores que compartan con la organización la filosofía y fundamentos éticos para hacer negocios, además exige que en el transcurso de las relaciones comerciales se mantengan los estándares sociales, ambientales y de calidad del producto. Para reforzar su compromiso, se realizó una iniciativa liderada por la empresa en conjunto del Ingenio San Diego e Ingenio La Unión; con el objetivo de difundir a sus proveedores la filosofía de Responsabilidad Social Empresarial (RSE), y sistematizar las políticas y los procesos de compra y proveeduría en el sector azucarero nacional. De esta manera se fomenta las prácticas de RSE en la cadena productiva.

- Poder de negociación de los clientes: La empresa estudiada ha sido auditada por diversos clientes que buscan productos que se adhieran a los más altos estándares de calidad, lo cual ha permitido a la organización acreditarse como proveedor Premium Mundial y por ende competir en el mercado global. Es decir, que una gran cantidad de la producción de etanol es exportada debido a la calidad que cumple con los altos estándares en el mercado internacional. El etanol que no es exportado se vende en el mercado nacional, especialmente con clientes también de altos estándares como por ejemplo Industrial Licoreras de Guatemala. Por una parte, está la alta calidad que ofrece la empresa, y por otra parte está la alta competencia que se tiene a nivel nacional con respecto a la producción de etanol. Es decir, que los principales consumidores de etanol tienen sus propias destiladoras; como por ejemplo Industria Licoreras de Guatemala que lo obtiene directamente de DARSA (Ingenio Tululá y Santa Ana). Es por esta razón que la variedad de opciones y la alta competencia, causa que los clientes exijan precios competitivos. Pero como se mencionó previamente, debido a que la empresa estudiada ofrece productos de calidad para altos estándares, realmente la exigencia de estos precios competitivos no repercute drásticamente en los de la organización ya que posee liderazgo en el mercado.

3. **Análisis del ambiente interno y externo.** El análisis del ambiente interno y externo en donde se ve involucrada una empresa implica monitorear, recolectar y evaluar información para comprender las tendencias actuales en los entornos ambiental, social y de tareas. La información obtenida para el respectivo análisis, se utiliza para realizar ciertos supuestos sobre el futuro, los cuales posteriormente son recomendables emplearlos en la planificación estratégica. La clave no es suponer que la industria seguirá siendo como es ahora, sino que suponer que la industria cambiará y asegurarse de que la empresa estará en la posición adecuada para aprovechar ese cambio (*Wheelen y Hunger, 2013*). Por lo tanto, con el objetivo de identificar si el ingenio estará en la posición adecuada para aprovechar un posible cambio en la industria, se establecen los factores internos (fortalezas y debilidades) al igual que los externos (oportunidades y amenazas); información necesaria para poder llevar a cabo el análisis del ambiente interno y externo. Este análisis puede realizarse utilizando las matrices IFAS, EFAS y SFAS. A continuación, se presentan las respectivas matrices mencionadas previamente:

- La matriz IFAS se conforma de los factores internos de la empresa, en este caso las fortalezas y debilidades. Al asignarle un peso y una clasificación a cada factor se obtiene una clasificación ponderada para poder identificar cuáles son los factores más influyentes o representativos. El peso y clasificación son asignados dependiendo de cómo estos afectan directamente en las operaciones internas de la empresa. Se logró determinar con esta herramienta que, de las fortalezas analizadas del ingenio, la más relevante es la generación de energía eléctrica para el consumo interno (alumbrado, operación de motores, equipos eléctricos, entre otros) y venta al sistema eléctrico nacional. Mientras que, de las debilidades analizadas, se determina que la más relevante es que la producción de etanol genera residuos contaminantes.

Tabla 51. Factores influyentes en el análisis del ambiente interno.

Factores internos	Peso	Calificación	Calificación ponderada	Comentarios
Fortalezas				
1. Mano de obra altamente competitiva con bastante experiencia laboral en puestos de trabajo fundamentales	0.09	4.2	0.378	Aprovechar el talento humano
2. Infraestructura adecuada	0.07	3.4	0.238	Ventaja competitiva
3. Retroalimentación con respecto a la información obtenida de ensayos realizados durante la zafra.	0.03	2.9	0.087	Mejora de procesos
4. Sistemas de gestión empresarial en donde se incluye: ISO, ISCC y HACCP.	0.05	4.7	0.235	Entrar a nuevos mercados
5. Generación y aplicación de alta tecnología en los procesos de producción.	0.09	4.6	0.414	Optimización de procesos, aumento de eficiencia
6. Flexibilidad para hacer ventas en diferentes términos como FCA (Free Carrier), FOB (Free on Board) y C&F (Cost & Freight).	0.04	4.5	0.18	Mejor relación con el cliente
7. Moderna terminal de exportación localizada en Puerto Quetzal, la cual permite embarcar 2,000 toneladas métricas de azúcar por hora. (Expogranel, S.A.)	0.02	3.7	0.074	Facilidad para transportar productos
8. Generación de energía eléctrica para el consumo interno.	0.11	4.8	0.528	Aprovechar los recursos disponibles
Suma parcial fortalezas	0.5		2.134	
Factores internos	Peso	Calificación	Calificación ponderada	Comentarios
Debilidades				
1. Costos energéticos y de mantenimiento sumamente altos con respecto al equipo utilizado en los procesos de producción.	0.1	3.4	0.34	Control de costos eficiente para aumentar rentabilidad
2. Altas probabilidades de accidentes en el área de trabajo, afectando directamente en los costos de operación.	0.05	4.2	0.21	Cuidado y preocupación del recurso humano

Continuación Tabla 51

Factores internos	Peso	Calificación	Calificación ponderada	Comentarios
3. La producción de etanol genera residuos contaminantes, como por ejemplo la vinaza.	0.14	3.2	0.448	Buscar formar de aprovechar los derivados
4. Alto consumo de agua en el proceso de producción, al igual que altos costos para su tratamiento.	0.12	3	0.36	Reutilizar el agua en diferentes etapas del proceso
5. Alta dependencia de insumos y equipo importado para poder llevar a cabo el proceso de producción.	0.03	3.5	0.105	Buscar proveedores locales de insumos que sean competentes
6. La zafra azucarera involucrada en el ingenio tiene una duración aproximada de cuatro a seis meses (noviembre a mayo); por lo tanto, se tiene una alta demanda de trabajadores temporales y por subcontratos.	0.06	4.4	0.264	Incentivos para el capital de trabajo temporal
Suma parcial debilidades	0.5		1.727	
Calificaciones totales	1		3.861	

- La matriz EFAS se conforma de los factores externos; es decir las oportunidades y amenazas. Al asignarle un peso y una clasificación a cada factor se obtiene una clasificación ponderada para poder identificar cuáles son los factores más influyentes o representativos. El peso y clasificación son asignados dependiendo de cómo estos afectan directamente en las operaciones externas de la empresa. Se logró determinar con esta herramienta que, de las oportunidades analizadas del ingenio, la más relevante es la reducción de la capacidad ociosa, es decir, aprovechar al máximo la capacidad instalada de producción en el ingenio. Mientras que, de las amenazas analizadas, se determina que la más relevante es que el mercado actual del azúcar enfrenta relativos bajos precios debido a la sobreproducción de la misma, lo cual puede causar altos niveles de inventarios, por lo tanto, incrementando costos de almacenamiento.

Tabla 52: Factores influyentes en el análisis del ambiente externo.

Factores externos	Peso	Calificación	Calificación ponderada	Comentarios
Oportunidades				
1. La alta competencia en la que se ve involucrada el ingenio por las exportaciones fomentan la mejora continua de sus procesos de producción; y por lo tanto el aumento de la calidad en sus productos.	0.04	3.7	0.148	Fuerte competencia en el mercado internacional
2. Clientes industriales con estrictos requerimientos en sus especificaciones, realizando auditorías periódicas al ingenio; promoviendo productos competentes y eficiencia en los procesos.	0.02	4.2	0.084	Control de calidad
3. Proyectos con el propósito de incrementar la capacidad de producción de etanol, como por ejemplo la ampliación y reestructuración de la destilería de Bioetanol.	0.03	2.6	0.078	Ventaja competitiva
4. Alianzas estratégicas para aumentar sus operaciones, rendimiento y fortalecer su productividad.	0.11	4.1	0.451	Búsqueda de nuevos mercados
5. Instalación de una destilería en Ingenio Monte Rosa ubicado en Nicaragua; el cual forma parte de la empresa estudiada. De esta manera poder reforzar su liderazgo en la industria azucarera en Centroamérica.	0.03	3	0.09	Mayor producción de etanol
6. Reducción de emisiones contaminantes para controlar el impacto ambiental que las operaciones del ingenio pueden causar.	0.08	2.8	0.224	Mejor relación con los clientes
7. Minimizar la dependencia en la utilización de energías no renovables para llevar a cabo las operaciones del ingenio.	0.06	3.4	0.204	Reducción de costos
8. Reducción de la capacidad ociosa, aprovechar al máximo la capacidad instalada de producción en el ingenio.	0.13	3.8	0.494	Aumentar rentabilidad y aprovechar recursos disponibles
Suma parcial oportunidades	0.5		1.773	
Factores externos	Peso	Calificación	Calificación ponderada	Comentarios

Continuación Tabla 52				
Factores externos	Peso	Calificación	Calificación ponderada	Comentarios
1. Exportaciones al mercado mundial teniendo que competir con los mejores productores a este nivel incluyendo: Brasil, Sudáfrica, Australia, Colombia, entre otros.	0.07	3.5	0.245	Fuerte competencia en el mercado internacional
2. Alta vulnerabilidad a adversidades climáticas y plagas en tiempos de zafra.	0.06	3.2	0.192	Mayor control para evitar problemas en la materia prima
3. Inestabilidad económica nacional actual que puede afectar en los proyectos de inversión que están ejecutándose o que están por ejecutarse.	0.04	2.7	0.108	Frena inversión y desarrollo
4. Mercado actual del azúcar enfrentando bajos precios debido a la sobreproducción de la misma causando altos inventarios, y por lo tanto incrementando costos de almacenamiento.	0.13	4.1	0.533	Necesario el buen control y manejo de inventarios
5. Enfrentar problemas de disponibilidad de energía necesaria para el proceso de producción.	0.11	4.3	0.473	Control en el suministro de energía
6. Aumento en los precios de los insumos necesarios en el proceso industrial del ingenio, promoviendo la búsqueda de productos sustitutos de menor precio y por lo tanto disminuyendo la calidad de los productos.	0.09	2.9	0.261	Búsqueda de varios proveedores para tener diferentes opciones
Suma parcial amenazas	0.5		1.812	
Calificaciones totales	1		3.585	

- La matriz SFAS está conformada por los factores más influyentes obtenidos en las IFAS y EFAS. Estos son analizados a mayor detalle, incluyendo la duración de los factores para poder tomar en cuenta el impacto de los mismos con respecto al tiempo. Por lo tanto, en la matriz SFAS se puede observar los factores, tanto internos (fortalezas y debilidades) como externos (oportunidades y amenazas), que se consideran los más influyentes debido a su clasificación ponderada obtenida. Analizando las tres matrices se determina que, con respecto al ambiente interno, la fortaleza más relevante mencionada previamente repercute o tiene un impacto directamente a corto y mediano plazo; mientras que un impacto a mediano plazo para la debilidad. Por otra parte, con respecto al ambiente externo, se determina que la oportunidad más relevante de acuerdo a su ponderación tiene un impacto a mediano y largo plazo; mientras que un impacto corto plazo para la amenaza.

Se concluye que le empresa estudiada está en la posición adecuada para aprovechar cualquier cambio en la industria debido a que, de las amenazas analizadas, la más relevante tiene un impacto a corto plazo; lo que significa que tienen un buen control sobre riesgos externo. Por otra parte, las fortalezas y oportunidades se enfocan más en obtener un impacto a mediano e inclusive largo plazo, demostrando que el ingenio está en constante preparación para aprovechar los cambios en la industria, en lugar de verse afectado por ellos.

Tabla 53: Factores influyentes en el análisis de factores estratégicos.

Factores estratégicos	Peso	Calificación	Calificación ponderada	Duración			Comentarios
				Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo	
1. Generación de energía eléctrica para el consumo interno. (F)	0.18	4.2	0.756		X	X	Reducción de costos y aumento de rentabilidad
2. Generación y aplicación de alta tecnología en los procesos de producción. (F)	0.12	3.8	0.456		X		Optimización y estandarización de procesos
3. La producción de etanol genera residuos contaminantes, como por ejemplo la vinaza. (D)	0.15	3	0.45	X			Control y manejo de costos para evitar pérdidas
4. Alto consumo de agua en el proceso de producción, al igual que altos costos para su tratamiento. (D)	0.09	3.1	0.279	X	X		Incentivos para capital de trabajo temporal
5. Reducción de la capacidad ociosa, aprovechar al máximo la capacidad instalada de producción en el ingenio. (O)	0.14	3.4	0.476	X	X		Aprovechar los recursos disponibles y evitar desperdicios
6. Alianzas estratégicas para aumentar sus operaciones, rendimiento y fortalecer su productividad. (O)	0.16	4.4	0.704		X	X	Búsqueda de nuevos mercados
7. Mercado actual del azúcar enfrentando bajos precios debido a la sobreproducción de la misma causando altos inventarios, y por lo tanto incrementando costos de almacenamiento. (A)	0.1	4.1	0.41	X			Control y buen manejo de inventarios, evitar el aumento de costos de almacenamiento
8. Enfrentar problemas de disponibilidad de energía necesaria para el proceso de producción. (A)	0.06	3.2	0.192	X	X		El cuidado y tratamiento de la materia prima es fundamental para el proceso de producción
Calificaciones totales	1		3.723				

4. **Análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.** La formulación de la estrategia, usualmente denominada planeación estratégica o planeación a largo plazo, se ocupa del desarrollo de la misión, los objetivos, las estrategias y las políticas de una empresa. Comienza con el análisis de la situación, es decir, el proceso de encontrar una concordancia estratégica entre las oportunidades externas y las fortalezas internas, mientras simultáneamente se trabaja con las amenazas externas y debilidades internas. El proceso de toma de decisiones estratégicas consiste en analizar los factores estratégicos de la situación actual utilizando el análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas. Este análisis no solo debe permitir la identificación de las competencias o habilidades distintivas de una empresa, es decir, las capacidades y recursos específicos con que cuenta una empresa y la mejor manera de utilizarlos, sino que también las oportunidades que la empresa no está aprovechando debido a la falta de recursos adecuados. Este análisis, por lo tanto, puede utilizarse para tener una visión más amplia de la estrategia de la empresa (*Wheelen y Hunger, 2013*). A continuación, se presenta el análisis previamente mencionado:

Tabla 54: Análisis de fortalezas y debilidades de la planta destiladora basado en factores internos.

Factores internos	
Fortalezas	Debilidades
<p>F1. Generación de energía eléctrica para el consumo interno (alumbrado, operación de motores, equipos eléctricos, entre otros) y venta al sistema eléctrico nacional.</p> <p>F2. Generación y aplicación de alta tecnología en los procesos de producción.</p> <p>F3. Mano de obra altamente competitiva con bastante experiencia laboral en puestos de trabajo fundamentales.</p>	<p>D1. Costos energéticos y de mantenimiento sumamente altos con respecto al equipo utilizado en los procesos de producción.</p> <p>D2. Alta demanda de trabajadores temporales y por subcontratos debido a la zafra azucarera.</p> <p>D3. La producción de etanol genera residuos contaminantes, como por ejemplo la vinaza.</p>

Tabla 55: Análisis de fortalezas y debilidades de la planta destiladora basado en factores externos.

Factores externos		
Oportunidades	FO (Maxi-Maxi)	DO (Mini-Maxi)
<p>O1. Reducción de la capacidad ociosa, aprovechar al máximo la capacidad instalada de producción en el ingenio.</p> <p>O2. Alianzas estratégicas para aumentar sus operaciones, rendimiento y fortalecer su productividad.</p> <p>O3. Reducción de emisiones contaminantes para controlar el impacto ambiental que las operaciones del ingenio pueden causar.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de contaminantes para controlar el impacto ambiental utilizando alta tecnología en los procesos de producción del ingenio. • Mano de obra altamente competente para reducir la capacidad ociosa, y por lo tanto, aprovechar al máximo la capacidad de producción instalada en el ingenio. • Alianzas estratégicas con empresas especializadas en generación de energía para fortalecer la productividad; al igual que aumentar operaciones y rendimiento en diferentes procesos de producción que involucran alta demanda de energía eléctrica, como por ejemplo el tratamiento de agua para diluir melaza. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aprovechar la capacidad instalada de producción con planeación estratégica y controles administrativos para reducir costos con respecto al equipo utilizado; como por ejemplo el sistema de bombeo utilizado en el proceso de destilación para producir etanol. • Alianzas estratégicas con empresas de externalización para seleccionar capital de trabajo temporal competente en tiempo de zafra. • Involucrarse en la tendencia actual de cuidado del medio ambiente para minimizar los residuos contaminantes generados en la producción. De esta manera, aumentar su prestigio y disminuir costos de fabricación.

Amenazas	FA (Maxi-Mini)	DA (Mini-Mini)
<p>A1. Mercado actual del azúcar enfrentando bajos precios debido a la sobreproducción de la misma causando altos inventarios, y por lo tanto incrementando costos de almacenamiento.</p> <p>A2. Alta vulnerabilidad a adversidades climáticas y plagas en tiempos de zafra, afectando la materia prima necesaria para el proceso de producción.</p> <p>A3. Aumento en los precios de los insumos necesarios en el proceso industrial del ingenio, promoviendo la búsqueda de productos sustitutos de menor precio y por lo tanto disminuyendo la calidad de los productos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aprovechar la generación de energía para el consumo interno y venta al sistema eléctrico nacional para poder ofrecer el azúcar a precios sumamente competitivos; con el objetivo principal de reducir inventario. • Implementación de alta tecnología para el cuidado y tratamiento de la materia prima, al igual que controles para prevenir el desperdicio de la misma. • Mano de obra altamente competente para administrar el control de calidad de los productos, al igual que en la selección de los insumos más eficientes en el mercado y al precio que sea más rentable para la empresa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitaciones constantes al capital de trabajo temporal en la zafra para poder mejorar el control y prevenir el desperdicio de la materia prima fundamental para el proceso de producción. • Uso alternativo para los residuos contaminantes generados en la producción, como por ejemplo fabricación de biogás o compost utilizando vinaza, para aumentar la rentabilidad y poder superar sin ningún problema una reducción de precios en el mercado. • Fortalecer la inversión en equipo eficiente y de alta tecnología para minimizar costos de producción, al igual que obtener productos de alta calidad; sin tanta dependencia en los insumos utilizados, como por ejemplo en un proceso de pasteurización para el mosto o la melaza.

Continuación Tabla 55.

Las estrategias determinadas con este análisis, básicamente se pueden obtener al relacionar los factores internos y externos. Siempre tomando en cuenta que se busca minimizar las debilidades y amenazas, y por otra parte maximizar las oportunidades y fortalezas. Entre las estrategias obtenidas, se puede mencionar las más relevantes; las cuales son las que se relacionan directamente con las respectivas áreas de enfoque de los módulos del megaproyecto:

- Fortalecer la inversión en equipo eficiente y de alta tecnología para minimizar costos de producción, como por ejemplo en un proceso de pasteurización para el mosto o la melaza. Al igual que obtener productos de alta calidad; sin tanta dependencia en los insumos utilizados.
- Alianzas estratégicas con empresas especializadas en generación de energía para fortalecer la productividad; al igual que aumentar operaciones y rendimiento en diferentes procesos de producción que involucran alta demanda de energía eléctrica, como por ejemplo el tratamiento de agua para diluir melaza.
- Aprovechar la capacidad instalada de producción con planeación estratégica y controles administrativos para reducir costos con respecto al equipo utilizado; como por ejemplo el sistema de bombeo utilizado en el proceso de destilación para producir etanol.

5. Situación inicial de las áreas de enfoque

- Proceso de pasteurización: con respecto al diseño del proceso de pasteurización, realmente no se podría establecer una línea base como tal ya que actualmente no se utiliza para el tratamiento de la melaza y el mosto de melaza. Es decir, que independientemente del costo actual del tratamiento de la melaza y el mosto de melaza, la línea base sería \$0; ya que no se hace debido que se utilizan otro tipo de tratamientos. Actualmente, lo que se utiliza son tratamientos químicos.
- Tratamiento de agua: con respecto a los afluentes utilizados para la preparación del mosto se puede mencionar que actualmente se trabaja con cuatro pozos, en los cuales se ve involucrado el costo de mantenimiento anual que oscila entre los US\$.3, 272.52 y US\$.6, 545.03 para cada uno. Por otra parte, también se puede mencionar que el costo energético actualmente se estima en US\$.9, 127.37 por cada motor operando 170 días en la zafra. Se pueden observar en el tabla 56 ciertas características actuales del agua utilizada para la preparación del mosto:

Tabla 56: Características del agua utilizada para la preparación del mosto.

Ph	7.8 ± 0.08
Flujo máximo	$63 \frac{m^3}{h}$

Flujo promedio	$47 \frac{m^3}{h}$
Dureza	$61.76 \pm 0.93 \frac{mg}{L}$

El actual sistema de tratamiento de los afluentes utilizados en la preparación del mosto consiste en un sistema primario y en lámparas ultravioleta (U.V.). El tratamiento primario que reciben estos afluentes consiste en un sistema de filtros que logran remover los sólidos de gran tamaño como hojas, ramas, piedras, entre otros; además de contar con sedimentadores los cuales logran extraer del afluente aquellas partículas como arena, grava, tierra, entre otros. Este tipo de tratamiento debería ser capaz de reducir del 50-60% del total de sólidos suspendidos, lo que resulta en una disminución de la disponibilidad de materia orgánica y así disminuyendo la proliferación de la carga microbiológica. Posteriormente, los afluentes son conducidos por medio de tuberías de acero hacia lámparas U.V. Se tiene conocimiento que una lámpara ultravioleta operando con un flujo cuya concentración de dureza total fuera menor a $140 \frac{mg}{L}$ podría operar sin problemas de incrustaciones con una limpieza constante cada 15 minutos. Actualmente, en la empresa se realiza la limpieza de estas lámparas cada 15 días, tomando en cuenta que el agua no está libre de dureza, lo cual se comprueba con el dato previamente mostrado en la tabla 56 (Mejía, 2016).

- Sistema de bombeo en el proceso de destilación de etanol: actualmente la planta de destilación de etanol procesa aproximadamente 2000 toneladas métricas de melaza al día durante el tiempo de zafra, el cual es de aproximadamente seis meses. Con respecto al sistema de bombeo; transporta una mezcla de alcohol, etanol, propanol y otros derivados de la fermentación en la planta de $150 \frac{m^3}{día}$. Es necesario el funcionamiento las 24 horas en todo el período de zafra ya que los retrasos repercuten directamente en los costos de alcohol no procesado. Actualmente, el costo por producto no terminado (etanol no producido) al momento de un paro en el área de bombeo por fallas mecánicas puede llegar a alcanzar los US\$. 100,000.00 (Aquino, 2016).

6. Costos de inversión

- Tratamiento de afluentes para diluir melaza: con respecto a los afluentes utilizados para la preparación del mosto, se determina que es necesaria la implementación de resinas de intercambio iónico para la reducción de la dureza y también la implementación de equipos de ósmosis inversa para la reducción de la carga microbiológica. El precio del equipo previamente mencionado que mejora la calidad del agua se presenta a continuación:

Tabla 57. Equipo de implementación para el tratamiento del agua con sus respectivos precios

Tipo de tratamiento	Equipo	Precio (US\$)
---------------------	--------	---------------

Ósmosis inversa	LenRO BW reverse osmosis system (Lenntech)	100,910.44
Intercambio iónico	Filtro suavizador automático (TPS)	29,681.89

- Sistema auxiliar de bombeo: con respecto al área de bombeo en el proceso de producción de etanol, para la adecuada implementación del sistema auxiliar de bombeo el cual tiene como objetivo principal evitar parar la producción de etanol por fallas mecánicas en las bombas críticas, se requiere de una inversión en equipo, tuberías de acero AISI 304 y en diferentes implementos (obra civil, soldadura y materiales). Se presenta a continuación más detalladamente la inversión requerida en el equipo del sistema auxiliar de bombeo en la Tabla 65.

Tabla 58. Costo del equipo del sistema auxiliar de bombeo

Equipo	Especificaciones	Precio (US\$)
Motor Baldor Reliance	3,600 rpm, 20 hp, 254 TC	13,709.31
Bomba Centrífuga Goulds	stx 1x1 1/2x8	
Variador de frecuencia	20 hp	

- Tuberías: el precio de toda la tubería necesaria para la implementación del sistema auxiliar de bombeo se presenta en la tabla 66:

Tabla 59. Costo de la tubería del sistema auxiliar de bombeo

Tuberías	Precio (US\$)
Acero AISI 304	2,086.05

- Implementos: los implementos incluyen la obra civil, soldadura y los materiales necesarios para la instalación del sistema auxiliar de bombeo en la planta. Cabe mencionar que el precio que se presenta de los implementos son realmente estimaciones realizadas por personas de la planta, con amplia experiencia en el tema (Aquino, 2016). El precio de los implementos necesarios para una instalación adecuada del sistema auxiliar de bombeo se presenta a continuación:

Tabla 60. Precio de los implementos del sistema auxiliar de bombeo

Implementos	Precio (US\$)
Obra civil, soldadura y materiales	4,000.00

- Proceso de pasteurización: con respecto al diseño de un proceso de pasteurización para tratar la melaza, es necesaria la inversión en un condensador y un intercambiador de calor, ambos de la marca Alfa Laval. El AlfaCond 600 es un condensador de superficie con placas diseñado para la condensación al vacío. El vapor se condensa en el canal soldado mientras el medio de refrigeración pasa a través del canal. Por otra parte, el HPE M30 es un intercambiador de calor de placas que consta con un conjunto de placas metálicas corrugadas, con orificios para permitir el paso de los dos fluidos entre los que se realiza la transferencia de calor. La corrugación de las placas favorece la turbulencia del fluido y contribuye a que las placas resistan la presión diferencial. El precio del equipo mencionado se presenta a continuación:

Tabla 61. Equipo de implementación para el proceso de pasteurización con sus respectivos precios

Equipo	Precio (US\$)
AlfaCond 600	17,860.00
Alfa HPE M30	21,760.00

7. Impacto esperado

- Tratamiento de agua: con respecto al estudio de los afluentes utilizados para diluir la melaza, se determinó que el tratamiento que se les da actualmente para reducir la carga microbiológica, los cuales son un tratamiento primario y equipos de lámparas ultravioleta, no funcionan de una manera adecuada. El uso de estos afluentes puede generar problemas debido a incrustaciones y corrosión, que pueden llegar a representar complicaciones técnicas al dañar tuberías y equipos; además de la necesidad de reparaciones, limpieza o reemplazo de equipos. Se sabe que este tratamiento primario que se le da a los afluentes debe ser capaz de reducir del 50-60% del total de sólidos suspendidos, disminuyendo la dureza y, por lo tanto, evitando la generación de los problemas ya mencionados. Por otra parte, la disminución de la carga microbiológica que contienen estos afluentes es fundamental, ya que los diferentes microorganismos pueden llegar a afectar el rendimiento de producción de etanol; disminuyendo la eficiencia del proceso. Entonces, se establece necesaria la utilización del proceso de ósmosis inversa y del intercambio iónico para el tratamiento adecuado de estos afluentes; a lo cual las lámparas U.V no están siendo suficientes. Para la ósmosis inversa se utiliza una membrana semipermeable que permite el paso del agua, para la cual se espera la retención del 90-99% del total de sustancias inorgánicas en la solución, el 95-99% de los constituyentes orgánicos y el 100% de la materia coloidal conformada por bacterias, virus, sílica coloidal, entre otros. Por lo tanto, se puede observar como con la implementación del proceso de ósmosis inversa se espera un mayor control microbiológico, teniendo un mayor porcentaje de retención. Se determina también que estos afluentes poseen niveles de dureza que perjudican el desempeño de las lámparas U.V. hasta cierto punto y disminuyen su capacidad de

desinfección al formarse capas de incrustación. Por lo tanto, para disminuir la dureza de los afluentes se determina la implementación de resinas de intercambio con catión de sodio, los cuales pueden llegar a alcanzar una capacidad total de intercambio de hasta 810 kg de CaCO₃ por metro cúbico. Se espera con la implementación de estas resinas la remoción de los iones de calcio y magnesio del afluente, los cuales son los principales causantes de incrustaciones. Todo esto para mejorar la capacidad de desinfección de los afluentes con las lámparas U.V., el cual es el tratamiento que se tiene actualmente (Mejía, 2016).

Realmente no está en las posibilidades calcular el impacto que se espera al momento de una posible implementación del equipo de ósmosis inversa y de intercambio iónico en los afluentes ya mencionados, debido a que realmente no se tiene ningún tipo de información del tratamiento químico que actualmente se utiliza para la melaza en la empresa estudiada. Es decir que, no se tiene ningún valor numérico que represente el impacto esperado de la propuesta de mejora, pero sí se determina cómo estaría impactando al momento de su posible implementación. Se espera un impacto o cierto beneficio en tres aspectos: ahorro en tratamientos químicos, aumento en el rendimiento de producción de etanol y reducción de costos debido a un proceso de fermentación más rápido.

- Sistema auxiliar de bombeo: con respecto al sistema auxiliar de bombeo, se determinó que es necesaria su implementación para evitar la existencia de tiempos muertos por la detención de una bomba debido a fallas mecánicas en el proceso de producción de etanol. La importancia de evitar los tiempos muertos en un ingenio, directamente en el área de bombeo del proceso de producción de etanol, es debido a que se tiene un costo de US\$ 109,813 de etanol no producido o activos no aprovechados mientras se lleva a cabo una reparación. Cabe mencionar que se utilizan valores promedio de tiempo de mantenimiento correctivo y caudal de producto terminado. El valor exacto de activos no aprovechados se obtiene del estudio realizado por el estudiante Juan Pablo Aquino de León de la licenciatura en Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle de Guatemala en donde se calcula de la siguiente manera:

$$Activos_{no\ aprovechados} = 1.625\text{ horas} * \frac{23.85\text{ m}^3}{\text{hora}} * 804.15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{2.20\text{ libras}}{1\text{ kg}} * \frac{Q.12.06}{\text{libra}}$$

$$Activos_{no\ aprovechados} = Q\ 826,892 = US\$ 109,813$$

Por otra parte, es importante mencionar que se espera que el sistema auxiliar de bombeo supla la función de tres bombas críticas al momento de presentarse una falla mecánica; de esta manera evitando que la empresa incurra el costo aproximado de etanol no producido ya que la producción no se detendría al momento de llevar a cabo una reparación. Para este caso, se utiliza el tipo de cambio del 27 de octubre de 2016 de US\$. 1 = Q7.53 (Banco de Guatemala, 2016)

- Proceso de pasteurización: el diseño de un proceso de pasteurización es directamente para el tratamiento de la melaza y el mosto de la melaza. En este caso, se determina que la solución de melaza que se fermenta contiene mohos, hongos y bacterias. Por lo tanto, esta debe involucrar cierto tratamiento para evitar la proliferación de estos organismos contaminantes que, de no ser contralados, pueden llegar a afectar en el rendimiento de la producción de etanol afectando en la eficiencia del proceso. Actualmente, la empresa utiliza tratamientos químicos para evitar la proliferación de estos organismos contaminantes y esterilizar la melaza. El diseño de un proceso de pasteurización resulta como un tratamiento alternativo más avanzado y con una mayor demanda tecnológica. Se espera que esta forma alternativa de tratar la melaza aumente la eficiencia de proceso con un mayor rendimiento de producción de etanol, además de eliminar una mayor cantidad de los microorganismos presentes en ella. Cabe mencionar también que es un tratamiento más amigable con el medio ambiente que se le podría dar al mosto, por lo tanto, también se espera una reducción en el impacto ambiental que se pueda causar en comparación con el tratamiento químico que se tiene actualmente. Realmente, no se tiene un parámetro de comparación como tal ya que no se tiene información del tratamiento químico que se le da actualmente, ni tampoco se probó la fermentación de la solución de melaza; aparte de ser un tratamiento que actualmente no se utiliza. Sin embargo, se tiene el valor de la demanda térmica que se espera del sistema el cual se obtiene del estudio realizado por Víctor Alberto López García Salas de la licenciatura en Ingeniería Química de la Universidad del Valle de Guatemala en donde se calcula de la siguiente manera:

$$Q = m * C * (T_f - T_o)$$

En donde:

m = flujo másico del mosto

C = capacidad calorífica del mosto

T_f = temperatura final

T_o = temperatura inicial

Por lo tanto:

$$Q = 171,000 \frac{kg}{h} * 3.43 \frac{kJ}{kgK} * (343.15 - 308.15)K = 6,559.41 kW$$

(López, 2016)

Para poder obtener el costo que representa esta demanda térmica en el proceso de pasteurización, con el objetivo de determinar el impacto esperado se calcula de la siguiente manera:

$$6,559.41 \text{ kW} * \frac{1 \text{ MW}}{1,000 \text{ kW}} * 1,700 \text{ horas} * \frac{\text{US\$ } 100}{1 \text{ MWh}} = \text{US\$ } 1,115,099.70$$

Cabe mencionar que se utilizan 1,700 horas ya que se estiman 10 horas de trabajo los 170 días de zafra en el ingenio. Por otra parte, también se estima un costo de US\$ 100.00 por cada MWh. Por lo tanto, se estima que el total del costo energético de operación para el proceso de pasteurización involucrado en el tratamiento del mosto es de aproximadamente US\$ 1,115,099.70. Análisis financiero para determinar viabilidad

- Análisis de la tasa mínima atractiva de retorno: teniendo ya claramente establecida la situación inicial de las respectivas áreas de enfoque en el proceso de producción de etanol, al igual que los costos e inversión y el impacto esperado de las mismas, es importante establecer cierto valor para la Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR) y el período utilizados para una proyección en la inversión de proyectos de mejora actualmente utilizados por la empresa. En el estudio realizado por el estudiante José Fernando Nájera Kel de la licenciatura en Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala, se establece que actualmente el ingenio utiliza una cantidad de 10 años para evaluar sus proyectos y solicitar fondos al Departamento Financiero de la empresa. Por otra parte, en este mismo estudio se establece que la evaluación financiera aplicada a las propuestas de mejora se realiza utilizando una TMAR de 10.1% (Nájera, 2015). Este mismo valor de la TMAR y el período establecido son utilizados para evaluar las propuestas de mejora al proceso de producción de etanol en la planta productora de la empresa estudiada. Se sabe que la TMAR se utiliza como criterio para decidir si se invierte en un proyecto o no, ya que es una tasa de retorno razonable para evaluar y elegir una opción. Es decir, que para que una inversión sea rentable, el inversionista espera recibir una cantidad de dinero mayor a la que originalmente invirtió.
- Costo promedio ponderado de capital: la TMAR está directamente relacionada con lo que cuesta obtener los fondos de capital que se requieren para un proyecto. Básicamente, la obtención de capital siempre cuesta dinero en forma de interés, también llamado costo de capital. Las empresas calculan el costo de capital de diferentes fondos con el objetivo de llevar a cabo proyectos de ingeniería y de otros tipos. En general, el capital se obtiene de dos formas: financiamiento por patrimonio y financiamiento por deuda. Al combinar el financiamiento de deuda y el financiamiento de capital se obtiene el costo promedio ponderado del capital. (CPPC). Cabe mencionar que el CPPC siempre debe ser menor a la TMAR para que el proyecto sea aceptable o se justifique su inversión por parte de la empresa (Blank & Tarquin, 2012). Es por esta razón que previo a evaluar la viabilidad de las propuestas de mejora se calcula el CPPC con el objetivo de

compararlo con el valor de la TMAR establecido. Según Aswath Damodaran, las empresas relacionadas con la industria de agricultura; en donde se encuentra la empresa estudiada, en promedio presentan un costo de capital de aproximadamente 6.47% y aproximadamente un 3.52% de costo de deuda. Por otra parte, Damodaran también establece que en promedio las empresas involucradas en la industria de agricultura obtienen capital o fondos para proyectos utilizando, aproximadamente el 56.91% en financiamiento por capital y aproximadamente 43.09% en financiamiento por deuda (ver Anexo 1). Por lo tanto, el CPPC para las empresas en general involucradas en esta industria se calcula de la siguiente manera:

$$CPPC = \% FC * (cc) + \% FF * (cd)$$

En donde:

- $\% FC$ = porcentaje de financiamiento por capital
- cc = costo de capital
- $\% FF$ = porcentaje de financiamiento por deuda
- cd = costo de deuda

Por lo tanto:

$$CPPC = 0.5691(6.47) + 0.4309(3.52)$$

$$CPPC = 5.20\%$$

Se obtiene que en general, el costo promedio ponderado del capital (CPPC) con respecto a las empresas involucradas en la industria de agricultura es de aproximadamente 5.20%. Ahora, es importante mencionar que el valor obtenido del CPPC es muy útil, ya que realmente es una tasa que se utiliza en proyectos para establecer si es recomendable invertir o no. Realmente, se debe invertir en un proyecto o propuesta de mejora únicamente si se proyecta un retorno mayor al CPPC. Por lo tanto, el 5.20% el cual es un estimado del CPPC involucrado en la industria en donde se encuentra la empresa estudiada, se puede utilizar como un límite inferior al momento de evaluar las propuestas de mejora que se presentan a continuación. Cabe mencionar que al calcular el CPPC, se determina que también se cumple el criterio de que la TMAR debe ser mayor, teniendo esta un valor de 10.1%. Por lo tanto, tanto la TMAR como el CPPC se utilizan para determinar si los resultados del análisis beneficio/costo aplicado a las propuestas de mejora son realmente viables; siempre en base a un estimado del CPPC involucrado en la industria.

7. Determinación de la viabilidad financiera para las áreas de enfoque. A continuación, se presenta el análisis beneficio/costo utilizado para determinar la viabilidad de las propuestas de mejora en las respectivas áreas de enfoque. Es importante mencionar que todas las evaluaciones se realizaron utilizando la unidad monetaria USD. El objetivo de incluir una TMAR y CPPC es básicamente para tener parámetros de comparación con respecto a la razón beneficio/costo obtenida. Por lo tanto, la viabilidad de las propuestas de mejora se determina de la siguiente manera:

- Sistema auxiliar de bombeo: para determinar si la implementación del sistema auxiliar de bombeo en el proceso de destilación es económicamente viable para la empresa estudiada se utiliza un análisis beneficio/costo. También se utiliza la TMAR y el período previamente establecido. Cabe mencionar que el beneficio esperado que se incluye en el análisis, es el impacto de la propuesta de mejora presentado previamente. Es decir que, el valor calculado del impacto esperado, que en este caso es evitar el costo de activos no aprovechados (etanol no producido); representando un costo de US\$ 109,813, al momento de una falla mecánica en el sistema de bombeo. Es importante mencionar que se espera que el sistema auxiliar de bombeo supla la función de tres bombas críticas al momento de presentarse una falla, por lo tanto, el costo de activos no aprovechados se multiplica por tres, dando un beneficio esperado total de US\$ 329,439.

El costo total de etanol no producido en tiempo de zafra se trae al valor presente para realizar el análisis beneficio/costo, en donde se incluyó la inversión inicial del equipo para la implementación del sistema auxiliar de bombeo que ya está en el año cero. Entonces:

$$VP \text{ del } BE = (10.1\%; 10 \text{ años}; US\$ 329,439)$$

$$VP \text{ del } BE = US\$ 125,864.08$$

El período de recuperación de la inversión calculado fue:

$$PRI = 0.84 \text{ años}$$

Es decir que, se requieren 0.84 años que equivale a aproximadamente 10 meses con 3 días para poder recuperar la posible inversión realizada por la empresa para la implementación de la propuesta de mejora.

- Proceso de pasteurización: el costo de operación del proceso de pasteurización obtenido con la demanda térmica del sistema, representando un costo total de US\$ 1,115,099.70, se trae al valor presente para poder realizar el análisis beneficio/costo, en donde se incluye la inversión inicial del equipo para la implementación de la pasteurización que ya está en el año cero. Entonces:

$$VP \text{ del } CO = (10.1\%; 10 \text{ años}; US\$ 1,115,099.70)$$

$$VP \text{ del } CO = US\$ 426,030.32$$

El análisis beneficio/costo calculado fue:

$$\frac{B}{C} = 10.75$$

El período de recuperación con respecto al diseño del proceso de pasteurización fue:

$$PRI = 0.90 \text{ años}$$

Es decir que, se requieren 0.90 años que equivale aproximadamente a 10 meses con 25 días para poder recuperar la posible inversión realizada por la empresa para la implementación de la propuesta de mejora

- Tratamiento de afluentes para diluir melaza al análisis beneficio esperado de la suma de los tres aspectos:

$$BE (AQ + AP + RC) = 679,080.11$$

BE = beneficio esperado de la suma de los tres aspectos

AQ = ahorro en tratamientos químicos

AP = aumento en el rendimiento de producción de etanol

RC = reducción de costos por un proceso de fermentación con mayor rapidez

El valor presente del beneficio esperado estimado fue:

$$VP BE (AQ + AP + RC) = 259,446.50$$

Por lo tanto, el beneficio esperado con respecto a la posible implementación del equipo involucrado en la propuesta de mejora debe ser de US\$ 259,446.50 para que la implementación de estos equipos sea económicamente viable, en dónde el rendimiento obtenido de la propuesta de mejora sería aceptable dentro de la industria en donde se encuentra la empresa estudiada.

El período de recuperación con respecto al beneficio esperado estimado se calcula de la siguiente manera:

$$PRI = 0.49$$

Es decir que, como mínimo, con el beneficio estimado para esta propuesta de mejora se requieren de 0.49 años que equivale aproximadamente a 5 meses con 28 días para poder recuperar la posible inversión realizada por la empresa para la implementación de la propuesta de mejora.

VIII. DISCUSIÓN

A. Módulo 1: Diseño de pasteurizador para mosto

La melaza, se aprovecha para la producción de alcohol realizando una fermentación. Esta melaza se encuentra contaminada por diferentes patógenos que compiten con la levadura utilizada en el fermentador.

Los microorganismos presentan vulnerabilidades a choques térmicos o cambios drásticos de temperatura. Se estudió el efecto de un tratamiento térmico para reducir el número de microorganismos presentes en la melaza o mosto previo a la fermentación.

Para este trabajo, se evaluó el tratamiento en la melaza y el mosto, con el fin de comparar los resultados en ambos fluidos y determinar el equipo necesario para llevarlo a cabo. Se planteó la utilización de intercambiadores de calor y el aprovechamiento de recursos con los que cuenta la planta actualmente.

Para la determinación de la eficacia de cada proceso, se simuló el tratamiento, a escala de laboratorio, aplicándolo al mosto y a la melaza. Ambos fluidos fueron sometidos a un calentamiento hasta que alcanzaran los 70°C y luego un enfriamiento hasta los 35°C, durante 30min para el mosto y 60min para la melaza, la temperatura de salida se definió según las necesidades de la levadura a utilizar en el fermentador (35°C). Los resultados del tratamiento indican que el proceso más eficaz ocurre al tratar el mosto ya que este presentó un 78.00% de reducción en el conteo total de microorganismos luego del tratamiento, contrario al 30.47% que presentó el tratamiento en la melaza. Esta reducción de microorganismos favorecería la fermentación ocasionada por las levaduras, ya que según el artículo “Los cultivos mixtos y las fermentaciones alcohólicas”, las levaduras se ven afectadas en presencia de microorganismos en competencia. Los cultivos mixtos afectan la composición y características del producto terminado (Escalante-Minakata & Ibarra-Junquera, 2007).

La diferencia en la reducción de microorganismos entre cada fluido puede deberse a las características de los fluidos tratados, principalmente a la viscosidad y a la capacidad calorífica de las mismas. La melaza, al tener una viscosidad mayor que el mosto, presentó mayor dificultad en el calentamiento y enfriamiento causando que la distribución del calor no fuera completamente uniforme en ella, ya que presentaba una mayor dificultad en la agitación, esto afectó el intervalo de tiempo en el que transcurría el cambio de temperatura. Estos factores pudieron causar que el cambio en los microorganismos fuera menor en la melaza que en el mosto (ver imágenes 9 y 10).

Al momento de aplicar el tratamiento en el mosto, se observó un calentamiento más rápido en relación al calentamiento de la melaza, al igual que el enfriamiento, el mosto fue tratado en 30 min mientras la melaza en 60 min. Las características físicas del mosto, como la viscosidad y la capacidad calorífica, permiten que la transferencia de calor sea más rápida en el mosto, ya que se requiere menos

calor para aumentar su temperatura y es posible contar con una mejor agitación. Este cambio de temperatura permitió reducir la cantidad de microorganismos totales presentes en el mosto en un 78.00% resultado que se puede observar en la figura número 11 de la sección de resultados. Tomando en cuenta las limitantes del sistema, se alcanzó una reducción aceptable de la mayoría de microorganismos presentes por lo que éste tratamiento podría ayudar a la fermentación.

Las pruebas a escala de laboratorio del tratamiento térmico fueron realizadas en tanques enchaquetados con agitación y enfriamiento, equipo que no es el idóneo para realizar el proceso, ya que no permiten el cambio de temperatura tan drástico que requiere la fermentación, a la vez, al ser parte de un mismo sistema, se deben enfriar los tanques, contrario al sistema propuesto de intercambiadores de calor. Los resultados pudieron verse afectados por este factor, sin embargo, ambos tanques fueron operados a las mismas condiciones de operación, fue tratado la misma cantidad de mosto y melaza (1L), esto con el fin de evitar que otras variables como la cantidad de materia o velocidad de agitación afectaran los resultados.

Con los resultados, se determinó que el proceso más eficaz, en cuanto reducción de microorganismos, es el tratamiento térmico aplicado al mosto. A pesar de que el flujo de mosto con el que trabajan en la empresa es casi el triple del flujo de melaza, el tratamiento del mosto presenta una diferencia significativa en la reducción de microorganismos, haciéndolo más conveniente, además, el agua utilizada en la preparación del mosto puede contener contaminantes que deben ser tratados por lo que se requeriría realizar un tratamiento por separado al agua. Si bien es cierto, tratar el mosto, implica una utilización de recursos y servicios auxiliares el tratamiento térmico presenta mejores resultados en el mosto que en la melaza. Se debe tomar en cuenta que las propiedades físicas de la melaza, especialmente la viscosidad, pueden causar incrementos en los costos de bombeo.

El tratamiento térmico, al constar de un proceso de calentamiento y uno de enfriamiento, requiere una fuente de calor y un flujo de enfriamiento. Actualmente, se trabaja con vapor a dos condiciones distintas, 150 y 20 psi. Al evaluar las entalpías de ambas condiciones y el cambio entre las condiciones salientes del proceso de calentamiento, se determinó como la mejor opción trabajar condensando el vapor de 20 psi ya que éste presenta el mayor cambio de entalpía, es decir, la mayor fuente de calor. El calor requerido por el proceso es de 6,559.41 kW. Este calor fue determinado utilizando el cambio de temperatura deseado en el mosto, la capacidad calorífica del mosto y el flujo a utilizar (ver cálculo en anexo 5). La capacidad calorífica se calculó según la ecuación descrita por Cheng en *“El Manual del azúcar de caña”*. El calor será suministrado al proceso condensando vapor a 20 psi en un flujo de 3.00 kg/s.

El enfriamiento del mosto se realizará con agua de las torres de enfriamiento que actualmente trabajan en la planta. Se debe reducir hasta 35° la temperatura del mosto, requiriendo una pérdida de calor de 6,337.60 kW. El agua de enfriamiento disponible se encuentra a 29°C según datos manejados por la empresa. Para el proceso de enfriamiento serán utilizados 137.70 kg/s de agua (ver cálculo en anexo 5).

Para llevar a cabo este proceso serán requeridos dos intercambiadores de calor. Se seleccionó como equipo, para el calentamiento, un intercambiador de la marca Alfa Laval y modelo AlfaCond600 con 105 placas de titanio, altura de 2085 mm y ancho de 888 mm. El método utilizado para la selección y el dimensionamiento de placas fue el de medias logarítmicas de temperatura. Para realizar el correcto dimensionamiento del intercambiador se asumió un coeficiente global de transferencia inicial, luego se calculó un área inicial, se calcularon las resistencias de los fluidos y se tomó en cuenta un factor de incrustación, luego se hizo iterar hasta que el coeficiente asumido fuera el coeficiente real, con este coeficiente se calculó el número de placas. Se eligió este equipo por ser el que mejor aprovecha el calor del vapor al condensarlo (ver cálculo en anexo 5 y ficha técnica en anexo 7).

De la misma manera, se dimensionó el intercambiador para el enfriamiento, eligiendo el modelo HPE M30, con altura de 2882 mm y ancho de 1150 mm de la marca Alfa Laval. Ya que este intercambiador tiene la capacidad de manejar el flujo tanto de agua como de mosto. Ambos intercambiadores utilizan placas de titanio que favorecen la conducción del calor. El área de transferencia requerida es de 335.50 m² para el enfriamiento y de 193.14 m² para el calentamiento. Además, ambos procesos presentan una caída de presión de 0.3361 bar para el calentamiento y de 1.7200 bar para el enfriamiento por lo que se requeriría una bomba con capacidad para compensar esta pérdida (ver cálculos en anexo 5 y ficha técnica en anexo 7). Los cálculos realizados no cuentan con análisis de error o propagación de error ya que se realizó el dimensionamiento en base a valores teóricos provistos por la empresa productora, manuales de diseño de equipo y manuales de productos.

Bajo los principios de la Producción más Limpia y según las estrategias impulsadas por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI), este proyecto es una estrategia de prevención de la contaminación, ya que se está proponiendo una modificación al proceso con el fin de eliminar, desde la fuente, un residuo contaminante. Este tema es sumamente relevante para los esfuerzos que se realizan en plantas azucareras y destilerías con el objetivo de reducir el impacto de sus actividades, volviéndose más competitivos y fortaleciendo su compromiso con los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS).

B. Módulo 2: Estudio técnico de propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de agua para mosto y posibles mejoras

El actual sistema de tratamiento de aguas con el que cuenta la planta de producción de etanol consiste en un tratamiento primario y lámparas ultravioleta. El tratamiento primario es aplicado al agua proveniente de pozos y río previo a que dicho flujo se almacene en un tanque denominado “tanque 3001”. El tratamiento primario consiste en filtros que logran remover los sólidos particulados grandes como hojas, ramas, piedras, etc.; además de contar con sedimentadores los cuales logran extraer del afluente aquellas partículas que son sedimentables, arena, grava y tierra (Spellman, 2009). Este tipo de tratamiento debería ser capaz de reducir del 50-60% del total de sólidos suspendidos, lo que resulta en una disminución de la disponibilidad de materia orgánica y así disminuyendo la proliferación microbiana (Aiezza, 2015). Posterior al almacenaje, el flujo es conducido por medio de tuberías de acero hacia una lámpara U. V. El otro flujo de agua utilizado es el conformado por los fondos de las columnas de destilación. Este flujo pasa a través de un intercambiador de calor de placas en el cual se reduce su temperatura y después es enviado a una lámpara U. V. Ambos flujos se unen en una intersección de tuberías junto con los flujos de melaza proveniente del proceso de producción de azúcar y vinaza diluida proveniente de un tanque de almacenamiento para formar el mosto, el cual consiste en el medio en el cual se llevará a cabo la fermentación de azúcares con levadura.

Para realizar el conteo microbiano, se recolectaron las muestras para el flujo de agua del tanque de almacenamiento y para el flujo de los fondos de columnas de destilación después de las lámparas U. V. correspondiente a cada línea, con el fin de determinar la presencia microbiana después de un tratamiento que es efectivo teóricamente en la inactivación de microorganismos presentes. Se realizó una filtración por membrana y se utilizó un caldo de cultivo tipo “endo” para coliformes totales, para que los microorganismos que crecieran en ella representaran la contaminación presente y se pudiera comparar con parámetros establecidos de agua potable al no contar la empresa con los propios. El conteo de las membranas se realizó con un estereoscopio, resultando en una presencia de microorganismos en la membrana tan alta que no se pudo determinar un número exacto de unidades formadoras de colonias en los 100 mL de muestras filtradas. Esta alta carga microbiana resulta ser preocupante para el proceso en general porque demuestra que el agua utilizada está arrastrando muchos otros microorganismos al mosto en el cual se encuentra la levadura. La levadura no es capaz de metabolizar el 100% de los azúcares presentes en el mosto y producir etanol, ya que la primera etapa del metabolismo de la levadura es la reproducción, proceso que consume entre 7-10% de los azúcares; además, estos hongos necesitan de otros nutrientes como los compuestos nitrogenados para poder desarrollarse correctamente. Si a estos factores, se le suman la alta presencia de otros microorganismos, que también consumen nutrientes, entonces el rendimiento de etanol es aún menor (Ingledeew, 2009).

Como no se realizó una clasificación de microorganismos, no se sabe con certeza cuáles se encuentran presentes, además de los coliformes que crecieron en el medio destinado para ello. Sin embargo, en el proceso de fermentación se ha demostrado que los principales inhibidores en el metabolismo de la levadura son el ácido láctico y el ácido acético, siendo el ácido láctico el más influyente. Debido a que en los resultados se observó que la carga microbiológica es alta en ambos flujos de agua utilizados (Tablas 3 y 4), entonces es posible que el número de estos microorganismos que le aporten al mosto cause que sobrepasen al número de levaduras presentes en él. Esto ocasionaría, según Ingledew, una competición fuerte por los nutrientes en el fermentador y por lo tanto una reducción en el rendimiento de producción de entre 1% al 4% para el etanol combustible. Las bacterias lácticas representan una competencia y una inhibición fuerte para las levaduras ya que se encuentran usualmente en sistemas naturales juntas y son productoras de ácido láctico. Es muy posible, dados los resultados del conteo, que existan bacterias lácticas en el flujo de agua proveniente del tanque de almacenamiento 3001 ya que es un flujo de agua natural, incluso después de recibir el tratamiento con luz ultravioleta que no logra la inactivación de los microorganismos. Las bacterias lácticas crecen en condiciones de un pH no mayor de 6.0 y con temperaturas de flujo de hasta 60°C y si bien el pH es de 7.8 ± 0.08 en promedio para este flujo, es posible que las bacterias se encuentren presentes, pero no realizando sus funciones metabólicas hasta no entrar en contacto con el flujo de los fondos de columnas de destilación. El género *Lactobacillus* es de principal interés porque su presencia en altas concentraciones reduce el crecimiento de levaduras e incluso causa una reducción de hasta 17% en el rendimiento de producción. Las bacterias productoras de ácido acético también son de importancia ya que consumen azúcares y nutrientes. El género *Acetobacter* sintetizan ácido acético para después degradarlo a dióxido de carbono y agua, pero el género *Gluconobacter* es el que produce solamente ácido acético causando una inhibición en la levadura. Además de las condiciones naturales del flujo, el crecimiento microbiano se puede dar en el almacenaje ya que es un gran volumen de agua en un tanque sin haber recibido un tratamiento para la eliminación o inhibición de microorganismos previo. Otro factor que puede afectar a la alta carga microbiológica es el hecho que las tuberías estén fabricadas de acero, provocando la proliferación de microorganismos debido a la rugosidad en la superficie de la tubería y en las uniones y accesorios a lo largo de la misma.

El flujo de los fondos de las columnas de destilación también presentó una alta carga microbiológica. Esta alta concentración de microorganismos se debe a varias razones, entre las cuales se menciona que es un flujo correspondiente a las colas de una columna de destilación, que contiene compuestos que no se pudieron destilar. Además, este flujo acarrea contaminación propia de la columna de destilación, después es transportado por tuberías de acero las cuales se mencionó que son fuente de proliferación microbiológica, luego pasa a través de un intercambiador de calor de placas en el que se le disminuye su temperatura para poder ingresar a la lámpara U. V. y por último unirse en el *mixer* con el agua proveniente del tanque de almacenamiento y los demás flujos. El intercambiador de placas es una fuente principal de crecimiento

microbiológico debido a su geometría con espacios en donde pueden crecer microorganismos y además de que el agua antes de la entrada del equipo no recibe ningún tipo de tratamiento microbiológico. Otro aspecto es que esta agua presentó un olor fuerte y un color amarillo, indicadores claros de que existe materia en el flujo que no la hace de buena calidad.

La determinación numérica de las unidades formadoras de colonias por 100 mL de muestra no se pudo establecer, debido a que fueron muy numerosas para ser contadas. Por lo tanto, se estableció una escala numérica de 1 a 5 para cada flujo de agua dependiendo de la percepción visual de la cantidad de microorganismos presentes en la membrana de cultivo representando el número 1 la menor presencia y el número 5 la mayor presencia. Ambos flujos se compararon con la misma escala correspondiente a cada uno, para poder determinar cualitativamente cuál es que contiene mayor carga microbiológica. Se observó detenidamente cada membrana, tomando en consideración que están las unidades formadoras de colonias que se observan como puntos grandes y están las pequeñas que por su tamaño, en conjunto se observan como una sombra de un color oscuro. En todas las comparaciones realizadas, el agua que se observa con mayor presencia de unidades formadoras de colonias es la proveniente de los fondos de columnas de destilación. La alta contaminación se puede deber a las características fisicoquímicas de dicha agua y que estén impidiendo la labor de desinfección que desempeña la lámpara U. V.

El efecto se ve disminuido por factores como las incrustaciones por depósitos minerales, hierro, color, entre otros. El agua proveniente del tanque de almacenamiento presentó una dureza total de 61.88 mg/L ± 0.93 en promedio y el agua de los fondos de columnas de destilación 18.55 mg/L ± 1.69 en promedio, estando por lo tanto dentro del rango permitido por la norma COGUANOR NGO 29 001:99 (Anexo 16) para agua potable con un valor máximo de 100.00 mg/L. Estudios realizados por Clarke, demostraron que una lámpara U. V. funcionando con un flujo cuya concentración de dureza total fuera menor a 140 mg/L podía operar sin problemas de incrustaciones cuando se le hacía limpieza cada 15 minutos. Actualmente, en la empresa se realiza la limpieza de las lámparas U. V. cada 15 días, entonces debido a que el agua no está libre de dureza se recomienda que la limpieza sea más frecuente. Los compuestos que tienden a incrustarse, son aquellos que contienen calcio y sulfato. El pH es muy importante para saber las condiciones de los flujos. El agua del tanque de almacenamiento resultó con un pH promedio de 7.80 ± 0.08 siendo un flujo neutro, en cambio el agua de los fondos de columnas de destilación presentó un pH promedio de 3.44 ± 0.08 siendo un flujo ácido que puede ayudar a la corrosión de tuberías.

La concentración de sulfatos para el agua del tanque de almacenamiento fue de 11.00 mg/L ± 1.25 y para el agua de los fondos de columnas de destilación de 5.47 mg/L ± 0.36 , cuando la concentración permisible según la norma COGUANOR 29 001:99 (Anexo 16) es de 100.00 mg/L. La concentración del total de sólidos disueltos (TDS) para el agua del tanque de almacenamiento es de 83.60 mg/L ± 1.92 y para los fondos de columnas de destilación es de 127.22 mg/L ± 10.90 , siendo el límite de la norma para agua potable de 500.00 mg/L por lo que se encuentra dentro del rango y algunos fabricantes de lámparas U. V.

recomienda concentraciones menores a 800 mg/L. Sin embargo, existen sólidos disueltos en los flujos y en mayor cantidad en el flujo de los fondos de las columnas de destilación por lo que esto está afectando al rendimiento de las lámparas.

La concentración de hierro determinada por el tanque de almacenamiento de agua fue de 0.024 mg/L \pm 0.001 en promedio y para el agua de los fondos de columnas de destilación fue de 0.510 mg/L \pm 0.001. Los niveles permitidos para agua potable en la norma COGUANOR 29 001:99 (Anexo H) es de 0.100 mg/L lo cual indica que ambos flujos cumplen con la misma. Sin embargo, el agua de los fondos de columnas de destilación tiene una concentración superior a la concentración adecuada de 0.1 mg/L según estudios realizados por Clarke y por la Agriculture and Agri-food de Canadá, para una operación sin problemas de una lámpara U. V. entonces esto puede ser uno de los factores que afectan en la efectividad de desinfección de la lámpara ultravioleta que se encuentra en la planta para la línea de los fondos de columnas de destilación. Las concentraciones de cloro libre indican que el agua del tanque de almacenamiento sí cumple con la norma COGUANOR 29 001:99 (Anexo H) mientras que la de los fondos de columnas de destilación no cumple, con concentraciones de 0.20 mg/L \pm 0.01 y 0.98 mg/L \pm 0.01 respectivamente. Los resultados demuestran que la lámpara U. V. no trabaja a condiciones totalmente aptas y por lo tanto su efecto desinfectante se redujo. Es necesario la implementación de otros sistemas de control microbiológico, como pueden ser los sistemas de ósmosis inversa y un sistema de suavizado de agua por medio de intercambio iónico.

El agua suave es una necesidad en el flujo del agua del tanque de almacenamiento para poder mejorar las condiciones de operación de los equipos de tratamiento de agua que se encuentren instalados como las lámparas de luz ultravioleta en conjunto con limpieza de las lámparas U. V. más frecuente. El agua, actualmente, tiene niveles de dureza que si bien, no son excesivos según los parámetros, sí perjudican el desempeño de las lámparas U. V. hasta cierto punto y disminuyen su capacidad de desinfección al formarse capas de incrustaciones. En el mercado, el 80% de las resinas de intercambio iónico se emplean para el tratamiento del agua, por lo que existe disponibilidad en el mercado.

Para el flujo de agua de fondos de columnas de destilación el control microbiológico es de vital importancia ya que es el que presentó mayor carga microbiológica. Por lo tanto, se recomienda la implementación de un sistema de ósmosis inversa. Entre los factores que hacen ideal este sistema de tratamiento, es que, de los dos flujos analizados, el de los fondos de columnas de destilación presentó la mayor cantidad de sólidos totales disueltos los cuales son impedimento en la acción desinfectante de la lámpara U. V. Las membranas de ósmosis inversa deberán ser instaladas después del intercambiador de calor porque los rangos de temperaturas de operación son de 30-35°C según el tipo de membrana. La ósmosis inversa tiene la capacidad en condiciones ideales de remoción del 90-99% de las sustancias inorgánicas, 95-99% de los constituyentes orgánicos y hasta del 100% de material coloidal y microorganismos (Degrémont, 1979), por eso es que se recomienda para este flujo que es el que se observa

más contaminado. Así mismo, se debe instalar una resina de intercambio iónico previa a la ósmosis inversa para la reducción de los iones formadores de dureza, así como filtros multimedia para reducir el ensuciamiento de las membranas y lograr extender la vida útil de la membrana ya que las capas de incrustaciones afectan a su operación.

La implementación de estas opciones de mejora al proceso puede traer beneficios para la empresa al mejorar las condiciones de operación del proceso. De los dos flujos estudiados, el agua de los fondos de columnas de destilación es la más contaminada y con la mayor cantidad de sólidos totales disueltos, por lo que su utilización es cuestionable ya que, según lo mencionado anteriormente, el efecto que tienen ciertas bacterias en el rendimiento de etanol es un factor muy determinante. Sin embargo, para efectos del análisis no se recomienda su utilización.

C. Módulo 2: Producción de biogás a partir de fermentación de vinaza.

1. Caracterización de vinaza previa y posterior al proceso de producción de biogás.

Parte del enfoque específico de este trabajo es la caracterización inicial de sustrato disponible para la producción de biogás. El sustrato caracterizado, en este caso fue la vinaza, esto con la finalidad de conocer sus propiedades, tales como sólidos totales, minerales, Demanda Química de Oxígeno (cantidad de oxígeno necesario para lograr la degradación de materia orgánica degradable y biodegradable), Demanda Bioquímica de Oxígeno (cantidad de oxígeno requerida para la oxidación de materia orgánica biodegradable). Otros análisis realizados fueron densidad, pH y grados brix.

La parte más importante de la caracterización de la vinaza fue la determinación de la concentración de Demanda Química de Oxígeno (DQO) para las muestras de salida del proceso de fermentación (entrada digestor) y salida del proceso de biodigestión. A partir de los datos obtenidos de DQO se realizó una estimación de potencial de generación de metano a generar en un reactor anaeróbico. Adicionalmente se realizaron pruebas de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), con la finalidad de determinar la cantidad de oxígeno requerida por la vinaza para la oxidación de materia orgánica biodegradable. Ambas pruebas, DQO y DBO, fueron realizadas en la entrada y salida de los reactores.

Cabe mencionar que la prueba de DQO puede ser realizada en un tiempo de 2 horas utilizando un digestor y compuestos oxidantes. La prueba de DBO es realizada en un tiempo de 5 días. Se recomienda el uso de la prueba DQO, para la determinación de la producción de biogás, ya que esta se puede realizar en un menor tiempo, por lo tanto, representa mayor practicidad en el campo al momento de analizar la vinaza saliente de la destilería de alcohol. Al salir la vinaza del proceso de destilación, debe de realizarse la prueba de DQO, ya que esto permitió obtener un estimado de la cantidad de biogás a producir y el nivel de contaminación presente.

La prueba de DQO contempla un método donde se reemplazan los microorganismos presentes en la vinaza, conjuntamente con su uso del oxígeno, utilizando un oxidante fuerte, en este caso dicromato de potasio y ácido sulfúrico a una alta temperatura. La cantidad de dicromato reaccionada durante 120 minutos, es medida por un método colorimétrico posterior a dicho tiempo. Esto es contrastante a la prueba de 5 días del DBO, lo cual lo hace un procedimiento mucho más práctico de controlar.

Las pruebas de mayor importancia en la caracterización de la vinaza para los fines del presente trabajo fueron DQO, DBO, pH, sólidos totales, materia orgánica y materia seca. Adicionalmente fueron realizados análisis de algunos minerales, con la finalidad de dar pautas para la utilización de vinaza como componente en la formulación de fertilizantes.

El valor promedio obtenido de la prueba de DQO en la vinaza de entrada a los digestores fue de $134930.00 \text{ mg/L} \pm 38789.72 \text{ mg/L}$, siendo este considerado como un efluente extremadamente contaminante para ser vertido en algún cuerpo de agua. Como causas al valor de DQO obtenido se tiene el alto nivel de carga orgánica contenido en la vinaza, el cual tiene como procedencia la melaza, levadura, entre otros compuestos adquiridos durante el proceso de fabricación de azúcar y exposición de la vinaza al medio ambiente. Las pruebas de DQO fueron realizadas a cinco diferentes muestras, tomando en cuenta que estas fueran provenientes de diferentes lotes de vinaza. El valor de DQO coincide con la teoría, ya que este debe de ser mayor al valor de DBO, debido a que el DQO no solo engloba la demanda química de oxígeno en materia químicamente degradable sino biodegradable. Adicional a las cinco muestras aleatorias tomadas en días distintos de producción en la destilería de alcohol, fue medido el valor de DQO a la salida de los digestores, lo cual se detalla posteriormente.

En cuanto al DBO se obtuvo un valor promedio de $70080.00 \text{ mg/L} \pm 10966.06 \text{ mg/L}$ a la salida de la destilería, es decir vinaza de ingreso a reactores, lo cual es representativo de la cantidad de oxígeno requerido para la degradación de materia orgánica biodegradable, este rubro contempla las bacterias aerobias o anaerobias, hongos y plancton.

El valor de DBO obtenido se encuentra englobado en el valor de DQO, ya que la prueba de DQO abarca el oxígeno requerido para degradar materia orgánica degradable y biodegradable, por lo que se asume concordancia con ambos valores. Tanto la prueba de DBO como de DQO coinciden en el alto grado de contaminación que representan dichos efluentes, por lo que deben de ser tratados o utilizados como materia prima para otro proceso, evitando verter los mismos hacia cuerpos de agua.

Con los resultados obtenidos de DQO y DBO se puede inferir que el caso de la vinaza se obtuvo una relación de 1.93 veces mayor el DQO al DBO. Dicha relación es un indicativo de la materia orgánica degradable presente es 0.93 veces la materia orgánica biodegradable, asumiendo que la prueba de DQO es indicativo de ambos tipos de materia.

El pH en las muestras analizadas, osciló en un rango de 4-6, siendo este un pH ácido, como consecuencia del pH de la melaza, ácidos orgánicos, aldehídos, alcoholes presentes, entre otros compuestos resultantes al proceso de fermentación. Algunas vinazas pueden incluso alcanzar un pH neutro, lo cual favorecería el proceso de biodigestión en su uso posterior.

La densidad de las muestras analizadas promedia $1130 \pm 50 \text{ kg/m}^3$, lo cual pese a la presencia de remanentes de alcohol, presenta una densidad superior a la del mismo, esto como consecuencia de la elevada cantidad de sólidos presentes en la muestra. La cantidad de materia seca presente en las muestras de vinaza previas al $12.17\% \pm 1.85\%$ en relación al peso total del efluente, lo cual es una de las causas del valor obtenido en la medición de densidad.

La caracterización de vinaza posterior al proceso de producción de biogás, conllevó el análisis de pruebas de DQO, DBO, minerales, materia orgánica y sólidos totales. Los valores de DQO y DBO presentaron una disminución considerable como era de esperarse en el proceso de degradación. El valor DQO obtenido presentó una reducción de $95.04 \pm 1.35\%$, teniendo este contenido el valor de DBO removido promedio de 88.89 ± 2.11 . El porcentaje de materia orgánica disminuyó como consecuencia de la biodegradación de la misma, siendo esta pauta para la generación de metano.

Los valores de los minerales analizados no presentaron una variación significativa, esto como consecuencia de la actividad microbiana dada en los reactores, donde se vio afectada únicamente la materia orgánica. El mantener los minerales presentes en la vinaza permite la utilización de la misma como formulador de fertilizantes, ya que el proceso de biodigestión no interfiere con los mismos y disminuye la carga orgánica degradable en los suelos, evitando la sobresaturación de suelos. Los valores de minerales se pudieron ver afectados únicamente por la retención de desprendimiento de los mismos por parte de la fuente de bacterias metanogénicas, en este caso excremento bovino.

2. Producción de biogás y condiciones de operación (temperatura y concentración). Las pruebas de producción de biogás fueron realizadas en el período del 2 al 31 de mayo de 2016 dentro de cada uno de los 12 biodigestores (descritos en la metodología). El material de entrada utilizado en cada biodigestor fue el sustrato constituido por la vinaza saliente de una planta de destilación de etanol, ubicada en la costa sur de Guatemala. Dicha vinaza fue variada en su concentración y temperatura como se indica en la metodología.

La producción de biogás se determinó utilizando cuatro diferentes condiciones en los reactores piloto. Las condiciones utilizadas se contemplan en la Tabla No.3 de la metodología. Dichas condiciones son las siguientes: temperatura ambiente-vinaza sin diluir, temperatura ambiente-vinaza diluida, temperatura 34°C -vinaza sin diluir y temperatura 34°C -vinaza diluida. Las condiciones fueron determinadas por factibilidad de recursos, se utilizó 34°C , ya que el incremento de temperatura es un factor de gran importancia en la actividad metanogénica. La actividad de las bacterias metanogénicas, es dependiente de la temperatura del medio, a mayor temperatura, mayor será la actividad de las mismas, de tal modo que se incremente la producción de metano.

Analizados los resultados se observó en las gráficas de producción de biogás en función del tiempo, un incremento sustancial en los primeros 30 días (tiempo de análisis), donde las últimas mediciones tendieron a la estabilización de la gráfica, lo cual se puede traducir en la degradación de la mayoría de materia biodegradable. La tendencia a la estabilización de las gráficas en los últimos cinco días de medición, son representativos de la baja actividad de las bacterias metanogénicas, lo que por ende da la pauta a la disminución de materia orgánica biodegradable y es indicativo que se debe evacuar el digestor y cargar con nueva vinaza con alta carga orgánica proveniente de la destilería de alcohol.

El proceso de producción de biogás se llevó a cabo utilizando las cuatro variaciones de condiciones anteriormente mencionadas, cada una en triplicado, obteniéndose resultados de biogás producido con similitud en cuanto al volumen obtenido del mismo. Las bacterias metanogénicas utilizadas fueron las de reses, siendo estas adaptadas al medio de forma inicial, donde también se produjo biogás, el cual no fue cuantificado, ya que en esa fase de la experimentación únicamente se buscó la adaptación de las bacterias metanogénicas en la vinaza.

Luego de analizadas las gráficas, se puede apreciar entre los aspectos en común la estabilización de la producción de biogás, lo cual permite definir un tiempo de residencia cercano a los 30 días, debido a que ya se ha obtenido la mayor actividad metanogénica en la vinaza, y por ende la mayor producción de biogás. Otro aspecto en común es el tiempo en el que se da la mayor actividad metanogénica, y por ende la mayor producción de biogás, entre los días 15 y 25, siendo este el lapso de tiempo de mayor importancia. Entre los días 15 y 25 de la producción de biogás, las bacterias metanogénicas contenidas en el estiércol bovino se han adaptado por completo a la vinaza como medio.

La realización en triplicado de cada una de las condiciones, es decir, contar con 3 muestras idénticas de cada una de las muestras, permitió apreciar similitud en la producción de biogás, y también la carencia de inhibidores en la producción de metano, por lo que se infiere que la posible presencia de nitrógeno amoniacal, ácidos grasos de cadena larga, y ácidos volátiles se encontraba en rangos soportados por las bacterias provenientes de heces bovinas.

Las condiciones evaluadas en biodigestores, presentan la condición “No.2” de temperatura a 34 °C y vinaza sin diluir como las más efectivas entre las evaluadas, ya que presenta la mayor producción de biogás, alcanzando valores superiores a 3,500 mL por cada 250 mL de vinaza. La condición “No.1” y la condición “No.2” presentan de similitud, la condición de concentración a la que se encontraron expuestos, siendo $24.73\text{ °C} \pm 0.35\text{ °C}$ la temperatura ambiente en la primera y 34°C en la segunda. En la condición “No.2” se obtuvo mejores resultados en la producción de biogás, ya que el biorreactor de mayor temperatura generó aproximadamente 1.5 veces más que el biorreactor a temperatura ambiente. La principal causa de la variación de volumen generado es el favorecimiento de la actividad metanogénica de las bacterias presentes en el biorreactor al incrementar la temperatura, así mismo se mantienen los días de mayor actividad metanogénica, entre el día 15 y 25.

La comparación entre las gráficas de condiciones de temperatura ambiente- vinaza diluida (No.3) y temperatura 34 °C vinaza diluida, se observó que a temperatura ambiente el inicio de la actividad metanogénica llevó aproximadamente cinco días, esto tiene como posible causa el cambio brusco de concentración (1:1 agua-vinaza) en el sustrato en el cual se encuentran expuestas las bacterias encargadas de la producción de metano. En ambas gráficas los valores obtenidos presentan

tendencia a la estabilización en los últimos tres días de monitoreo, lo cual es un factor común entre los biorreactores.

Cabe mencionar que la materia orgánica biodegradada, la cual es convertida en metano, contenida en las distintas muestras de vinaza presentaron el mismo grado de conversión. Esto se puede inferir al analizar las gráficas de vinaza concentrada y diluida (1:1), ya que el porcentaje de biogás generado en la vinaza no diluida es aproximadamente el doble del generado en la vinaza diluida.

A partir de las pruebas realizadas en generación de biogás, se determinó que a nivel industrial, y tomando en cuenta los más de 6000 m³ de vinaza producida diariamente en la destilería operando a máxima capacidad, proporciona un mejor uso de recursos el no diluir la vinaza, ya que el diluirla no proporciona alguna variación significativa en cuanto a la producción de metano, siendo la dilución únicamente un factor adverso que no solo implique la dilución con grandes cantidades de agua, sino también el incremento sustancial del volumen del reactor a utilizar. Se recomienda la utilización de la vinaza sin ningún tratamiento o dilución para la generación de vinaza, utilizando heces bovinas como fuente de bacterias metanogénicas.

Luego del proceso de digestión, fue analizado el gas contenido en uno de los recipientes de almacenaje por cada condición del biogás (que fueron realizados en triplicado) aleatoriamente, tomando en cuenta factores como la temperatura y concentración de la vinaza. De este análisis se obtuvo porcentajes de metano considerablemente altos, ya que estos oscilaban entre 71.29 % y 77.44 %, siendo la condición “No.4” la de mayor generación y el “No.3” el segundo con 76.46 %. Cabe mencionar que los altos porcentajes de metano contenidos en el biogás producido tienen como posible consecuencia variaciones de presión en los recipientes que contenían al mismo, lo cual pudo concentrar en diferente proporción el metano contenido. El contenido de metano según la teoría en el biogás oscila entre 60-70 %, por lo que los valores obtenidos son relativamente altos.

Una de las recomendaciones es la realización de un mayor número de análisis en la cromatografía de gases para cada condición evaluada, así como también la nivelación de presión del mismo, ya que los recipientes fueron perforados en la parte superior. Al ser perforados los recipientes en la parte superior se tiende a la presencia de metano en dicha fracción del recipiente, ya que la densidad del CO₂ (segundo componente mayoritario en biogás) es considerablemente superior a la del metano, por lo que pudo existir una separación por densidades y así obtener un gas de mayor concentración de CH₄.

Uno de los factores utilizados para el cálculo de producción de metano a partir de los datos obtenidos fue la determinación del DQO removido para cada una de las cuatro condiciones. Se tomó la determinación de obtener una relación entre DQO removido y producción de metano, debido a que el

DQO es una prueba relativamente rápida de realizar (2 horas) en comparación a la prueba de DBO (5 días), por lo que facilitaría tener un escenario prevista a partir del efluente de la destilería de etanol.

El efluente del proceso de biodigestión fue mezclado con sus respectivas condiciones debido a la similitud en cuanto la producción de biogás, lo cual permitió la realización de pruebas de DQO al efluente de cada condición. Contrastando con el valor de DQO inicial de cada condición, se obtuvo una mayor remoción de DQO en los efluentes de biorreactores utilizando vinaza no diluida, alcanzando 39500 mg/L y 40750 mg/L para temperatura ambiente y 34°C centígrados respectivamente. La remoción de DQO en las condiciones con vinaza diluida fueron 16250 mg/L y 15250 mg/L para temperatura ambiente y 34 °C respectivamente. Cabe mencionar que los valores de remoción presentados en la vinaza diluida 1:1 son menores a la vinaza sin diluir, ya que se disminuyó la concentración de materia orgánica degradable y biodegradable en el sustrato.

A partir de los valores obtenidos en la remoción de DQO y el metano producido, se calculó la relación de mL de metano producido por cada mg de DQO removido. Los valores obtenidos fueron 0.0424, 0.0650, 0.0339 y 0.0457 mg/L para las condiciones “No.1”, “No.2”, “No.3” y “No.4” respectivamente. Al observar los resultados se determinó que el uso de vinaza sin diluir en el digestor presentó mayor producción de metano por miligramo de oxígeno disuelto, obtenido en el DQO (mg/L de oxígeno disuelto), siendo más eficiente no solo en producción de biogás, sino también en remoción de materia orgánica degradable y biodegradable. La condición “No.2” con vinaza sin diluir y temperatura de 34°C presentó la mayor producción de metano en relación a la remoción de DBO, por lo que es la mejor condición de operación en cuanto a obtención de biogás entre las variables utilizadas en el presente estudio, y por ende la mejor condición en cuanto a reducción de emisiones al ambiente, posteriormente.

En cuanto a la remoción de DQO, se obtuvo un promedio general de $88.89\% \pm 1.26\%$, en uso de vinazas sin diluir, así como también un % de remoción de DBO de $95.04 \pm 2.36\%$. Estos resultados son una muestra de la eficiencia de la producción de biogás en la remoción de materia orgánica degradable y biodegradable por medio de una alternativa de generación de energía, donde se considera el efluente de los biorreactores un residuo utilizable en la formulación de fertilizantes y como materia prima en el fertirriego de campos de cultivo de caña en la costa sur del país.

A partir de los factores calculados de “mL Metano /mg DQO removido”, tomando como referencia un valor usual promedio de DQO de 130000 mg/L en la vinaza proveniente de la destilería y un metro cúbico de la misma, se obtuvo la producción esperada de metano para cada una de las condiciones, siendo las siguientes: “No.1”, 5.51 m^3 ; “No.2”, 8.46 m^3 ; “No.3”, 4.41 m^3 ; “No.4”, 5.94 m^3 . Se debe de tomar en cuenta que en el caso del “No.3” y “No.4”, pertenecientes a las condiciones con vinaza diluida se obtuvo valores que al duplicarse, superan los valores de las condiciones sin diluir, a pesar de ello la remoción de DQO es menor, y el volumen a utilizar industrialmente, con una

cantidad de vinaza diaria superior a 6000m³ implicaría el doble de volumen de almacenamiento y una cantidad de agua del mismo volumen para equiparar la condición evaluada, dilución 1:1. Por lo que la practicidad a nivel industrial de las condiciones “No.1” y “No.2” presenta mayor factibilidad de uso e implementación, especialmente por el uso de recursos (agua) y volúmenes a manejar.

Al utilizar la condición de mayor producción de metano (condición “No.2”), utilizando vinaza sin diluir y una temperatura constante en el digestor de 34 °C, se obtendría una producción de metano de 50760 m³ de metano, tomando como bases 6000m³ de vinaza y un valor de DQO de 130,000 mg/L.

Los valores estimados para la producción de metano se encuentran adaptados a la presión atmosférica de la ciudad capital. Debido a la variación de presión en la costa sur del país (tomando en cuenta que las plantas productoras de etanol se encuentran en esta región) puede existir una variación de volumen, en este caso disminuir el mismo ya que se encontraría expuesto a una mayor presión atmosférica, al encontrarse a una menor altitud.

3. **Efluente del proceso de biodigestión.** Los compuestos líquidos de salida de los biodigestores fueron biogás y el efluente. Dicho efluente fue caracterizado (Inciso C. Caracterización de vinaza posterior al proceso de producción de biogás), y se tiene como propuesta su utilización como materia prima en la formulación de un fertilizante apropiado para diferentes tipos de suelo, incluyendo plantaciones de caña, esto aprovechando sus altos contenidos minerales, tales como el potasio, magnesio, azufre, entre otros descritos anteriormente. Otro de los usos propuestos para dicho efluente es el fertirriego, para el cual en la destilería ya se cuenta con tuberías para transportar la vinaza.

El fertirriego utilizando el efluente de los biodigestores es una medida sustitutiva a la actual, ya que esta contempla el uso de la vinaza con alta carga orgánica, sin ningún proceso de degradación (salida destilería) para el riego de plantaciones de caña. El uso de dicho efluente regularía la carga orgánica presente en los suelos, de tal manera que no se sobresature el suelo, ya que los minerales contenidos en este se mantendrían similares previo a su ingreso a los digestores. Adicionalmente al ser un compuesto con una remoción de carga orgánica superior a 90% en comparación a su estado original, evitaría la emanación de miles de toneladas de metano a la atmósfera.

4. Purificación de metano contenido en biogás y beneficios de implementación. El enriquecimiento del biogás a la calidad de gas natural se puede dar por medio de lavado a contra corriente, esto utilizando agua a presión, esta es la tecnología de mayor flexibilidad en el tratamiento de biogás en la actualidad, esto independientemente de su calidad y cantidad. El lavado del biogás se utiliza para mejorar la calidad de gas producido, de tal forma que se logre separar el dióxido de carbono presente y el sulfuro de hidrógeno en un solo paso. La importancia de la separación de ambos gases del metano es el incremento de la eficiencia en la quema del biogás, incrementando el porcentaje de metano especialmente en la reducción de dióxido de carbono, CO_2 , presente. En cuanto al sulfuro de hidrógeno, H_2S , cabe mencionar que la importancia de su remoción recae en la alta capacidad de corroer las superficies en las que entre en contacto en este caso los quemadores de las calderas acuotubulares.

Es preciso mencionar que adicional a los objetivos propuestos fueron realizadas algunas pruebas de purificación de biogás haciendo burbujear el mismo en agua. Las pruebas no resultaron satisfactorias, ya que al analizar el biogás burbujeador por cromatografía de gases se obtuvo porcentajes de metano inferiores en el mismo, así como también agua contenida en el gas, consecuente del burbujeo en la misma. Todo el biogás producido fue burbujeador, ya que se los recipientes que lo contenían desplazaban el agua para ocupar volumen.

Los principales beneficios de la implementación de un sistema de purificación es la combustión de metano producido en las instalaciones alejadas de la producción, producción de biogás para el consumo directo en la industria y residencias ubicadas dentro del complejo de producción de azúcar y etanol. Adicionalmente se estaría utilizando una energía verde, al utilizar el metano como producto de la biodegradación de vinaza. La purificación del biogás daría la pauta no solo para sustituir el bunker en calderas, sino su posible utilización en transporte pesado como sustituto del diésel, análogo al funcionamiento de vehículos funcionales usando GLP como combustible.

Se recomienda la realización de un análisis costo-beneficio de la implementación de un sistema de purificación en la planta, ya que debido a los volúmenes manejados puede que la implementación del mismo no sea del todo efectiva y rentable. Adicionalmente se recomienda la realización de pruebas de quema de biogás sin purificar y purificado con la finalidad de obtener una diferencia real en cuanto al rendimiento del mismo, de tal forma que se evalué si es necesario el proceso de purificación. De no ser necesario el proceso de purificación se contaría con un proceso más atractivo al inversionista, ya que por ende requeriría una menor inversión.

La purificación de metano, daría la pauta para que este gas no fuese utilizado únicamente en calderas, sino también su comercialización para el funcionamiento de otros equipos a nivel industrial y domiciliario debido al costo adicional que este implica.

D. Módulo 4: Evaluación de la producción de compost a partir de lodos de vinaza

Para este trabajo, se evaluó la producción de compost a partir de lodos de vinaza, con el fin de determinar las características de dicho compost y poder proponer un proceso factible de compostaje para la planta de destilación.

Al utilizar la vinaza en el proceso de generación de metano hubo reducción en la carga orgánica presente en este residuo. Sin embargo, los lodos de vinaza mantuvieron propiedades nutritivas para la tierra, siendo un residuo que se puede utilizar para compostaje. Es por esto que se estudió la posibilidad de hacer un abono orgánico con estos residuos, reduciendo la contaminación al ambiente y obteniendo beneficios tangibles por ello.

Al realizar la caracterización fisicoquímica, se determinó que los lodos de vinaza cuentan con altos niveles de nutrientes, los cuales pueden ser aprovechados para un proceso de compostaje. Este residuo cuenta con los siguientes valores de micronutrientes y macronutrientes: K: 24888.00 mg/L, Ca: 2685.00 mg/L, Mg: 798.70, Fe: 46.90 mg/L, Zn: 4.39 mg/L, Mn: 6.82 mg/L, Cu: 63.74 mg/L y Na: 720.33 mg/L.

Para ello se seleccionó restos de frutas y verduras como fuente de materia orgánica para realizar la mezcla de composteo, esto debido a su disponibilidad, su alto nivel de humedad y a que según la literatura estos residuos tienen una relación C/N de entre 15:1 y 25:1, la cual es ideal para iniciar el compostaje. Asimismo, se redujo el tamaño de estos residuos, ya que si las partículas son pequeñas hay una mayor superficie específica, la cual facilita el acceso al sustrato. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el proceso de compostaje es de 5 a 20 cm. Además, cabe mencionar que se utilizó solamente este tipo de residuos orgánicos, ya que de esta forma se acelera el proceso de compostaje porque entre más simple es la mezcla de residuos mayor es la variedad de especies bacterianas que atacan. Para realizar la mezcla se deshidrataron los residuos orgánicos, para poder utilizar una mayor cantidad de lodos de vinaza. La composición de dicha mezcla fue la siguiente: 4 kg de residuos orgánicos y 8 kg de lodos de vinaza.

Según el Instituto Cornell de Manejo de Desechos, existen diferentes sistemas o formas de hacer el compostaje. Para este estudio se eligió el método por aireación y volteo, ya que es una forma efectiva de descomponer los residuos, y el gasto económico es mínimo. Para ello se utilizó una caja, a la cual se le abrieron agujeros para que los residuos estuvieran en contacto directo con el aire. De esta manera se logró una descomposición más rápida.

El tiempo requerido para la transformación de residuos orgánicos en un compost estabilizado fue de 50 días para las condiciones descritas en la metodología. Para llegar a esto, se monitorearon las variables temperatura, pH y humedad. Durante todo el proceso se realizaron volteos cada dos días, para permitir la oxigenación y evitar que el proceso de compostaje se detuviera por falta de oxígeno.

En la gráfica de temperatura se puede observar que se dieron las 4 etapas más importantes del compostaje: mesofílica I, termofílica, mesofílica II y la maduración. La etapa mesofílica I se dio en los primeros 15 días, es en esta etapa en donde se acelera el proceso, debido a que las bacterias mesofílicas son más eficientes que las bacterias termofílicas. La etapa termofílica se dio del día 16 al 33, los patógenos y las semillas de mala hierba mueren en esta etapa por las altas temperaturas. A partir del día 43 no se observaron más cambios en la temperatura, lo cual indicó que había finalizado el proceso de compostaje.

Otro de los parámetros utilizados para monitorear el proceso fue el potencial hidrógeno o pH, el cual acorde a la literatura, desciende en las primeras etapas por la formación de ácidos orgánicos y posteriormente, tiende a estabilizarse en niveles de 6-7. Acorde a la gráfica obtenida en el experimento, el pH bajó a valores de 5 en los primeros 15 días y luego se incrementó gradualmente hasta estabilizarse. Obteniendo un pH final de 6.3.

El contenido de humedad expresado en porcentaje para un compost, debe mantenerse entre 50 y 60%, esto es una evidencia de un buen proceso. El contenido inicial de humedad en los residuos 67.63% y disminuyó hasta un 48.1%, al alcanzar los 50 días. Durante el proceso de compostaje el porcentaje de humedad descendió debido a su pérdida por evaporación y por la salida de los lixiviados. Se monitoreó la humedad a lo largo del proceso con la técnica del puño cerrado (descrita en la metodología), con la cual que se logró determinar que cada dos o tres días era necesario hidratar la mezcla con los lodos de vinaza. El día 35 se terminaron los tres galones de lodos de vinaza, por lo que a partir de este día fue necesario hidratar con agua. Es por esto que se consideró que no es necesario deshidratar los restos de frutas y verduras, ya que durante todo el proceso de compostaje se utiliza un alto contenido de los lodos de vinaza para mantener la humedad.

Al finalizar el proceso de 50 días, se analizó el compost obtenido en un laboratorio externo. Se obtuvo un compost con pH de 6.3, humedad de 48.1%, relación C/N de 18.1 y materia orgánica de 44.0%. Además como se puede observar en el anexo 26 del análisis del compost, tanto en los micronutrientes y macronutrientes, se observó un incremento después del proceso de compostaje, obteniéndose los siguientes valores: %(N:2.97, P:0.77, K:1.38, Ca:2.29, Mg:0.59) ppm (Cu:36.68, Fe:11645, Mn:297.75, Zn:85.15).

Con estos resultados se puede decir que la etapa de maduración se dio de forma exitosa y que el compost obtenido podría beneficiar de forma significativa los cultivos a los cuales sean agregados. Además, se realizó una prueba de madurez del compost utilizando el kit Solvita, teniendo como resultado un índice 7, lo cual indica que las emisiones de dióxido de carbono y amoníaco son bajas, siendo esto

prueba de la madurez del compost. Además, este índice de madurez también es indicador que se obtuvo un compost curado, con pocas limitaciones en su uso, por lo que se puede utilizar para la mayoría de actividades agrícolas.

E. Módulo 5: Diseño de un sistema auxiliar de bombeo

El objetivo del proyecto fue determinar el impacto que producirá implementar un sistema de bombeo auxiliar en paralelo en las bombas que actualmente trasiegan etanol con alta concentración, y son catalogadas como críticas debido a que al fallar producen tiempos muertos en el proceso de producción de etanol y esto representa pérdidas económicas.

En la Tabla 34 se brinda información de las bombas críticas en la planta de destilación y su función en el proceso. Debido a que las bombas son de recirculación de etanol a altas concentraciones es importante enfocarse en esta parte del proceso porque es aquí donde se alcanza la concentración final deseada del producto y dichas bombas cumplen la función de reingresar el etanol a la torre de destilación cuando este no cumple con una concentración de 99%. Si el etanol no alcanza esta concentración al salir de la torre de destilación y es llevado al tanque de producto final con una concentración menor a 99% afectará en el producto terminado y almacenado en el tanque que sí cumple con este requisito, porque recudiría la calidad del etanol que se encuentra en el tanque. Debido a lo anterior, al momento de fallar alguna de las bombas de recirculación, se tiene la limitante de que el tanque de recirculación que recibe el producto con concentraciones de etanol no aceptables se llene y en ese momento será necesario detener el proceso o enviar el producto al tanque de almacenamiento. Ninguna de las opciones anteriores es viable, por ende, la reparación correctiva de una de estas bombas es crítica y no puede exceder 150 minutos, para evitar que el tanque de recirculación se llene.

La Tabla 44 permite conocer el tipo de accesorios y el orden de las conexiones de las tuberías, pero no se brinda información como ubicación dentro de la planta y tampoco la ubicación de la nueva bomba indicando que por motivos de confidencialidad de la empresa no es posible dar a conocer esta información. Esto dificulta la comprensión de cómo estará instalado el nuevo sistema de bombeo en la planta, y la conexión de la tubería y accesorios al mismo. Tomando en cuenta la diversidad de accesorios como codos y conexiones tee, que cambian la dirección de la tubería no es posible tener una visión clara del nuevo sistema como tampoco la certeza que el mismo encaje perfectamente al momento de seguir las instrucciones brindadas en la Tabla 44. El lector o encargado del proyecto en la empresa tendrá que conocer a detalle las instalaciones de la planta para poder entender el orden y conexión del nuevo sistema de bombeo diseñado y sugerido, pues por motivos de confidencialidad, expresados en la descripción del apartado A de los resultados, se indica que no es posible mostrar planos.

La selección de la nueva bomba para el sistema de bombeo indicó que, en cuestión de materiales constitutivos, es decir su estructura, es posible someterla a un trabajo con líquidos corrosivos como el

etanol. En cuestión de funcionamiento, la sección: Selección de bomba y motor del sistema auxiliar de bombeo muestra un rango de cabeza total de 79.86 – 113.11 m (262 – 371.1 ft), que la bomba debería ser capaz de desarrollar, y en la Tabla 46 la descripción indica que el rango de cabeza de la nueva bomba es de 0 – 152.4 metros (0 – 500 ft) que abarca el total de la cabeza que se requiere en el proceso. En cuestión del caudal trasegado el rango es 0 – 170 gal/min y cumplió con el rango requerido de caudal de la aplicación que es 60 – 150 gal/ min. Se encontró que existen bombas sobredimensionadas en la planta con capacidad de producción instalada de 450 $m^3/día$ funcionando con válvulas parcialmente cerradas, y presentan varios paros de operación durante el día. Se hace referencia a lo anterior porque la variación de la apertura de las válvulas provoca un aumento de presión y esto afecta directamente a los sellos mecánicos, por tanto, es necesario evaluar el cambio de una bomba que se adecúe al proceso y disminuir la potencia de la misma, esto para que las válvulas estén completamente abiertas y la bomba este siempre encendida. Debido a que se puede necesitar una variación de caudal durante el proceso, se puede implementar variadores de velocidad en las nuevas bombas.

La selección de sellos mecánicos se realiza en función del criterio detallado en la sección G en la metodología, y brinda la información de los sellos recomendados para la aplicación en bombas específicas diferentes a las que se incluyen en el nuevo sistema de bombeo. Dicha selección tiene relación con los objetivos planteados en este trabajo, que de igual forma no brinda detalles si la aplicación debiera ser en un área específica de la planta o en un número determinado de bombas, sino que se trata de indicar que el criterio de selección puede ser usado en las bombas que requieran un cambio en el tipo de sello o una recomendación sobre el sello específico para la aplicación deseada. El plan de lubricación detallado en el anexo 4 indica en funcionamiento del acumulador presurizado, pero no se indica las condiciones de operación como caudal, presión para que el fluido llegue al sello y lo lubrique adecuadamente. Estas características deberán ser proporcionadas por el fabricante al momento de adquirir el sello o deberán ser consultadas con el distribuidor local de sellos mecánicos al momento de cotizar o bien adquirirlo.

El impacto del proceso indicó el aumento de la eficiencia, los activos aprovechados, entre otras características que permiten justificar que el proyecto es viable y debería implementarse en la planta, sin embargo, es necesario corroborar que los datos presentados en la sección: Incremento de eficiencia del proceso, en el anexo 49 son cercanos al costo real, pues el rubro de implementos (Obra civil, soldadura y materiales) que muestra un costo de US\$.4,000.00 no cuenta con un anexo que presente la evidencia que el dato es real. La ausencia de dicha cotización puede deberse a la falta de dimensiones del área destinada a la instalación del equipo bomba-motor, y el estado actual del área destinada para el nuevo sistema de bombeo dentro de la planta lo cual dificulta que un proveedor brinde un precio exacto de la obra civil.

La comprobación mostrada en la tabla de requerimientos tiene relación con los manuales de usuario y datos de los equipos y accesorios usados en este proyecto, que se encuentran en los anexos del trabajo de graduación. La comprobación de la mayoría de los requerimientos se cumple, a excepción del RGSBA-07

cuya comprobación indicó que en el diseño de tuberías actuales las pérdidas generadas por los accesorios son mayores que las pérdidas por fricción en la tubería. Este diseño debería ser analizado y buscar una solución de tal forma que la tubería no tenga tantos cambios de dirección y así evitar que las pérdidas por los accesorios presentes en la línea superen las pérdidas por la tubería.

F. Módulo 6: Evaluación financiera para determinar la viabilidad de las mejoras propuestas al proceso de producción

La propuesta de mejora que se presenta para evitar que la empresa estudiada incurra a costos de activos no aprovechados (etanol no producido) por fallas mecánicas en las bombas del proceso de destilación es básicamente la implementación de un sistema auxiliar de bombeo. Se estimó que al momento de una falla mecánica se incurre a un costo de aproximadamente US\$ 109,813; por el hecho de que se pierde tiempo al momento de la reparación. Esto evitaría que se tenga la continuidad necesaria en el proceso de producción de etanol. Por lo tanto, el sistema auxiliar de bombeo pretende suplir la función de tres bombas al momento de que se presenten fallas mecánicas, evitando incurrir al costo ya mencionado. Se estimó que por cada dólar invertido en esta propuesta se ganan US\$ 6.36, estableciendo de esta manera que es económicamente viable para la empresa ya que los beneficios esperados superan los costos de inversión.

Cabe mencionar que se requiere de un período razonable de 0.84 años que equivale a aproximadamente 10 meses con 3 días para poder recuperar la posible inversión realizada por la empresa. Al comparar este valor con respecto a la TMAR y al CPPC, también se comprobó que la propuesta es viable. Se determinó que el rendimiento esperado supera el CPPC calculado de aproximadamente 5.20%, comprobando que se espera un rendimiento mayor al que se considera aceptable en la industria. No se logra superar la TMAR establecida, sin embargo, la implementación de esta propuesta supera los costos de inversión; al igual que ayudaría a evitar costos innecesarios y a aprovechar de una manera adecuada la capacidad de producción instalada en la planta de la empresa.

Por otra parte, la propuesta de mejora que se presentó para el tratamiento químico actual que se le da a la melaza es un proceso de pasteurización. Se determinó que la implementación del proceso de pasteurización es económicamente viable ya que se obtuvo un valor de 10.75 para la razón beneficio/costo, demostrando que los beneficios esperados superan los costos de inversión. De hecho, el valor obtenido para la razón beneficio/costo supera tanto la TMAR como el CPPC calculado, con un valor de 10.1% y 5.20% respectivamente. Se determinó también que se requieren 0.90 años que equivale aproximadamente a 10 meses con 25 días para poder recuperar la posible inversión realizada por la empresa para su implementación, a lo cual es un período razonable. Al superar tanto a la TMAR como al CPPC, se puede decir que para esta propuesta se esperarían rendimientos que no solo son mayores a los que se consideran aceptables en la industria, sino que también a los que la empresa estudiada espera obtener al momento de llevar a cabo una inversión. La propuesta no solo presenta alta viabilidad; sino que también es una alternativa más amigable con el ambiente y con la cual se podrían reducir costos de producción. También

se podrían aprovechar los residuos del proceso de producción, a lo cual en la actualidad no se puede debido a que los químicos utilizados permanecen en los mismos.

Por último, la propuesta de mejora que se presenta para el tratamiento de los afluentes utilizados para diluir melaza es la implementación de un equipo de intercambio iónico y ósmosis inversa. Se determinó que el tratamiento actual de luz ultravioleta que se aplica a los afluentes ya mencionados no es suficiente, ya que se encontraron ciertos niveles de dureza y carga microbiológica en los mismos. La implementación del intercambio iónico tiene el objetivo de reducir la dureza de los afluentes, mientras que el de ósmosis inversa la reducción de la carga microbiológica. Para esta propuesta en específico, se determinó que el beneficio esperado se vería reflejado en tres aspectos: ahorro en tratamientos químicos, aumento en el rendimiento de producción de etanol y reducción de costos por un proceso de fermentación con mayor rapidez. Para estimar cuanto debería ser el valor mínimo de este beneficio esperado se substituyó el CPPC en el análisis beneficio/costo, obteniendo una cantidad aproximada de US\$ 259,446.50. La razón por la cual se utilizó el CPPC es debido a que básicamente representa el rendimiento que todavía se considera como aceptable para una inversión en la industria donde se encuentra la empresa estudiada. Es decir, que si la suma de los tres aspectos considerados como el beneficio para esta propuesta de mejora da un valor menor a los US\$ \$ 259,446.50 estimados utilizando el CPPC, la inversión no debería llevarse a cabo. Por otra parte, el período de recuperación con respecto al beneficio estimado es de 0.49 años que equivale aproximadamente a 5 meses con 28 días. El tratamiento adecuado del agua es fundamental, ya que de no ser así la eficiencia de equipos podría verse afectada; al igual que el desempeño del proceso en general. Es decir, que al darle un buen tratamiento al agua se podría disminuir el daño que esta le causa a las tuberías y equipos por donde pasa; en donde usualmente se genera la necesidad de reparaciones o reemplazo de equipo.

IX. CONCLUSIONES

A. Módulo 1: Diseño de pasteurizador para mosto

- El tratamiento térmico más eficaz calentando a 70°C y enfriando a 35°C, es el aplicado al mosto, ya que presenta la mayor reducción de microorganismos totales. Reduciendo en un 78.00% el conteo total de microorganismos, contrario al 30.47% que presentó la melaza. Esta reducción de microorganismos favorecería la fermentación ocasionada por las levaduras ya que la presencia de cultivos mixtos reduce el crecimiento de la levadura, de acuerdo a los estudios realizados por la universidad de Colima, México (ver marco teórico),. Estos valores fueron para la melaza producida en la planta durante el período de marzo a abril del año 2016.
- Se determinó que el consumo requerido de servicios básicos para el tratamiento térmico del mosto será 3.00kg/s de vapor saturado a 2392.48 kPa (34.7 psia o 20 psig) y 137.70 kg/s de agua a 29°C , además de una pérdida de presión de 33.71 kPa para el calentamiento y de 172 kPa para el enfriamiento.
- Para el tratamiento térmico se calculó dos intercambiadores similares a los producidos por ALFA LAVAL, específicamente, el modelo AlfaCond600 de 105 placas con medidas de 2.085 m x 0.888 m más 10 placas de repuesto para el proceso de calentamiento y modelo HPE M30 de 101 placas con medidas de 2.882 m x 1.150 m para el enfriamiento, más 10 placas de repuesto. Ambos intercambiadores con placas de titanio para aumentar su durabilidad.

B. Módulo 2: Estudio técnico de propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de agua para mosto y posibles mejoras

- La carga microbiológica es muy numerosa para contar en los flujos de agua del tanque de almacenamiento y de los fondos de columnas de destilación, por lo que es necesario la instalación de equipos de acondicionamiento del agua como ósmosis inversa y resinas de intercambio iónico así como una limpieza más frecuente a las lámparas de luz ultravioleta para mejorar su desempeño desinfectante.
- Es necesaria la instalación de resinas de intercambio iónico y sistemas de ósmosis inversa para el tratamiento de agua en los dos flujos usados para diluir la melaza, para minimizar la carga microbiológica y reducir los problemas por incrustaciones.
- Los flujos de agua del tanque de almacenamiento y de los fondos de las columnas de destilación después de las lámparas U. V. presentaron una carga microbiológica muy numerosa para contar, indicando que las lámparas ultravioleta no están desinfectando a los flujos.

- El flujo más contaminado es el de los fondos de columnas de destilación, existiendo mayor presencia de unidades formadoras de colonias en las membranas al comparar las escalas del 1 al 5 establecidas, por lo que su uso se debería minimizar o filtrar.
- El agua del tanque de almacenamiento presenta en promedio, durante el periodo de análisis, una dureza de 61.78 ± 0.93 mg/L, pH de 7.80 ± 0.08 , concentración de nitratos de 2.48 ± 0.17 mg/L, concentración de fosfatos de 0.97 ± 0.05 mg/L, sólidos disueltos totales de 83.60 ± 1.92 mg/L, concentración de sulfatos de 11.00 ± 1.25 mg/L, concentración de cloro libre de 0.20 ± 0.01 mg/L y una concentración de hierro de 0.024 ± 0.001 mg/L.
- El agua de los fondos de columnas de destilación presenta en promedio durante el periodo de análisis, una dureza de 18.55 ± 1.69 mg/L, pH de 3.45 ± 0.08 , concentración de nitratos de 1.97 ± 0.37 mg/L, concentración de fosfatos de 0.85 ± 0.04 mg/L, sólidos disueltos totales de 123.40 ± 10.89 mg/L, concentración de sulfatos de 5.47 ± 0.37 mg/L, concentración de cloro libre de 0.98 ± 0.01 mg/L y una concentración de hierro de 0.510 ± 0.001 mg/L.

C. Módulo 3: Producción de biogás a partir de fermentación de vinaza

- El pH determinado al analizar la vinaza, en la entrada y la salida, se encontró en un rango (4-7) de valores favorables para la actividad metanogénica en los digestores.
- Se obtuvo las siguientes concentraciones de minerales en los lodos provenientes de los biodigestores trabajados: potasio, 24888.00 ± 3589.36 mg/L; calcio, 2685.20 ± 112.36 mg/L; magnesio, 798.70 ± 66.52 mg/L; hierro, 46.90 ± 3.68 mg/L; zinc, 4.39 ± 0.98 mg/L; manganeso, 6.82 ± 1.33 mg/L; cobre, 63.74 ± 7.35 mg/L; sodio 720.33 ± 36.69 mg/L
- A partir de los factores calculados de “mL Metano /mg DQO removido”, tomando como referencia un valor usual promedio de DQO de 130000 mg/L en la vinaza proveniente de la destilería y un metro cúbico de la misma, se obtuvo la producción esperada de metano para cada una de las condiciones, siendo las siguientes: “No.1”, 5.51 m^3 ; “No.2”, 8.46 m^3 ; “No.3”, 4.41 m^3 ; “No.4”, 5.94 m^3 , esto a una presión de 88,000 Pa y temperatura de $24.73^\circ\text{C} \pm 0.35^\circ\text{C}$. (consultar Tabla 3 para detalles de cada condición).
- Se obtuvo un porcentaje de remoción de DQO de $88.89 \% \pm 1.26 \%$ y uno de DBO de $95.04 \pm 2.36 \%$ en el efluente de los digestores.
- Se determinó un cociente de DQO/generación de biogás, el cual puede ayudar a determinar no solo la cantidad del gas a generar sino también la mejora de condición de la vinaza y su efecto de contaminación.

D. Módulo 4: Evaluación de la producción de compost a partir de lodos de vinaza

- Los lodos de vinaza cuentan con altos niveles de nutrientes que pueden ser aprovechados para el proceso de compostaje: K: 24888.00 mg/L, Ca: 2685.00 mg/L, Mg: 798.70, Fe: 46.90 mg/L, Zn: 4.39 mg/L, Mn: 6.82 mg/L, Cu: 63.74 mg/L y Na: 720.33 mg/L. Estas concentraciones no interfieren en el proceso de compostaje.
- Los restos de frutas y verduras tienen los componentes apropiados para mezclarse con lodos de vinaza y obtener una mezcla inicial con las características necesarias: pH: 6.2, concentración de sales: 4.98 dS/m, materia orgánica: 59.6.0%, relación C/N: 25.9 y % (N: 1.29, P: 0.37, K: 0.91, Ca: 0.27, Mg: 0.25) ppm (Cu: 34.00, Fe: 10960, Mn: 258.98, Zn: 80.95).
- De acuerdo a los análisis, los lodos de vinaza mezclados con los restos de frutas y verduras fueron transformados en compost en un lapso de 50 días.
- Los micronutrientes y macronutrientes, aumentaron después de los 50 días de compostaje. Se obtuvo un compost curado, con diversas aplicaciones, con los siguientes valores: % (N: 2.97, P: 0.77, K: 1.38, Ca: 2.29, Mg: 0.59) ppm (Cu: 36.68, Fe: 11645, Mn: 297.75, Zn: 85.15).
- Se sugirió un proceso factible de compostaje en pilas de volteo, con el cual se obtiene un rendimiento de 50% m/m: recolección de residuos orgánicos, clasificación, reducción de tamaño, mezcla con lodos de vinaza, formación de pilas, etapas de compostaje (monitoreo durante todo este proceso), tamizado, y por último almacenamiento, empaque y/o uso final del compost.

E. Módulo 5: Diseño de un sistema auxiliar de bombeo

- El aumento total de la eficiencia en el proceso es de 8% que representa evitar paros de bombas y esto significa que se ahorraría Q.830,000, costo que implica que las bombas se detengan en el proceso de destilación.
- El beneficio económico es de Q.47.89/Q.1 invertido si se implementara del sistema auxiliar de bombeo y dicha inversión se recuperaría en 10 meses de operación de la planta de destilación.
- El nuevo sistema auxiliar de bombeo evita la pérdida de energía y reducción de eficiencia de 8% que se produce si alguna de las bombas críticas de recirculación deja de funcionar y el etanol con una concentración mayor a 90% se mezcla con etanol a una concentración menor a 50% para ser destilado nuevamente.
- El proceso de bombeo continuo durante la zafra, evitando las 1.63 horas de paro para mantenimiento correctivo de los sellos mecánicos, será posible por la conexión en paralelo del sistema auxiliar de bombeo, que tendrá la función de recircular el etanol a las torres de destilación en lugar de cualquiera de las 3 bombas críticas.

- Para evitar la probabilidad de 89% de falla por fugas en los sellos mecánicos es necesario utilizar el criterio de selección de sellos mecánicos para corroborar que el sello mecánico actualmente usado es el adecuado o si es necesario cambiarlo por el sello que brinde como resultado el criterio de selección.

F. Módulo 6: Evaluación financiera para determinar la viabilidad de las mejoras propuestas al proceso de producción

- Para el sistema auxiliar de bombeo la implementación es económicamente viable ya que se estima que por cada dólar invertido se ganan US\$ 6.36 teniendo beneficios esperados que superan los costos de inversión con un período de recuperación razonable de 0.84 años que equivale a aproximadamente 10 meses con 3 días. Además, evita que la empresa incurra a un costo aproximado de US\$ 109,813 por activos no aprovechados (etanol no producido) causado por fallas mecánicas. Por otra parte, se podría aprovechar de una mejor manera la capacidad instalada de producción en la planta de la empresa evitando pérdidas de tiempo en reparaciones y dándole continuidad a la línea de producción de etanol.
- La implementación del proceso de pasteurización podría reducir el impacto ambiental que las operaciones de la empresa posiblemente puedan causar, ya que los químicos utilizados en el tratamiento que actualmente se aplican a la melaza permanecen en los residuos del proceso; evitando aprovechar adecuadamente los mismos y causando problemas ambientales. Esta es una alternativa que permite aprovechar los recursos disponibles de la empresa reduciendo los costos de producción para fortalecer la inversión en equipo eficiente y de alta tecnología que también ayude a reducir los costos de producir etanol, además de ser un proceso más amigable con el medio ambiente. Se considera económicamente viable ya que se estima que por cada dólar invertido se ganan US\$ 10.75 teniendo beneficios esperados que superan los costos de inversión, además de tener un período de recuperación de la inversión razonable de 0.90 años que equivale aproximadamente a 10 meses con 25 días.
- El beneficio esperado con respecto a la implementación del equipo de intercambio iónico y ósmosis inversa para el tratamiento de los afluentes utilizados para diluir melaza consiste en tres aspectos en donde se incluye: ahorro en tratamientos químicos, aumento en el rendimiento de producción de etanol y reducción de costos por un proceso de fermentación más rápido. El intercambio iónico tiene el objetivo de disminuir la dureza de los afluentes, mientras que el equipo de ósmosis inversa de reducir la carga microbiológica. Darle un buen tratamiento al agua podría disminuir el daño que esta le causa a las tuberías y equipos por donde pasa, por lo tanto, disminuyendo la necesidad de reparaciones o reemplazo de equipo. Se estima que la suma de los tres aspectos considerados como el beneficio esperado de la propuesta de mejora debe ser como mínimo de US\$ 259,446.50 para considerar la inversión, de lo contrario no se debe llevar a cabo.

X. RECOMENDACIONES

A. Módulo 1: Diseño de pasteurizador para mosto

- Realizar una evaluación económica del tratamiento de pasteurización del mosto considerando costos e inversión inicial de operación y mantenimiento en ambos tratamientos.
- Evaluar el rendimiento de la fermentación de mosto con y sin tratamiento térmico, para comparar el cambio en el rendimiento producción de alcohol, así como diferentes tipos de tratamientos para reducción de microorganismos (químicos, procesos a alta presión, sónicos) en el mosto o melaza que podrían resultar más rentables a la empresa.
- Llevar un control de las variaciones en la composición de melaza a través de la zafra para establecer un rango adecuado en los tratamientos a utilizar para la reducción de microorganismos.

B. Módulo 2: Estudio técnico de propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de agua para mosto y posibles mejoras

- Realizar la limpieza de las lámparas de luz ultravioleta una vez por semana y evaluar su efectividad en la reducción los problemas por incrustaciones.
- Utilizar el flujo de los fondos de columnas de destilación para la composición del mosto lo mínimo posible, porque existe una carga microbiológica mucho mayor que la presente en el agua del tanque de almacenamiento.
- Instalar sistemas de resina de intercambio iónico en ambos flujos para reducir la dureza y monitorear constantemente las concentraciones, principalmente en el agua del tanque de almacenamiento. Instalar sistemas de ósmosis inversa en ambos flujos para reducir la carga microbiológica que compite con las levaduras durante la fermentación y probablemente reduce el rendimiento del etanol producido.
- Establecer rangos propios de la empresa para las características del agua que utilizan para el proceso.
- Realizar la toma de muestras más seguido para poder contar con más datos de las condiciones del proceso.
- Iniciar la toma de muestras desde el comienzo del periodo de producción.

- Se recomienda emplear resinas de intercambio con catión de sodio. Estas resinas permiten la remoción de los iones calcio y magnesio del afluente, que son los principales causantes de incrustaciones, esto permite la remoción de bacterias y microorganismos de hasta el 100% que pueden estar afectando a la levadura y a su vez ayudarían a la acción posterior de desinfección de la lámpara U. V.

C. Módulo 3: Producción de biogás a partir de fermentación de vinaza

- Recolectar los gases producidos por el efluente expuesto, realizando una evaluación del cubrimiento de las pilas de vinaza expuestas al ambiente, así como también un análisis de factibilidad y costo-beneficio.
- Evaluar efectos adicionales en el diseño de un reactor, así como las tasas más efectivas de generación de metano mediante la réplica a nivel laboratorio, usando digestores con: capacidad para medir pH (tomas para este propósito), capacidad de agitación.
- Reducir el impacto ambiental en futuros estudios de producción de metano a partir de vinaza, utilizando la vinaza sin diluir, ya que no se encontró una variación significativa en la producción de metano y remoción de DQO en el efluente de una destilería de alcohol, luego del proceso de biodigestión,
- Debido a los volúmenes a manejar en una planta de biodigestión, es posible que la implementación de un sistema de purificación de metano no sea del todo efectiva y rentable, por lo que se recomienda realizar un análisis económico de la implementación y los beneficios económicos que representaría la instalación de un sistema de purificación de metano.
- Con objeto de mejorar el poder calorífico del biogás y extraer el CO₂ para uso como producto, se recomienda hacer estudios o continuación de trabajos de Megaproyecto para separación de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂),

D. Módulo 4: Evaluación de la producción de compost a partir de lodos de vinaza

- Para aumentar el rendimiento del proceso de compostaje, controlar la relación C/N, la densidad aparente y el porcentaje de materia orgánica.
- Para evitar la contaminación del suelo, realizar una evaluación del efecto fitotóxico del compost sobre la germinación de algún tipo de cultivo ajeno al de la caña, las implicaciones en el crecimiento y óptimo desarrollo de la caña y el efecto a largo plazo en la fijación de nutrientes en el suelo de cultivo.
- Evaluar otras opciones de material orgánico para mezclar con los lodos de vinaza, como broza, estiércol porcino, papel, gallinaza, pulpa de café, entre otros. Para obtener una mayor cantidad de estos residuos orgánicos, hacer una alianza con la municipalidad.

- Realizar un análisis económico para la implementación del proceso de compostaje tomando en cuenta la inversión inicial para llevar a cabo dicho proceso y el ahorro representado por usar dicho compost en el campo de cultivo de la caña.

E. Módulo 5: Diseño de un sistema auxiliar de bombeo

- Para evitar el deterioro acelerado de los sellos mecánicos, evaluar la implementación un sistema de bombeo paralelo con velocidad variable y así distribuir el caudal y la carga de producto transportado en las bombas.
- Debido a que los datos del proceso, como el caudal, fueron tomados de los manuales de usuario y no de una medición directa en las bombas, será necesario evaluar y corroborar los cálculos en este trabajo antes de implementar el sistema auxiliar de bombeo y así evitar inconvenientes por incompatibilidad de las bombas o puntos de operación de la misma a eficiencias demasiado bajas.
- Para contar con mediciones más exactas del caudal en las líneas de las bombas catalogadas como críticas será necesario la implementación de instrumentos como manómetros y termómetros en la succión de la bomba, y flujómetros en la descarga de la bomba que permitan el fácil monitoreo de las condiciones de operación del equipo, esto con el fin de extender la vida del mismo y evitar el mantenimiento correctivo en los equipos durante la zafra.
- Para aumentar la eficiencia de bombeo se debe reducir las pérdidas en los accesorios, que son 0.423 m, en la línea de succión de la bomba 150061 y evitar que sean mayores a las pérdidas por fricción en las tuberías, que son 0.198 m, usando como guía el cálculo de muestra hecho en la metodología para el resto de tuberías de la planta y así evitar instalar un número excesivo de accesorios en las líneas de succión y descarga.

F. Módulo 6: Evaluación financiera para determinar la viabilidad de las mejoras propuestas al proceso de producción

- Un control más detallado en el proceso de bombeo con la implementación de diferentes instrumentos y accesorios (variadores de frecuencia, manómetros, termómetros, entre otros) permite verificar con mayor facilidad las condiciones de operación del equipo, que en este caso serían las bombas consideradas como críticas en el proceso de destilación para producir etanol. Es decir, que un mayor control favorece el mantenimiento preventivo del equipo para evitar los costos significativos que podrían llegar a causar los mantenimientos correctivos. El mantenimiento o control preventivo puede aumentar la vida útil del equipo y mejorar sus condiciones de operación en general, al igual que posiblemente disminuir las incidencias de mantenimiento correctivo en donde se involucra la reparación de los sellos mecánicos por fallas en las bombas; aprovechando así de una mejor manera la capacidad de producción instalada en la planta.
- La implementación de la propuesta de mejora enfocada en el tratamiento de los afluentes utilizados para diluir melaza podría causar un ahorro en los tratamientos químicos, aumentar el

rendimiento de la producción de etanol y reducir costos por un proceso de fermentación con mayor rapidez. Por lo tanto, es una propuesta que podría tomarse en cuenta. También, una limpieza con más frecuencia de las lámparas ultravioleta; siendo este el tratamiento actual de los afluentes ya mencionados, podría aumentar la eficiencia o capacidad de reducir la carga microbiológica del equipo; al igual que reducir los problemas con incrustaciones que causan daños significativos en el equipo y tubería.

- La posible reducción de costos de producción con una implementación del proceso de pasteurización podría aprovecharse para fortalecer la inversión en equipo eficiente y de alta tecnología con el objetivo de continuar mejorando la producción de etanol y disminuyendo los costos involucrados en producirlo, promoviendo la mejora continua del proceso en general.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- ABB. (2014). *Motores NEMA de CA y de CC a prueba de explosión*. Estados Unidos: ABB.
- Academia del Área de Plantas Piloto de Alimentos. (2004). *Introducción a la tecnología de alimentos*. Cd. de México: Limusa.
- Aiezza, G. (2015). *Methods of Liquid Waste Treatment*. Disponible en: <http://www.rpi.edu/dept/chem-eng/Biotech-Environ/FUNDAMNT/streem/methods.htm> [consultado el 15 de febrero de 2016].
- Alberú, L. (2015). *Pasteurización-Esterilización de Melaza*.
- Alex van der Spek, R. M. (2014). *Evaluación de la eficiencia de bombas en tuberías de larga distancia*. Estados Unidos: Wim.
- Alfa Laval. (2013). *Heating and Cooling Solutions from Alfa Laval*.
- Anacafé. (29 de Octubre de 2016). *Red de estaciones meteorológicas en la Franja Cafetalera*. Obtenido de <https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Especial:WeatherPage>
- Aquino, Pablo. (2016) *Diseño de un sistema auxiliar de bombeo*. Trabajo de graduación Universidad del Valle de Guatemala.
- Amjad, Zahid. 2010. *The science and technology of industrial water treatment*. USA: Taylor and Francis Group. 532 págs.
- Ali, Mansoor. 2004. *Sustainable composting, case studies and guidelines for developing countries*. Loughborough: WEDC.
- ASAZGUA (2012) *Economía*. En: <http://www.azucar.com.gt/economia3.html> [con acceso el 11 de julio de 2016]
- Asociación de Combustibles Renovables de Guatemala. 2014. *Biocombustibles y oportunidades para Guatemala*. Disponible en: <http://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2014/02/03-ACR-Aida-Lorenzo.pdf> . [Fecha de consulta: 09 de octubre de 2016].
- Asociación de Combustibles Renovables de Guatemala. (2016, septiembre 27). *Asociación de Combustibles Renovables de Guatemala*. Retrieved from <http://www.acrguatemala.com/etanol.shtml#etanolguatemala>
- Asociación de Porcicultores de Guatemala (APOGUA). *Guía práctica para la construcción de un biodigestor*. Guatemala, 2008.

- Austin, George. 1990. *Manual de procesos químicos en la industria* 5ª ed. México: McGraw Hill. 128 págs.
- AutoSolar (s.f.) Variadores de frecuencia. En: <https://autosolar.es/variadores-frecuencia> [con acceso el 17 de septiembre de 2016]
- Azasgua, 2014. Ingenios Azucareros en Guatemala. [en línea] <http://www.azucar.com.gt/ingenios.html> [consulta 18 de agosto de 2016]
- Azúcar de Guatemala (2012) *Los ingenios guatemaltecos*. En: <http://www.azucar.com.gt/ingenios.html> [con acceso el 9 de julio de 2016]
- Baldor (s.f.) *Explosion proof general purpose motors*. En: <http://www.baldor.com/catalog#category=59> [con acceso el 21 de septiembre de 2016]
- Banco de Guatemala (2016) Tipo de cambio. En: <http://www.banguat.gob.gt/cambio/historico.asp?kmoneda=02&ktipo=5&kdia=27&kmes=10&kanio=2016&kdia1=27&kmes1=10&kanio1=2016&submit1=Consultar> [con acceso el 27 de octubre de 2016]
- Blank, Leland y Tarquin Anthony (2012). *Ingeniería Económica*. México: McGraw-Hill. 615 págs.
- Campbell, Neil. 2001. *Biología*. 3ra ed. México: Pearson Educación. 896 págs.
- Cashin, James y Polimen, Ralph (1980). *Contabilidad de costos*. México: McGraw-Hill. 123 págs.
- Çengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y de masa fundamentos y aplicaciones*. Cd. de México: McGraw-Hill.
- Cengel, Y. y. (2012). *Mecánica de fluidos. Fundamentos y aplicaciones* (2da ed.). México, D.F.: McGraw Hill.
- CENICAÑA. *Proceso de obtención de etanol*. Disponible en: http://www.cenicana.org/pop_up/fabrica/diagrama_etanol.php . [Fecha de consulta: 13 de octubre de 2016].
- Centro de Investigación de la Caña de Colombia. (2016, octubre 7). *Cenicaña*. Retrieved from http://www.cenicana.org/pop_up/fabrica/diagrama_obtencion.php
- Chang, Raymond. 2010. *Química*. 10a edición. México: McGraw Hill. 1085 págs
- Cheng, J., García Ferrer, C. A., & Alvarez Medina, C. (1991). *Manual del azúcar de caña*. México: Limusa.
- Cifuentes, Karen. 2015. *Análisis microbiológico del agua utilizada en el proceso de fermentación para la producción de etanol*. Trabajo de graduación Universidad del Valle de Guatemala. 77 págs.

- Clarke, Steven. 2006. *Ultraviolet light disinfection in the use of individual water purification devices*. Estados Unidos de América: U. S. Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine. 15 págs.
- CNEE. (16 de febrero de 2010). *Comisión Nacional de Energía Eléctrica*. Obtenido de [http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/007%20M%C3%B3dulo%20VII%20\(AEE%20Bombeo\).pdf](http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/007%20M%C3%B3dulo%20VII%20(AEE%20Bombeo).pdf)
- Comisión Económica para América Latina y El Caribe. (2006). *Costos y precios para etanol combustible en América Central*. Italia: Naciones Unidas. Obtenido de <http://www.acrguatemala.com/etanol.shtml>
- Cooke, G.W. 1964. *Fertilizantes y sus usos*. México: CECSA.
- De Bertoldi, M. 1987 *Compost production: Quality and use*. London: Elsevier Applied Science.
- De Bertoldi, M. 1996. *The science of composting*. London: Blackie Academic &
- Degrémont. 1979. *Water treatment handbook*. 5a edición. Estados Unidos de América: John Wiley and Sons, Inc. 1186 págs.
- del Valle, Fátima. (2012) *La producción de bioetanol como un aporte al desarrollo económico de la provincia de Tucumán*. Universidad de Belgrano. Argentina.
- Díaz, Francisco y Serrano, Liliana. (s.f.) *Desinfección de agua con luz ultravioleta*. En: <http://www.agualatinoamerica.com/docs/PDF/3-4-02diaz.pdf> [con acceso el 14 de junio de 2016]
- Donald L. Wise. 1981. *Fuel gas production from biomass*. Estados Unidos de América. CRC Press, Inc. 2 volúmenes
- Edinn. (2016). *Cálculo de OEE*. Obtenido de <http://edinn.com/es/oe.html>
- Erickson, Larry; Yee-Chak, Daniel. 1989. *Handbook on anaerobic fermentations*. Estados Unidos de América: Marcel Dekker, Inc. 850 págs.
- Europa Press (2016) *Producir etanol sin necesidad de maíz ni otras plantas*. En: <http://www.europapress.es/ciencia/habitat-y-clima/noticia-producir-etanol-necesidad-maiz-otras-plantas-20140410134213.html> [con acceso el 9 de julio de 2016]
- Felder, R. (2004). *Principios elementales de los procesos*. México: Limusa Willey.
- Food and Agriculture Organization for the United Nation (FAO/TCP/NEP) Support Development of National Biogas Programme. Nepal, Septiembre 1996

- Forbes (2014) *Científicos desarrollan sustituto para combustible etanol*. En: <http://www.forbes.com.mx/cientificos-desarrollan-sustituto-para-combustible-etanol/#gs.W1O0qA4> [con acceso el 9 de julio de 2016]
- Gándara, Natiana. (2015) *Mercado del azúcar enfrenta bajos precios*. En: <http://www.prensalibre.com/economia/mercado-del-azucar-enfrenta-bajos-precios> [con acceso el 8 de julio de 2016]
- García, A. and Rojas, C. (2015). Posibilidades de uso de la vinaza en la Agricultura de Acuerdo con su Modo de Acción en los Suelos. *Tecnicana*, [online] p.11. Available at: http://www.tecnicana.org/pdf/2006/tec_v10_no17_2006_p3-13.pdf [Accessed 13 Nov. 2015].
- García, Álvaro. 2006. *Posibles usos de la vinaza en la agricultura de acuerdo con su modo de acción en los suelos*. [en línea] Disponible en: http://www.tecnicana.org/pdf/2006/tec_v10_no17_2006_p3-13.pdf
- Gasser, J.K. 1985. *Composting of agricultural and other wastes*. London: Elsevier Applied Science
- Golueke, Clarence. 1975. *Composting: A study of the process and its principles*. 3ed. Pennsylvania: Rodale Press Inc.
- Gómez, J. (2010). *Estudio y propuestas de solución para fallos recurrentes en bombas*. La Habana: Marianao.
- González, Ó. (2016, mayo 9). Río Paz se encuentra contaminado con melaza. *Prensa Libre*.
- Goulds. (2006). *Tabla de productos*. Estados Unidos: ITT.
- Goulds pumps. (29 de Octubre de 2000). *Instrucciones de instalación, operación y mantenimiento*. Recuperado el 12 de Octubre de 2016, de https://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Literature/Instruction%20and%20Operation%20Manuals/Alphabetical/iANSI_Family-Spanish.pdf?ext=.pdf
- Grande, Jorge. (2006) *Informe final de diagnóstico, investigación y servicios desarrollados en el departamento de investigación de Ingenio La Unión, S.A*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Granja integral. 2009. *Abonos: Lombricultura y compostaje, métodos, sistemas, preparados, aplicación*. Bogotá: Grupo Latinos Editores.
- Grupo Técnico RIVI. (2014). *Lubricación industrial y aplicaciones especiales de fluidos*. España: Revo.
- Harley, S. 2008. *Ultraviolet Disinfection of private water supplies for households or agricultural uses*. Canadá: Agriculture and Agri-food Canada. 12 páginas.
- Hendricks, David. 2006. *Water treatment unit processes: physical and chemical*. Estados Unidos: Taylor and Francis Group. 1266 págs.

- Howe, Kerry. 2012. *Principles of Water Treatment*. Estados Unidos de América: John Wiley y Sons, Inc. 674 págs.
- Ingledeu, W. 2009. *The Alcohol Textbook*. Reino Unido: Nottingham University Press. 541 págs
- Insam, H, et al. 2012. *Microbiology of composting*. Austria: Springer International Publishing.
- Irisarri, Daniel. 2006. *Usos industriales y agrícolas de la vinaza de caña de azúcar*. [en línea] Disponible en: http://www.tecnicana.org/pdf/2006/tec_v10_no17_2006_p19-24.pdf
- ISEMSA. (11 de Octubre de 2016). *Sellos mecánicos*. Obtenido de <http://www.isemsa.com.gt/sellos.html>
- Joseph i Gual, J. (1999). *Tecnología industrial II*. Barcelona [etc.]: McGraw Hill
- King pumps. (2012). *Factores de conversión y fórmulas*. Obtenido de <http://store.waterpumpsupply.com/conversions.html>
- Latino, R. (Febrero de 2001). *Calidad del proceso y análisis de causa raíz*. Obtenido de http://reliability.hostcentric.com/industry/articles/article42_spanish.swf
- Lenntech. *Tratamiento y purificación del agua*. Disponible en: <http://www.lenntech.es/>. [Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2016].
- López, Víctor. (2016) *Diseño de pasteurizador para mosto*. Trabajo de graduación Universidad del Valle de Guatemala.
- Lorenzo-Acosta, Y., Domenech-Lopez, F., Alamán Del Olmo, O. and Chanfón Curvelo, J. (2015). Tratamiento industrial de vinazas de destilerías en reactores UASB. SCIELO, [online] 35, p.1. Available at: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852015000100003&script=sci_arttext [Accessed 11 Nov. 2015].
- McAllister, E. (2013). *Pipeline Rules of Thumb Handbook: A manual of quick, accurate solutions to everyday pipeline engineering problems*. (Octava ed.). Inglaterra: Elsevier.
- McCabe, W. L. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química* (Séptima ed.). México, D.F.: McGraw-Hill.
- McNaughton, K. J. (1999). *Bombas: selección, uso y mantenimiento*. México: McGraw-Hill.
- Maheshwari, Dinesh. 2014. *Composting for sustainable agriculture*. Suiza: Springer International Publishing.
- Manuel, M. and Suani, T. (2015). *Viñaza como fuente de energía en brasil*. [online] Bioenergyinternational. Available at: <http://www.bioenergyinternational.es/noticias/News/show/vinaza-como-fuente-de-energia-en-brasil-636> [Accessed 8 Nov. 2015].
- Martínez, Y. (2010). *Características peculiares de la operación de bombas rotodinámicas en paralelo*. La Habana: Scielo.

- Mejía, Diego. (2016) *Estudio técnico de propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de agua para mosto y posibles mejoras*. Trabajo de graduación Universidad del Valle de Guatemala.
- Molina, C and Quiñonez, W. (2013). Biodegradación anaeróbica de vinaza generada en la destilería Soderal y aprovechamiento energético del biogás como medio para bajar el impacto de gases de efecto invernadero [en línea] Disponible en: <http://www.ups.edu.ec/sede-guayaquil>. [consulta 16 de marzo de 2016]
- Muche H, Zimmermann H 1985 La purificación del biogás. [en línea] Lengericher Handelsdruckerei, Lengerich, Alemania. www.biologia.edu.ar/microind [consulta 12 de marzo de 2016]
- Nájera, Fernando (2015) *Diseño de un sistema de evaluación financiera para el análisis de propuestas de ahorro energético en una planta productora de etanol a partir de melaza*. Trabajo de graduación Universidad del Valle de Guatemala.
- Nasdaq. (26 de octubre de 2016). *Etanol futures*. Obtenido de <http://www.nasdaq.com/markets/ethanol.aspx?timeframe=1y>
- Novem (2016). Productos para sistemas de bombeo. En: http://www.novemweb.com/pdf/NOVEM_LP_SBO.pdf [con acceso el 6 de septiembre de 2016]
- Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo industrial. (2016, octubre 20). *UNIDO*. Retrieved from http://www.unido.org/fileadmin/import/71360_1Textbook.pdf
- PA Consulting Group. Manejo de los residuos en el contexto de la reducción de emisiones de metano. Informes preliminares. San Salvador, Mayo 2009.
- Pantaleón (2016) *Capacidad instalada*. En: <http://www.pantaleon.com/capacidad-instalada> [con acceso el 11 de julio de 2016]
- Pantaleón (s.f) *Proveedores*. En: <http://pantaleon.swproyectos.com.php5-18.dfw1-2.websitetestlink.com/sites/default/files/3-Informe3.pdf> [con acceso el 16 de julio de 2016]
- Pérez, R. (7 de octubre de 2007). *Bombas hidráulicas rotodinámicas. Teoría y problemas resueltos*. Colombia: Medellín. Obtenido de <http://www.banguat.gob.gt/cambio/>
- Piril, S., Barrientos, A., Santamaria, R., Nájera, F., Taracera, O., Cifuentes, K., & Gómez, L. (2015). *Estudio de la eficiencia energética y propuestas de mejoras para una planta productora de etanol a partir de melaza*. Cd. de Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.
- Planta Productora de etanol. (2015). *Indicadores de Proceso*. Guatemala .
- Ponce, A. (2010). *Aplicación de sellos mecánicos secos en bombas centrífugas de proceso*. México: Esime

- Powell, Sheppard. 1970. *Acondicionamiento de aguas para la industria*. México: McGraw-Hill Book Company. 631 págs.
- Project Management Institute, Inc. (2008). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK)*. 4ta. Edición. Pensylvania. Págs: 5-37
- Puretec Industrial Water. *What is reverse osmosis?* Disponible en: <http://puretecwater.com/reverse-osmosis/what-is-reverse-osmosis>. [Fecha de consulta: 09 de octubre de 2016].
- Raventós Santamaria, M. (2010). *Industria alimentaria: tecnologías emergentes*. Barcelona: UPC. 212 págs.
- Reed, Gerald; Nagodawithana, Tilak. 1991. *Yeast Technology*. USA: Van Nostrand Reinhold. 454 págs.
- Restrepo, Jairo. 1996. *Abonos orgánicos fermentados: experiencia de agricultores en Centroamérica y Brasil*. San José: CEDECO.
- Reynolds T. 1968. *Chemistry of nonenzymic browning. I. The reaction between aldoses and amines*. *Advan. Food Res.* pp. 1-12
- Rodríguez, H. A. (2000). *Hidráulica experimental*. Bogotá, Colombia: Digiprint Editores.
- Ross, C. (1974). *Plant physiology laboratory manual*. Belmont, Cal.: Wadsworth.
- Sabirós, Fermín. 2000. *Cultivo de la caña de azúcar*. EUNED. Costa Rica. P. 362-364
- Saldarriaga, J. (2007). *Hidráulica de tuberías. Abastecimiento de agua, redes, riesgos*. México: Alfaomega.
- Salguero, Rony. (2011) *Diseño del control de calidad para minimizar la incidencia del envase jumbo no conforme, en el área de envasado de fábrica y plan de contingencia, en el Ingenio Pantaleón*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- SIB (2011) Sector Azucarero. En: file:///C:/Users/Roberto/Downloads/Estudio%20del%20Sector%20Azucarero,%20referido%20a%202011-06%20(2).pdf [con acceso el 12 de julio de 2016]
- Sinnott, R. K. (2005). *Chemical Engineering Design*. Oxford: Elsevier.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbott, M. M. (2007). *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química*. Cd. de México: McGraw-Hill.
- Spellman, Frank. 2009. *Water and Wastewater Treatment Plants*. 2a ed. USA: CRC Press. 813 págs.
- Stofella, P;Kahn, B. 2001. *Compost utilization in horticultural cropping systems*. USA: CRC Press.
- SugarTech. (2016, julio 8). *SugarTech*. Retrieved from <http://sugartech.com/viscosity/index.php>
- Taylor, Alison. 1989. *Study and assessment of eight yard waste composting programs across the United States*. Washington D.C: Office of Policy, Planning, and Evaluation.

- Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. (2007). *Introducción a la Microbiología*. Buenos Aires: Médica Panamericana.
- Van Horn, Mark. 1995. *Compost production and utilization, a grower's guide*. California: Fertilizer Research and Education Program California Department of food and Agriculture.
- Vega, J. C. (2014). *Fuentes de Energía, renovables y no renovables. Aplicaciones*. México: Alfaomega.
- Viejo Zubicaray, M. (2003). *Bombas. Teoría, diseño y aplicaciones*. (3a ed.). México: Limusa.
- Werner, U, U Stohr. 1989 Biogas plants in animal husbandry.. [en línea] Vieweg & Sonh. P53-61
www.textoscientificos.com/energia/biogas [consulta 16 de marzo de 2016]
- Wheelen, Thomas y Hunger, David (2013). *Administración estratégica y política de negocios*, 13ª Edición, Pearson, Colombia 2013
- Wright, F. 2001. *Distillation of Alcohol and De-Naturing*. 2a ed. Estados Unidos de América: The Distillation Grupo Inc. 293 págs.
- Zubicaray, Manuel y Fernández, Javier (2003) *Bombas: Teoría, diseño y aplicaciones*. México: Noriega Editores. 219 págs.
- Zúñiga, Roberto. 1974. *Efecto de la aplicación de cinco niveles de compost sobre las características físicas del suelo y su influencia sobre las características agronómicas de la soya*. México: Instituto tecnológico y de estudios superiores de Monterrey.

XII. ANEXOS

Anexo 1. Indicadores de proceso planta productora.

Tabla 62. Indicadores de proceso planta productora

Indicadores de proceso planta productora de etanol	Valores promedio
Azúcares fermentables	50% \pm 1%
Grados brix	85% \pm 1%
Eficiencia fermentación	83% \pm 1%
Eficiencia destilación	98.4% \pm 0.5%
Eficiencia Global	81.67% \pm 0.5%

Notas:

*Los datos anteriores brindan información de la cantidad de promedio del producto (azúcares fermentables) que puede ser utilizado para producir etanol, la concentración promedio de azúcar presente en la melaza (grados brix), la eficiencia promedio con la que se fermenta la melaza y la eficiencia promedio de extracción de etanol de la melaza (eficiencia de destilación) durante el proceso de producción de etanol.

**La eficiencia global es la eficiencia de todo el proceso de destilación de etanol de la planta, (Planta Productora de etanol, 2015)

Anexo 2. Conteo microbiano antes y después de tratamiento térmico

Tabla 63. Conteo microbiano en melaza, abril – mayo 2016.

Melaza		
Muestra	Antes (UFC/u de área)	Después (UFC/u de área)
1	8	6
2	9	5
3	9	6
4	6	5
5	5	4
6	8	6
7	8	5.5
8	7	4.5
9	7	4

Nota:

*Las colonias están indicadas en base a la unidad del área de monitor utilizado (Merck). La proporción de la melaza tratada fue 1:30, se filtró 20 mL de esta solución y se dejó incubar a 30°C durante 48 horas.

Tabla 64. Conteo microbiano en mosto, abril – mayo 2016.

Mosto		
Muestra	Antes (Col/u de área)	Después (Col/u de área)
1	9	2
2	8	2
3	8	2
4	7.5	2
5	6	1
6	6	1.5
7	5	1
8	5	1
9	6	1

Nota: Las colonias están indicadas en base a la unidad del área de monitor utilizado (Merck). La proporción del mosto tratado fue 1:30, se filtró 20 mL de esta solución y se dejó incubar a 30°C durante 48 horas.

Anexo 3. Resumen de estadística descriptiva en la reducción de colonias microbianas

Tabla 65. Estadística descriptiva para reducción de colonias microbianas en melaza, abril – mayo 2016.

Melaza		
Propiedad	% de reducción de UFC	
Media	0.305	
Error típico	0.050	
Mediana	0.343	
Desviación estándar	0.087	
Varianza de la muestra	0.008	
Coficiente de asimetría	-1.590	
Rango	0.161	
Mínimo	0.206	
Máximo	0.366	

Suma	0.914
Cuenta	3.000

Tabla 66. Estadística descriptiva para reducción de colonias microbianas en mosto, abril – mayo 2016.

Mosto	
Propiedad	% de reducción de UFC
Media	0.781
Error típico	0.013
Mediana	0.778
Moda	0.750
Desviación estándar	0.038
Varianza de la muestra	0.001
Curtosis	-1.485
Coficiente de asimetría	0.322
Rango	0.100
Mínimo	0.733
Máximo	0.833
Suma	7.028
Cuenta	9.000

Anexo 4. Datos teóricos utilizados para el dimensionamiento del intercambiador de calor.

Tabla 67. Factores de incrustación para diferentes fluidos.

Fluido	Coficiente (W/m²°C)	Factor (m²°C/W)
Agua de proceso	30,000	0.00003
Agua (suave)	15,000	0.00007
Agua (dura)	6,000	0.00017
Agua de enfriamiento (tratada)	8,000	0.00012
Agua de mar	6,000	0.00017
Aceite lubricante	6,000	0.00017
Orgánicos livianos	10,000	0.0001
Fluidos de procesos	5,000-20,000	0.0002- 0.00005

(Sinott, 2005)

Tabla 68. Coeficientes globales de transferencia de calor en distintos fluidos.

Fluido	Coeficiente (W/m²°C)	Factor (m²°C/W)
Agua de río	3,000-12,000	0.0003-0.0001
Agua de mar	1,000-3,000	0.001-0.0003
Agua de enfriamiento	3,000-6,000	0.0003- 0.00017
Condensados de vapor	1,500-5,000	0.00067- 0.0002
Vapor (libre de aceite)	4,000-10,000	0.0025-0.0001
Vapor (trazas de aceite)	2,000-5,000	0.0005-0.0002
Aire y gases industriales	5,000-10,000	0.0002-0.0001
Vapores orgánicos	5,000	0.0002
Líquidos orgánicos	5,000	0.0002
Hidrocarburos livianos	5,000	0.0002
Hidrocarburos pesados	2,000	0.0005
Orgánicos ebuliendo	2,500	0.0004
Orgánicos condensando	5,000	0.0002
Flujos para transferencia de calor	5,000	0.0002
Soluciones salinas acuosas	3,000-5,000	0.0003-0.0002

(Sinott, 2005)

Tabla 69. Tablas de vapor saturado

Temp. °C	Presión bar	Volumen específico m ³ /kg		Energía interna kJ/kg		Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg · K		Temp. °C
		Líquido sat. $v_f \times 10^3$	Vapor sat. v_g	Líquido sat. u_f	Vapor sat. u_g	Líquido sat. h_f	Vapori- zación h_{fg}	Vapor sat. h_g	Líquido sat. s_f	Vapor sat. s_g	
.01	0.00611	1.0002	206.136	0.00	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.0000	9.1562	.01
4	0.00813	1.0001	157.232	16.77	2380.9	16.78	2491.9	2508.7	0.0610	9.0514	4
5	0.00872	1.0001	147.120	20.97	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	9.0257	5
6	0.00935	1.0001	137.734	25.19	2383.6	25.20	2487.2	2512.4	0.0912	9.0003	6
8	0.01072	1.0002	120.917	33.59	2386.4	33.60	2482.5	2516.1	0.1212	8.9501	8
10	0.01228	1.0004	106.379	42.00	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.9008	10
11	0.01312	1.0004	99.857	46.20	2390.5	46.20	2475.4	2521.6	0.1658	8.8765	11
12	0.01402	1.0005	93.784	50.41	2391.9	50.41	2473.0	2523.4	0.1806	8.8524	12
13	0.01497	1.0007	88.124	54.60	2393.3	54.60	2470.7	2525.3	0.1953	8.8285	13
14	0.01598	1.0008	82.848	58.79	2394.7	58.80	2468.3	2527.1	0.2099	8.8048	14
15	0.01705	1.0009	77.926	62.99	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.7814	15
16	0.01818	1.0011	73.333	67.18	2397.4	67.19	2463.6	2530.8	0.2390	8.7582	16
17	0.01938	1.0012	69.044	71.38	2398.8	71.38	2461.2	2532.6	0.2535	8.7351	17
18	0.02064	1.0014	65.038	75.57	2400.2	75.58	2458.8	2534.4	0.2679	8.7123	18
19	0.02198	1.0016	61.293	79.76	2401.6	79.77	2456.5	2536.2	0.2823	8.6897	19
20	0.02339	1.0018	57.791	83.95	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.6672	20
21	0.02487	1.0020	54.514	88.14	2404.3	88.14	2451.8	2539.9	0.3109	8.6450	21
22	0.02645	1.0022	51.447	92.32	2405.7	92.33	2449.4	2541.7	0.3251	8.6229	22
23	0.02810	1.0024	48.574	96.51	2407.0	96.52	2447.0	2543.5	0.3393	8.6011	23
24	0.02985	1.0027	45.883	100.70	2408.4	100.70	2444.7	2545.4	0.3534	8.5794	24
25	0.03169	1.0029	43.360	104.88	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.5580	25
26	0.03363	1.0032	40.994	109.06	2411.1	109.07	2439.9	2549.0	0.3814	8.5367	26
27	0.03567	1.0035	38.774	113.25	2412.5	113.25	2437.6	2550.8	0.3954	8.5156	27
28	0.03782	1.0037	36.690	117.42	2413.9	117.43	2435.2	2552.6	0.4093	8.4946	28
29	0.04008	1.0040	34.733	121.60	2415.2	121.61	2432.8	2554.5	0.4231	8.4739	29
30	0.04246	1.0043	32.894	125.78	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.4533	30
31	0.04496	1.0046	31.165	129.96	2418.0	129.97	2428.1	2558.1	0.4507	8.4329	31
32	0.04759	1.0050	29.540	134.14	2419.3	134.15	2425.7	2559.9	0.4644	8.4127	32
33	0.05034	1.0053	28.011	138.32	2420.7	138.33	2423.4	2561.7	0.4781	8.3927	33
34	0.05324	1.0056	26.571	142.50	2422.0	142.50	2421.0	2563.5	0.4917	8.3728	34
35	0.05628	1.0060	25.216	146.67	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	8.3531	35
36	0.05947	1.0063	23.940	150.85	2424.7	150.86	2416.2	2567.1	0.5188	8.3336	36
38	0.06632	1.0071	21.602	159.20	2427.4	159.21	2411.5	2570.7	0.5458	8.2950	38
40	0.07384	1.0078	19.523	167.56	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	8.2570	40
45	0.09593	1.0099	15.258	188.44	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	8.1648	45

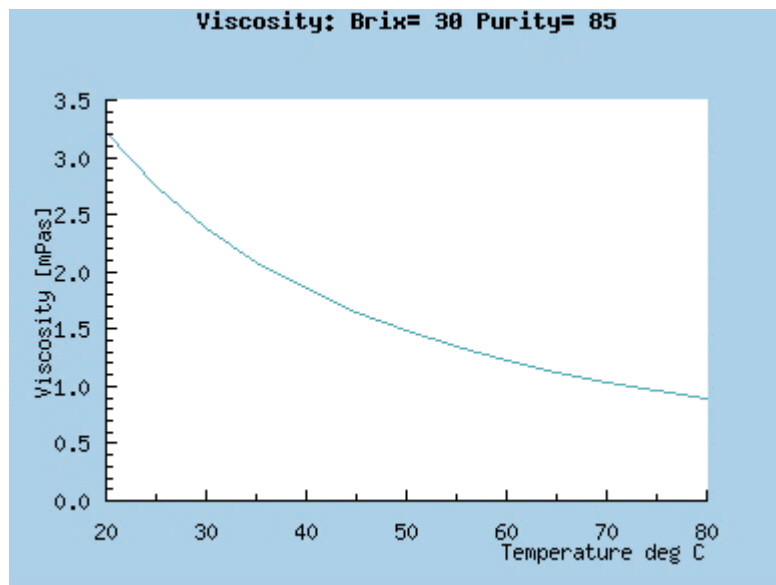
(Çengel & Ghajar, 2011)

Continuación Tabla 69

Temp. °C	Presión bar	Volumen específico m ³ /kg		Energía interna kJ/kg		Entalpía kJ/kg			Entropía kJ/kg · K		Temp. °C
		Líquido sat. $v_f \times 10^3$	Vapor sat. v_g	Líquido sat. u_f	Vapor sat. u_g	Líquido sat. h_f	Vapori- zación h_{fg}	Vapor sat. h_g	Líquido sat. s_f	Vapor sat. s_g	
50	.1235	1.0121	12.032	209.32	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	.7038	8.0763	50
55	.1576	1.0146	9.568	230.21	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	.7679	7.9913	55
60	.1994	1.0172	7.671	251.11	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	.8312	7.9096	60
65	.2503	1.0199	6.197	272.02	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	.8935	7.8310	65
70	.3119	1.0228	5.042	292.95	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	.9549	7.7553	70
75	.3858	1.0259	4.131	313.90	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	7.6824	75
80	.4739	1.0291	3.407	334.86	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	7.6122	80
85	.5783	1.0325	2.828	355.84	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	7.5445	85
90	.7014	1.0360	2.361	376.85	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	7.4791	90
95	.8455	1.0397	1.982	397.88	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	7.4159	95
100	1.014	1.0435	1.673	418.94	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	7.3549	100
110	1.433	1.0516	1.210	461.14	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	7.2387	110
120	1.985	1.0603	0.8919	503.50	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	7.1296	120
130	2.701	1.0697	0.6685	546.02	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	7.0269	130
140	3.613	1.0797	0.5089	588.74	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	6.9299	140
150	4.758	1.0905	0.3928	631.68	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	6.8379	150
160	6.178	1.1020	0.3071	674.86	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	6.7502	160
170	7.917	1.1143	0.2428	718.33	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	6.6663	170
180	10.02	1.1274	0.1941	762.09	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	6.5857	180
190	12.54	1.1414	0.1565	806.19	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	6.5079	190
200	15.54	1.1565	0.1274	850.65	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	6.4323	200
210	19.06	1.1726	0.1044	895.53	2599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4248	6.3585	210
220	23.18	1.1900	0.08619	940.87	2602.4	943.62	1858.5	2802.1	2.5178	6.2861	220
230	27.95	1.2088	0.07158	986.74	2603.9	990.12	1813.8	2804.0	2.6099	6.2146	230
240	33.44	1.2291	0.05976	1033.2	2604.0	1037.3	1766.5	2803.8	2.7015	6.1437	240
250	39.73	1.2512	0.05013	1080.4	2602.4	1085.4	1716.2	2801.5	2.7927	6.0730	250
260	46.88	1.2755	0.04221	1128.4	2599.0	1134.4	1662.5	2796.6	2.8838	6.0019	260
270	54.99	1.3023	0.03564	1177.4	2593.7	1184.5	1605.2	2789.7	2.9751	5.9301	270
280	64.12	1.3321	0.03017	1227.5	2586.1	1236.0	1543.6	2779.6	3.0668	5.8571	280
290	74.36	1.3656	0.02557	1278.9	2576.0	1289.1	1477.1	2766.2	3.1594	5.7821	290
300	85.81	1.4036	0.02167	1332.0	2563.0	1344.0	1404.9	2749.0	3.2534	5.7045	300
320	112.7	1.4988	0.01549	1444.6	2525.5	1461.5	1238.6	2700.1	3.4480	5.5362	320
340	145.9	1.6379	0.01080	1570.3	2464.6	1594.2	1027.9	2622.0	3.6594	5.3357	340
360	186.5	1.8925	0.006945	1725.2	2351.5	1760.5	720.5	2481.0	3.9147	5.0526	360
374.14	220.9	3.155	0.003155	2029.6	2029.6	2099.3	0	2099.3	4.4298	4.4298	374.14

(Çengel & Ghajar, 2011)

Figura 44. Viscosidad de mosto en el proceso de destilación de etanol a diferentes temperaturas



(SugarTech, 2016)

Anexo 5. Cálculo de muestra

En el dimensionamiento de los intercambiadores de calor es necesario calcular la demanda térmica del sistema.

$$Q = m * C * (T_f - T_o)$$

$$Q = 171000 \frac{kg}{h} * 3.43 \frac{kJ}{kgK} * (343.15 - 308.15)K = 6559.41kW$$

La capacidad calorífica del mosto fue calculada con la ecuación establecida por Cheng, en el “Manual del Azúcar”, conociendo los grados brix de la solución.

$$C = 1 - 0.006B$$

$$C = 1 - 0.006(30^\circ Brix) = 0.82 \frac{cal}{kg^\circ C} = 3.43 \frac{kJ}{kg^\circ C}$$

El flujo de vapor utilizado se calculó comparando la entalpía de vaporización de este a 20 psi de la siguiente manera

$$\dot{Q} = \dot{m}\Delta H_{vap}$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{\Delta H_{vap}} = \frac{6559.41 kW}{(2714.47 - 529.19) kJ/kg} = 10806 \frac{kg}{h} vapor$$

El flujo Q es el requerido por el mosto para llegar a los 70°C, la entalpía utilizada es condensando vapor a 20 psi, se obtuvo utilizando tablas de vapor (ver Figura 15)

El área requerida de transferencia se obtuvo de la siguiente manera

$$\dot{Q} = UA\Delta T_m$$

$$A = \frac{6559.41 kW * 1000 \frac{W}{kW}}{250 \frac{W}{m^2 K} * 0.985 * 132.70 K} = 200.73 m^2$$

El flujo de calor utilizado es el calculado con anterioridad, el coeficiente global se estimó tomando en cuenta que para sistemas de transferencia donde el flujo caliente es vapor de agua y el flujo frío es un compuesto orgánico, el coeficiente estaría dentro del rango de 200-500 W/m²K (Sinott, 2005) la diferencia logarítmica fue calculada de la manera descrita en la figura 7 y con la expresión

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

Donde ΔT_1 es la diferencia de temperatura en la entrada de vapor y la salida del mosto y ΔT_2 la diferencia entre la entrada del mosto y salida del vapor (Çengel & Ghajar, 2011).

Con el área requerida por el proceso se consultó el catálogo de la empresa Alfa Laval, llamado “Heating and Cooling Solutions from Alfa Laval”, comparando capacidades de diferentes modelos, se obtuvo características para cada intercambiador necesario, permitiendo así, calcular el número de placas con la Ecuación 19

$$A_{TOT} = N_{placas} A_{placas}$$

$$N_{placas} = \frac{200.73 m^2}{(2.085 m * 0.888 m)} = 105$$

Con estas descripciones de diseño del intercambiador, se realizó la determinación del coeficiente global de transferencia ajustándolo a las condiciones de los flujos.

El coeficiente se calcula con la siguiente ecuación.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{hot}} + \frac{1}{h_{cold}} + \frac{1}{h_f} + \frac{d}{k}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{5062.20 \frac{W}{m^2K}} + \frac{1}{281.60 \frac{W}{m^2K}} + \frac{1}{10000 \frac{W}{m^2K}} + \frac{0.003m}{21 \frac{W}{mK}} = 0.00384 \frac{m^2K}{W}$$

$$U = 259.83 \frac{W}{m^2K}$$

El valor de h_f se obtiene de la figura 13 como el factor de incrustación para dicho proceso. La relación d/k se obtiene de la conductividad térmica del material y el grosor de la pared, los valores h son las resistencias de cada fluido, calculadas por convección.

El coeficiente de convección de transferencia de calor se determinó para cada flujo de la siguiente manera.

$$Nu = \frac{hL}{K}$$

$$h_A = \frac{0.33 \frac{W}{mK} * 92.04}{0.006 m} = 5062.20 \frac{W}{m^2K}$$

Donde k es la conductividad térmica de dicho fluido (en este caso mosto) Nu , el número de Nusselt y L el diámetro equivalente, esto realizó tanto con vapor como con el agua de enfriamiento.

EL número de Nusselt se determina con la ecuación

$$Nu = 0.26Re^{0.65}Pr^{0.4}$$

$$Nu = 0.26(1832.74^{0.65})(11.75^{0.4}) = 92.04$$

Re es el número de Reynolds y Pr el de Prandtl, calculados de la siguiente manera

$$Re = \frac{\rho * d * v}{\mu}$$

$$Re = \frac{1140 \frac{m^3}{kg} * 0.303 \frac{m}{s} * 0.006 m}{1.13 mPa * s * \left(\frac{1 Pa}{1000 mPa}\right)} = 1832.74$$

Donde ρ es la densidad, d el diámetro y v la velocidad, esta última, fue calculada de la siguiente manera

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho * b * W * \frac{\#placas - 1}{2}}$$

$$v = \frac{171000 \frac{kg}{h} * \left(\frac{1h}{3600s}\right)}{1140 \frac{kg}{m^3} * 51.66 + \frac{1}{0.0027m}} = 0.303 \frac{m}{s}$$

El número de Prandtl fue calculado

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k}$$

$$Pr = \frac{3.43 \frac{kJ}{kgK} * 1.13 mPa * s}{0.33 \frac{W}{mK}} = 11.75$$

Donde C_p es la capacidad calorífica del mosto, k su conductividad obtenida del “Manual del Azúcar de Cheng.

Determinando un nuevo valor de U , se debe iterar hasta que los valores iniciales y el valor de U calculado convergen al valor real de U con una diferencia de una magnitud de $1 * 10^{-9}$. De esta manera, se obtiene un valor U más cercano al real y específico a los flujos y fluidos utilizados. Esto se logra cambiando el modelo y número de placas del intercambiador utilizado en la operación.

Cómo se mencionó con anterioridad, la caída de presión en un intercambiador depende de la caída dentro de las placas, la caída por contracción y expansión en los puertos de los platos

$$\Delta P = \Delta P_p + \Delta P_{pt} = 1303.45 \frac{N}{m^2} + 9149.26 \frac{N}{m^2} = 10452.72 \frac{N}{m^2} = 0.1045 bar$$

La caída de presión en las placas se estima con la ecuación 20

$$\Delta P = 8j_f(L_d/d_e) \frac{\rho u_p^2}{2}$$

$$\Delta P = 8 * 0.063 * \left(\frac{2.085m}{0.006m}\right) * \frac{\left(1140 \frac{kg}{m^3} * \left(0.303 \frac{m}{s}\right)^2\right)}{2} = 9149.26 \frac{N}{m^2}$$

Donde ΔP es la caída de presión, j_f , el factor de fricción; l , la longitud recorrida, d , el diámetro equivalente y u la velocidad

El factor de fricción fue calculado usando la Ecuación 21

$$j_f = 0.6Re^{-0.3}$$

$$j_f = 0.6 * 1832.74^{-0.3} = 0.063$$

La caída de presión ocasionada por la expansión y compresión en el flujo fue calculada por la Ecuación 22

$$\Delta P = 1.3 \frac{\rho u^2}{2} N_p$$
$$\Delta P_{pt} = 1.3 * \frac{\left(1140 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left(1.33 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2\right)}{2} = 1303.45 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Manteniendo la nomenclatura descrita con anterioridad.

Estos cálculos se realizaron para dimensionar ambos intercambiadores y en diferentes condiciones de uso.

Anexo 6. Condiciones de torres de enfriamiento

Figura 45. Condiciones del agua de la torre de enfriamiento de tipo CT-1401

Hora	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de salida (°C)	% de nivel de pileta
02:00	29.53	28.99	94%
05:00	29.73	28.91	52%
10:00	30.53	28.84	100%
12:00	32.27	29.35	95%
14:00	30.12	28.83	99%
16:00	33.47	31.86	93%
18:00	32.47	29.17	96%
23:00	29.67	28.97	90%

(Piril, y otros, 2015)

Figura 46. Condiciones del agua de la torre de enfriamiento de tipo CT-1421

Hora	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de salida (°C)	% de nivel de pileta
02:00	27.40	26.93	99%
05:00	29.60	27.50	100%
10:00	32.60	29.11	95%
12:00	29.80	28.95	100%
14:00	28.50	27.63	100%
16:00	29.27	28.57	86%
18:00	28.20	27.60	100%
23:00	28.20	27.83	95%

(Piril, y otros, 2015)

Figura 47. Condiciones del agua de la torre CT-3031

Hora	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de salida (°C)	% de nivel de pileta
02:00	28.52	26.21	78%
05:00	28.43	25.90	85%
10:00	28.90	26.07	91%
12:00	28.63	25.85	87%
14:00	32.07	28.28	90%
16:00	26.76	26.54	86%
18:00	26.76	26.54	86%
23:00	27.42	24.98	88%

(Piril, y otros, 2015)

Figura 48. Condiciones del agua de la torre de enfriamiento de tipo CT-3021

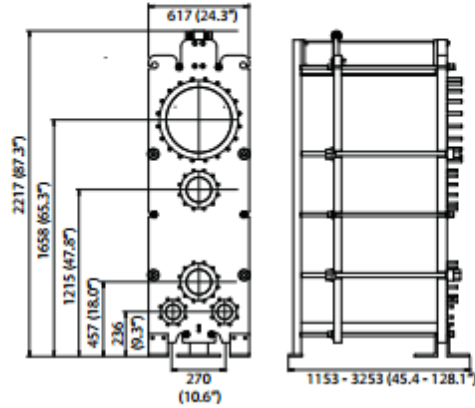
Hora	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de salida (°C)	% de nivel de pileta
02:00	30.26	26.02	93%
05:00	30.54	25.93	85%
10:00	30.60	26.50	75%
12:00	31.60	26.47	91%
14:00	29.32	26.57	72%
16:00	33.03	27.46	88%
18:00	33.00	27.46	88%
23:00	30.26	26.05	93%

(Piril, y otros, 2015)

Anexo 7. Fichas técnicas de equipo recomendado

Intercambiador de calor Alfa Laval AlfaCond600

Dimensional drawing
Measurements mm (inches)



Technical data

Plates

Name	Type	Free channel, mm (inches)
AC400-W	Semi-welded	11 / 3 (0.43 / 0.12)

Materials

Heat transfer plates	316/316L Ti
Field gaskets	NBR, EPDM
Ring gaskets	NBR, EPDM, FKM
Flange connections	Metal lined: stainless steel, titanium
Frame and pressure plate	Carbon steel, epoxy painted

Operational data

Frame, PV-code	Max. design pressure ¹ (barg/psig)	Max. design temperature (°C/°F)
FL, pvcALS	6.0/87 (6.0/87)	160/320 (160/320)
FL, ASME	6.2/90 (6.2/90)	160/320 (160/320)
FL, PED	6.0/87 (6.0/87)	160/320 (160/320)

1. Values for Vapour channel (Cooling media channel)

Extended pressure and temperature rating may be available on request.

Connections

Vapour inlet	EN1092-1 DN400 PN10 ASME B16.5 Class 150 NPS 16 JIS B2220 10K 400A
Condensate outlets	EN1092-1 DN100 PN10 ASME B16.5 Class 150 NPS 4 JIS B2220 10K 100A
Cooling media inlet and outlet	EN1092-1 DN150 PN10 ASME B16.5 Class 150 NPS 6 JIS B2220 10K 150A

(Alfa

Laval,

2013)

Intercambiador de calor Alfa Laval HPE M30

STANDARD MATERIALS

Frame plate

Mild steel, Epoxy painted

Nozzles

Carbon steel

Metal lined: Stainless steel, Titanium, Alloy C276

Plates

Stainless steel Alloy 304, Alloy 316, Alloy C276, Alloy 254

SMO or Titanium

Other grades and material available on request.

Gaskets

Nitrile, EPDM or Viton

Other grades and material available on request.

TECHNICAL DATA

Mechanical design pressure (g) / temperature

FM PED, pvcALSTM 1.0 MPa / 190°C

FG PED, pvcALSTM 1.6 MPa / 180°C

FG ASME 150 psig / 320°F

FD PED, pvcALSTM 2.5 MPa / 190°C

FD ASME 300 psig / 320°F

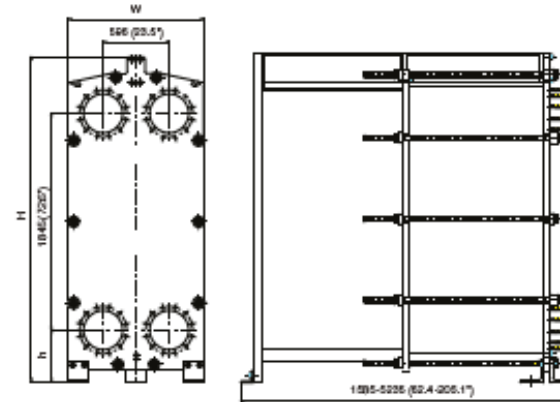
Connections

	Size:	
FM pvcALSTM	300/350 mm	DIN PN10, ASME Cl. 150, JIS 10K
FM PED	300/350 mm	DIN PN10, ASME Cl. 150
FG pvcALSTM	300/350 mm	DIN PN16, ASME Cl. 150, JIS 16K
FG PED	300/350 mm	DIN PN16, ASME Cl. 150
FG ASME	12"/14"	ASME Cl. 150
FD pvcALSTM	300/350 mm	DIN PN25, ASME Cl. 150/300, JIS 20K
FD PED	300/350 mm	DIN PN25, ASME Cl. 150/300
FD ASME	12"/14"	ASME Cl. 300

Maximum heat transfer surface

1400 m² (14980 sq. ft)

Dimensions



Measurements mm (inch)

Type	H*	W	h
M30-FM	2882 (113.5")	1150 (45.3")	470 (18.5")
M30-FG	2882 (113.5")	1170 (46.1")	470 (18.5")
M30-FD	2920 (115")	1190 (46.9")	506 (19.9")

* +200 mm (7.9") for carrying bars > 3600 mm (141.7") The number of tightening bolts may vary depending on the pressure rating.

Particulars required for quotation

- Flow rates or heat load
- Temperature program
- Physical properties of liquids in question (if not water)
- Desired working pressure
- Maximum permitted pressure drop
- Available steam pressure

(Alfa Laval, 2013)

Anexo 8. Manual 55-Plus MONITOR F-type Filter Unit, marca Millipore ®

MILLIPORE

55-PLUS™ MONITOR
F-Type Filter Unit
 • Single Use Only

MHBG 055 00 (50/PK), Black grid (0.45µm)

MHWG 055 00 (50/pk), White grid (0.45µm)

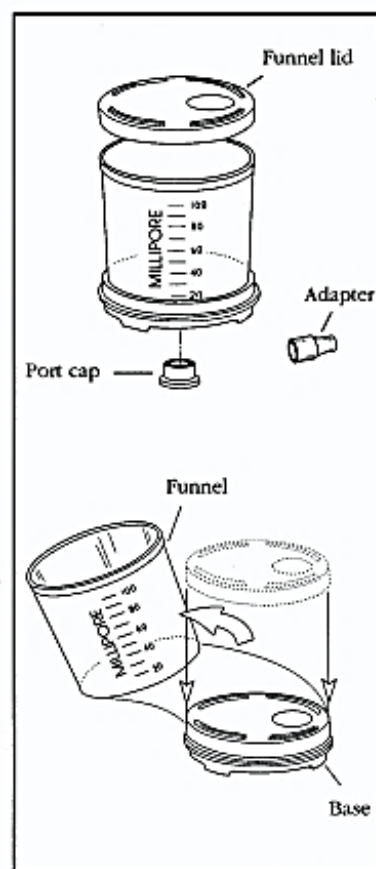
MABG 055 00 (50/pk), Black grid (0.8µm)

The 55-Plus Monitor is a disposable filtration unit designed to recover microorganisms in beverages and in-process water. You can filter sample volumes up to 100 ml and convert the disassembled unit to a culture dish. The 55-Plus Monitor consists of a:

- base
- bottom port hole and cap
- funnel and lid
- adapter

The base consists of a gridded MF-type membrane bonded to an AP10 absorbent pad. The port design allows air to escape, which prevents the membrane from bowing when nutrient medium is introduced. The plastic adapter is used to make a connection between the 55-Plus Monitor and a No. 8, one hole (3/8" I.D.) neoprene stopper. A graduated, 110mL funnel fits onto the base and has a funnel lid, with a built-in magnifying "glass" to aid in the examination of discrete, pinpoint colonies.

The 55-Plus Monitor has been exposed to gamma irradiation to reduce its ambient microbial load.

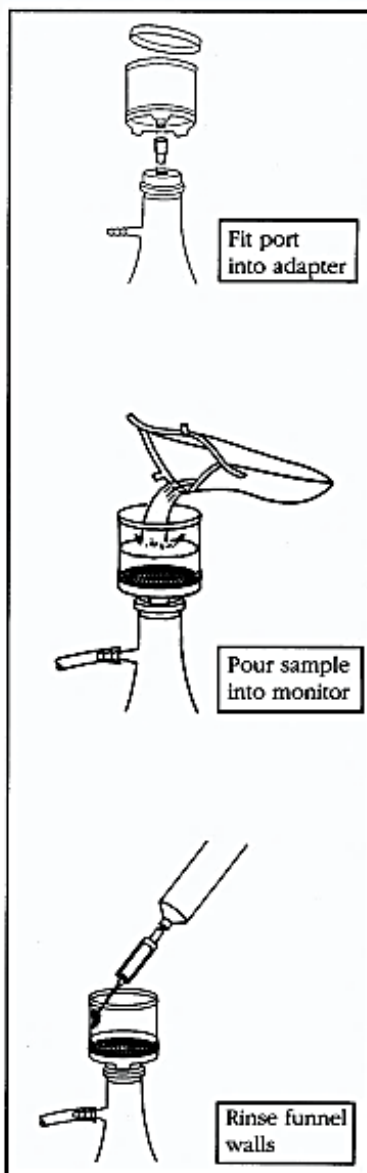
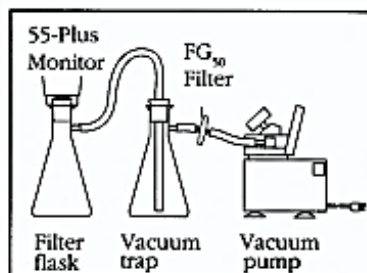


To Filter the Sample

1. Connect a 1-liter filter flask to a 1-liter vacuum trap flask with a short piece of vacuum tubing. The tubing is available in 4.5 in. length and can be cut as needed. Make certain both flasks are fitted with a No. 8, one hole (3/8" I.D.) neoprene stopper.
2. Use a short piece of silicone tubing to connect the vacuum trap to a Millex®-FG₅₀ Filter. Connect the Millex-FG₅₀ Filter to a vacuum/pressure pump (or other vacuum source) with a second, short piece of tubing. Plug the pump into a grounded, electrical outlet.
3. Remove a monitor from the package. Fit the port into the adapter, then fit the adapter into the stopper on the filter flask.

Note: If you are not using the plastic adapter, fit the port into the stopper on the filter flask; use a new stopper to ensure a tight fit.

4. Remove the funnel lid (do not touch the inner surfaces) and pour the sample into the monitor.
5. Turn on the vacuum and draw the contents through the filter. If the sample volume is greater than the funnel volume, add the balance of the sample before the sample is completely drawn through the filter, then completely filter through.
6. Turn off the vacuum and then rinse the inside walls of the funnel with 20 mL to 30 mL of sterile buffer solution (pH 7.2). Allow the rinse to pool on the membrane.
7. Turn on the vacuum and draw the rinse solution, including any water left on the outside edge of the filter, completely through. Make certain no excess liquid lies on the membrane surface.
8. Turn off the vacuum.



To Add the Media

1. Twist the ampoule cap until the seal is broken (a one-quarter to one half turn); discard the cap.
2. Add the media to the 55-Plus Monitor by either of the following methods:
 - By inverting the monitor and expelling the medium into the base through the bottom port, onto the absorbent pad and membrane assembly.

OR

 - By adding the medium directly into the top of the filtration funnel and then applying vacuum to absorb the medium into the absorbent pad.

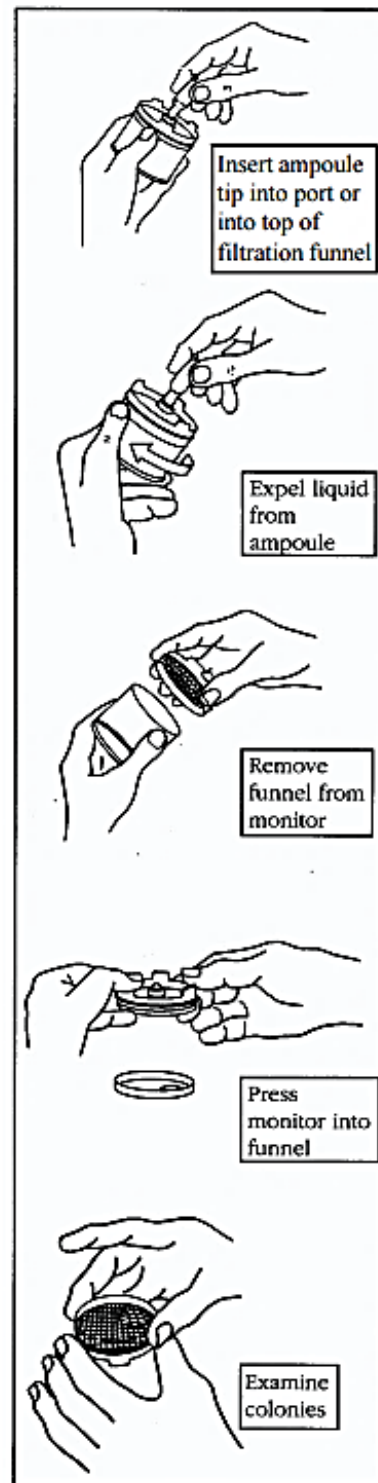
To Culture the Sample

1. Remove funnel from the monitor base and set aside.
2. Invert the funnel lid and place it on the laboratory bench.
3. Hold the monitor at the edges only and press it into the funnel lid on the bench. Do not press the center of the monitor. Air and one to three drops of media may overflow the port and can be absorbed with a paper wick.
4. Put the cap on the port; press down firmly.
5. Mark the outside of the dish and place the inverted monitor (cap side up) into an incubator for the appropriate time and temperature as shown in the table below.

Filter Type	Test	Temperature	Incubation Time
HA	Total Count	28 °C to 32 °C	48 to 96 hrs
HA, AA	Yeast/Mold	30 °C to 32 °C	48 to 96 hrs
HA	Coliform	35 °C	22 to 24 hrs

6. Examine the colonies through the magnifying glass on the cover. Rotate the cover to scan the entire membrane surface. The filter may also be examined by removing the cover.

Note: When counting total bacteria, if there are many colonies, the number in 10 randomly located grid squares can be used to estimate the total number on the filter surface. Multiply the number obtained from the 10 random squares by 21.



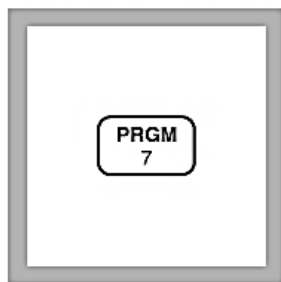
Anexo 9. Procedimiento para determinación de nitratos, utilizando el kit marca Hach ®

Method 8039

NITRATE, High Range (0 to 30.0 mg/L NO₃⁻-N) For water, wastewater, and seawater*

Cadmium Reduction Method (Using Powder Pillows or AccuVac Ampuls)

Using Powder Pillows



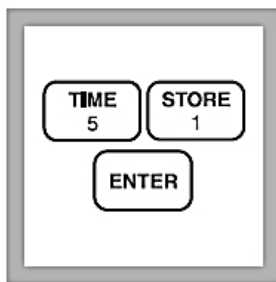
1. Enter the stored program number for high range nitrate nitrogen (NO₃⁻-N) powder pillows.

Press: **PRGM**

The display will show:

PRGM ?

Note: For most accurate results, perform a Reagent Blank Correction using deionized water (see Section 1).



2. Press: **51 ENTER**

The display will show mg/L, NO₃-N and the **ZERO** icon.

*Note: For alternate forms (NO₃), press the **CONC** key.*



3. Fill a sample cell with 10 mL of sample.

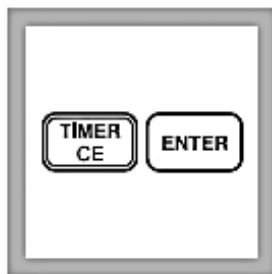
Note: Adjust the pH of stored samples before analysis.



4. Add the contents of one NitraVer 5 Nitrate Reagent Powder Pillow to the sample cell (the prepared sample). Cap the sample cell.

Note: It is important to remove all of the powder from the foil pillow. Tap the pillow until no more powder pours out.

NITRATE, High Range, continued



5. Press:
TIMER ENTER

A one-minute reaction period will begin. Shake the sample cell vigorously until the timer beeps.

Note: It is important to shake the cell vigorously. Shaking time and technique influence color development. For most accurate results, do successive tests on a standard solution and adjust the shaking time to obtain the correct result.



6. After the timer beeps, the display will show:
5:00 TIMER 2

Press: ENTER

A five-minute reaction period will begin.

Note: A deposit will remain after the reagent dissolves and will not affect test results.

Note: An amber color will develop if nitrate nitrogen is present.



7. Fill another cell with 10 mL of sample (the blank). Wipe off any fingerprints or liquid.



8. Place the blank into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.



9. When the timer beeps, press ZERO.

The cursor will move to the right, then the display will show:

0.0 mg/L NO₃-N

Note: If Reagent Blank Correction is on, the display may flash "limit". See Section 1.



10. Place the prepared sample into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.



11. Press: READ

The cursor will move to the right, then the result in mg/L NO₃-N (or alternate form) will be displayed.

Note: Use of the Standard Adjust feature for each new lot of reagent is highly recommended. See Accuracy Check.

Note: Rinse the sample cell immediately after use to remove all cadmium particles. Save the spent sample for proper hazardous waste disposal for cadmium.

Anexo 10. Procedimiento para la determinación de fosfatos, utilizando el kit marca Hach ®

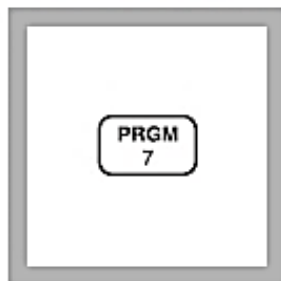
Method 8048

PHOSPHORUS, REACTIVE (0 to 2.50 mg/L PO₄³⁻) For water, wastewater, seawater

(Also called Orthophosphate) PhosVer 3 (Ascorbic Acid) Method*

(Powder Pillows or AccuVac Ampuls) USEPA Accepted for wastewater analysis reporting**

Using Powder Pillows



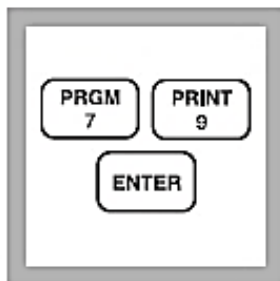
1. Enter the stored program number for reactive phosphorus, ascorbic acid method.

Press: PRGM

The display will show:

PRGM ?

Note: For most accurate results, perform a Reagent Blank Correction using deionized water (see Section 1).



2. Press: 79 ENTER

The display will show mg/L, PO₄ and the ZERO icon.

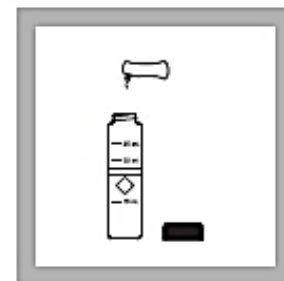
Note: For alternate forms (P, P₂O₅), press the CONC key.



3. Fill a sample cell with 10 mL of sample.

Note: For samples with extreme pH, see Interferences following these steps.

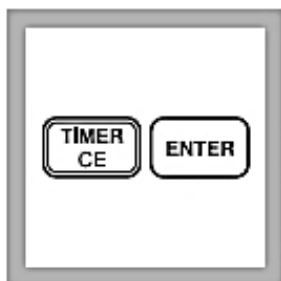
Note: Clean glassware with 1:1 HCl. Rinse again with deionized water. Do not use detergents containing phosphates to clean glassware.



4. Add the contents of one PhosVer 3 Phosphate Powder Pillow for 10-mL sample to the cell (the prepared sample). Shake for 15 seconds.

Note: A blue color will form if phosphate is present.

PHOSPHORUS, REACTIVE, continued



5. Press:

TIMER ENTER

A two-minute reaction period will begin. Perform Steps 6-8 during this period.

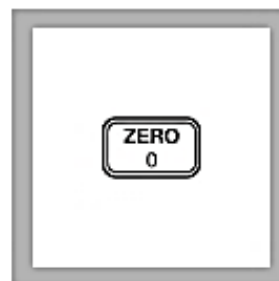
Note: If the acid-persulfate digestion was used, an 8-10 minute reaction period is required.



6. Fill another sample cell with 10 mL of sample (the blank).



7. Place the blank into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.



8. Press: **ZERO**

The cursor will move to the right, then the display will show:

0.00 mg/L PO₄

Note: If Reagent Blank Correction is on, the display may flash "limit". See Section 1.



9. After the timer beeps, place the prepared sample into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.



10. Press: **READ**

The cursor will move to the right, then the result in mg/L phosphate (PO₄³⁻) will be displayed.

Note: Standard Adjust may be performed using a 2.0-mg/L PO₄³⁻-standard; see Section 1.

Anexo 11. Procedimiento para la determinación de sulfatos, utilizando el kit marca Hach ®

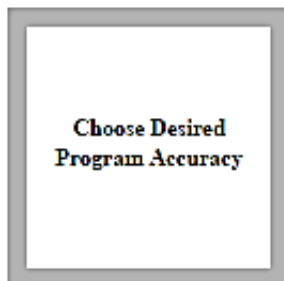
Method 8051

SULFATE (0 to 70 mg/L)

For water, wastewater, and seawater

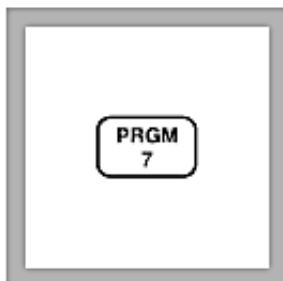
SulfaVer 4 Method^{*} (Powder Pillows or AccuVac Ampuls); USEPA accepted for reporting wastewater analysis^{**}

Using Powder Pillows

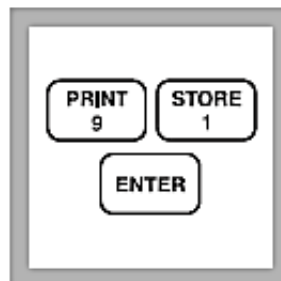


1. A User-Entered Calibration is necessary to obtain the most accurate results. See the *User Calibration* section at the back of this procedure. Program 91 can be used for process control or applications where a high degree of accuracy is not needed.

Note: The nature of turbidimetric tests and reagent lot variation requires user calibration for best results.



2. Enter the stored program number for sulfate (SO_4).
Press: **PRGM**
The display will show:
PRGM ?



3. Press: **91 ENTER** or the program number selected for a user-entered calibration.
The display will show **mg/L, SO4** and the **ZERO** icon.



4. Fill a clean sample cell with 10 mL of sample.

Note: Filter highly turbid or colored samples. Use filtered sample in this step and as the blank.

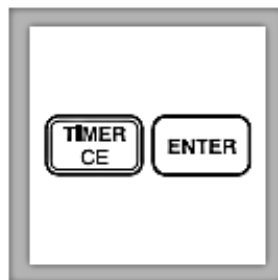
SULFATE, continued



5. Add the contents of one SulfaVer 4 Sulfate Reagent Powder Pillow to the sample cell (the prepared sample). Cap the cell and invert several times to mix.

Note: A white turbidity will develop if sulfate is present in the sample.

Note: Accuracy is not affected by undissolved powder.



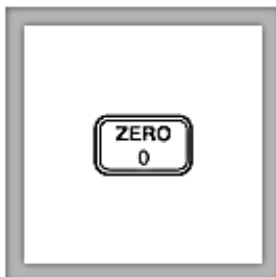
6. Press: **TIMER ENTER**
A 5-minute reaction period will begin.
Allow the cell to stand undisturbed.



7. After the timer beeps, fill a second sample cell with 10 mL of sample (the blank).



8. Place the blank into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.



9. Press: **ZERO**
The cursor will move to the right, then the display will show:
0 mg/L SO₄



10. Within five minutes after the timer beeps, place the prepared sample into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.



11. Press: **READ**
The cursor will move to the right, then the result in mg/L sulfate will be displayed.
Note: If Program 91 is used, use of the Standard Adjust is highly recommended. See Accuracy Check.
Note: Clean the sample cells with soap and a brush.

Anexo 12. Procedimiento para determinación de cloro libre, utilizando kit marca Hach ®

Method 8021

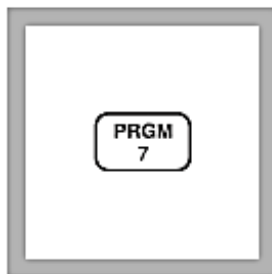
CHLORINE, FREE (0 to 2.00 mg/L)

For water, wastewater, and seawater

DPD Method (Powder Pillows or AccuVac Ampuls) USEPA accepted for reporting wastewater and drinking water analyses*

Note: This product has not been evaluated to test for chlorine and chloramines in medical applications in the United States.

Using Powder Pillows



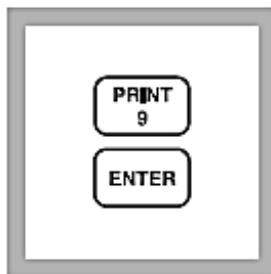
1. Enter the stored program number for free and total chlorine (Cl_2) powder pillows.

Press: PRGM

The display will show:

PRGM ?

Note: For most accurate results, perform a Reagent Blank Correction using deionized water (see Section 1).



2. Press: 9 ENTER
The display will show **mg/L, Cl_2** and the **ZERO** icon.



3. Fill a sample cell with 10 mL of sample (the blank).

Note: Samples must be analyzed immediately and cannot be preserved for later analysis.

Note: The SwifTest Dispenser for Free Chlorine can be used in place of the powder pillows in step 7.



4. Place the blank into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.

CHLORINE, FREE, continued



5. Press: ZERO

The cursor will move to the right, then the display will show:

0.00 mg/L Cl₂

Note: If Reagent Blank Correction is on, the display may flash "limit". See Section 1.



6. Fill another cell with 10 mL of sample.



7. Add the contents of one DPD Free Chlorine Powder Pillow to the sample cell (the prepared sample). Cap the cell and swirl vigorously to dissolve the powder.

Note: A pink color will develop if free chlorine is present.



8. Immediately place the prepared sample into the cell holder. Tightly cover the sample cell with the instrument cap.

Note: Perform Step 9 within one minute of reagent addition.



9. Press: READ

The cursor will move to the right, then the result in mg/L chlorine will be displayed.

Note: Standard Adjust may be performed using a prepared standard (see Section 1).

Note: If the sample temporarily turns yellow after reagent addition, or the display flashes "limit", it is due to high chlorine levels. Dilute a fresh sample and repeat the test. A slight loss of chlorine may occur during dilution. Multiply the result by the dilution factor; see Section 1. Or, use the High Range Free Chlorine test, program #8.

Anexo 13. Procedimiento de calibración de potenciómetro marca Hach ®

3.3 pH Calibration

Hach recommends a daily two- or three-point calibration using buffers that bracket the sample pH. Store and compare the daily slope values to verify that the electrode is working properly.

3.3.1 Performing a Calibration Using Automatically Recognized Buffers

1. Prepare two or three pH buffers according to the electrode instruction manual. Choose from 1.68, 4.01, 7.00 (or 6.86), 10.01, and 12.45 pH buffers.

Note: Use a 6.86 or 7.0 pH buffer for the mid-range buffer. To view or change the setting for the mid-range buffer see Section 3.2.

2. Turn the instrument on. From the pH Reading mode, press CAL. CAL and flashing ? will appear in the upper display area, along with Standard and 1.
3. Place the pH electrode in one of the buffers.
4. Press READ. The instrument will automatically recognize the calibration buffer value. The temperature and pH values will be updated until a stable reading is reached.

Note: The pH values for the buffers are given for 25 °C. If the calibration buffer temperature is not 25 °C, the pH values displayed for the buffers will reflect the correct pH value for the calibration buffer temperature.

Note: If the meter is measuring in pH mode, it automatically moves to the next calibration step when the reading stabilizes (indicated by three beeps). If measuring in mV mode, the meter beeps three times when the reading stabilizes. Press ENTER to accept the reading.

5. When the reading has stabilized or been accepted, the standard number will change to 2.
6. Remove the probe from the first buffer and rinse with deionized water. Place the probe in the second buffer.
7. Press READ. The temperature and pH values will be updated until a stable reading is reached.

SECTION 3, continued

8. When the reading has stabilized or been accepted, the standard number will change to 3. (To accept this calibration after two points, press EXIT. Press ENTER to accept the calibration or EXIT to cancel the calibration without saving it.)
9. Remove the probe from the second buffer and rinse with deionized water. Place the probe in the third buffer.
10. Press READ. The temperature and pH values will be updated until a stable reading is reached.
11. When the reading has stabilized or been accepted, the slope value and the Store and ? icons will appear.
12. To save the calibration and return to the reading mode, press ENTER. To exit the calibration without saving it and return to the reading mode, press EXIT.

Anexo 14. Procedimiento para determinación de dureza total, utilizando kit marca Merck®

1.08047.0001

MColorTest™ Test Dureza total

1. Definición

La dureza (dureza total) de un agua está condicionada por su contenido en sales de los metales alcalinotérreos calcio, magnesio, estroncio y bario ("formadores de dureza"). Como en el agua el estroncio y el bario en general solamente se encuentran en trazas, se define la dureza como el contenido de un agua en iones calcio, Ca^{2+} , e iones magnesio, Mg^{2+} ("iones de dureza"). Es usual que la indicación de la dureza del agua se refiera solamente al calcio, esto es, que también el contenido en iones magnesio se exprese como contenido en calcio.

Las unidades para la dureza del agua se refieren al calcio o a sus compuestos CaO ($1 \text{ }^{\circ}\text{d} \pm 10 \text{ mg/l de CaO}$) o CaCO_3 ($1 \text{ }^{\circ}\text{e} \pm 14,25 \text{ mg/l de CaCO}_3$; $1 \text{ }^{\circ}\text{f} \pm 10 \text{ mg/l de CaCO}_3$), donde el contenido en magnesio se expresa y se incluye en el cálculo como contenido en calcio.

2. Método

Determinación volumétrica con pipeta de valoración

Los iones calcio y magnesio forman con un indicador un complejo de color rojo. A partir de éste se libera el indicador al valorar con una solución de dihidrato de la sal disódica del ácido etilendinitrotetraacético (Titrplex® III). En el punto final de la valoración tiene lugar un viraje a verde. La dureza total se deduce del consumo de solución valorante.

3. Intervalo de medida y número de determinaciones

Intervalo de medida ^{1),2)}	Graduación de la pipeta de valoración	Número de determinaciones ²⁾
0,18 - 10 °f (0,1 - 5,6 °d)	0,18 °f (0,1 °d)	a 5,4 °f (3 °d)
1 - 100 mg/l de CaCO_3	1 mg/l de CaCO_3	300 a 53,5 mg/l de CaCO_3

¹⁾ con 1 carga de pipeta

²⁾ factores de conversión, ver apartado 9

³⁾ En caso de valores de dureza total superiores a 5,4 °f, el número de determinaciones posibles es inferior a 300 (ver apartado 11).

4. Campo de aplicaciones

Materiales de las muestras:

Aguas subterráneas y superficiales, agua de mar
Aguas potables y minerales
Aguas de la acuicultura
Agua de piscinas
Agua de calderas

5. Influencia de sustancias extrañas

Cadmio, cinc, cobalto, cobre, hierro, mercurio y níquel interfieren en la determinación.

6. Reactivos y auxiliares

Los reactivos del test son utilizables hasta la fecha indicada en el envase si se conservan cerrados entre +15 y +25 °C.

Contenido del envase:

2 frascos de reactivo H-1 (solución indicadora)
2 frascos de reactivo H-2 (solución valorante)
1 jeringa de plástico graduada de 5 ml
1 recipiente de ensayo
1 pipeta de valoración
1 tarjeta con modo de empleo abreviado

Otros reactivos:

MColorpHast™ Tiras indicadoras universales pH 0 - 14, art. 109535
Sodio hidróxido en solución 1 mol/l TitrPUR®, art. 109137
Ácido clorhídrico 1 mol/l TitrPUR®, art. 109057
MQuant™ Tests Dureza total:
art. 110025, Intervalo de medida <5 - >37 °f o
art. 110046, Intervalo de medida >9 - >45 °f
MColorTest™ Test Dureza total, art. 108039,
Intervalo de medida 0,36 - 35,6 °f (con 1 carga de pipeta)
Calcio cloruro dihidrato para análisis EMSURE®, art. 102382

Envase de repuesto:

Art. 108040

MColorTest™ Test Dureza total
Envase de repuesto para 108047
(reactivos sin accesorios técnicos para 300 determinaciones a 5,4 °f)

7. Preparación

- El valor del pH debe encontrarse en el intervalo 6 - 8.
Si es necesario, ajustar con solución de hidróxido sódico o con ácido clorhídrico.
- Comprobar la dureza total con el test Dureza total MQuant™.
Las muestras con elevada dureza de agua deberían determinarse con el test Dureza total MColorTest™ art. 108039.

Merck KGaA, 64271 Darmstadt, Germany.
Tel. +49(0)6151 72-3440
www.merck.com
SMD Millipore Corporation, 200 Concord Road,
Billerica, MA 01821, USA, Tel. +1-978-715-4321



8. Técnica

Determinación de la dureza total:

Enjuagar varias veces el recipiente de ensayo con la muestra preparada.		
Muestra preparada (15 - 30 °C)	5 ml	Introducir con la jeringa en el recipiente de ensayo.
Reactivo H-1	3 gotas ¹⁾	Añadir y agitar por balanceo. En presencia de formadores de dureza la muestra se colorea de rojo .
Colocar la pipeta de valoración suelta sobre el frasco de reactivo H-2 abierto. Tirar lentamente del émbolo de la pipeta de valoración desde la posición más baja, hasta que el borde inferior de la junta negra del émbolo coincida con la raya de marcado cero de la escala. (Aquí se llena solamente el tubo cuentagotas con solución valorante.)		
Sacar la pipeta de valoración y rozar brevemente la punta del tubo cuentagotas para eliminar el exceso de líquido adherido. Lentamente y agitando por balanceo gotear luego la solución de valoración a la muestra, hasta que su color vire de rojo a verde pasando por violeta grisáceo (poco antes del viraje). Poco antes de llegar al viraje de color esperar unos segundos después de cada gota.		
En el borde inferior de la junta negra del émbolo leer el valor de medición en °d o en mg/l de CaCO ₃ en la correspondiente escala de la pipeta de valoración.		

¹⁾ ¡Mantener el frasco verticalmente durante la adición del reactivo!

Notas sobre la medición:

- ¡Al llenarla, la pipeta de valoración **no** debe estar firmemente enroscada con el frasco de reactivo!
- Después de acabado el análisis hacer retroceder, presionando, la restante solución de valoración desde la pipeta de valoración al frasco de reactivo H-2 y **enroscar firmemente la pipeta, en lugar de la tapa roscada, sobre el frasco de reactivo.**

Determinación de la dureza residual:

Enjuagar varias veces el recipiente de ensayo con la muestra preparada.		
Muestra preparada (15 - 30 °C)	5 ml	Introducir con la jeringa en el recipiente de ensayo.
Reactivo H-1	3 gotas ¹⁾	Añadir y agitar por balanceo.
En función de la dureza residual la solución de medición se colorea de		
	verde:	0 °f
	violeta grisáceo:	0,2 °f
	violeta rojizo:	0,9 °f
	rojo:	>0,9 °f

¹⁾ ¡Mantener el frasco verticalmente durante la adición del reactivo!

Anexo 15. Norma agua potable COGUANOR NGO 29 001:99, páginas 2 y

5

características cuando se investigan por el método de los tubos múltiples de fermentación. Para el caso de la determinación del grupo coliforme total empleando el método de membrana de filtración, se definirá como todos los microorganismos que desarrollen una colonia rojiza con brillo metálico dorado en un medio tipo endo (u otro medio de cultivo reconocido internacionalmente) después de una incubación de 24 h a 35 °C.

3.7.2. Grupo coliforme fecal. Son las bacterias que forman parte del grupo coliforme total, que fermentan la lactosa con producción de gas a 44°C ± 0.2°C en un período de 24 h ± 2 h cuando se investigan por el método de los tubos múltiples de fermentación. En el método de filtración en membrana se utiliza un medio de lactosa enriquecido y una temperatura de incubación de 44.5 °C ± 0.2 °C en un período de 24 h ± 2 h. Al grupo coliforme fecal también se le designa como termotolerante o termorresistente.

3.8. Escherichia coli. Son las bacterias coliformes fecales que fermentan la lactosa y otros sustratos adecuados como el manitol a 44°C ó 44.5°C con producción de gas, y que también producen indol a partir de triptofano.

Nota 2. La confirmación de que en verdad se trata de *Escherichia coli* se logra mediante el resultado positivo en la prueba con el indicador rojo de metilo, la comprobación de la ausencia de síntesis de acetilmetilcarbinol y de que no se utiliza el citrato como única fuente de carbón. La *Escherichia coli* es el indicador más preciso de contaminación fecal.

4. CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS

4.1. Características físicas.

Tabla 1. Características sensoriales. Límite máximo aceptable (LMA) y límite máximo permisible (LMP) que debe tener el agua potable

Características	LMA	LMP
Color	5.0 u	35.0 u (1)
Olor	No rechazable	No rechazable
Sabor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5.0 UNT	15.0 UNT (2)
(1) Unidades de color en la escala de platino-cobalto		
(2) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). Estas siglas deben considerarse en la expresión de los resultados.		

4.1.1. Conductividad eléctrica. El agua potable deberá tener una conductividad de 100 µS/cm a 750 µS/cm a 25°C.

4.2. Características químicas del agua potable. Son aquellas características que afectan la potabilidad del agua y que se indican en la tabla 2 siguiente.

Tabla 2. Substancias químicas con sus correspondientes límites máximos aceptables y límites máximos permisibles

Características	Límite máximo aceptable	Límite máximo permisible
Cloro residual libre (1) (2)	0.5 mg/L	1.0 mg/L
Cloruro (Cl ⁻)	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Conductividad	---	< de 1 500 µS/cm
Dureza Total (CaCO ₃)	100.000 mg/L	500.000 mg/L
Potencial de hidrógeno (3)	7.0-7.5	6.5-8.5
Sólidos totales disueltos	500.0 mg/L	1 000.0 mg/L
Sulfato (SO ₄ ⁻²)	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Temperatura	15.0°C-25.0°C	34.0°C
Aluminio (Al)	0.050 mg/L	0.100 mg/L
Calcio (Ca)	75.000 mg/L	150.000 mg/L
Cinc (Zn)	3.000 mg/L	70.000 mg/L
Cobre (Cu)	0.050 mg/L	1.500 mg/L
Magnesio (Mg)	50.000 mg/L	100.000 mg/L
(1)	El límite máximo aceptable, seguro y deseable de cloro residual libre, en los puntos más alejados del sistema de distribución es de 0.5 mg/L, después de por lo menos 30 minutos de contacto, a un pH menor de 8.0, con el propósito de reducir en un 99% la concentración de <i>Escherichia coli</i> y ciertos virus.	
(2)	En aquellas ocasiones en que amenacen o prevalezcan brotes de enfermedades de origen hídrico, el residual de cloro puede mantenerse en un límite máximo permisible de 2.0 mg/L, haciendo caso omiso de los olores y sabores en el agua de consumo. Deben de tomarse medidas similares en los casos de interrupción o bajas en la eficiencia de los tratamientos para potabilizar el agua.	
(3)	En unidades de pH.	

4.3. Agua clorada. La cloración de los abastecimientos públicos de agua representa el proceso más importante usado en la obtención de agua de calidad sanitaria segura, potable. La desinfección por cloro y sus derivados significa una disminución

Leptofós	0
Diazinón	0.1
Dimetoato	0.1
De los restantes órgano fosforados	no más de 0.1 cada uno

Tabla 5. Substancias no deseadas. Límite máximo aceptable (LMA) y límite máximo permisibles (LMP)

Característica	LMA, en miligramos/litro	LMP, en miligramos / litro
Fluoruro (F)	---	1.700
Hierro total (Fe)	0.100	1.000
Manganeso (Mn)	0.050	0.500
Nitrato (NO ₃ ⁻)	---	10
Nitrito (NO ₂ ⁻)	---	1

Tabla 6. Substancias orgánicas con significado para la salud y su límite máximo permisible (LMP)

Compuesto	LMP, en microgramos / litro
Benceno	5
Cloruro de vinilo	2
Detergentes aniónicos	200
o-diclorobenceno	600
p-diclorobenceno	75
1,2-dicloroetano	5
1,1-dicloroetileno	7
cis-1,2-dicloroetileno	70
trans-1,2-dicloroetileno	100
1,2-dicloropropano	5
Estireno	100
Etilbenceno	700
Monoclorobenceno	100
Substancias fenólicas	2
Tetracloruro de carbono	5
Tetracloroetileno	5
Tolueno	1000
1,1,1-tricloroetano	200
Tricloroetileno	5
Xileno	10000

5. CARACTERÍSTICAS BACTERIOLOGICAS.

Las características para agua potable estipulan el número permisible de microorganismos coliformes, fecales en términos de las porciones normales de volumen y del número de porciones que se examina, con esta finalidad se establecen las alternativas siguientes.

5.1. Método de los tubos múltiples de fermentación

5.1.1. Para nuevas introducciones de agua, en la evaluación de las plantas de tratamiento y evaluaciones anuales, se debe proceder como se indica en las literales a) y b) siguientes:

- Prueba de 15 tubos. Se examinan 5 tubos con porciones de 10 mL, 5 tubos con porciones de 1 mL y 5 tubos con porciones de 0.1 mL, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como número más probable menor de 2.0 coliformes en 100 mL de agua, lo que se interpreta como que esa muestra aislada satisface la norma de calidad y el agua es adecuada para el consumo humano (véase anexo 2).
- Prueba de 9 tubos. Se examinan 3 tubos con porciones de 10 mL, 3 tubos con porciones de 1 mL y 3 tubos con porciones de 0.1 mL, la ausencia de gas en todos los tubos se expresa como número más probable menor de 3.0 coliformes en 100 mL, lo cual se interpreta como un indicador de que esa muestra aislada satisface la norma de calidad y el agua es adecuada para consumo humano (véase anexo 3). En el caso de análisis rutinarios y cuando se analizan cantidades grandes de muestras, se podrá emplear el método de los 9 tubos, pero en casos de discrepancia o inconformidad con los resultados obtenidos, deberá emplearse la prueba de los 15 tubos como método de referencia.

5.1.2. Para casos en los cuales ya se tiene un historial, se permiten las alternativas siguientes:

Anexo 16. Análisis de Hierro utilizando equipo de absorción atómica

=====
Sequence No.: 58
Sample ID: Sample005
Analyst:

Autosampler Location:
Date Collected: 4/22/2016 10:45:34 AM
Data Type: Original
=====

Replicate Data: Sample005

Analyte: Fe 248.33

Repl #	SampleConc mg/L	StndConc mg/L	Blncorr Signal	Time	Signal Stored
1	0.513	0.513	0.0664	10:45:35 AM	Yes
2	0.509	0.509	0.0659	10:45:36 AM	Yes
3	0.507	0.507	0.0656	10:45:37 AM	Yes
Mean:	0.510	0.510	0.0660		
SD:	0.0032	0.0032	0.0004		
%RSD:	0.62%	0.62%	0.62		

=====

Anexo 17. Caldo de cultivo para coliformes totales

Overview

Descripción	
Número de catálogo	MHA000P2E
Descripción	Caldo m-Endo para coliformes totales

Información del producto	
Dispositivo aplicable	<ul style="list-style-type: none"> • Método MF • Microfil • Milliflex • MicropreSure
Tipo de ensayo	<ul style="list-style-type: none"> • Carga biológica • Límites microbiológicos

Aplicaciones	
Aplicación	Para la detección de coliformes totales en agua potable.
Aplicaciones clave	<ul style="list-style-type: none"> • Cerveza • Agua embotellada • Sidra • Laboratorio clínico • Cosméticos • Análisis medioambientales • Alimentos y bebidas • CC industrial • Refrescos • Bebidas para deportistas • Análisis y control del agua • Vino

Información biológica	
Aspecto del microorganismo	Las colonias de coliformes son de color rojo oscuro con un brillo verde metálico distintivo
Medio de agar prellenado	m-Endo
Organismos de control de calidad	<ul style="list-style-type: none"> • <i>E. coli</i> (ATCC 25922) • mixed culture (<i>E. coli</i>, <i>P. aeruginosa</i> and <i>P. vulgaris</i>)
Microorganismos seleccionados	<ul style="list-style-type: none"> • Total coliforms
Temperatura de incubación	35 °C ± 0.5
Tiempo de incubación	24 hrs ± 2
Color del medio	Rosa a púrpura claro con ligeros precipitados
Forma de los medios	Líquido

Información fisicoquímica	
pH a 25 °C	pH7.2 ± 0.2

Dimensiones	
Volumen	2 mL

Declaraciones de uso del producto	
Certificado incluido (S/N)	Y
Cumplimiento de las normas	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

Anexo 18. Estadística descriptiva de parámetros fisicoquímicos del tanque de almacenamiento de agua

<i>Dureza (mg/L)</i>		<i>pH</i>		<i>Nitratos (mg NO3-N/L)</i>		<i>Fosfatos (mg PO4/L)</i>		<i>TDS (mg/L)</i>		<i>Sulfatos (mg SO4/L)</i>		<i>Cloro Libre (mg Cl2/L)</i>	
Media	61.88	Media	7.798	Media	2.481	Media	0.967	Media	83.6	Media	11	Media	0.2
Error típico	0.9339046	Error típico	0.0843643	Error típico	0.1739058	Error típico	0.0480521	Error típico	1.9243469	Error típico	1.2472191	Error típico	0.0098883
Mediana	62	Mediana	7.89	Mediana	2.3	Mediana	0.91	Mediana	83.15	Mediana	10.5	Mediana	0.195
Moda	61	Moda	#N/A	Moda	2.3	Moda	#N/A	Moda	#N/A	Moda	#N/A	Moda	0.18
Desviación estándar	2.9532656	Desviación estándar	0.2667833	Desviación estándar	0.5499384	Desviación estándar	0.1519539	Desviación estándar	6.0853193	Desviación estándar	3.9440532	Desviación estándar	0.0312694
Varianza de la muestra	8.7217778	Varianza de la muestra	0.0711733	Varianza de la muestra	0.3024322	Varianza de la muestra	0.02309	Varianza de la muestra	37.031111	Varianza de la muestra	15.555556	Varianza de la muestra	0.0009778
Curtosis	0.1916745	Curtosis	-0.5830102	Curtosis	5.5467208	Curtosis	4.7724331	Curtosis	-0.8362171	Curtosis	0.4844388	Curtosis	0.3816964
Coficiente de asimetría	-0.0496731	Coficiente de asimetría	-0.6798099	Coficiente de asimetría	2.2398072	Coficiente de asimetría	2.0067882	Coficiente de asimetría	0.0659245	Coficiente de asimetría	0.8149702	Coficiente de asimetría	0.4633481
Rango	10	Rango	0.81	Rango	1.83	Rango	0.53	Rango	18.5	Rango	13	Rango	0.11
Mínimo	57	Mínimo	7.35	Mínimo	2.07	Mínimo	0.82	Mínimo	74.3	Mínimo	6	Mínimo	0.15
Máximo	67	Máximo	8.16	Máximo	3.9	Máximo	1.35	Máximo	92.8	Máximo	19	Máximo	0.26
Suma	618.8	Suma	77.98	Suma	24.81	Suma	9.67	Suma	836	Suma	110	Suma	2
Cuenta	10	Cuenta	10	Cuenta	10	Cuenta	10	Cuenta	10	Cuenta	10	Cuenta	10
Nivel de confianza(95.0%)	2.112639	Nivel de confianza(95.0%)	0.1908453	Nivel de confianza(95.0%)	0.3934022	Nivel de confianza(95.0%)	0.1087013	Nivel de confianza(95.0%)	4.3531752	Nivel de confianza(95.0%)	2.8214057	Nivel de confianza(95.0%)	0.0223688

Anexo 19. Estadística descriptiva de parámetros fisicoquímicos de fondos de columnas de destilación

Dureza (mg/L)		pH		Nitratos (mg NO ₃ -N/L)		Fosfatos (mg PO ₄ /L)		TDS (mg/L)		Sulfatos (mg SO ₄ /L)		Cloro Libre (mg Cl ₂ /L)	
Media	18.55	Media	3.445	Media	1.97	Media	0.847	Media	127.22	Media	5.47	Media	0.982
Error típico	1.6889346	Error típico	0.0850131	Error típico	0.3654677	Error típico	0.0420595	Error típico	10.897857	Error típico	0.3648592	Error típico	0.0055377
Mediana	17.75	Mediana	3.445	Mediana	1.25	Mediana	0.845	Mediana	135.4	Mediana	5.25	Mediana	0.98
Moda	18.5	Moda	#N/A	Moda	1.1	Moda	#N/A	Moda	83.6	Moda	6	Moda	0.96
Desviación estándar	5.3408801	Desviación estándar	0.2688349	Desviación estándar	1.1557105	Desviación estándar	0.1330038	Desviación estándar	34.46205	Desviación estándar	1.153786	Desviación estándar	0.0175119
Varianza de la muestra	28.525	Varianza de la muestra	0.0722722	Varianza de la muestra	1.3356667	Varianza de la muestra	0.01769	Varianza de la muestra	1187.6329	Varianza de la muestra	1.3312222	Varianza de la muestra	0.0003067
Curtosis	7.6343332	Curtosis	-2.1409825	Curtosis	-1.5943348	Curtosis	-0.6999145	Curtosis	-0.2255491	Curtosis	1.5662396	Curtosis	-1.2324467
Coficiente de asimetría	2.5597954	Coficiente de asimetría	0.0776105	Coficiente de asimetría	0.6374851	Coficiente de asimetría	-0.0402493	Coficiente de asimetría	0.0641495	Coficiente de asimetría	1.0554085	Coficiente de asimetría	0.2420714
Rango	20	Rango	0.65	Rango	3	Rango	0.42	Rango	106.1	Rango	4	Rango	0.05
Mínimo	13	Mínimo	3.14	Mínimo	0.9	Mínimo	0.64	Mínimo	83.6	Mínimo	4	Mínimo	0.96
Máximo	33	Máximo	3.79	Máximo	3.9	Máximo	1.06	Máximo	189.7	Máximo	8	Máximo	1.01
Suma	185.5	Suma	34.45	Suma	19.7	Suma	8.47	Suma	1272.2	Suma	54.7	Suma	9.82
Cuenta	10	Cuenta	10	Cuenta	10	Cuenta	10	Cuenta	10	Cuenta	10	Cuenta	10
Nivel de confianza(95.0%)	3.8206354	Nivel de confianza(95.0%)	0.1923129	Nivel de confianza(95.0%)	0.8267455	Nivel de confianza(95.0%)	0.0951452	Nivel de confianza(95.0%)	24.652665	Nivel de confianza(95.0%)	0.8253688	Nivel de confianza(95.0%)	0.0152573

Anexo 20. Flujos de agua utilizados en la empresa

Flujo	Promedio (m ³ /h)	Máximo (m ³ /h)	Mínimo (m ³ /h)
Tanque de almacenamiento de agua	46.32	62.54	13.99
Fondos de columnas de destilación	57.09	67.94	33.11

Anexo 21. Cálculo de muestra

- a) Diferencia de biogás producido

$$\text{Medición día 2} - \text{medición día 1} = \text{diferencia biogás producido}$$

Ejemplo:

$$10 \text{ mL} - 0 \text{ mL} = 10 \text{ mL de biogás producido en un día}$$

Aplicado a cada reactor según la variación diaria del mismo.

- b) Diferencia de metano producido

$$\begin{aligned} \% \text{ de metano obtenido} * (\text{Medición día 2} - \text{medición día 1}) \\ = \text{diferencia biogás producido} \end{aligned}$$

Ejemplo:

$$(0.71) * (10 \text{ mL} - 0 \text{ mL}) = 7.1 \text{ mL de metano producido en un día}$$

Aplicado a cada reactor según la variación diaria del mismo, esto para obtener los días de mayor actividad de bacterias generadoras de metano.

- c) DBO removido, obtención de relación con DQO y metano producido.

$$\text{DBO ppm inicial} - \text{DBO ppm final} = \text{DBO ppm removido}$$

Ejemplo:

$$15300 \text{ ppm inicial} - 7583.33 \text{ ppm final} = 145416.67 \text{ ppm DBO removido}$$

- d) DQO removido, calculado para obtener un panorama acerca de la relación DQO removido y metano producido en los reactores.

$$\text{DQO ppm inicial} - \text{DQO ppm final} = \text{DQO ppm removido}$$

Ejemplo:

$$175,000 \text{ ppm} - 17,000 \text{ ppm final} = 158,000 \text{ ppm DQO removido}$$

- e) Porcentaje de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO. Calculado para evaluar similitud con DQO y porcentaje de materia orgánica biodegradable.

$$100\% - \left(\frac{100}{DBO_{inicial}} \right) * DBO_{final} = \% DBO \text{ removido}$$

Ejemplo:

$$100\% - \left(\frac{100}{153,000} \right) * 7,583.33 = 95.04\% DBO \text{ removido}$$

- f) Porcentaje de remoción de Demanda Química de Oxígeno, DQO, el cual fue calculado para obtener una relación con el biogás producido.

$$100\% - \left(\frac{100}{DQO_{inicial}} \right) * DQO_{final} = \% DQO \text{ removido}$$

Ejemplo:

$$100\% - \left(\frac{100}{175,000} \right) * 17,000 = 90.29\% DQO \text{ removido}$$

- g) Metano total producido en cada reactor, calculado para realizar un escalamiento a valores reales de una planta de destilación de alcohol.

$$\begin{aligned} \% \text{ de metano} * (\text{volumen ocupado en reactor en día 30}) \\ = \text{metano generado en 30 días} \end{aligned}$$

Ejemplo:

$$0.71 * (3400 \text{ mL biogás}) = 2,414 \text{ mL metano}$$

- h) Factor mL Metano/mg DQO removido, calculado para su utilización en el cálculo de Metano a generar y permitir la utilización de un valor de DQO variable posteriormente. Factor calculado en cada una de las cuatro condiciones evaluadas.

$$\frac{\text{mL Metano generado}}{DQO_{removido} * \text{volumen vinaza en reactor}} = \frac{\text{mL Metano}}{\text{mg DQO}_{removido}}$$

Ejemplo:

$$\frac{2,652.12 \text{ mL Metano generado}}{163000 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) * 0.250 \text{ L}} = 0.06508 \frac{\text{mL Metano}}{\text{mg DQO removido}}$$

- i) Producción total de biogás esperada. Se realizó este cálculo para cada una de las 4 condiciones evaluadas, con la finalidad de terminar la mayor producción entre estas. Cálculo aplicable a presión atmosférica en la Ciudad Capital de Guatemala.

$$\begin{aligned} \text{Vinaza } m^3 \left(\frac{1,000 \text{ L}}{1 m^3}\right) * DQO_{\text{inicial}} * \text{factor} \frac{cm^3 \text{ Metano}}{mg \text{ DQO removido}} * \left(\frac{1 m^3}{1,000,000 cm^3}\right) \\ = m^3 \text{ metano} \end{aligned}$$

Ejemplo:

$$\begin{aligned} 1 m^3 \left(\frac{1,000 \text{ L}}{1 m^3}\right) * 130,000 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ DQO}\right) * 0.06508 \frac{cm^3 \text{ Metano}}{mg \text{ DQO removido}} \\ * \left(\frac{1 m^3}{1,000,000 cm^3}\right) = 8.5 m^3 \text{ metano} \end{aligned}$$

- j) Cálculo No.11. Producción total de biogás. Cálculo aplicable en la Ciudad Capital de Guatemala. Importancia para conocer volumen total estimado.

$$\frac{m^3 \text{ de metano}}{\text{pureza de biogás}} = \text{volumen de biogás total en } m^3$$

- Pureza de biogás es obtenida por medio de cromatografía de gases, se cuenta con este valor desde pasos anteriores.

Ejemplo:

$$\frac{8.5 m^3 \text{ de metano}}{0.76} = 11.18 m^3 \text{ biogás}$$

Anexo 22. Datos calculados

Control diario de reactores según condición, producción de biogás.

Día	Volumen acumulativo gas experimental (cm ³) Identificación Reactor												Temperatura ambiente
	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C	4A	4B	4C	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26
2	5	0	25	25	20	40	0	0	0	25	25	50	27
3	20	25	45	40	45	60	0	0	0	50	25	100	25
4	35	30	55	75	65	80	0	0	0	100	50	150	27
5	45	60	75	95	90	110	25	0	25	150	100	250	27
6	55	75	100	140	130	120	25	50	50	225	100	300	29
7	75	90	150	165	150	160	100	50	50	300	200	450	26
8	85	100	185	210	220	260	150	100	100	375	200	500	25
9	100	160	190	270	250	310	200	250	150	450	300	500	23
10	135	180	230	340	300	425	300	300	200	525	350	600	23
11	175	170	270	510	425	510	300	300	300	600	400	650	25
12	230	190	310	580	490	580	400	400	500	700	450	800	24
13	300	240	365	630	525	615	500	400	550	750	550	850	23
14	380	320	395	700	680	700	500	500	700	800	700	900	27
15	460	400	430	760	710	750	500	550	700	850	800	950	25
16	630	500	600	900	930	850	600	600	700	900	900	1000	25
17	750	650	700	930	1116	1100	700	600	850	950	1150	1100	26
18	800	700	900	1100	1320	1200	700	650	900	1050	1300	1200	26
19	1000	800	1000	1400	1680	1500	850	700	1050	1150	1300	1400	25
20	1300	900	1100	1800	2160	1700	900	750	1050	1250	1400	1700	22
21	1400	1100	1300	2200	2640	1900	900	750	1100	1350	1450	1800	22
22	1600	1300	1500	2400	2880	2300	1000	800	1100	1500	1450	1850	26
23	1800	1500	1600	2500	3000	2550	1050	800	1100	1700	1500	1900	24
24	2100	1700	1700	2800	3100	2800	1100	900	1150	1800	1600	1950	25
25	2100	1800	1900	2900	3200	2950	1100	1000	1150	1900	1700	1950	27
26	2100	1800	2100	2900	3500	3200	1200	1050	1200	1900	1750	2000	23
27	2200	1900	2200	2850	3700	3300	1250	1100	1200	1900	1800	2000	22
28	2200	1900	2400	3000	3800	3350	1300	1200	1200	1900	1850	2000	22
29	2300	1900	2600	3000	3850	3400	1300	1250	1200	1900	1900	2000	21
30	2400	2000	2650	3010	3900	3500	1350	1250	1200	1900	1900	2000	24

Diferencia diaria de metano en Condición No.1.

Días	Condición No.2	Metano 1	Diferencias	Dif CH ₄
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	10.00	7.13	10.00	7.13
3	30.00	21.39	20.00	14.26
4	40.00	28.52	10.00	7.13
5	60.00	42.77	20.00	14.26
6	76.67	54.66	16.67	11.88
7	105.00	74.85	28.33	20.20
8	123.33	87.92	18.33	13.07
9	150.00	106.94	26.67	19.01
10	181.67	129.51	31.67	22.58
11	205.00	146.14	23.33	16.63
12	243.33	173.47	38.33	27.33
13	301.67	215.06	58.33	41.59
14	365.00	260.21	63.33	45.15
15	430.00	306.55	65.00	46.34
16	576.67	411.11	146.67	104.56
17	700.00	499.03	123.33	87.92
18	800.00	570.32	100.00	71.29
19	933.33	665.37	133.33	95.05
20	1100.00	784.19	166.67	118.82
21	1266.67	903.01	166.67	118.82
22	1466.67	1045.59	200.00	142.58
23	1633.33	1164.40	166.67	118.82
24	1833.33	1306.98	200.00	142.58
25	1933.33	1378.27	100.00	71.29
26	2000.00	1425.80	66.67	47.53
27	2100.00	1497.09	100.00	71.29
28	2166.67	1544.62	66.67	47.53
29	2266.67	1615.91	100.00	71.29
30	2350.00	1675.32	83.33	59.41

Diferencia diaria de metano en Condición No.2.

Días	Condición No.2	Metano 2	Diferencias	Dif CH ₄
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	28.33	21.66	28.33	21.66
3	48.33	36.94	20.00	15.29
4	73.33	56.05	25.00	19.11
5	98.33	75.16	25.00	19.11
6	130.00	99.36	31.67	24.20
7	158.33	121.01	28.33	21.66
8	230.00	175.79	71.67	54.77
9	276.67	211.46	46.67	35.67
10	355.00	271.33	78.33	59.87
11	481.67	368.14	126.67	96.81
12	550.00	420.37	68.33	52.23
13	590.00	450.94	40.00	30.57
14	693.33	529.91	103.33	78.98
15	740.00	565.58	46.67	35.67
16	893.33	682.77	153.33	117.19
17	1048.67	801.50	155.33	118.72
18	1206.67	922.26	158.00	120.76
19	1526.67	1166.83	320.00	244.58
20	1886.67	1441.98	360.00	275.15
21	2100.00	1605.03	213.33	163.05
22	2453.33	1875.08	353.33	270.05
23	2683.33	2050.87	230.00	175.79
24	2833.33	2165.52	150.00	114.65
25	2950.00	2254.69	116.67	89.17
26	3150.00	2407.55	200.00	152.86
27	3283.33	2509.45	133.33	101.91
28	3383.33	2585.88	100.00	76.43
29	3416.67	2611.36	33.33	25.48
30	3470.00	2652.12	53.33	40.76

Diferencia diaria de metano en Condición No.3.

Días	Condición No.2	Metano 3	Diferencias	Dif CH ₄
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00
5	16.67	11.95	16.67	11.95
6	41.67	29.87	25.00	17.92
7	66.67	47.79	25.00	17.92
8	116.67	83.63	50.00	35.84
9	200.00	143.36	83.33	59.73
10	266.67	191.15	66.67	47.79
11	300.00	215.04	33.33	23.89
12	433.33	310.61	133.33	95.57
13	533.33	382.29	100.00	71.68
14	650.00	465.92	116.67	83.63
15	666.67	477.87	16.67	11.95
16	766.67	549.55	100.00	71.68
17	800.00	573.44	33.33	23.89
18	883.33	633.17	83.33	59.73
19	983.33	704.85	100.00	71.68
20	1050.00	752.64	66.67	47.79
21	1166.67	836.27	116.67	83.63
22	1250.00	896.00	83.33	59.73
23	1333.33	955.73	83.33	59.73
24	1366.67	979.63	33.33	23.89
25	1483.33	1063.25	116.67	83.63
26	1500.00	1075.20	16.67	11.95
27	1550.00	1111.04	50.00	35.84
28	1616.67	1158.83	66.67	47.79
29	1650.00	1182.72	33.33	23.89
30	1716.67	1230.51	66.67	47.79

Diferencia diaria de metano en Condición No.4.

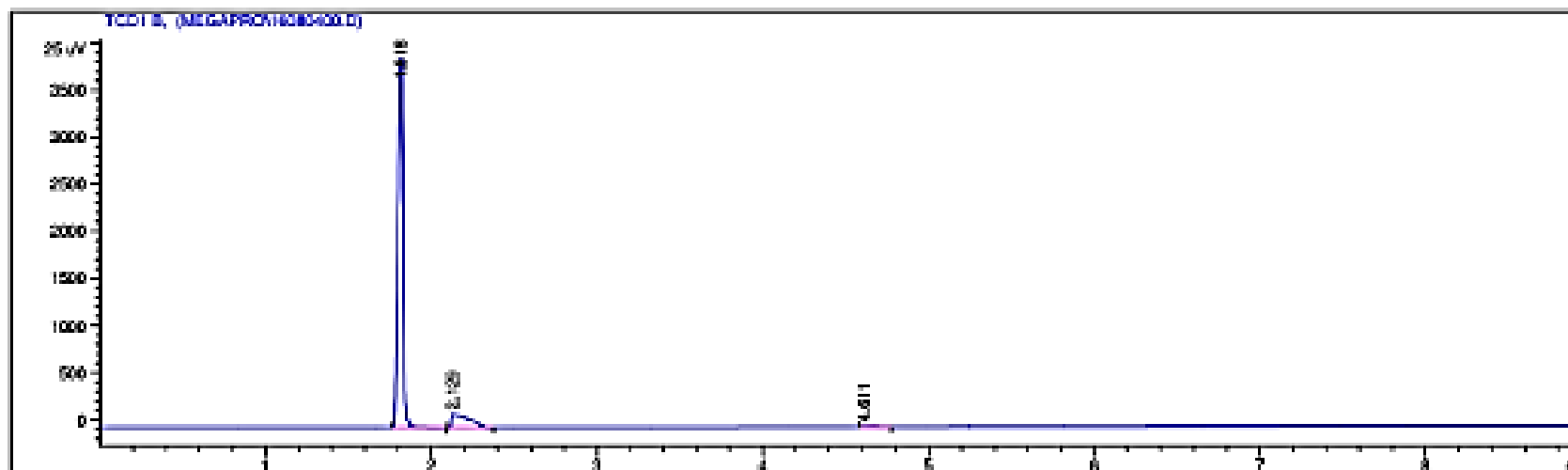
Días	Condición No.2	Metano 4	Diferencias	Dif CH ₄
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	33.33	25.81	33.33	25.81
3	58.33	45.17	25.00	19.36
4	100.00	77.44	41.67	32.27
5	166.67	129.07	66.67	51.63
6	208.33	161.33	41.67	32.27
7	316.67	245.23	108.33	83.89
8	358.33	277.49	41.67	32.27
9	416.67	322.67	58.33	45.17
10	491.67	380.75	75.00	58.08
11	550.00	425.92	58.33	45.17
12	650.00	503.36	100.00	77.44
13	716.67	554.99	66.67	51.63
14	800.00	619.52	83.33	64.53
15	866.67	671.15	66.67	51.63
16	933.33	722.77	66.67	51.63
17	1066.67	826.03	133.33	103.25
18	1183.33	916.37	116.67	90.35
19	1283.33	993.81	100.00	77.44
20	1450.00	1122.88	166.67	129.07
21	1533.33	1187.41	83.33	64.53
22	1600.00	1239.04	66.67	51.63
23	1700.00	1316.48	100.00	77.44
24	1783.33	1381.01	83.33	64.53
25	1850.00	1432.64	66.67	51.63
26	1883.33	1458.45	33.33	25.81
27	1900.00	1471.36	16.67	12.91
28	1916.67	1484.27	16.67	12.91
29	1933.33	1497.17	16.67	12.91
30	1933.33	1497.17	0.00	0.00

Anexo 23. Cromatogramas utilizados para la obtención de v/v de metano en una muestra

1. Cromatograma gases emanados por vinaza refrigerada Muestra 1.

Bioogas a partir de Vinaza

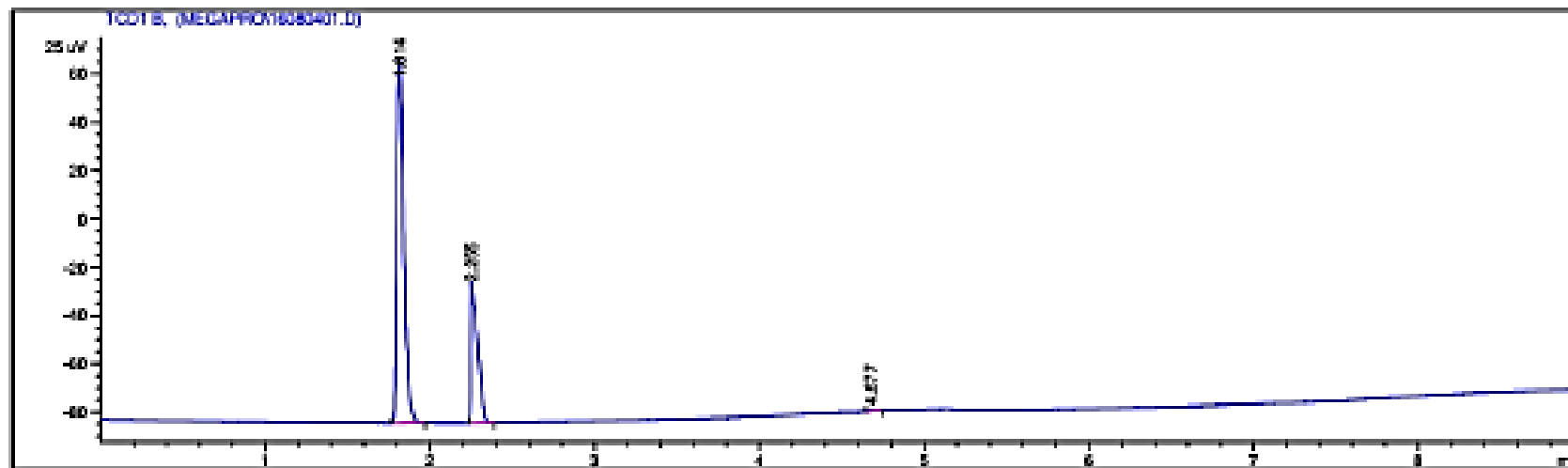
```
-----  
Injection Date : 8/4/2016 10:42:02 AM  
Sample Name : MU A1 Location : -  
Acq. Operator : Adem Inj : 1  
Acq. Instrument : Instrument 1 Inj Volume : Manually  
Acq. Method : C:\MSDCHEM\1\METHODS\BIOGAS.M  
Last changed : 8/4/2016 9:48:01 AM by Adem  
(modified after loading)  
Analysis Method : C:\MSDCHEM\1\METHODS\BIOGAS.M  
Last changed : 8/4/2016 12:52:15 PM by Adem  
(modified after loading)  
Metodo para determinacion de Metano en Bioogas  
Columna HP-PLLOT O 30m x 0.32mm 20um  
temperatura inicial 60 C 2 min, 30 C/min hasta 240 C 1 min  
Temperatura del inyector 100 C  
Temperatura del detector 250 C(TCD y FID)  
Vol inyeccion 500ul
```



2. Cromatograma gases emanados por vinaza refrigerada Muestra 2.

Biogas a partir de Vinaza

Injection Date : 8/4/2016 10:53:58 AM
Sample Name : MU A2 Location : -
Acq. Operator : Adem Inj : 1
Acq. Instrument : Instrument 1 Inj Volume : Manually
Acq. Method : C:\MSDCHEM\1\METHODS\BIOGAS.M
Last changed : 8/4/2016 10:53:58 AM by Adem
Analysis Method : C:\MSDCHEM\1\METHODS\BIOGAS.M
Last changed : 8/4/2016 12:52:15 PM by Adem
(modified after loading)
Metodo para determinacion de Metano en Biogas
Columna HP-PLLOT Q 30m x 0.32mm 20um
temperatura inicial 60 C 2 min, 30 C/min hasta 240 C 1 min
Temperatura del inyector 100 C
Temperatura del detector 250 C(TCD y FID)
Vol inyeccion 500ul

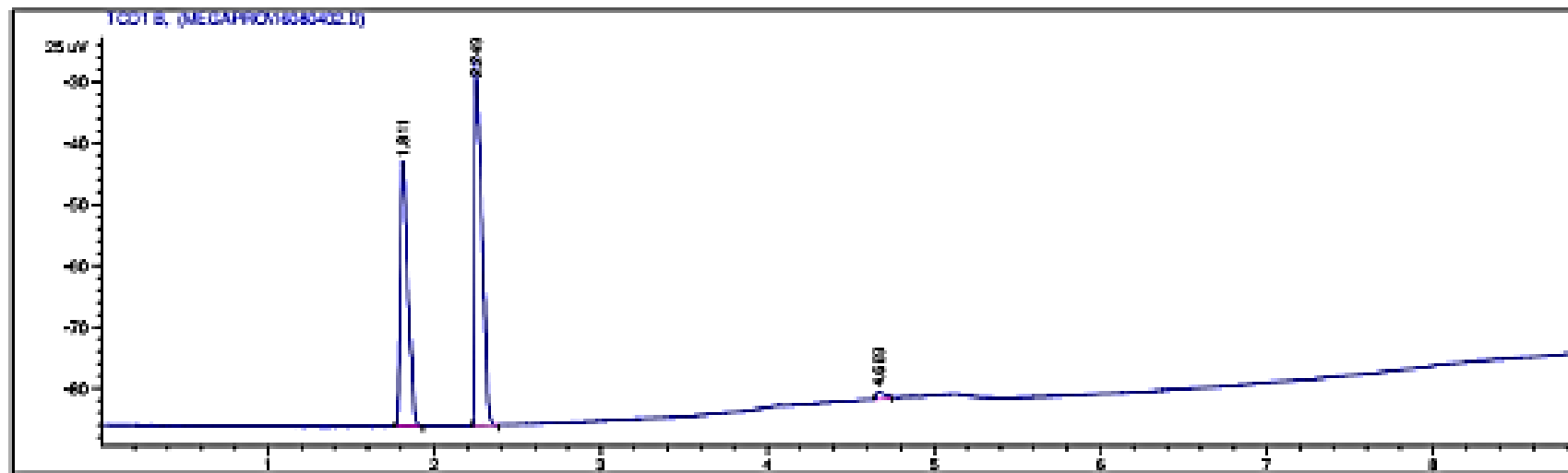


3. Cromatograma gases emanados por vinaza refrigerada Muestra 3

Biogas a partir de Vinaza

Injection Date : 8/4/2016 11:11:02 AM
Sample Name : MU A3 Location : -
Acq. Operator : Adem Inj : 1
Acq. Instrument : Instrument 1 Inj Volume : Manually
Acq. Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\BIOGAS.M
Last changed : 8/4/2016 10:53:59 AM by Adem
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\BIOGAS.M
Last changed : 8/4/2016 12:52:15 PM by Adem
(modified after loading)

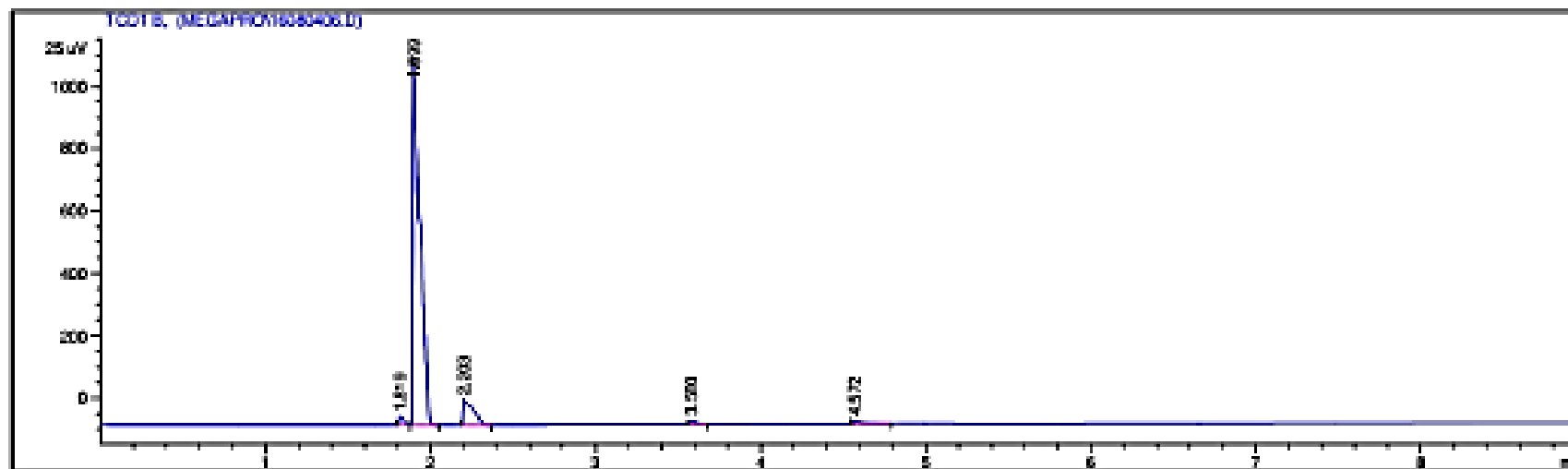
Metodo para determinacion de Metano en Biogas
Columna HP-PLLOT O 30mx 0.32mm 20um
temperatura inicial 40 C 2 min, 30 C/min hasta 240 C 1 min
Temperatura del inyector 100 C
Temperatura del detector 150 C(TCD y FID)
Vol inyeccion 500ul



1. Cromatograma biogás salida condición No.1.

Biogás a partir de Vinaza

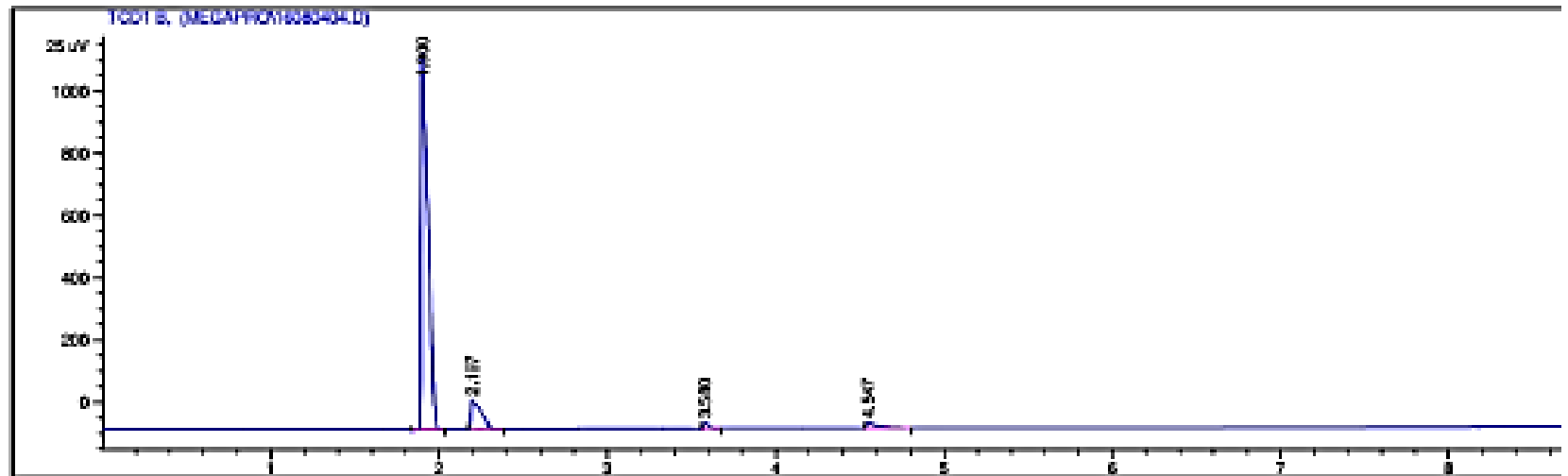
```
-----  
Injection Date : 8/4/2016 12:17:15 PM  
Sample Name : MU 23 Location : -  
Acq. Operator : Adem Inj : 1  
Acq. Instrument : Instrument 1 Inj Volume : Manually  
Acq. Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\BIOGAS.M  
Last changed : 8/4/2016 10:53:59 AM by Adem  
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\BIOGAS.M  
Last changed : 8/4/2016 12:52:15 PM by Adem  
(modified after loading)  
Metodo para determinacion de Metano en Biogás  
Columna HP-PLLOT Ø 30m x Ø.32mm 20um  
temperatura inicial 60 C 2 min, 30 C/min hasta 240 C 1 min  
Temperatura del inyector 100 C  
Temperatura del detector 250 C(TCD y FID)  
Vol inyeccion 500ul
```



2. Cromatograma biogás salida condición No.2

Biogás a partir de Vinaza

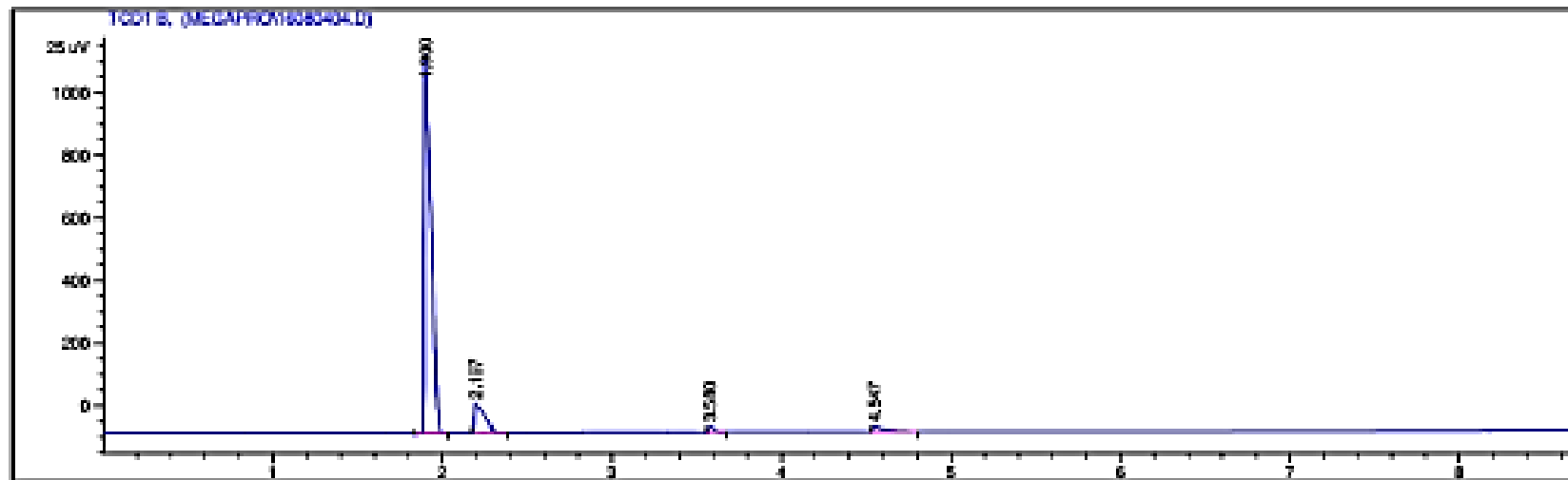
```
-----  
Injection Date : 8/4/2016 11:41:23 AM  
Sample Name : MU 51 Location : -  
Acq. Operator : AdmM Inj : 1  
Acq. Instrument : Instrument 1 Inj Volume : Manually  
Acq. Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\BIOGAS.M  
Last changed : 8/4/2016 10:53:59 AM by AdmM  
Analysis Method : C:\HPCHEM\1\METHODS\BIOGAS.M  
Last changed : 8/4/2016 12:52:15 PM by AdmM  
(modified after loading)  
Metodo para determinacion de Metano en Biogas  
Columna HP-PLLOT O 30m x 0.32mm 20um  
temperatura inicial 60 C 2 min, 30 C/min hasta 240 C 1 min  
Temperatura del inyector 100 C  
Temperatura del detector 250 C(TCD y FID)  
Vol inyeccion 500ul
```



3. Cromatograma biogás salida condición No.3.

Biogás a partir de Vinaza

Injection Date : 8/4/2016 11:41:23 AM
Sample Name : MU 51 Location : -
Acq. Operator : Adem Inj : 1
Acq. Instrument : Instrument 1 Inj Volume : Manually
Acq. Method : C:\MSDCHEM\1\METHODS\BIOGAS.M
Last changed : 8/4/2016 10:53:59 AM by Adem
Analysis Method : C:\MSDCHEM\1\METHODS\BIOGAS.M
Last changed : 8/4/2016 12:52:15 PM by Adem
(modified after loading)
Metodo para determinacion de Metano en Biogás
Columna HP-PLLOT O 30m x 0.32mm 20um
temperatura inicial 60 C 2 min, 30 C/min hasta 340 C 1 min
Temperatura del inyector 100 C
Temperatura del detector 250 C(TCD y FID)
Vol inyeccion 500ul

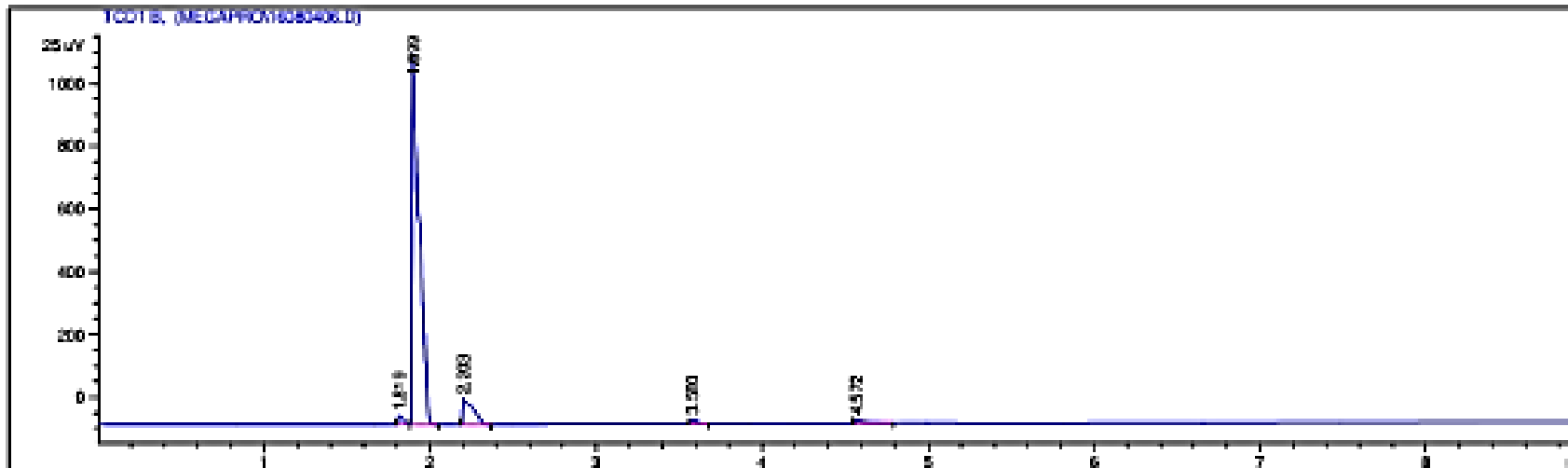


4. Cromatograma biogás salida condición No.4.

Biogás a partir de Vinasa

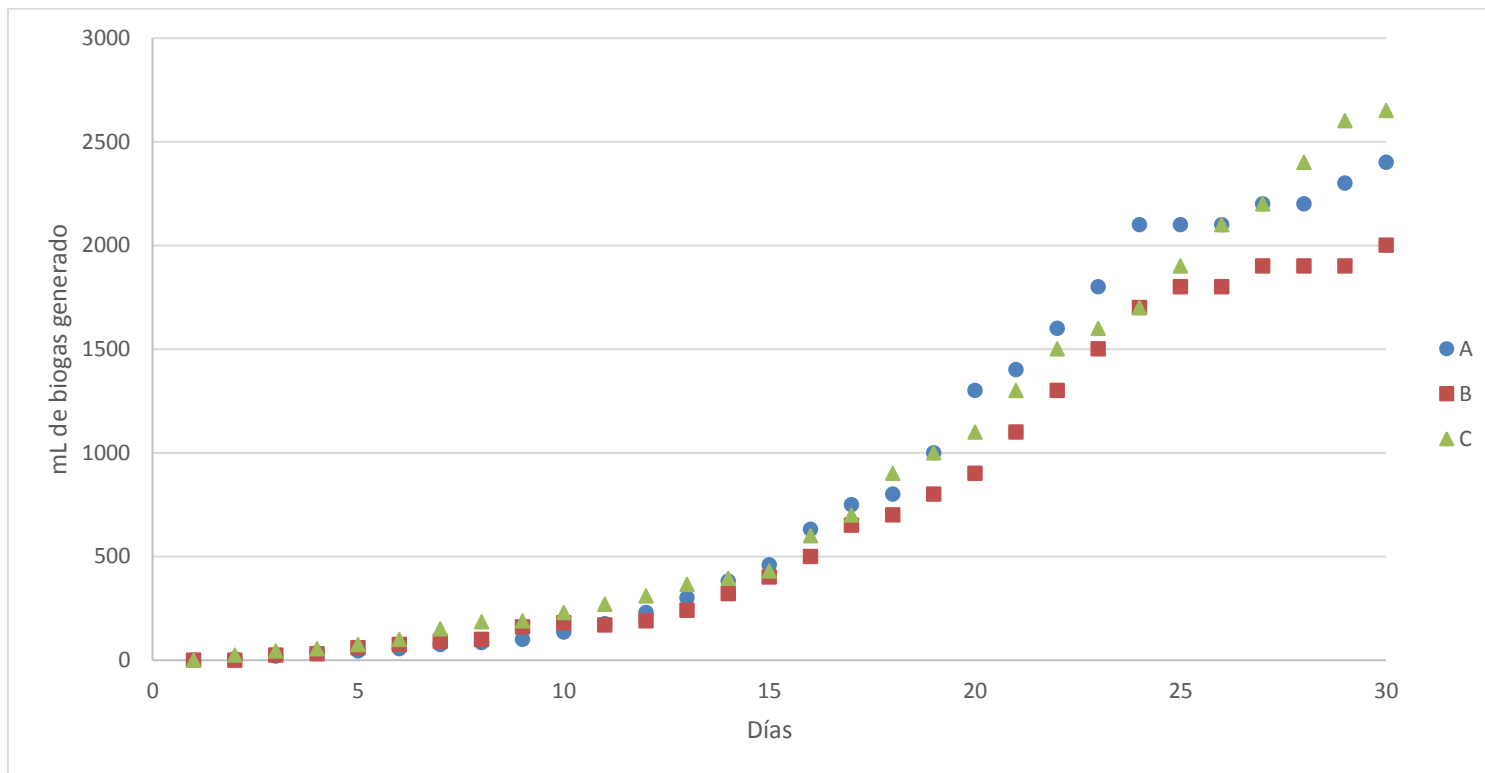
```
-----  
Injection Date : 8/4/2014 12:17:15 PM  
Sample Name : MU 83 Location : -  
Acq. Operator : Adem Inj : 1  
Acq. Instrument : Instrument 1 Inj Volume : Manually  
Acq. Method : C:\NFCHEM\1\METHODS\BIOGAS.M  
Last changed : 8/4/2014 10:53:59 AM by Adem  
Analysis Method : C:\NFCHEM\1\METHODS\BIOGAS.M  
Last changed : 8/4/2014 12:52:15 PM by Adem  
(modified after loading)
```

Metodo para determinacion de Metano en Biogas
Columna HP-PLLOT Ø 30m x 0.32mm 20um
temperatura inicial 40 C 2 min, 30 C/min hasta 240 C 1 min
Temperatura del inyector 100 C
Temperatura del detector 250 C(TCD y FID)
Vol inyeccion 500ul



Anexo 24: Gráficas de la generación de biogás las muestras monitoreadas durante 30 días, agosto 2016.

Gráfica No.1. Generación de biogás, en Condición No.1, temperatura ambiente en vinaza sin diluir.



Notas:

Presión de exposición del biogás: 88,000Pa.

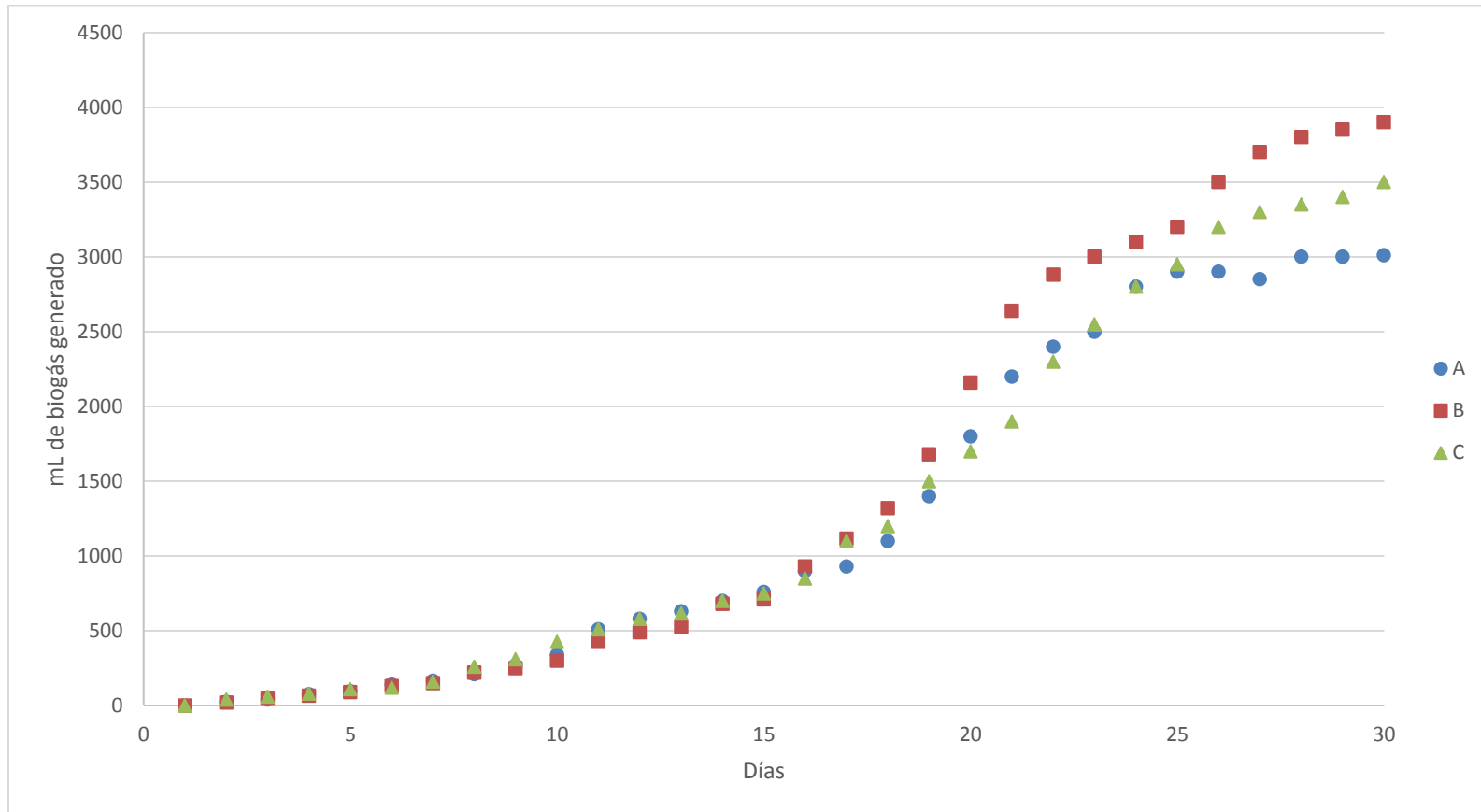
Temperatura: $24.73 \pm 0.35^{\circ}\text{C}$

*La notación de A,B y C, hacen referencia a las distintas corridas (triplicado).

*Datos extraídos de Tabla 8.

* Volumen de vinaza usado: 250mL.

Gráfica No.2. Generación de biogás, en Condición No.2, temperatura 34°C en vinaza sin diluir.



Notas:

Presión de exposición del biogás: 88,000Pa.

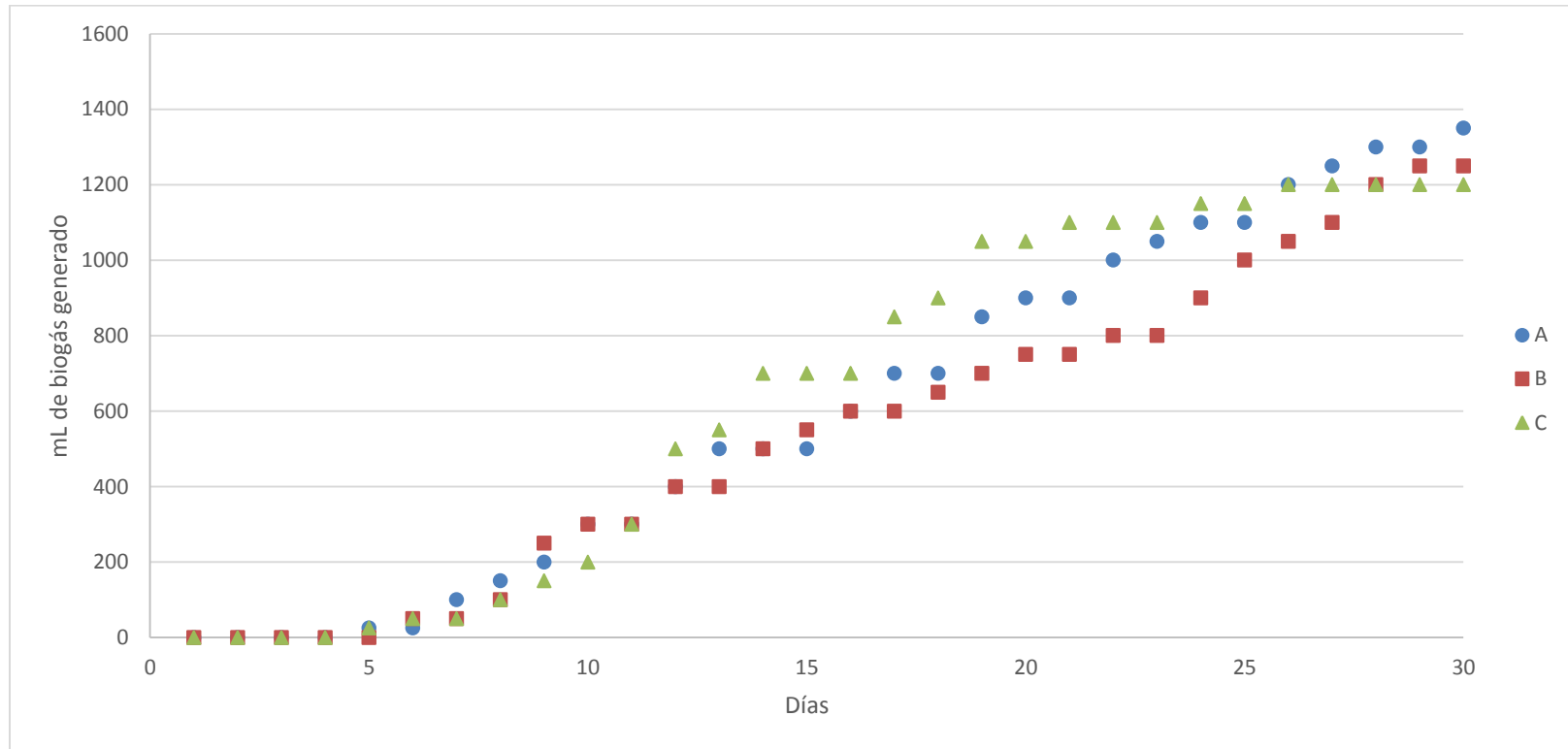
Temperatura: 34°C

*La notación de A,B y C, hacen referencia a las distintas corridas (triplicado).

*Datos extraídos de Tabla 8.

* Volumen de vinaza usado: 250mL.

Gráfica 3: Generación de biogás, en Condición No.3, temperatura ambiente en vinaza diluida.



Notas:

Presión de exposición del biogás: 88,000Pa.

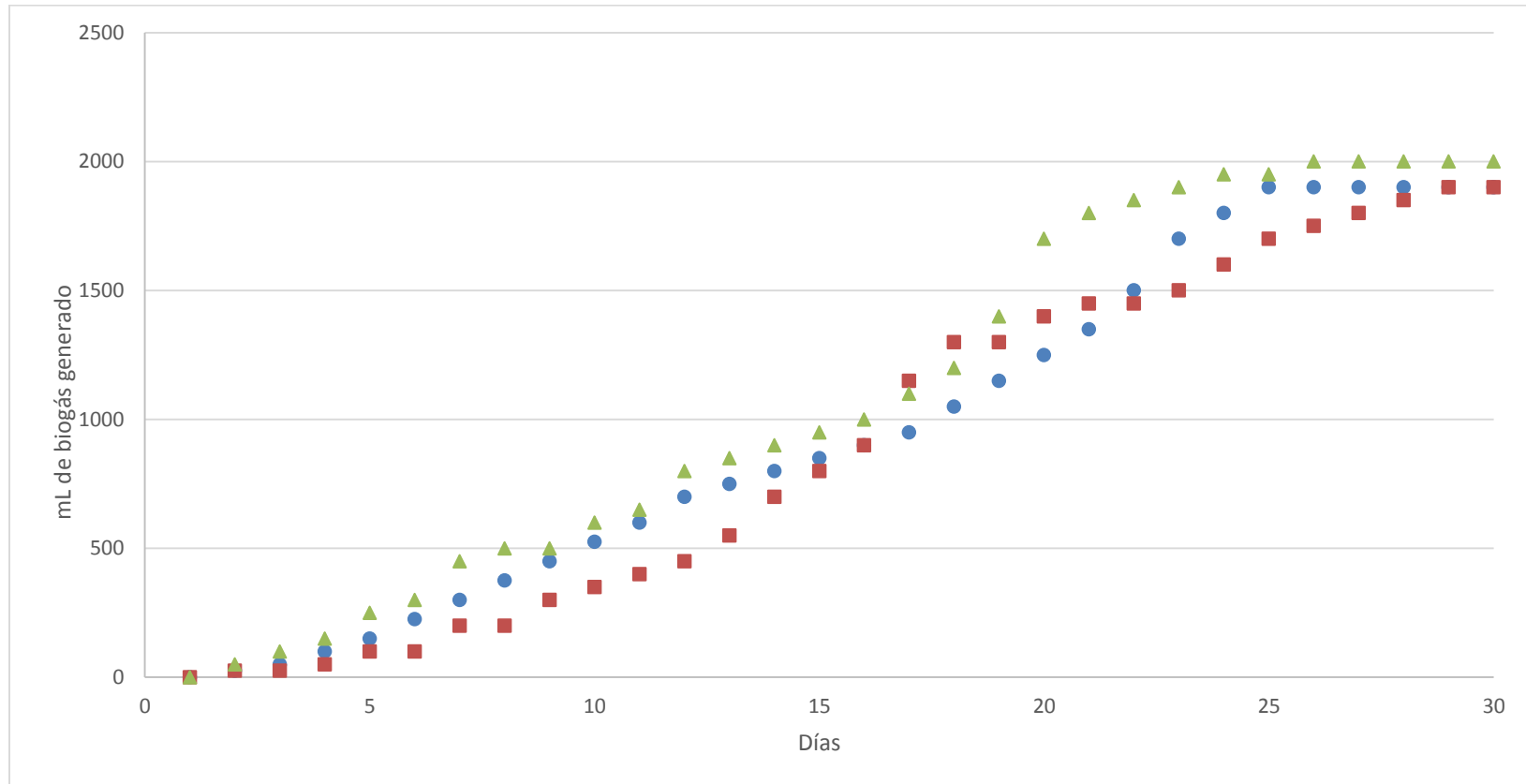
Temperatura: $24.73 \pm 0.35^{\circ}\text{C}$

*La notación de A,B y C, hacen referencia a las distintas corridas (triplicado).

*Datos extraídos de Tabla 8.

* Volumen de vinaza usado: 250mL.

Gráfica No.4. Generación de biogás, en Condición No.4, temperatura 34°C en vinaza sin diluir.



Notas:

Presión de exposición del biogás: 88,000Pa.

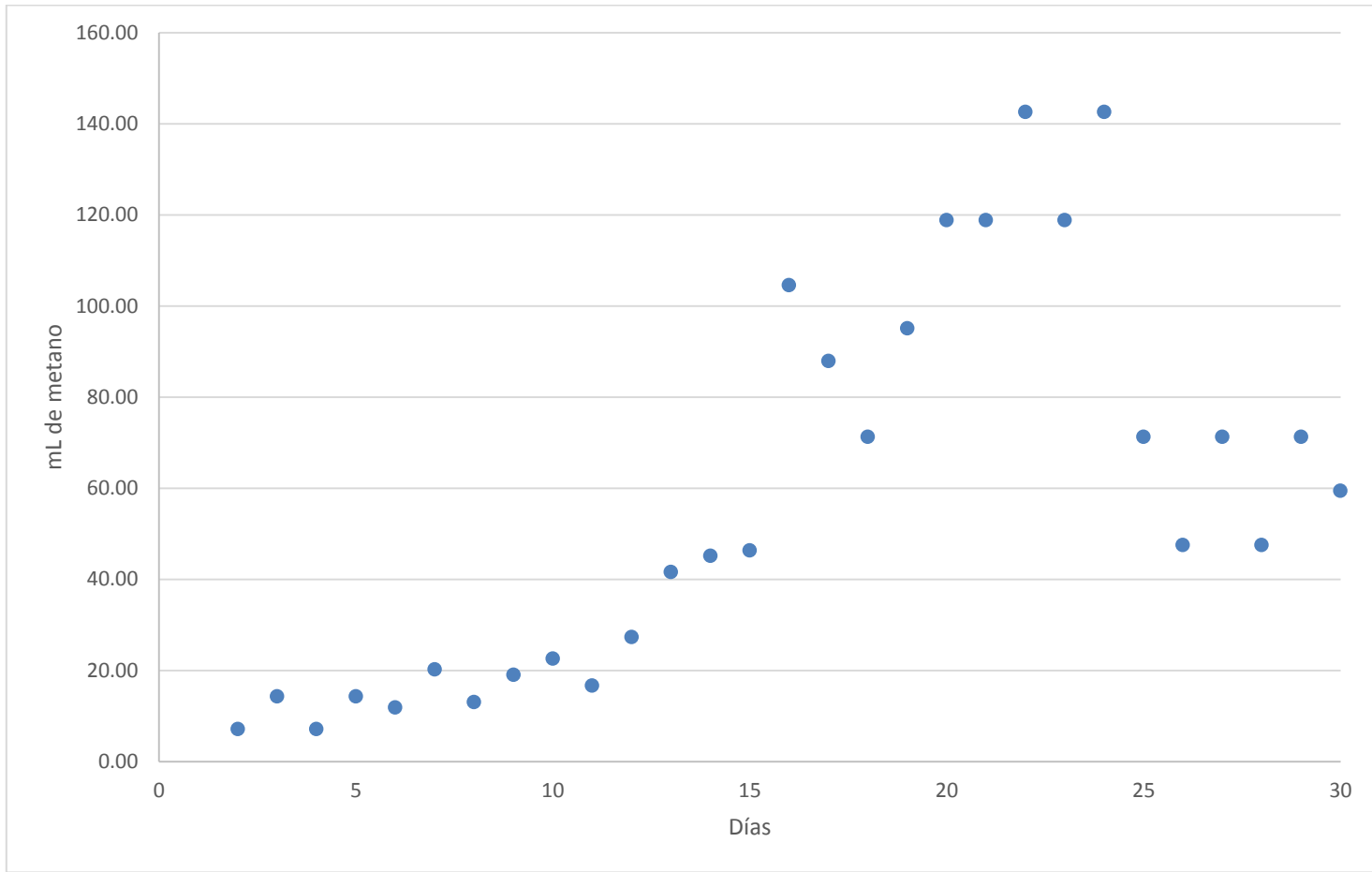
Temperatura: 34°C

*La notación de A,B y C, hacen referencia a las distintas corridas (triplicado).

*Datos extraídos de Tabla 8.

* Volumen de vinaza usado: 250mL.

Gráfica No.5. Volumen diario producido de metano para Condición No.1, temperatura ambiente en vinaza sin diluir.

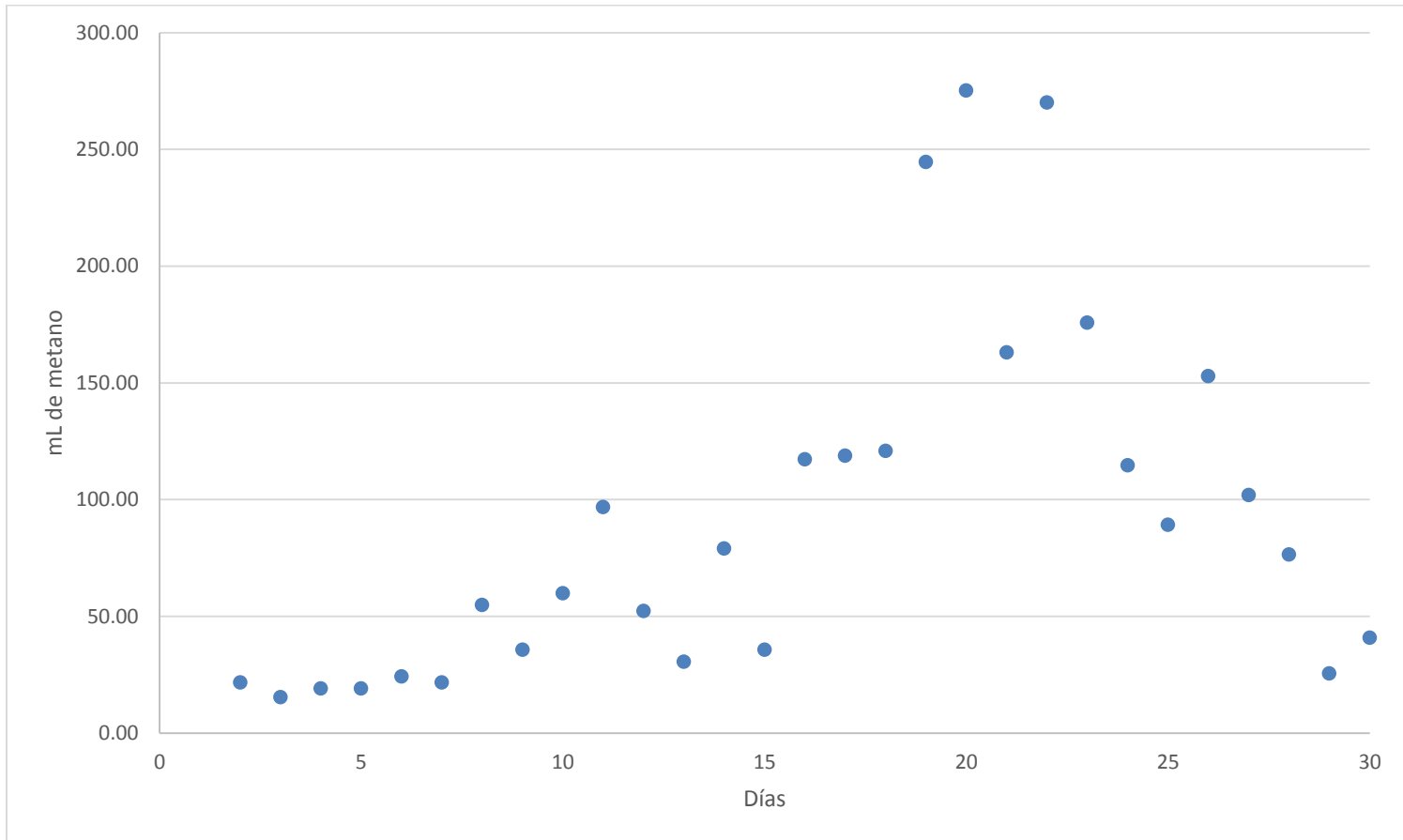


Notas:

Presión de exposición del biogás: 88,000Pa.

Temperatura: $24.73 \pm 0.35^{\circ}\text{C}$

Gráfica No.6. Volumen diario producido de metano para Condición No.2, temperatura 34°C en vinaza sin diluir.

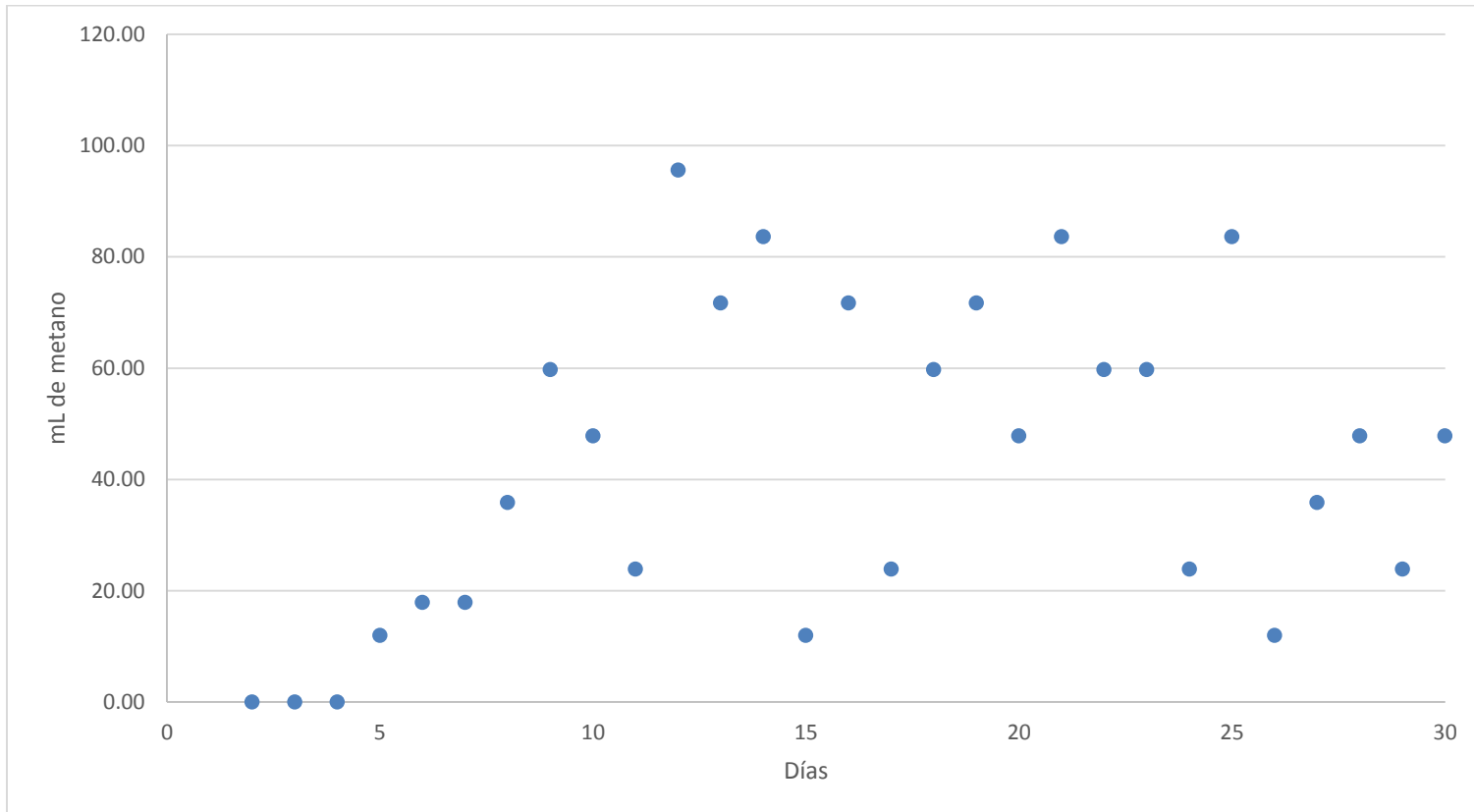


Notas:

Presión de exposición del biogás: 88,000Pa.

Temperatura: 34°C

Gráfica No.7. Volumen diario producido de metano para Condición No.3, temperatura ambiente en vinaza diluida.

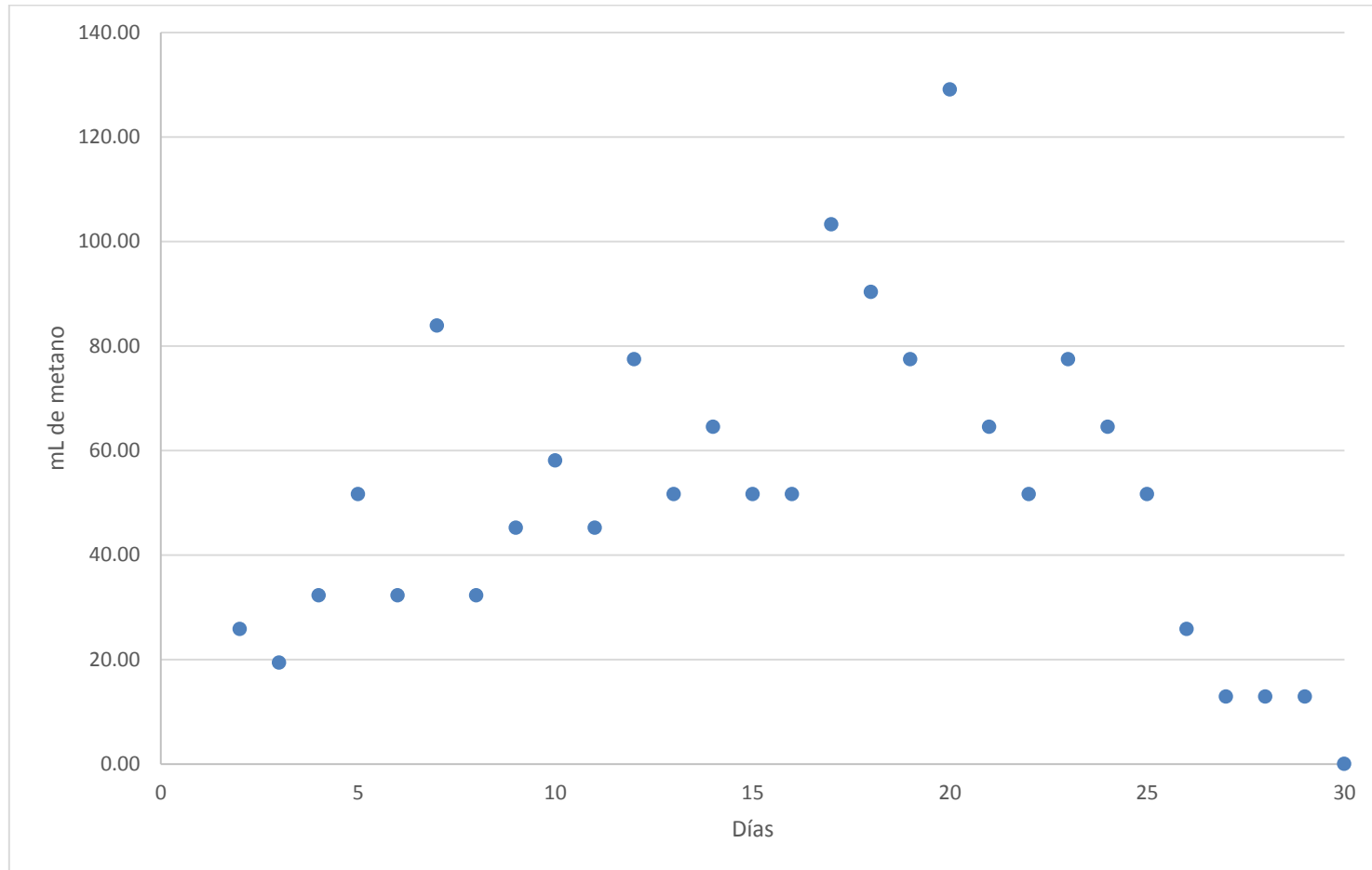


Notas:

Presión de exposición del biogás: 88,000Pa.

Temperatura: $24.73 \pm 0.35^{\circ}\text{C}$

Gráfica No.8. Volumen diario producido de metano para Condición No.4, temperatura 34°C en vinaza diluida.

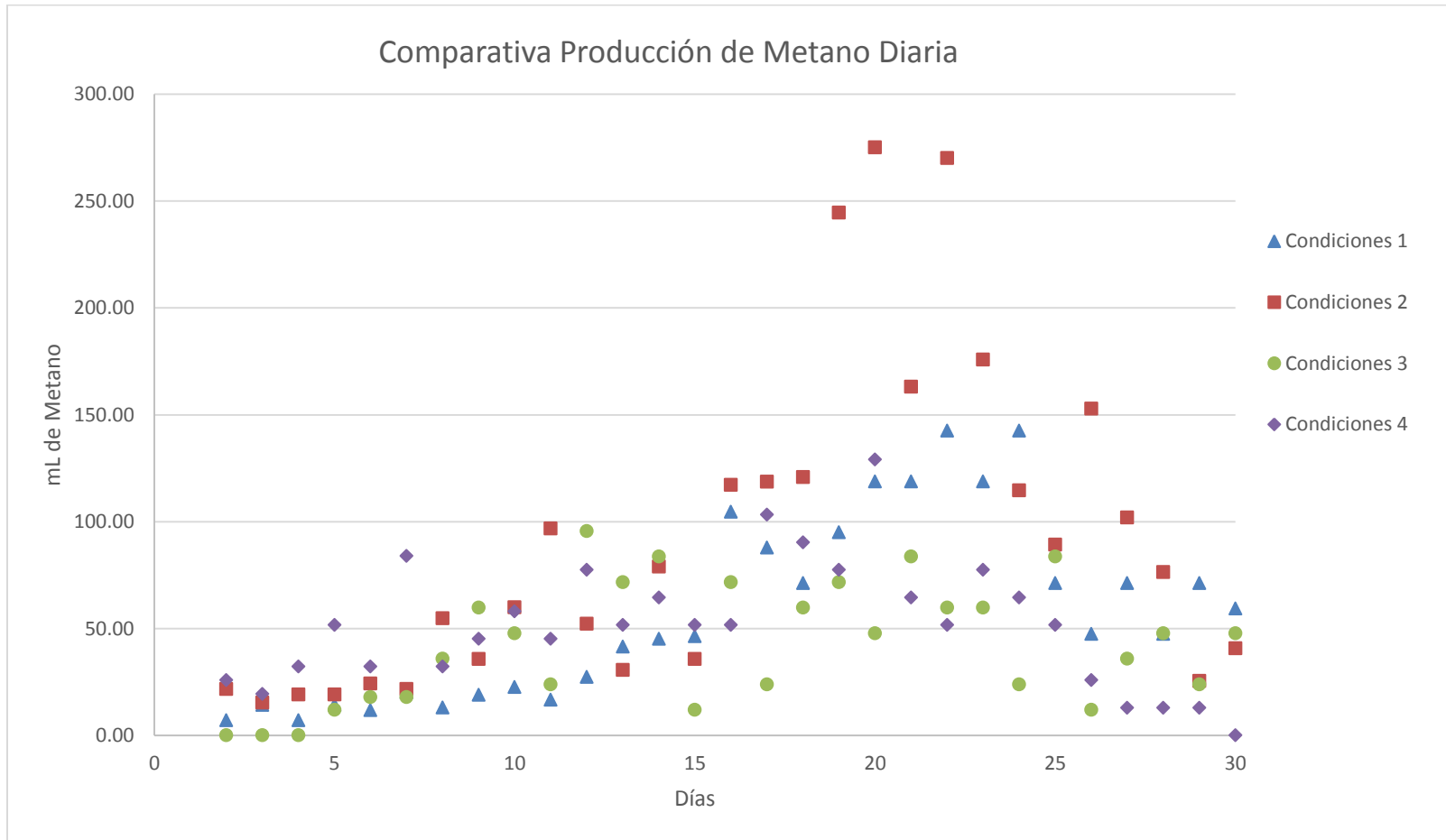


Notas:

Presión de exposición del biogás: 88,000Pa.

Temperatura: 34°C

Gráfica No.9. Comparativa de producción de metano diaria a partir de variaciones de volumen diarias en biodigestor de Condiciones 1, 2,3 y 4.



Notas:

Presión de gas: 0.88 bares

Temperatura: 24.73 ± 0.35 °C

*Datos extraídos de Tabla 12 a 15.

* Especificaciones de condiciones detalladas en Tabla 3.

*Día 5 a día 25 especificado en la gráfica es el rango de producción de metano.

Anexo 25. Análisis de la mezcla inicial de compostaje

Análisis de la mezcla de compostaje realizado en Soluciones Analíticas S.A

14 avenida 19-50 Condado El Naranjo
Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23,
Zona 4 de Mixco, Guatemala.
PBX.: 2416-2916 Fax: 2416-2917
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com



Lotificación El Relicario, Lote 6
Carretera al Pacífico, Km. 91
Santa Lucía Cotz, Escuintla
PBX.: 7882-2428
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS DE ABONO ORGANICO

Cliente	: RECONSTRUCTORA DE MOTORES DEL SUR, S.A	Número de orden	: 97311
Persona Responsable	: PAULINA ISABEL CONTRERAS	Código de muestra	: 16.08.02.06.02
Finca	: PROYECTO UVG (24896)	Fecha de ingreso	: 02/08/2016
Localización	: , GUATEMALA	Fecha del informe	: 09/08/2016
Referencia Cliente	: COMPOST PREVIO	Asesor	: RECEPCION AGRICOLA

PARAMETRO	RANGO ADECUADO
pH	6.2 *
Concentración de Sales (C.S.)	4.98 dS/m *
Materia Organica (M.O.)	59.6% *
Relación C/N	25.9 *

ELEMENTO	CONCENTRACION (p/p)	RANGO ADECUADO
	%	
NITROGENO (Nt)	1.29	*
FOSFORO (P ₂ O ₅)	0.37	*
POTASIO (K ₂ O)	0.91	*
CALCIO (Ca)	0.27	*
MAGNESIO (MgO)	0.25	*
	ppm	
BORO (B ₂ O ₃)	0.00	*
COBRE (Cu)	34.00	*
HIERRO (Fe)	10960.00	*
MANGANESO (Mn)	658.90	*
ZINC (Zn)	80.95	*

* No se tiene datos del rango adecuado para este elemento.

Revisado: 
Gerente de Laboratorios

Metodología con base en:
- Association of Official Analytical Chemists. AOAC. 16th.ed. 1995.

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio.
La reproducción parcial del mismo deberá ser autorizada por escrito por Soluciones Analíticas.
Este informe es válido únicamente en su impresión original



Anexo 26. Análisis del compost obtenido

Análisis del compost obtenido realizado en Soluciones Analíticas S.A

14 avenida 19-50 Condado El Naranjo
Ofibodegas San Sebastián, Bodega 23,
Zona 4 de Mixco, Guatemala.
PBX.: 2416-2916 Fax: 2416-2917
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com



Lotificación El Relicario, Lote 6
Carretera al Pacífico, Km. 91
Santa Lucía Cotz, Escuintla
PBX.: 7882-2428
info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS DE ABONO ORGANICO

Cliete : RECONSTRUCTORA DE MOTORES DEL SUR, S.A Número de orden : 97796
Persona Responsable : PAULINA ISABEL CONTRERAS Código de muestra : 16.09.23.06.03
Finca : PROYECTO UVG (24896) Fecha de ingreso : 23/09/2016
Localización : , GUATEMALA Fecha del informe : 03/10/2016
Referencia Cliente : COMPOST TERMINADO Asesor : RECEPCION AGRICOLA

PARAMETRO	RANGO ADECUADO
pH	6.3 *
Concentración de Sales (C.S.)	4.05 dS/m *
Materia Orgánica (M.O.)	44.0% *
Relación C/N	18.1 *

ELEMENTO	CONCENTRACION (p/p)	RANGO ADECUADO
	%	
NITROGENO (Nt)	2.97	*
FOSFORO (P ₂ O ₅)	0.77	*
POTASIO (K ₂ O)	1.38	*
CALCIO (Ca)	2.29	*
MAGNESIO (MgO)	0.59	*
	ppm	
BORO (B ₂ O ₃)	0.00	*
COBRE (Cu)	36.68	*
HIERRO (Fe)	11645.00	*
MANGANESO (Mn)	297.75	*
ZINC (Zn)	85.15	*

* No se tiene datos del rango adecuado para este elemento.

Revisado: 
Gerente de Laboratorios

Metodología con base en:

- Association of Official Analytical Chemists. AOAC. 16th.ed. 1995.

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio.
La reproducción parcial del mismo deberá ser autorizada por escrito por Soluciones Analíticas.
Este informe es válido únicamente en su impresión original



Anexo 27. Cotización de equipo y tubería del nuevo sistema de bombeo

VALVULAS INDUSTRIALES DE GUATEMALA / VAINGUA
 11 Calle 19-15, Zona 15, Vista Hermosa III
 Tel-Fax-PEX: 2326-7900 e-mail: ventas@valtubgua.com corpeovalgua@yahoo.es

COTIZACION No.: 32,110

Fecha: 29 de Septiembre de 2016

cliente: 972
 N.I.T.: 1751758-3
 Nombre: UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
 Direccion: 11 CALLE 15-79 ZONA 15 VISTA HERMOSA III, CIUDAD DE GUATEMALA, C. A.
 Faxis: 364-0503
 Atencion a: ING. JUAN PABLO AQUINO.
 Referencia: DEPTO DE LABORATORIO.

Sometemos a su consideracion nuestra cotizacion por lo siguiente:

Codigo	Cantidad	Descripcion del articulo	Precio Uni.	Valor Linea
10T30N1530	2	TEE AC. INOX-304 150SMP 300W06 ROSCA-NPT 3"	284.95	569.90
10T30S4060	4	TEE AC. INOX-304 SCH-40 150SMP ASTM-A403-WPB B.W. 6"	1,501.19	6,004.76
10RC30S403020	1	RED CONCENTRICO AC. INOX-304 SCH-40 ASTM-A403 B.W. 3" A 1-1/2"	233.36	233.36
10RC30S401512	1	RED CONCENTRICO AC. INOX-304 SCH-40 ASTM-A403 B.W. 1-1/2" A 1/2"	86.31	86.31
10RC30S401005	1	RED CONCENTRICO AC. INOX-304 SCH-40 ASTM-A403 B.W. 1" A 1/2"	58.00	58.00
10RC30S403010	1	RED CONCENTRICO AC. INOX-304 SCH-40 ASTM-A403 B.W. 3" A 1"	206.39	206.39
10RC30S406040	2	RED CONCENTRICO AC. INOX-304 SCH-40 ASTM-A403 B.W. 6" A 3"	600.71	1,201.42
10FS30S4015	8	FLANGE SLIP-ON AC. INOX-304 SCH-40 150SMP SA/A182-B16.5-RF 1-1/2"	94.00	752.00
10FS30S4010	8	FLANGE SLIP-ON AC. INOX-304 SCH-40 150SMP SA/A182-B16.5-RF 1"	96.00	768.00
10CX30N1530	1	CRUZ AC. INOX-304 150SMP 300W06 ROSCA-NPT 3"ø	685.00	685.00
10CX30N1510	1	CRUZ AC. INOX-304 150SMP 300W06 ROSCA-NPT 1"ø	395.00	395.00
10C930N1505	1	CODO AC. INOX-304 150SMP 300W06 ROSCA-NPT 1/2" X 90°	17.34	17.34
10C930N1530	8	CODO AC. INOX-304 150SMP 300W06 ROSCA-NPT 3" X 90°	239.22	1,913.76
10C930S4060	1	CODO AC. INOX-304 SCH-40 150SMP ASTM-A234-WPB BW 6"ø X 90°	558.80	558.80
20P30S4A00520	1	TUBO AC. INOX-304L SCH-40 ASTM-A312 6.A ERW 1/2" X 20-PIES	336.55	336.55
20P30S4A01520	1	TUBO AC. INOX-304L SCH-40 ASTM-A312 6.A ERW 1-1/2" X 20-PIES	769.62	769.62
20P30S4A01020	1	TUBO AC. INOX-304L SCH-40 ASTM-A312 6.A ERW 1" X 20-PIES	438.15	438.15
20P30S4A03020	1	TUBO AC. INOX-304L SCH-40 ASTM-A312 6.A ERW 3" X 20-PIES	1,892.30	1,892.30
20P30S4A06020	1	TUBO AC. INOX-304L SCH-40 ASTM-A312 6.A ERW 6" X 20-PIES	4,648.20	4,648.20

Sub-Total: 21,534.86

TOTAL: 21,534.86

Observaciones :


Condiciones pago : ORDEN DE COMPRA.
 PAGO CONTADO

Tiempo de Entrega : INMEDIATA

Validez de Precios: SUJETO A VENTA DE EXISTENCIAS

Transportado por : NUESTRO TRANSPORTE.

Lugar de entrega : SUS BODEGAS LABORATORIO.


 JORGE MARIO RAFAEL
 GERENTE GENERAL
 gerencia.gral@valtubgua.com

VALVULAS INDUSTRIALES DE GUATEMALA / VAINGUA

11 Calle 19-15, Zona 15, Vista Hermosa III

Tel-Fax-PBX: 2326-7900 e-mail: ventas@valtubgua.com corpovalgua@yahoo.es

COTIZACION No.: 32,111

Fecha: 29 de Septiembre de 2016

cliente: 972
 N.I.T.: 1751758-3
 Nombre: UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
 Direccion: 11 CALLE 15-79 ZONA 15 VISTA HERMOSA III, CIUDAD DE GUATEMALA, C. A.
 Faxis: 364-0503
 Atencion a: ING. Juan Pablo Aquino de Leon-
 Referencia: DEPTO DE INGENIERIA LABORATORIO.,

Sometemos a su consideracion nuestra cotizacion por lo siguiente:

Codigo	Cantidad	Descripcion del articulo	Precio Uni.	Valor linea
V	4	VALVULA DE MARIPOSA ACERO INOXI. 304 DE 3" TIPO WAFER	248.42	993.68
V	1	VALVULA DE GLOBO DE ACERO INOXI 304 NPT DE 1/2"	158.12	158.12
V	1	VALVULA DE CHECKE HORIZONTAL DE 1" DE ACERO INOXI 304NPT.	200.65	200.65
10T30M1505	1	TEE AC. INOXI-304 150SMP 300MOG ROSCA-NPT 1/2"	13.15	13.15
10T30M1510	1	TEE AC. INOXI-304 150SMP 300MOG ROSCA-NPT 1"	41.51	41.51
10T30M1515	1	TEE AC. INOXI-304 150SMP 300MOG ROSCA-NPT 1-1/2"	60.34	60.34

Sub-Total: 1,467.45

TOTAL: 1,467.45

Observaciones :

Condiciones pago :


PAGO CONTADO

Tiempo de Entrega : INMEDIATA

Validez de Precios: SUJETO A VENTA DE EXISTENCIAS

Transportado por :

Lugar de entrega : BODEGAS VALTUBGUA


 MANUEL DE JESUS RAFAEL
 EJECUTIVO DE VENTAS
 mjrafael@valtubgua.com

Anexo 28. Detalle de los sellos mecánicos sugeridos.

Sello recomendado para bomba P-1465.

EQUIPO	DATOS OPERACIÓN	SELLO MECÁNICO	COSTO
Bomba	P-1465	SELLO CARTUCHO PARA EJE 2.125"	\$2,100
Modelo	CPT23-1B	ROTATIVA: CARBÓN	
Serie	100069236	ESTACIONARIA: SILICIO	
Aplicación	Fondos de columna exhaustiva	O-RINGS: VITON	
Temperatura °C	83.89	RESORTES: HASTELLOY C	
Temperatura °F	183	BRIDA: SS316	
Gravedad Esp.	1.00	JUNTA DE BRIDA: TEFLÓN	
Sólidos en suspensión (%)	0		
Presión de Succión (psi)	54.26		
Presión de Descarga (psi)	37		
RPM de eje	1765		

Sello recomendado para bomba P-1520.

EQUIPO	DATOS OPERACIÓN	SELLO MECÁNICO	COSTO
Bomba	P-1502		\$1,625
Modelo	APT 54-20	SELLO CARTUCHO PARA EJE 2.625	
Serie	100069242	ROTATIVA: SILICIO	
Aplicación	Vinaza	ESTACIONARIA: SILICIO	
Temperatura °C	97.78	O-RINGS: EPDM	
Temperatura °F	208	RESORTES: HASTELLOY C	
Gravedad Esp.	1.09	BRIDA: SS316	
Sólidos en suspensión (%)	26	JUNTA DE BRIDA: TEFLÓN	
Presión de Succión (psi)	54.26		
Presión de Descarga (psi)	34		
RPM de eje	710		

Sello recomendado para bomba P-1560.

EQUIPO	DATOS OPERACIÓN	SELLO MECÁNICO	COSTO
Bomba	P-1506		\$3,800
Modelo	APT 43-12	SELLO CARTUCHO DOBLE PARA EJE 1.750"	Incluye el precio del tanque de 3 galones, 2 válvulas, manómetro
Serie	100069249	ROTATIVA: CARBÓN / CARBÓN	
Aplicación	Bomba de recirculación. Jugo concentrado	ESTACIONARIA: TUNGSTENO / TUNGSTENO	
Temperatura °C	60.00	O-RINGS: VITON	
Temperatura °F	140	RESORTES: HASTELLOY C	
Gravedad Esp.	1.23	BRIDA: SS316	
Sólidos en suspensión (%)	55	JUNTA DE BRIDA: TEFLÓN	
Presión de Succión (psi)	24.01	NOTA: SE REQUIERE EL USO DE PLAN DE LUBRICACION 53A	
Presión de Descarga (psi)	20		
RPM de eje	1190		

Sello recomendado para bomba P-1508.

EQUIPO	DATOS OPERACIÓN	SELLO MECÁNICO	COSTO
Bomba	P-1508		\$1,625
Modelo	CPT 21-4	SELLO CARTUCHO PARA EJE 2.625	
Serie	100069255	ROTATIVA: SILICIO	
Aplicación	Vinaza	ESTACIONARIA: SILICIO	
Temperatura °C	98.89	O-RINGS: EPDM	
Temperatura °F	210	RESORTES: HASTELLOY C	
Gravedad Esp.	1.09	BRIDA: SS316	
Sólidos en suspensión (%)	26	JUNTA DE BRIDA: TEFLÓN	
Presión de Succión (psi)	58.09		
Presión de Descarga (psi)	34		
RPM de eje	1765		

Sello recomendado para bomba P-1510.

EQUIPO	DATOS OPERACIÓN	SELLO MECÁNICO	COSTO
Bomba	P-1510		
Modelo	CPT 23-2	SELLO CARTUCHO PARA EJE 2.625	\$1,625
Serie	100069259	ROTATIVA: SILICIO	
Aplicación	Vinaza	ESTACIONARIA: SILICIO	
Temperatura °C	68.33	O-RINGS: EPDM	
Temperatura °F	155	RESORTES: HASTELLOY C	
Gravedad Esp.	1.2	BRIDA: SS316	
Sólidos en suspensión (%)	40	JUNTA DE BRIDA: TEFLÓN	
Presión de Succión (psi)	63.45		
Presión de Descarga (psi)	20		
RPM de eje	1180		

Sello recomendado para bomba P-1511.

EQUIPO	DATOS OPERACIÓN	SELLO MECÁNICO	COSTO
Bomba	P-1511		\$1,625
Modelo	CPT 22-2	SELLO CARTUCHO PARA EJE 2.625	
Serie	100069261	ROTATIVA: SILICIO	
Aplicación	Vinaza	ESTACIONARIA: SILICIO	
Temperatura °C	51.67	O-RINGS: EPDM	
Temperatura °F	125	RESORTES: HASTELLOY C	
Gravedad Esp.	1.17	BRIDA: SS316	
Sólidos en suspensión (%)	42	JUNTA DE BRIDA: TEFLÓN	
Presión de Succión (psi)	61.41		
Presión de Descarga (psi)	32		
RPM de eje	1770		

Anexo 29. Cálculos de muestra para determinar la cabeza total de la bomba P150061

1. Mediciones de presión y temperatura. Los datos recopilados se muestran a continuación:

Tabla 70. Datos de las presiones operativas en los manómetros de la descarga en las bombas.

Presión en la descarga de manómetros, ± 5 kPa (± 1 psig)												
Bomba	Lunes			Martes			Miércoles			Jueves		
	9:00 a.m.	12:00 a.m.	5:00 p.m.	9:00 a.m.	12:00 a.m.	5:00 p.m.	9:00 a.m.	12:00 a.m.	5:00 p.m.	9:00 a.m.	12:00 a.m.	5:00 p.m.
P150061	55.16 (80)	59.29 (86)	55.16 (80)	55.16 (80)	60.67 (88)	54.47 (79)	55.16 (80)	61.36 (89)	55.85 (81)	55.85 (81)	60.67 (88)	56.54 (82)
P150069	48.26 (70)	58.60 (85)	51.71 (75)	49.64 (72)	59.29 (86)	50.33 (73)	48.26 (70)	57.23 (83)	49.64 (72)	48.26 (70)	59.98 (87)	50.33 (73)
P150072	89.63 (130)	89.63 (130)	90.08 (135)	88.94 (129)	95.15 (138)	92.38 (134)	90.32 (131)	96.53 (140)	89.63 (130)	90.32 (131)	95.84 (139)	92.39 (134)

Tabla 71. Datos de las temperaturas operativas en los manómetros de la descarga en las bombas.

Temperatura en la descarga de manómetros $\pm 2^\circ\text{C}$ ($\pm 1^\circ\text{F}$)												
Bomba	Lunes			Martes			Miércoles			Jueves		
	9:00 a.m.	12:00 a.m.	5:00 p.m.	9:00 a.m.	12:00 a.m.	5:00 p.m.	9:00 a.m.	12:00 a.m.	5:00 p.m.	9:00 a.m.	12:00 a.m.	5:00 p.m.
P150061	68.33 (155)	72.22 (162)	67.78 (154)	65.56 (150)	72.78 (163)	66.57 (152)	66.11 (151)	72.78 (163)	64.44 (148)	70 (158)	73.33 (164)	66.11 (151)
P150069	63.33 (146)	67.22 (153)	64.44 (148)	61.67 (143)	67.78 (154)	63.33 (146)	63.33 (146)	68.89 (156)	62.78 (145)	60.56 (141)	68.33 (155)	61.67 (143)
P150072	95 (203)	99.44 (211)	93.33 (200)	95.56 (204)	100.56 (213)	93.89 (201)	94.44 (202)	101.67 (215)	93.33 (200)	96.11 (205)	100 (212)	94.44 (202)

2. Métodos de recolección de datos en planta. Para recolectar los datos necesarios en el área de bombeo de la empresa se usaron técnicas como:

- Observación directa.
- Toma de datos técnicos de las placas de las bombas.
- Medición directa y medición indirecta.
- Entrevistas a operarios.
- Lectura de planos de la empresa.
- Revisión de historial de reparación de las bombas, base de datos de la empresa y especificaciones técnicas de las bombas en manuales.

Los instrumentos utilizados para la medición de las presiones y temperaturas operativas fueron:

Tabla 72. Instrumentos de medición de presión y caudal en las bombas analizadas

Instrumento	Medición	Incertidumbre	Marca	Rango
Termómetro	Temperaturas de fluidos de bomba P150061 y P150069.	$\pm 2^{\circ}\text{C}$ (1°F)	Ashcroft	-17.78 – 93.33 $^{\circ}\text{C}$ (0-200 $^{\circ}\text{F}$)
Termómetro	Temperaturas de fluidos de bomba P150072	$\pm 2^{\circ}\text{C}$ (1°F)	Ashcroft	-17.78 – 148.9 $^{\circ}\text{C}$ (0-300 $^{\circ}\text{F}$)
Manómetro de Bourdon	Presión de fluidos de bomba P150061 y P150069.	± 5 kPa (1psi)	Ashcroft	0-690 kPa (0-100 psi)
Manómetro de Bourdon	Presión de fluidos de bomba P150072.	± 5 kPa (1psi)	Ashcroft	0-2070 kPa (0-300 psi)
Flujómetro	Flujo en las tuberías de las bombas P150061, P150069 y P150072.	± 0.5 -6%	Micronics	0.1 – 20 m/seg 0.2 (0.33 – 65.62 ft/seg)

Nota:

*Para corroborar las mediciones que brindaban los instrumentos fijados en las bombas se recurrió a un termómetro láser. La velocidad de rotación de las bombas también fueron medidas para comparar con la información brindada por el fabricante en los manuales de usuario.

Tabla 73. Especificación de instrumentos utilizados para medición de datos operativos

Marca	Capacidad	Incertidumbre
OAKTON mini Infra Pro	0-500 °C	±0.1°C
EXTECH tachometer counter	2-99,999 rpm	±0.1 rpm

3. Cálculo de la presión de vapor de la mezcla. A partir de la temperatura promedio (341.99 K) y usando la tabla B.4 (Felder, 2004) se encontró la ecuación de la presión de vapor del etanol (P^*) en función de la temperatura (T) en un intervalo de 19.6 – 93.4°C:

$$\log_{10} p^{vap} = A - \frac{B}{T + C}$$

Ecuación 29

Donde los parámetros adimensionales A, B y C son valores de: 8.11220, 1592.864 y 226.184, respectivamente (Felder, 2004).

Tabla 74. Valores adimensionales A, B y C obtenidos de la tabla B.4 para el cálculo de la presión de vapor.

Tabla B.4 (Continuación)

Compuesto	Fórmula	Rango (°C)	A	B	C
1,4-Dioxano	C ₄ H ₈ O ₂	20.0 a 105.0	7.43155	1554.679	240.337
Disulfuro de carbono	CS ₂	3.6 a 79.9	6.94279	1169.110	241.593
Estireno	C ₈ H ₈	29.9 a 144.8	7.06623	1507.434	214.985
Etanol	C ₂ H ₆ O	19.6 a 93.4	8.11220	1592.864	226.184

(Felder, 2004)

Con estos datos se obtiene como resultado la presión de vapor a la temperatura promedio 68.84°C (341.99 K) de:

$$p^{vap} = 10^{8.11220 + \frac{1592.864}{341.99 + 226.184}}$$

Ecuación 30

$$p^{vap} = 516.59 \text{ mm Hg} * \frac{0.133322 \text{ kPa}}{1 \text{ mm Hg}} = 68.87 \text{ kPa}$$

Para la presión del vapor de agua se realizó el mismo procedimiento, pero con los parámetros A, B y C del agua en el intervalo de 60 – 150°C: 7.96681, 16683.210 y 228.000, respectivamente. La presión de vapor obtenida a la temperatura promedio de 341.99 K de: 29.64 kPa.

Con los valores de presión de vapor de agua y la concentración del etanol que mueve la bomba P1500061 se procede a calcular la presión de vapor de dicha mezcla, usando los subíndices 1 y 2 para el etanol y el agua:

$$P = x_1 P_1^{vap} + x_2 P_2^{vap}$$

Ecuación 31

$$P = 0.95 * 68.87kPa + 0.05 * 29.64kPa$$

$$P = 66.91 kPa$$

4. Determinación de la cabeza de presión superficial de succión. Cálculo de la cabeza en unidades de metros de agua: Utilizando la Ecuación 5 (McAllister, 2013) se pudo establecer la cabeza de presión superficial de succión a partir de la presión en la columna T-557, que se encuentra a presión atmosférica:

$$Presión\ en\ metros = \frac{102,300\ Pascales}{804.15 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2}} = 12.97\ m$$

Ecuación 32

La presión en la cabeza de la torre T-557 se obtuvo de planos proporcionados por la empresa, indicando el valor anteriormente usado en el cálculo.

5. Determinación de la cabeza dinámica de succión:
- Cálculo de la velocidad del fluido. Conociendo que la tubería es de diámetro nominal de 3 in catálogo 40 de acero inoxidable AISI 316, se determinó que el diámetro interno de la tubería (D) es de 3.07 in en el Anexo 3 (McCabe W. L., 2007). Con este valor se puede determinar la velocidad del fluido con la siguiente ecuación (King pumps, 2012):

$$v = \frac{0.408 * GPM}{D_{interno\ de\ tubería}^2}$$

Ecuación 33

Con la ecuación anterior se procedió a calcular la velocidad en cada sección de la tubería con su respectivo diámetro real, para luego obtener la velocidad promedio en el trayecto.

$$v_{\text{succión}} = 0.408 * \frac{145 \text{ GPM}}{(3.07 \text{ in})^2} = 6.49 \frac{\text{ft}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ metro}}{3.28 \text{ ft}} = 1.916 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_1 = \frac{0.408 * \frac{145 \text{ GPM}}{(2.067 \text{ in})^2}}{3.28084} = 4.220 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_2 = \frac{0.408 * \frac{145 \text{ GPM}}{(3.068 \text{ in})^2}}{3.28084} = 1.916 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_3 = \frac{0.408 * \frac{145 \text{ GPM}}{(6.065 \text{ in})^2}}{3.28084} = 0.490 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_4 = \frac{0.408 * \frac{145 \text{ GPM}}{(7.981 \text{ in})^2}}{3.28084} = 0.283 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\bar{V}_{\text{succión}} = \frac{v_{\text{succión}} + v_1 + v_2 + v_3 + v_4}{5} = 1.765 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

- b. Cálculo del número de Reynolds. Usando la ecuación para obtener el número de Reynolds (Saldarriaga, 2007), se calcula de la siguiente manera:

$$Re = \frac{\rho * v * D_{\text{interno de tubería}}}{\mu} = \frac{804.15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1.765 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.078 \text{ m}}{\mu} = 8.11 * 10^4$$

Ecuación 34

- c. Cálculo del factor de fricción debido a accesorios en la tubería (K_f). Usando valores en la tabla A2.1 (Saldarriaga, 2007) para conocer los coeficientes de pérdidas (k_m) y los datos de accesorios que detalla la información de la cantidad de codos rectos, uniones acoples en “T” y válvulas, se procede a calcular K_f :

$$K_f = 2 * 0.6 + 1 * 0.3 + 1 * 0.3 + 1 * 0.2 + 1 * 0.3 = 2.30$$

Coeficientes para pérdidas en accesorios y codos

Accesorio	k_p	Tabla A2.1
Válvula de globo, completamente abierta	10.0	Coeficientes de pérdida en codos de 90° con diferentes relaciones entre el radio de curvatura (r) y el diámetro de la tubería.
Válvula en ángulo, completamente abierta	5.0	
Válvula de cheque, completamente abierta	2.5	
Válvula de compuerta, completamente abierta	0.2	
Válvula de compuerta, con 3/4 de apertura	1.00-1.15	
Válvula de compuerta, con 1/2 de apertura	5.6	
Válvula de compuerta, con 1/4 de apertura	24.0	
Codo de radio corto (r/d ± 5 6 1)	0.9	
Codo de radio mediano	0.75-0.80	
Codo de gran radio (r/d ± 5 6 1.5)	0.6	
Codo de 45°	0.4-0.42	
Retorno (curva en U)	2.2	
Tee en sentido recto	0.3	
Tee a través de la salida lateral	1.8	
Unión	0.3	
Ye de 45°, en sentido recto	0.3	
Ye de 45°, salida lateral	0.8	
Entrada recta a tope	0.5	
Entrada con boca acampanada	0.1	
Entrada con tubo reentrante	0.9	
Salida	1.0	

- d. Cálculo del factor de fricción debido a expansión en la tubería (K_e). En la siguiente ecuación se sustituyen los valores de D_a y D_b , los diámetros de expansión y el diámetro original, respectivamente. Se realiza el cálculo para un reductor de 2 a 4 in:

$$K_e = \left(1 - \frac{D_a}{D_b}\right)^2$$

Ecuación 35

$$K_e = \left(1 - \frac{2}{4}\right)^2 = 0.25$$

- e. Cálculo del factor de fricción debido a contracción en la tubería (K_c). En la siguiente ecuación se sustituyen los valores de S_a y S_b , son las áreas de sección transversal de los ductos de la corriente de entrada y salida, respectivamente. Se realiza el cálculo para un reductor de 2 a 4 in:

$$K_c = 0.4 \times \left(1 - \frac{S_b}{S_a}\right)$$

Ecuación 36

$$K_c = 0.4 \times \left(1 - \frac{2}{4}\right) = 0.20$$

- f. Cálculo del factor de fricción a largo de tubería. Para el cálculo de la fricción era necesario utilizar un método numérico con el fin de averiguar el valor de f de Darcy en la ecuación no explícita de Colebrook-White (Saldarriaga, 2007):

$$f = \left(-2 * \log_{10} \left(\left(\frac{K_s}{3.7 * d} \right) + \left(\frac{2.51}{Re * \sqrt{x_i}} \right) \right) \right)^{-2}$$

Ecuación 37

Se elige el método de iteración de un punto, por medio del cual se usa un valor semilla x_i para empezar el cálculo de f , y luego de aproximadamente 10 iteraciones el valor de x_{i+1} converge al valor real de f .

$$f = \left(-2 * LOG \left(\left(\frac{K_s}{3.7 * 3.07} \right) + \left(\frac{2.51}{8.39 * 10^4 * \sqrt{0.01}} \right) \right) \right)^{-2}, \text{ con } x_i = 0.01$$

Después de 11 iteraciones se obtiene el valor de $f_{succión} = 0.01874062$. Y realizando el procedimiento para los demás diámetros se obtienen los siguientes resultados:

$$f_{3 \text{ pulg}} = 0.0187406191$$

$$f_{2 \text{ pulg}} = 0.0187406191$$

$$f_{6 \text{ pulg}} = 0.0190665074$$

$$f_{8 \text{ pulg}} = 0.0190293241$$

$$f_{prom} = \frac{f_{succión} + f_1 + f_2 + f_3 + f_4}{5} = 0.0189$$

- g. Cálculo de las pérdidas por la fricción en la tubería. Usando la fórmula de pérdida de carga (h_L) (Cengel, 2012) con la tubería de 6 in de diámetro y 8.83 m de longitud, se obtiene:

$$h_f = f \frac{L}{D}$$

Ecuación 38

$$h_f = 0.0189 \frac{8.833 \text{ m}}{0.154 \text{ m}} = 1.083$$

Se realizó el mismo cálculo para la tubería de 8 in de diámetro y con una longitud de 1.83 m, y se obtuvo:

$$h_f = 0.0189 * \frac{1.83 \text{ m}}{0.203 \text{ m}} = 0.170$$

h. Cálculo de la cabeza dinámica de succión:

$$\sum h_f = (h_f + K_e + K_c + K_f) \frac{\bar{V}_{succión}}{2g}$$

$$\sum h_f = (1.244 + 0 + (0.20 + 0.10) + 2.30) \frac{\left(1.765 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0.61 \text{ m}$$

6. Cálculo de la cabeza de descarga.

$$H_d = \frac{571,090 \text{ Pascales}}{804.15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 73.39 \text{ m}$$

El dato de presión utilizado en el cálculo anterior es la presión medida en el manómetro de descarga de la bomba, y las presiones de las bombas P150069 y P150072 se muestran en las tablas 70 y 71. Las cabezas de descarga para las bombas P150069 y P150072 son 66.71 m y 116.61 m, respectivamente.

Cálculo de la cabeza total de la bomba P1500069.

Conociendo que el tanque de succión de la bomba P150069 se encuentra a presión atmosférica, 102,500 Pascales (Anacafé, 2016), se calcula:

$$H_{total} = H_d - H_s + \sum h_f$$

$$H_{total} = 73.39 - \left(\frac{\left(1.916 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + \frac{102,500 \text{ Pa}}{804.15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 9.73 \text{ m} \right) + (0.61 \text{ m} + 29.74 \text{ m})$$

$$H_{total} = 79.86 \text{ m}$$

Tabla 75. Cabeza total en las bombas críticas luego de los cálculos.

No.	Bomba	Cabeza en m. (ft)
1	P150061	79.86 (262.00)
2	P150069	71.91 (235.94)
3	P150072	113.11 (371.10)

7. Cálculos de muestra para determinar la cabeza de succión neta positiva ($NPSH_A$) para la bomba P150069

Con el dato de la presión de vapor calculado en el apartado D.1, se procede a calcular el valor en ft de altura

$$66.91 \text{ kPa} * \frac{1 \text{ psi}}{6.895 \text{ kPa}} = 9.704 \text{ psi}$$

$$\frac{9.704 \text{ psi} \times 2.31}{0.81} = 27.67 \text{ ft}$$

Usando la ecuación 4 se procede a calcular el $NPSH_A$:

$$NPSH_A = \left(\frac{102,500 \text{ psi}}{804.15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81} \right) + \left(\frac{1.77^2}{2 * 9.81} \right) - \left(\frac{66.91 \text{ psi}}{804.15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81} \right) - \frac{0.61}{9.81} + 9.71 \text{ m}$$

$$NPSH_A = 22.79 \text{ m (74.77 ft)}$$

Cuyo valor es mayor que el valor del $NPSH$ requerido por el manual de la bomba centrífuga, que es 2.53 m (8.3 ft).

8. Selección de bomba y motor del sistema auxiliar de bombeo

- a. Selección del tipo de bomba. Los límites en los cuales tendrá que trabajar la bomba del nuevo sistema auxiliar de bombeo es 60 – 145 $\frac{\text{Galones}}{\text{minuto}}$. Calculando el equivalente en $\frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$:

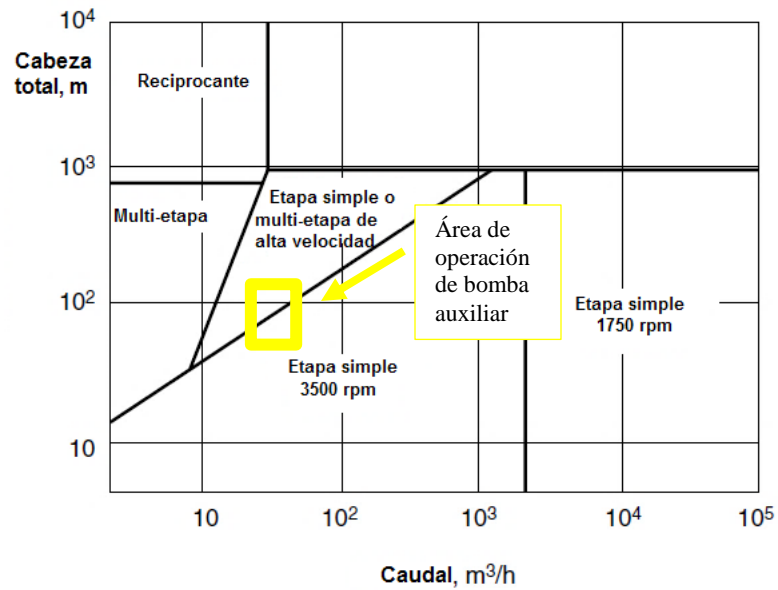
$$145 \text{ USGPM} * \frac{1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{4.403 \text{ USGPM}} = 32.93 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$60 \text{ USGPM} * \frac{1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{4.403 \text{ USGPM}} = 13.63 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

La cabeza total que la bomba tendrá que desarrollar está en el rango de 79.86 – 113.11 m (262 – 371.1 ft).

Con base en la gráfica de selección de equipo de bombeo (Sinnott, 2005), realizamos la selección del tipo de bomba para el sistema de bombeo auxiliar.

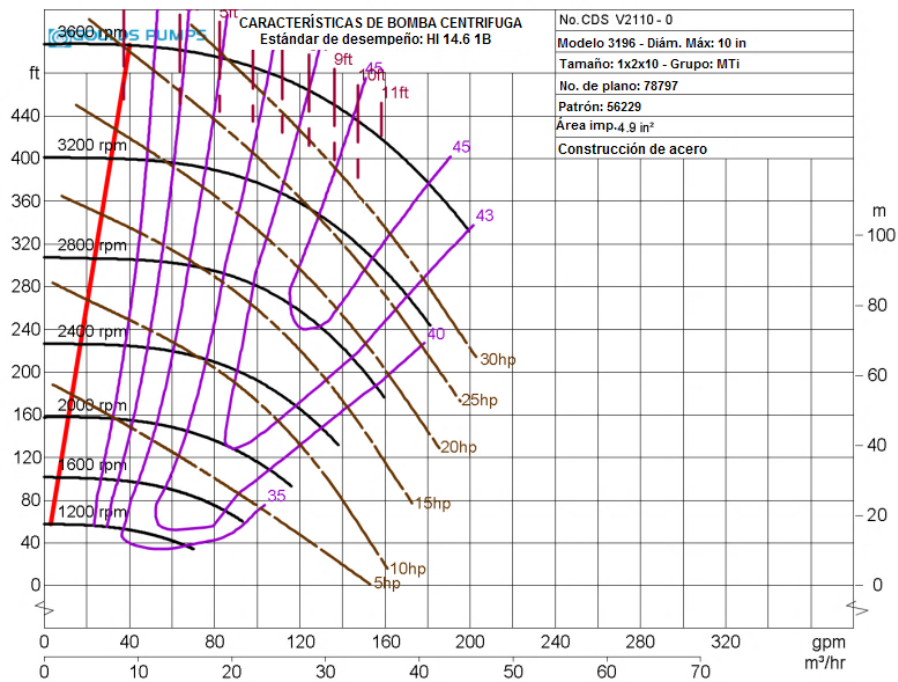
Figura 49. Guía de selección de bombas centrífugas



(Sinnott, 2005)

Se elige una bomba centrífuga de etapa simple y 3500 $\frac{revoluciones}{minuto}$.

Figura 50. Bomba centrífuga elegida con base en los cálculos realizados.



(Goulds, 2006)

9. Cálculo de potencia de nuevo equipo de bombeo. Según Hidráulica de tuberías. Abastecimiento de agua, redes y riesgos (Saldarriaga, 2007), la potencia de una bomba se calcula de la siguiente manera:

$$P_{bomba} = \rho Q g H$$

$$P_{bomba} = 804.15 \frac{kg}{m^3} * 0.0095 \frac{m^3}{s} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 79.86 m = 5.76 kW (7.73 hp)$$

Las pérdidas en el motor eléctrico de inducción trifásico que impulsará la bomba elegida, según la figura 9, ascienden a 55%. Asumiendo una eficiencia de 90% para la bomba, la potencia necesaria para el motor es:

$$P_{motor} = \frac{P_{bomba}}{\eta_{bomba} * \eta_{motor}} = \frac{5.76 kW}{0.45} = 14.39 kW (19.30 hp)$$

El cálculo anterior se realizó para las otras dos bombas P-150069 y P-150072, con potencias de: 8.59 hp (11.39 kW) y 8.43 hp (11.31 kW), respectivamente.

Con base en los resultados anteriores se selecciona una bomba centrífuga de simple etapa y 15 hp (11.19 kW) para el nuevo sistema de bombeo.

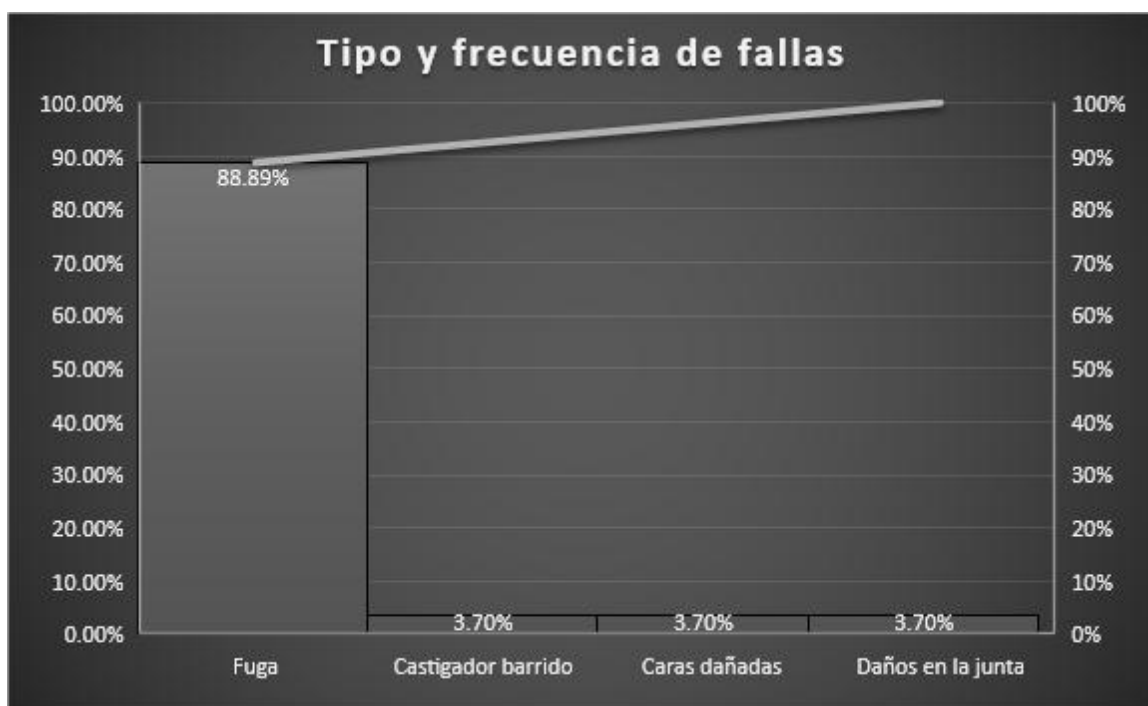
10. Criterio de selección de sellos mecánicos

a. Problemas actuales presentes en los sellos

Tabla 76. Tipo y frecuencia de fallo en bombas

No.	Causa registrada.	Frecuencia	%	% acumulado
1	Fuga.	24	88.89%	88.89%
2	Castigador barrido.	1	3.7%	92.59%
3	Caras rajadas y empaques dañados.	1	3.7%	96.29%
4	Daños en elementos que conforman la junta.	1	3.7%	100%
Total de fallos		27		

Figura 51. Diagrama de Pareto con los problemas actuales de los sellos



- b. Identificación del tipo de servicio. Para la selección de un sello mecánico es necesario contar con los datos de operación, que se detallan a continuación para la bomba P-1502:

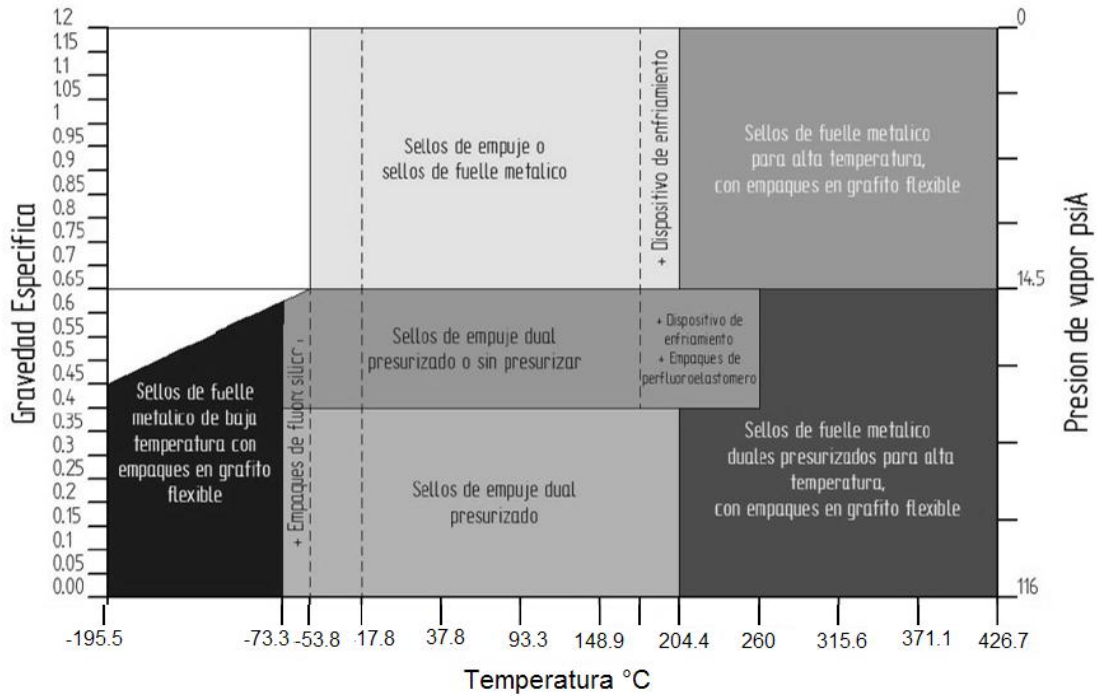
Tabla 77: Datos operativos de las bombas necesarios para aplicación del criterio de selección de sellos mecánicos.

EQUIPO	DATOS OPERACIÓN
Bomba	P-1502
Modelo	APT 54-20
Serie	100069242
Aplicación	Bomba de recirculación ETANOL 90 %
Temperatura °C	97.78
Temperatura °F	208
Gravedad Esp.	1.09
Sólidos en suspensión (%)	26
Presión de Succión (psi)	54.26
Presión de Descarga (psi)	34
RPM de eje	710
Diámetro externo de Manga (Camisa).	44.45 mm (1 3/4 in)
Diámetro interno caja de estoperos.	63.5 mm (2 1/2 in)
Diámetro externo de Registro (rostro).	76.2 mm (3 in)
Longitud de caja.	63.5 mm (2-1/2 in)
Barreno roscado en caja.	15.88 mm (5/8 in)
Primera obstrucción.	69.85 mm (2 3/4 in)
Longitud de registro.	6.35 mm (1/4 in)
Longitud de pernos.	55.56 mm (2 3/16 in)
Diámetro de centro de barrenos.	106.36 mm (4-1/16 in)
Diámetro de barrenos.	12.7 mm (1/2 in)

c. Preselección del tipo de sello mecánico

Con los datos anteriores se procede a la pre-selección del sello mecánico, con base en la figura 8.

Figura 52: Guía para preselección del sello mecánico.



(Ponce, 2010)

El resultado indica que deberá utilizarse: Sellos de empuje o sellos de fuelle metálico.

d. Determinación de sello estacionario o rotativo. Las variables que se deben tomar en cuenta para el cálculo de la velocidad media del sello (V_m) son:

Velocidad del eje (N) en rpm.

Diámetro medio de las caras de contacto (D_m).

Velocidad media del sello (V_m) en ft/minuto.

Diámetro medio de las caras de contacto:

$$D_m = \frac{76.2 + 63.5}{2} = 69.85 \text{ mm (2.75 in)}$$

Velocidad media del sello, en ft/min

$$V_m = \frac{2.75 \times \pi \times 3500}{12} = 2519.8 \text{ fpm}$$

Sí:

$V_m < 4500 \text{ fpm} \rightarrow \text{SELLO ROTATIVO}$

$V_m > 4500 \text{ fpm} \rightarrow \text{SELLO ESTACIONARIO}$

Debido a que $V_m < 4500 \text{ fpm}$ se determina que el sello a utilizar será rotativo.

Determinación de sello para productos viscosos

Unidades de viscosidad:

Viscosidad dinámica (cP)

Viscosidad cinemática (cSt)

Gravedad específica (GE)

$$cP = cSt * GE$$

Ecuación 39

Usando la ecuación 8, se determina la viscosidad dinámica del etanol:

$$cSt = \frac{cP}{GE} = \frac{1.3639 \text{ cP}}{0.81} = 1.684 \text{ cSt}$$

Según el cP obtenido con la formula anterior se define el tipo de fuelle que debe llevar el sello mecánico.

Figura 53. Determinación de fuelle para sellos mecánicos

Viscosidad (Fuelle Elastomérico):	
(0-550) cSt :	Use Sello Y Asiento Estándar (Cara De Carbón).
(550-1.600) cSt :	Use Caras Duras.
(1.600-5.400) cSt :	Use Sello Dual
(5.400-10.500) cSt :	Requiere Sello De Ingeniería.
Viscosidad (Empuje De Empaque Elastomérico Y Teflón):	
(0-1.000) cSt :	Use Sello Y Asiento Estándar (Cara De Carbón).
(1.000-10.500) cSt :	Requiere Sello De Ingeniería.
Viscosidad (Fuelle De Teflón):	
(0-1.000) cSt :	Use Sello Y Asiento Estándar (Cara De Carbón).
(1.000-10.500) cSt :	Requiere Sello De Ingeniería.
Viscosidad (Fuelles Metálico):	
(0-1.000) cSt :	Use Carbón.
(1.000-3.500) cSt :	Use Caras Duras.
(3.500-10.500) cSt :	Requiere Sello De Ingeniería.
Viscosidad (Monoresortes, Arrastre Por Resorte):	
>500 cSt :	Use Caras Duras.
>1.000 cSt :	No Use Sellos Arrastrados Por El Resorte.

(Ponce, 2010)

Este valor permite conocer que, en la Figura 40, las caras del sello mecánico serán caras duras por encontrarse en el rango de 1.000 – 3.5000 cSt.

- e. Selección de arreglo del sello mecánico en función de la toxicidad del fluido. El producto del fluido a trabajar, en este caso etanol a 95% de concentración, se considera de alta toxicidad. Por lo tanto, según la Figura 10, la recomendación es usar un arreglo dual presurizado en el sello mecánico.

Figura 54. Determinación del arreglo para el sello con base en la toxicidad del fluido a trabajar

GRADO DE TOXICIDAD	CARACTERISTICAS	RECOMENDACIONES
0 NO TOXICO	No toxico. No produce efectos en condiciones generales	Estos Fluidos generalmente requieren de sellos sencillos
1 POCA TOXICIDAD	Toxicidad mediana puede producir efectos cortos que desaparecen una vez removida la exposición.	
2 TOXICIDAD MODERADA	Puede producir efectos cortos y largos pero normalmente no es letal	Se pueden usar sellos sencillos con dispositivo auxiliar o sellos duales presurizados o no presurizados
3 TOXICIDAD ALTA	Puede causar la muerte o daños permanentes después de cortas exposiciones en pequeñas cantidades.	Requieren arreglo dual presurizado
U TOXICIDAD DESCONOCIDA	No se tienen datos disponibles de los efectos en los humanos	Se recomienda arreglo dual presurizado

(Ponce, 2010)

- f. Selección de los planes API. La selección del plan API para la lubricación del sello mecánico se realiza en función del tipo de fluido, y la categoría del etanol con 95% de concentración es “Fluidos peligrosos, explosivos e inflamables”.

Figura 55: Elección del plan API de lubricación para el nuevo sello.

FLUIDO BOMBEADO	ACCIÓN REQUERIDA	PLANES API
1 Fluidos Limpios	1 Circulación (Lubricación)	PLAN 1 Circulación Integral PLAN 11 Recirculación PLAN 12 Recirculación con Filtro PLAN 13 Recirculación Inversa PLAN 14 Recirculación con Retomo
2 Fluidos a Temperatura	2 Enfriamiento	PLAN 2 Enfriamiento Integral PLAN 21 Recirculación con Enfriador PLAN 22 Recirculación con Enfriador y Filtro PLAN 23 Circuito Cerrado con Enfriador
3 Fluidos Abrasivos	3 Lubricación	PLAN 31 Recirculación con Separador PLAN 32 Inyección Fuente Externa
4 Fluidos Abrasivos a Temperatura	4 Enfriamiento y Lubricación	PLAN 41 Recirculación con Separador y Enfriador
5 Fluidos Peligrosos Ácidos y Cáusticos Tóxicos y Cancerígenos Explosivos e Inflamables	5 Seguridad	PLAN 51 Sello Sencillo PLAN 52 Sello Dual No presurizado PLAN 53 Sello Dual Presurizado PLAN 54 Sello Dual Presurizado
6 Fluidos en General	6 Manejo de Emisiones	PLAN 61 Venteo y Drenaje PLAN 62 Lavado y Drenaje PLAN 65 Venteo y Drenaje (Recolector de fuga).
7 Gases	7 Barrera de Gas	PLAN 71 Barrera de Gas Opcional PLAN 72 Barrera de Gas No Presurizada PLAN 74 Barrera de Gas Presurizada PLAN 75 Drenaje de Fuga que condensa PLAN 76 Venteo de Fuga que no condensa

(Ponce, 2010)

Con la categoría anterior se puede determinar en la figura 15 que el plan API es: Plan 53: Sello dual presurizado.

- g. Recomendación de planes de lubricación de acuerdo con la toxicidad de los productos manejados

Figura 56. Recomendación de planes de lubricación de acuerdo con la toxicidad de los productos

DESCRIPCION	RECOMENDACIONES	
	TIPO DE SELLO	PLANES API
A	Sello Sencillo, Caras Blandas, Sello Empuje O Fuelle Metálico	11/61
B	Sello Sencillo Caras Duras, Sello Empuje O Fuelle Metálico	31/61
C	Sello Arreglo Doble	53 ó 54 ó 74
D	Sello Sencillo Caras Blandas, Fuelle Metálico Con O Sin Enfriamiento	21/61 ó 23
E	Sello Sencillo Caras Duras, Fuelle Metálico Con Inyección De Fuente Externa O Con Enfriamiento Y Separadores De Abrasivos	32 ó 41/61
F	Sello Arreglo Tandem, Sello Empuje, Caras Blandas	11/52
G	Sello Arreglo Tandem, Sello Empuje, Caras Duras	31/52
H	Sello Sencillo Empuje Con Enfriamiento O Fuelle Metálico	21/62 ó 23
I	Sello Sencillo, Caras Duras, Empuje O Fuelle Metálico Con Inyección De Fuente Externa Con Enfriamiento Y Separador Abrasivo	32 ó 41/62

(Ponce, 2010)

11. Incremento de eficiencia del proceso. Para conocer el incremento de la eficiencia del proceso se calculará la disponibilidad del equipo de bombeo, la eficiencia del proceso y la calidad del mismo. Para ello se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$Disponibilidad = \frac{B}{A}$$

Donde:

A = Tiempo total que el proceso tenía disponible para producir.

B = Tiempo operativo del proceso.

Tomando el número de horas de la zafra y las veces que el proceso se detuvo por mantenimiento correctivo debido a paros por fallas mecánicas en las bombas, se calcula:

Disponibilidad

$$= \frac{24 \text{ horas} * 152 \text{ días de zafra} - 2.25 \text{ horas de paro por fallas de sellos}}{24 \text{ horas} * 152 \text{ días de zafra}}$$

$$\text{Disponibilidad} = 99.83\%$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{D}{C}$$

Donde

C = Resultados previstos

D = Resultados reales

Eficiencia

$$= \frac{4 \frac{\text{m}^3 \text{ de etanol}}{\text{día}} * 151 \text{ días de zafra} - \left(2.5 \text{ hrs por reparación} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ hrs}} * 3 \text{ fallas} \right) * 151 \text{ días de zafra}}{4 \frac{\text{m}^3 \text{ de etanol}}{\text{día}} * 151 \text{ días de zafra}}$$

$$\text{Eficiencia} = 92.19\%$$

La eficiencia del proceso actual es:

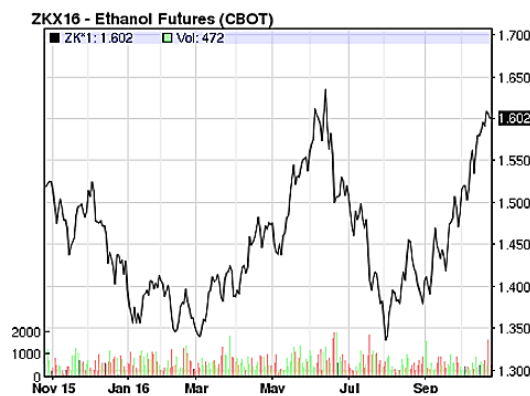
$$OEE = 99.83\% \times 92.19\% = 92.03\%$$

El aumento de la eficiencia del proceso si el sistema auxiliar de bombeo se instalara en las bombas P150061, P150069 y P150072 evitaría que se provocaran las reparaciones que, en el peor de los casos, se tardan 2.5 horas y el aumento sería: $\text{Aumento de eficiencia} = 100\% - 92.03 = 7.97\%$

12. Impacto del nuevo sistema de bombeo

a. Cálculo del aumento de la eficiencia de proceso

Figura 57: Tendencia de precio de etanol en mercado mundial.



(Nasdaq, 2016)

Tabla 78: Unidad de costeo y costo del etanol en moneda local.

Componente y el estado	Unidad de costeo	Costo en US\$/Libra	Tipo de cambio ²	Costo en Q/Libra
Etanol líquido	Libra	1.602	7.53	12.05

Tiempo promedio para mantenimiento correctivo de un sello mecánico en la planta destiladora:

$$97.5 \text{ minutos (1.625 horas)}$$

Caudal promedio del producto terminado aproximado de la planta de destilación:

$$23.85 \text{ m}^3/\text{h}$$

Usando valores promedio de tiempo de mantenimiento correctivo y caudal de producto terminado, mostrados en el anexo 49 de la sección: Impacto del nuevo sistema de bombeo, se calcula los activos no aprovechados mientras se lleva a cabo una reparación.

$$\begin{aligned} & \text{Activos}_{no \text{ aprovechados}} \\ & = 1.625 \text{ horas} * 23.85 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}} * 804.15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{2.20 \text{ Libras}}{1 \text{ kg}} * \frac{Q. 12.06}{\text{Libra}} \end{aligned}$$

Ecuación 40

$$\text{Activos}_{no \text{ aprovechados}} = Q. 826,892 \text{ (US\$ 109,813)}$$

El monto aproximado de activos mostrado anteriormente puede ser ahorrado implementando el nuevo sistema de bombeo auxiliar, tomando en cuenta que el mismo suplirá la función de 3 bombas al momento de presentarse alguna falla.

- b. Análisis de beneficio costo del proyecto. En el estudio realizado por el estudiante José Fernando Nájera Kel de la licenciatura en Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala, se establece que actualmente el ingenio utiliza una cantidad de 10 años para evaluar sus proyectos y solicitar fondos al Departamento Financiero de la empresa. Por otra parte, en este mismo estudio se establece que la evaluación financiera aplicada a las propuestas de mejora se realiza utilizando una TMAR de 10.1% (Nájera, 2015). Este mismo valor de la TMAR y el período establecido son utilizados para evaluar las propuestas de mejora al proceso de producción de etanol en la planta productora de la empresa estudiada. Cabe mencionar que todas las evaluaciones se realizaron la unidad monetaria USD. Se realiza un análisis de costo beneficio para determinar el impacto del nuevo sistema auxiliar de bombeo.

² Tipo de cambio consultado el 27 de octubre de 2016 (Banco de Guatemala, 2016).

$$\frac{B}{C} = \frac{VP \text{ del } BE}{M + B + V + T + A}$$

Ecuación 41

En donde:

- *VP del BE = valor presente del beneficio esperado*
- *M = costo del motor Baldor Reliance*
- *B = costo de la bomba centrífuga Goulds*
- *V = costo del variador de frecuencia*
- *T = costo de la tubería*
- *A = costo de los accesorios*

Para este análisis, como primer punto, se asume que los costos se hacen en al año cero, ya que realmente sería una inversión inicial por parte de la empresa al momento de implementar la propuesta de mejora. Para saber cuánto es el costo total al que incurre el ingenio por etanol no producido debido a paros en la planta por fallas mecánicas en las bombas, que en este caso sería el beneficio esperado, ya que el objetivo del sistema auxiliar de bombeo es evitar estos costos de producto no terminado, se analiza la logística de reparación de sellos mecánicos para la zafra 2015-2016.

Acorde a la logística de reparación, se repararon 3 veces los sellos mecánicos en el tiempo de zafra; una vez a cada bomba crítica del proceso. Sabiendo que los activos no aprovechados, calculados en la ecuación 13, son US\$. 190,813 se obtiene el costo total que la planta incurre por etanol no producido en tiempo de zafra cuando fallan los tres sellos multiplicando el valor de activos no aprovechados por 3, dando un total de US\$. 329,439.

Por lo tanto, el costo total de etanol no producido en tiempo de zafra se trae al valor presente para poder realizar el análisis beneficio/costo, en donde se incluye la inversión inicial del equipo para la implementación del sistema auxiliar de bombeo que ya está en el año cero. Entonces:

$$VP \text{ del } BE = (10.1\%; 10 \text{ años}; US\$ 329,439)$$

$$VP \text{ del } BE = US\$ 125,864.08$$

El análisis beneficio/costo, el cual se presenta a continuación:

Tabla 26: Costo de los componentes del sistema de bombeo

Descripción	Costo (US\$)
Motor de 20 hp, bomba centrífuga marca Goulds y variador de frecuencia.	13,709.32
Tuberías	2,086.05
Implementos (Obra civil, soldadura y materiales)	4,000.00 ³
Total	19,795.37

Para mayor detalle de los costos, consultar cotizaciones en Anexos 50.

$$\frac{B}{C} = \frac{US\$ 125,864.08}{(US\$ 13,709.32 + US\$ 2,086.05 + US\$ 4,000.00)}$$

$$\frac{B}{C} = 6.36$$

Con este resultado se puede concluir que, la propuesta de mejora de implementar un sistema auxiliar de bombeo para evitar que el ingenio incurra en costos de etanol no producido es justificable. Es decir que, para los estimados la propuesta es económicamente aceptable; entonces para esta propuesta en específico, los beneficios superan los costos, por lo tanto, es viable su implementación. El valor del análisis permite determinar que, por cada dólar invertido en la implementación del sistema auxiliar de bombeo, se ganan US\$.6.36 (Q.47.89) en los beneficios que esta inversión causaría.

c. Período de recuperación de inversión

En este caso no se tiene un flujo de efectivo a mediano o largo plazo, sino que la propuesta de mejora involucra una inversión inicial única, y su viabilidad se comprueba con el beneficio esperado que pueda cubrir los costos de inversión. El período de recuperación de la inversión es la diferencia entre la inversión requerida para implementar la propuesta de mejora con el beneficio esperado que pueda cubrir esta inversión, esta diferencia se divide por el beneficio esperado, de la siguiente forma.

$$PRI = \frac{\text{Beneficio} - \text{Inversión}}{\text{Beneficio}}$$

Ecuación 42

$$PRI = \frac{US\$ 125,864.08 - US\$ 19,795.37}{US\$ 125,864.08}$$

$$PRI = 0.84$$

³ El costo de la obra civil e implementos son basadas en estimaciones hechas por personas de la planta, expertas en el tema.

Se requiere de 0.84 años (10.08 meses) para poder recuperar inversión realizada para la implementación de la propuesta de mejora.

Anexo 30: Cotización de motor de inducción, bomba centrífuga marca Goulds y variador de frecuencia PumpSmart PS220.

Precio del equipo de bombeo

Cotización # PM-161A
Guatemala, 7 de noviembre de 2016

Señores
UVG
Attn: Pablo Aquino
Presente

Estimado Pablo:

De acuerdo a su requisición por email, le envío la siguiente cotización:

NO.	CANTIDAD	NO DE PARTE	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
01	1	3196	<ul style="list-style-type: none"> - Bomba centrífuga marca Goulds, modelo 3196 MTi, construcción, carcaza e impulsor de hierro ductil. O-rings del casing y del impulsor de fibra de aramida con EPDM y relleno de silicato. Material del eje SAE 4140, camisa del eje de acero inoxidable 316, O-Ring del impulsor de teflón. Cojinete interior 6309, exterior 3309. Acople de elastómero Omega Rex ES-4, guarda del acople de aluminio. La base hecha de hierro fundido B00058A. Sello mecánico simple de carbón contra carburo de silicio. - Brida #150 de cara plana. - Variador de frecuencia PumpSmart PS220. - Pintura color azul estándar Goulds. - Motor eléctrico de 20 hp, 460/60/3. Factor de servicio de 1.15, 3,600 RPM, frame 256T. Motor de eficiencia química premium. 	Q 103,231.15	Q 103,231.15
TOTAL					Q 103,231.15

Variables operativas y gráfica de desempeño de la bomba.

Model: 3196	Size: 1x2-10	Group: MTi	60Hz	RPM: 3395	Stages: 1
--------------------	---------------------	-------------------	-------------	------------------	------------------

Job/Inq.No. : Bombeo de Etanol (Velocidad Variable)
 Purchaser : MAQUINARIA E INSUMOS IND
 End User: TBA
 Item/Equip.No. : 1 (Base Offer)
 Service :
 Order No. :
 Issued by : Javier Rodriguez
 Quotation No. : JR16-11-04 10
 Date : 11/04/2016
 Certified By :
 Rev. : 0

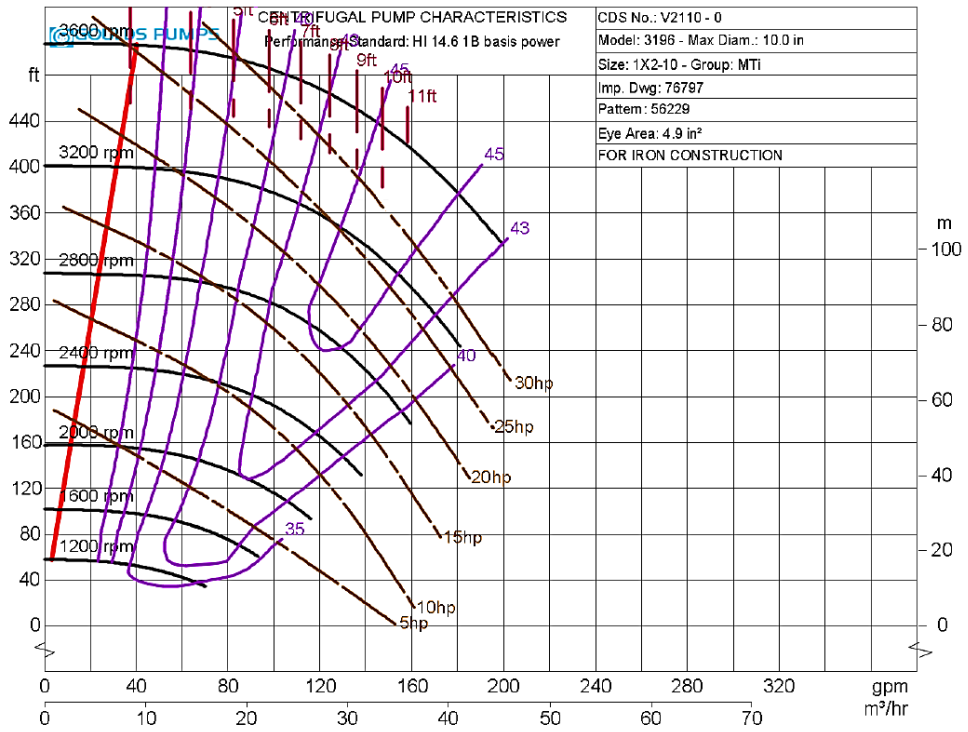
Operating Conditions

Liquid: Etanol (95%)
 Temp.: 185.0 deg F
 S.G./Visc.: 0.804/0.600 cp
 Flow: 150.0 gpm
 TDH: 371.0 ft
 NPSHa: 31.0 ft
 Solid size:
 % Susp. Solids (by wtg):

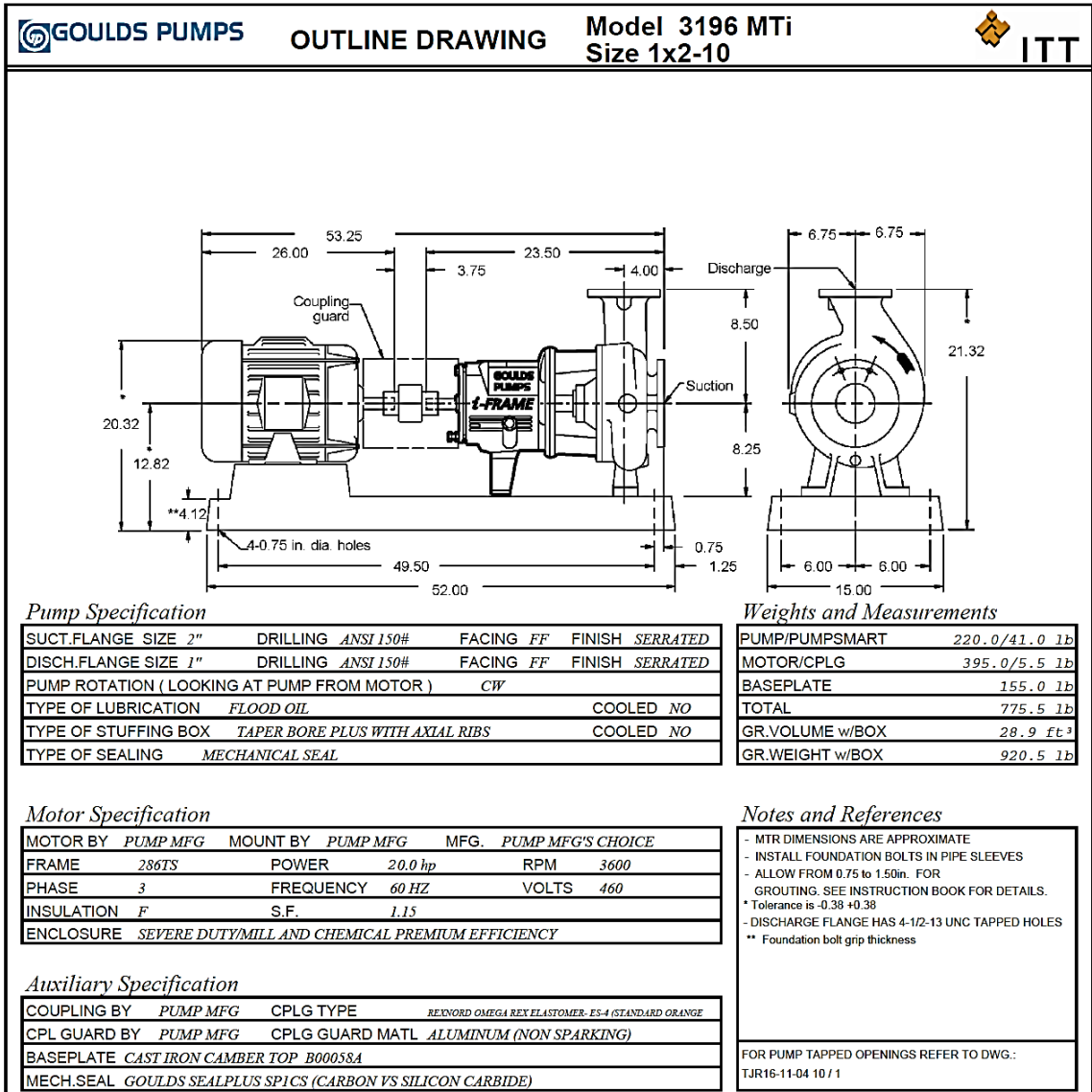
Pump Performance

Published Efficiency: 45.0 %
 Rated Pump Efficiency: 44.5 %
 Rated Total Power: 19.3 hp
 Imp. Dia. First 1 Stg(s): 10.0000 in
 NPSHr: 9.0 ft
 Shut off Head: 451.5 ft
 Vapor Press: 18.70 psi abs
 Suction Specific Speed: 7,982 gpm(US) ft
 Min. Hydraulic Flow: 34.8 gpm
 Min. Thermal Flow: N/A
 Max. Solids Size: 0.0000 in

- Notes:**
1. Power and efficiency losses are not reflected on the curve below.
 2. Elevated temperature effects on performance are not included.



Estructura y dimensiones del equipo de bombeo.



Variables operativas de la bomba centrífuga.

MODEL:3196 MTi SIZE:1x2-10 QTY: 1

Operating Conditions

SERVICE

LIQUID Etanol (95%) , Temp. 185.0 deg F, Vapor Pres. 18.70 psi abs, SP.GR 0.804, Viscosity 0.600 cp, rated / max. suction pressure 14.9 / 0.0 psi g

CAPACITY Rated 150.0 gpm

HEAD 371.0 (ft)

i-FRAME™



Performance at 3395 RPM per HI 14.6 1B basis power

PUBLISHED EFFY 45.0% (CDS)

RATED EFFY 44.5% with contract seal

RATED POWER 19.3 hp (incl. Mech. seal drag 0.42).

NPSHR 9.0 ft (available NPSH is 31.0 ft)

DISCH PRESSURE (R) 144.0 psi g (172.0 psi g @ Shut off) based on 14.9 psi g rated suction pressure

PERF. CURVE V2110-0 (Rotation CW viewed from coupling end)

SHUT OFF HEAD 451.5 ft

MIN. FLOW Continuous Stable: 34.8 gpm Hydraulic: 34.8 gpm Thermal: N/A

Materials

CONSTRUCTION Ductile iron

CASING Ductile iron (max.casing pressure @ rated temperature 233.2 psi g)

ST.BOX COVER Ductile iron

IMPELLER Ductile iron - Open (10.0000 in rated, max=10.0000 in)

CASING GASKETS Aramid Fiber with EPDM and Silicate Filler

IMPELLER O-RING Teflon

SHAFT MATERIAL SAE 4140

SHAFT SLEEVE 316SS

LUBRICATION Flood oil

SEAL CHAMBER Taper bore plus with axial ribs

GLAND 316SS Flush vent and drain with carbon restricting bushing

BEARINGS 6309 (Inboard) 3309 (Outboard)

COUPLING Rexnord - Omega Rex Elastomer- ES-4 (standard orange element)-S.F. 1.00

COUPLING GUARD Aluminum (non sparking)

BASEPLATE Cast iron camber top B00058A

Sealing Method

MECHANICAL SEAL Goulds SealPlus SP1CS (Carbon vs Silicon Carbide) - (Cartridge - Single)

Variables operativas de variador de frecuencia.

PUMPSMART® PS220 Variable Speed Drive

Item / Tag	Qty	Catalog Number	
1	1	K03552A08	
Item Description			
Input Voltage:	440 VAC - 500 VAC		
Rated Output Current:	40		
Construction:	Wall Mount		
Enclosure:	NEMA 1 / IP21		
Nominal Horsepower:	20.0 hp		
Frame Size:	R4		
Input Disconnecting Means:	By Others		
Bypass:	No		
Input Impedance:	3%		
Communication Protocols:	None		
Other Options:			
Drive Input Fuse Ratings			
Amps (600 V)	Supplied By	Bussmann Type (or equal)	
40	No, by others	600V, 60A, Bussmann# JJS-60, Type T	
Dimensions and Weights			
Height x Width x Depth (in / mm)	Weight lbs / kg	Dimension Drawing	
22.7"H x 8.0"W x 10.8"D / 475mm H x 172mm W x 261mm D	41.0 / 19.0	FS4_N1_IP21	
Heat Dissipation & Airflow Requirements			
Power Losses		Airflow	
Watts	BTU/Hr	CFM	CM/Hr
895.0	2276.0	79.0	134.0

Especificaciones de las conexiones del variador de frecuencia.

1.6.1 Input Connection

Input Voltage	380/400/415/440/460/480/500Vac 3-phase +10%/-15%
Frequency	50/60 Hz \pm 5%
Line Limitations	Max \pm 3% of nominal phase to phase input voltage
Fundamental Power Factor	0.98
Connection	U1, V1, W1
Nominal Impedance	Reactor with \sim 3% impedance - DC (R1 through R9 Frame)

1.6.2 Output (Motor) Connection

Output Voltage	0 to U1, 3-phase symmetrical, Umax at the field weakening Point
Output Frequency	0-500Hz
Frequency Resolution	0.01 Hz
Continuous Output Current	1.0 * I2Ld (light duty use), 1.0* I2hd (heavy-duty use)
Short Term Overload Capacity	I2Ldmax = 1.1 * I2Ld (1 min / 5 minutes @ 40°C), typical Ihdmax = 1.5 * I2hd (at least 1 min / 5 min @ 40°C)
Peak Overload Capacity	IMath.max (400 Vac and 500 Vac) (at least 10 seconds at start)
Field Weakening Point	8 to 500 Hz
Switching Frequency	2.7 kHz (average), DTC dynamically varies from 1 to 12kHz
Acceleration & Deceleration Time	Adjustable 0 to 1800 Sec
Efficiency	98% at nominal power level
Short circuit withstand rating	100,000 AIC (UL) R1-R9 when protected by fuses given in the hardware manual
Connection	U2, V2, W2

1.6.3 Enclosure

Style	NEMA 1 / IP21
-------	---------------

Anexo 31. Manuales de usuario de bombas Sulzer

Especificaciones del equipo de bombeo P150061.

SULZER

**Sulzer Process Pumps US
Easley Pump Factory**

**ESPECIFICACION DEL
PRODUCTO**

MOTORTipo del bomba: **CPT**Versión: **03**Clasificación: **B, Proyecto técnico previo**Unidades: **US**Entrega: **Easley**Método de pintado: **Epóxi**Matiz de color: **NCS 1700**Seal flush piping: **Included in the delivery**Acoplamiento y protector: **Incluido en la entrega**Placa base: **Incluido en la entrega**Motor de accionamiento: **Incluido en la entrega****DATOS DEL PROCESO**Proceso: **6499**Aplicación: **HQ STRIP/RECTIFIER REFLUX PUMP**Líquido bombeado: **95% ETOH**Gravedad específica: **0.74**Temperatura: **174 °F**NPSH disponible: **14.8 Pie**

Capacidad Q:

Altura H: **190.0 Pie****MOTOR**Characteristic curve: **K17404, O 3550 rpm 21-1B**Potencia consumida de la bomba: **9.5 HP**Potencia de motor: **15.0 HP**Eficiencia: **56 %**Velocidad de la bomba: **3550 rpm**Velocidad variable: **No**NPSH requerido: **8.3 Pie**

Caudal Q agua:

Altura H agua: **191.0 Pie**Potencia consumida P agua: **12.8 HP**Redimiento agua: **56 %****MOTOR**Dim.drawing, Assembly of Pump: **P12023, STYLE1,2 NEMA 21-1B<**Tipo de acoplamiento: **Rex-Omega****ES**Tipo de placa base: **S1P**Material protección acoplamiento: **EN-AW5754 (AIMg3)**Codigo NEMA: **254T****MOTOR**Motor suministrado por: **Easley**Motor fabricante: **RELIANCE**Codigo NEMA: **254T**Tipo de motor: **FCXP**Velocidad de rotacion: **3,600 rpm**Potencia: **15.00 HP**Frecuencia: **60 hz**Voltaje: **460**Proteccion: **TEFC**

Especificaciones del equipo de bombeo P150069.

SULZER

**Sulzer Process Pumps US
Easley Pump Factory**

**ESPECIFICACION DEL
PRODUCTO**

MOTORTipo del bomba: **CPT**Versión: **03**Clasificación: **B, Proyecto técnico previo**Unidades: **US**Entrega: **Easley**Método de pintado: **Epóxi**Matiz de color: **NCS 1700**Seal flush piping: **Included in the delivery**Acoplamiento y protector: **Incluido en la entrega**Placa base: **Incluido en la entrega**Motor de accionamiento: **Incluido en la entrega****DATOS DEL PROCESO**Proceso: **6499**Aplicación: **DEMETHYLIZER REFLUX PUMP**Líquido bombeado: **95% ETOH**Gravedad específica: **0.74**Temperatura: **173 °F**NPSH disponible: **7.5 Pie**

Capacidad Q:

Altura H: **232.0 Pie****MOTOR**Characteristic curve: **K17394, O 3550 rpm 22-1**Potencia consumida de la bomba: **9.3 HP**Potencia de motor: **15.0 HP**Eficiencia: **44 %**Velocidad de la bomba: **3550 rpm**Velocidad variable: **No**NPSH requerido: **5.8 Pie**

Caudal Q agua:

Altura H agua: **234.0 Pie**Potencia consumida P agua: **12.6 HP**Redimiento agua: **44 %****MOTOR**Dim.drawing, Assembly of Pump: **P12027, STYLE1,2 NEMA 22-1< /**Tipo de acoplamiento: **Rex-Omega****ES**Tipo de placa base: **S1P**Material protección acoplamiento: **EN-AW5754 (AIMg3)**Codigo NEMA: **254T****MOTOR**Motor suministrado por: **Easley**Motor fabricante: **RELIANCE**Codigo NEMA: **254T**Tipo de motor: **FCXP**Velocidad de rotación: **3,600 rpm**Potencia: **15.00 HP**Frecuencia: **60 hz**Voltaje: **460**Proteccion: **TEFC**

Especificaciones del equipo de bombeo P150072.

SULZER

**Sulzer Process Pumps US
Easley Pump Factory**

**ESPECIFICACION DEL
PRODUCTO**

MOTORTipo del bomba: **CPT**Versión: **03**Clasificación: **B, Proyecto técnico previo**Unidades: **US**Entrega: **Easley**Método de pintado: **Epóxi**Matiz de color: **NCS 1700**Seal flush piping: **Included in the delivery**Acoplamiento y protector: **Incluido en la entrega**Placa base: **Incluido en la entrega**Motor de accionamiento: **Incluido en la entrega****DATOS DEL PROCESO**Proceso: **6499**Aplicación: **RECYCLE RECTIFIER REFLUX PUMP**Líquido bombeado: **95% ETOH**Gravedad específica: **0.69**Temperatura: **258 °F**

Presión de vapor:

NPSH disponible: **7.9 Pie**

Capacidad Q:

Altura H: **275.0 Pie****MOTOR**Characteristic curve: **K17394, O 3550 rpm 22-1**Potencia consumida de la bomba: **8.9 HP**Potencia de motor: **15.0 HP**Eficiencia: **32 %**Velocidad de la bomba: **3550 rpm**Velocidad variable: **No**NPSH requerido: **4.9 Pie**

Caudal Q agua:

Altura H agua: **275.0 Pie**Potencia consumida P agua: **12.9 HP**Redimiento agua: **32 %****MOTOR**Dim.drawing, Assembly of Pump: **P12027, STYLE1,2 NEMA 22-1< /**Tipo de acoplamiento: **Rex-Omega****ES**Tipo de placa base: **S1P**Material protección acoplamiento: **EN-AW5754 (AIMg3)**Codigo NEMA: **254T****MOTOR**Motor suministrado por: **Easley**Motor fabricante: **RELIANCE**Codigo NEMA: **254T**Tipo de motor: **FCXP**Velocidad de rotación: **3,600 rpm**Potencia: **15.00 HP**Frecuencia: **60 hz**Voltaje: **460**Protección: **TEFC**

Anexo 32. Manual de usuario de bomba Goulds

Lista de partes con materiales de construcción

Artículo	Cantidad por bomba	Nombre de la parte	3196, CV 3196, HT 3196, 3796				
			Todo de hierro dúctil	Hierro dúctil con impulsor de acero inoxidable 316	Todo de acero inoxidable 316	Todo de CD4Mcu	Todo de aleación 20
100	1	Carcasa	1012	1012	1203	1216	1204
101	1	Impulsor	1013	1203	1203	1216	1204
105	1	Anillo de cierre hidráulico	Teflon®				
106	1 juego	Empaque de prensaestopas	Trenzado sin asbesto				
107	1	Casquillo – prensaestopas empacado	1203				1204
108	1	Adaptador para el bastidor	1013				
108C	1 x	Tapa del extremo del cojinete exterior	1001				
112A	1	Cojinete exterior	Contacto angular de doble hilera (doble par para LTX)				
113	2	Tapón – de salida de grasa	2210				
113B	1	Tapón – de llenado de aceite	2210				
122	1	Eje – sin camisa	▲		2229		2230
122	1	Eje – con camisa	2238				
126	1	Camisa del eje	2229				
134	1	Caja de cojinetes	1001				
136	1	Contratuercas del cojinete	Acero				
168A	1	Cojinete radial	Una hilera de rodamientos				
184	1	Tapa del prensaestopas/cámara del sello	1012	1012	1203	1216	1204
193	2	Grasera	Acero				
228	1	Bastidor de los cojinetes	STX Todos los demás				
236A	10	Tomillo sin rosca – anillo de abrazadera del cojinete	2210				
241	1	Soporte del bastidor	1001				
248	1	Lanzador de aceite	2210				
250	1	Casquillo – sello mecánico	El material varía				
253B	1	Anillo de abrazadera del cojinete	2210				
319	1	Tubo indicador	Vidrio/acero				
332A	1	Sello de laberinto exterior con anillos en O	Teflon® lleno con carbón con anillos en O de Viton®				
333A	1	Sello de laberinto interior con anillos en O	Teflon® lleno con carbón con anillos en O de Viton®				
351	1	Empacadura de la carcasa	Fibra de aramida con EPDM				
353	4	Perno prisionero del casquillo	2229				
355	4	Tuerca del perno prisionero del casquillo	2229				
358	1	Tapón – de drenaje de la carcasa	2210		2229		2230
358Y	1 x	Tapón, del impulsor	2229				
360C	1 x	Empacadura – tapa del extremo de empuje	Vellumoid				
360F	1	Empacadura – del bastidor al adaptador	Vellumoid				
360Q	1	Empacadura – del casquillo a la tapa del prensaestopas	El material varía				
361A	1	Anillo de retención	Acero				
370	★	Perno – del adaptador a la carcasa	2210				2228
370B	4	Perno – del bastidor al adaptador	2210				
370C	★	Perno de sujeción – caja de los cojinetes	2210				
370D	★	Perno de levantamiento – caja de los cojinetes	2210				
370E	2	Perno – del soporte del bastidor al bastidor	2210				
370H	2	Perno prisionero – de la tapa del prensaestopas al adaptador	2228				
371C	6 x	Tomillo sin tuerca – de la tapa del extremo a la caja de cojinetes	2210				
382	1	Arandela de seguridad del cojinete	Acero				
383	1	Sello mecánico	El material varía				
400	1	Chaveta del acoplamiento	2210				
408A	1	Tapón – de drenaje de aceite	2210				
408H	4	Tapón – conexión de neblina de aceite	2210				
408J	1	Tapón – del aceitador	2210				
408L	1	Tapón – entrada del enfriador de aceite	2210				
408M	1	Tapón – salida del enfriador de aceite	2210				
408N	1	Tapón – tubo indicador	2210				
418	3	Perno de levantamiento – del adaptador a la carcasa	2228				
423	3	Contratuercas – del perno de levantamiento de la caja de cojinetes	2210				
423B	2	Tuerca hexagonal – de la tapa del prensaestopas al adaptador	2228				
428	1	Empacadura, del tapón	Teflon®				
458Y	1 x	Tapón, del impulsor	2229				
469B	2	Pasador – del bastidor al adaptador	Acero				
496	1	Anillo en O – caja del cojinete	Buna N				
412A	1	Anillo en O – del impulsor	Teflon®				
497F	1	Anillo en O – rotor del laberinto exterior	Viton®				
497G	1	Anillo en O – Estator del laberinto exterior	Viton®				
497H	1	Anillo en O – rotor del laberinto interior	Viton®				
497J	1	Anillo en O – estator del laberinto interior	Viton®				
503	1 #	Anillo del adaptador	1013				
529	1	Arandela de seguridad – del soporte del bastidor al bastidor de los cojinetes	Acero				
555	1	Tubo, conjunto de enfriamiento con aletas	Acero inox. 316 / cobre				
555A	2	Tubo, de base – macho (enfriamiento del bastidor)	Latón				
555B	2	Conector, termopar (enfriamiento del bastidor)	Latón				
555C	2	Codo, hembra (enfriamiento del bastidor)	Latón				
555D	1	Conexión TC (termopar) sellada PWR (mecánica)	Hierro fundido				

Tabla de materiales según código.

Material	Código de materiales de Goulds Pumps	ASTM	DIN	ISO	JIS
Hierro fundido	1001	A48, clase 20			
Hierro dúctil	1012	A395 Gr60-40-18			
Hierro dúctil	1013	A536 Gr60-42-10			
CD4Mcu	1041	A744 CD4MCU			
Monel	1119	A494 GrM-35-1			
Acero inoxidable 316	1203	A744 CF-8M	1,440 8		G5121 (SC514)
Aleación 20	1204	A744CN-7M	1,450 0		
Acero inoxidable 317	1209	A744CG-8M	1,444 8		
Hastelloy C	1215	A494 CW-6M			
CD4Mcu	1216	A744CD4MCU	9,446 0		
Hastelloy B	1217	A494 N-7M			
Titanio	1220	B367 GrC-3			
Acero al carbón	2201	A576 Gr. 1018 y 1020			
Níquel	1601	A494 GrCZ100			
Monel	2150	B164 UNS N04400			
Níquel	2155	B160 UNS N02200			
Titanio	2156	B348 Gr2			
Acero al carbón	2210	A108Gr1211			
Acero inoxidable 304	2228	A276, type 304			
Acero inoxidable 316	2229	A276, type 316			
Aleación 20	2230	B473 (N08020)			
Acero inoxidable 317	2232	A276			
Acero 4150	2237	A322Gr4150			
Acero 4140	2238	A434Gr4140			
Aleación B-2	2247	B335 (N10665)			
Aleación C-276	2248	B574 (N10276)			
GMP-2000	6929	N/A			
Acero revestido con PFA	6944	N/A			
Acero inoxidable revestido con PFA	6947	N/A			
Hierro dúctil revestido con PFA	9639	N/A			
Sujetadores/Tapones					
Material	Código de materiales de Goulds Pumps	ASTM			
Acero al carbón	2210	A307Gr.B.			
Acero inoxidable	2228	F593Gr1			
Acero inoxidable 316	2229	F593Gr2			

Model 3196 Chemical Process Pumps

Heavy Duty Design Features for Total Range of Process Services

HEAVY DUTY SHAFT AND BEARINGS

Rigid shaft designed for minimum deflection at seal faces—less than 0.002 in. (.05 mm). Bearings sized for 10-year average life under tough operating conditions. Available with or without shaft sleeve.

INPRO® VBXX-D® LABYRINTH SEALS STANDARD

Prevents premature bearing failure caused by lubricant contamination or loss of oil. Bearings run cooler and last longer.

CONTINUOUS PERFORMANCE

Original flow, pressure and efficiency are maintained by simple external adjustment resulting in long-term energy and repair parts savings.

MOUNTING FLANGE

Supports optional C-face motor adapter; accommodates standard ANSI coupling guard.

DUCTILE IRON FRAME ADAPTER

Material strength equal to carbon steel for safety and reliability.

CASING

- Bonus casing thickness: Class 150 pumps feature Class 300 wall thickness as standard; increased reliability and maximized casing life.
 - Top centerline discharge for air handling, self-venting.
 - Back pull-out design for ease of maintenance.
 - Integral casing feet prevent pipe load misalignment—maximized seal and bearing life.
 - Serrated flanges standard for positive sealing against leakage.
- Meets ANSI B16.5 requirements. Class 150 FF flanges standard, optional Class 150 RF, 300 FF/RF.

ONE-INCH BULLS EYE SIGHT GLASS

Assures proper oil level critical to bearing life. Bottle oiler optional.

X-SERIES POWER END

Designed for reliability, extended pump life backed with a 3-year, material and workmanship warranty.

EXTRA LARGE OIL SUMP CAPACITY

Increased oil capacity provides better heat transfer for reduced oil temperature. Bearings run cooler and last longer.

MAGNETIC DRAIN PLUG

Standard magnetic drain plug helps protect bearings and prolong life.

POSITIVE SEALING

Fully confined gasket at casing joint protects alignment fit from liquid, makes disassembly easier.

RIGID FRAME (AND CASING) FEET

Reduce effects of pipe loads on shaft alignment; pump vibration reduced.

FULLY OPEN IMPELLER

Acknowledged best design for CPI services—solids handling, stringy material, corrosives, abrasives. Two times the wear area of closed type impellers for longer life. Back pump-out vanes reduce radial thrust loads and seal chamber pressure.

SEALING FLEXIBILITY

Wide range of sealing arrangements available to meet service conditions. Engineered seal chambers improve lubrication and heat removal (cooling) of seal faces for extended seal life and pump uptime.

CHEM-1A

Anexo 33. Tabla de Damodaran (industrias)

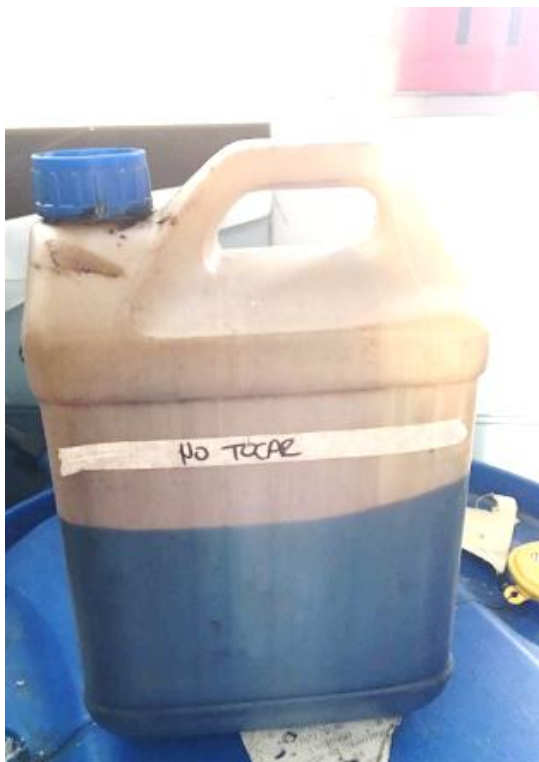
Industry Name	Number of Firms	Beta	Cost of Equity	E/(D+E)	Std Dev in Stock	Cost of Debt	Tax Rate	After-tax Cost of Debt	D/(D+E)
Advertising	44	1.08	8.74%	64.00%	71.03%	4.52%	3.90%	2.71%	36.00%
Aerospace Defense	92	1.33	10.25%	82.99%	46.90%	3.52%	13.51%	2.11%	17.01%
Air Transport	20	1.27	9.88%	58.90%	51.95%	4.02%	18.34%	2.41%	41.10%
Apparel	63	1.06	8.61%	78.21%	60.62%	4.02%	13.84%	2.41%	21.79%
Auto & Truck	19	0.96	8.00%	43.85%	33.71%	3.52%	8.01%	2.11%	56.15%
Auto Parts	65	1.29	9.98%	75.24%	55.06%	4.02%	9.64%	2.41%	24.76%
Bank (Money Center)	9	1.11	8.93%	31.60%	32.77%	3.52%	25.82%	2.11%	68.40%
Banks (Regional)	644	0.51	5.34%	55.99%	28.93%	3.52%	24.11%	2.11%	44.01%
Beverage (Alcoholic)	22	0.94	7.90%	84.56%	58.51%	4.02%	11.28%	2.41%	15.44%
Beverage (Soft)	43	1.15	9.19%	81.32%	54.55%	4.02%	5.97%	2.41%	18.68%
Broadcasting	29	1.29	10.02%	51.35%	47.22%	3.52%	21.20%	2.11%	48.65%
Brokerage & Investment Banking	42	1.35	10.36%	25.94%	48.05%	3.52%	18.15%	2.11%	74.06%
Building Materials	39	1.18	9.33%	75.10%	44.27%	3.52%	22.43%	2.11%	24.90%
Business & Consumer Services	159	1.19	9.40%	73.89%	50.13%	4.02%	13.76%	2.41%	26.11%
Cable TV	19	1.23	9.66%	66.84%	41.58%	3.52%	17.19%	2.11%	33.16%
Chemical (Basic)	42	1.17	9.28%	61.75%	54.20%	4.02%	8.24%	2.41%	38.25%
Chemical (Diversified)	9	1.55	11.60%	72.32%	40.56%	3.52%	18.35%	2.11%	27.68%
Chemical (Specialty)	104	1.25	9.75%	76.12%	50.43%	4.02%	8.45%	2.41%	23.88%
Coal & Related Energy	38	1.49	11.19%	24.27%	86.78%	6.52%	0.95%	3.91%	75.73%
Computer Services	118	1.17	9.30%	77.60%	51.74%	4.02%	12.84%	2.41%	22.40%
Computers Peripherals	64	1.33	10.24%	84.28%	63.91%	4.02%	5.48%	2.41%	15.72%
Construction Supplies	52	1.65	12.17%	62.86%	42.41%	3.52%	17.00%	2.11%	37.14%
Diversified	26	1.01	8.32%	64.22%	27.37%	3.52%	15.20%	2.11%	35.78%
Drugs (Biotechnology)	411	1.28	9.96%	87.50%	88.89%	6.52%	1.80%	3.91%	12.50%
Drugs (Pharmaceutical)	157	1.02	8.37%	88.49%	77.30%	4.52%	3.90%	2.71%	11.51%
Education	40	1.05	8.59%	68.38%	59.62%	4.02%	12.05%	2.41%	31.62%
Electrical Equipment	120	1.15	9.17%	82.03%	71.04%	4.52%	6.58%	2.71%	17.97%
Electronics (Consumer & Office)	25	1.23	9.65%	87.10%	63.42%	4.02%	9.71%	2.41%	12.90%
Electronics (General)	167	1.03	8.42%	83.48%	59.34%	4.02%	9.47%	2.41%	16.52%
Engineering Construction	51	1.32	10.17%	70.47%	57.02%	4.02%	11.63%	2.41%	29.53%
Entertainment	84	1.21	9.55%	76.96%	63.16%	4.02%	3.25%	2.41%	23.04%
Environmental & Waste Services	97	1.10	8.90%	72.04%	65.51%	4.52%	7.49%	2.71%	27.96%
Farming Agriculture	37	1.25	9.77%	56.91%	48.69%	3.52%	9.28%	2.11%	43.09%
Financial Svcs. (Non-bank & Insuran)	272	0.65	6.16%	6.95%	34.97%	3.52%	18.75%	2.11%	93.05%
Food Processing	89	0.89	7.59%	79.26%	38.29%	3.52%	14.09%	2.11%	20.74%
Food Wholesalers	14	0.73	6.65%	80.02%	54.49%	4.02%	15.85%	2.41%	19.98%
Furn Home Furnishings	30	1.23	9.65%	76.37%	44.49%	3.52%	15.53%	2.11%	23.63%

Anexo 34. Equipo utilizado

Recipiente de vidrio de 250 mL utilizado para toma de muestra de agua de proceso



Recipiente plástico de 1 gal (3.78 L) utilizado para toma de muestra de melaza



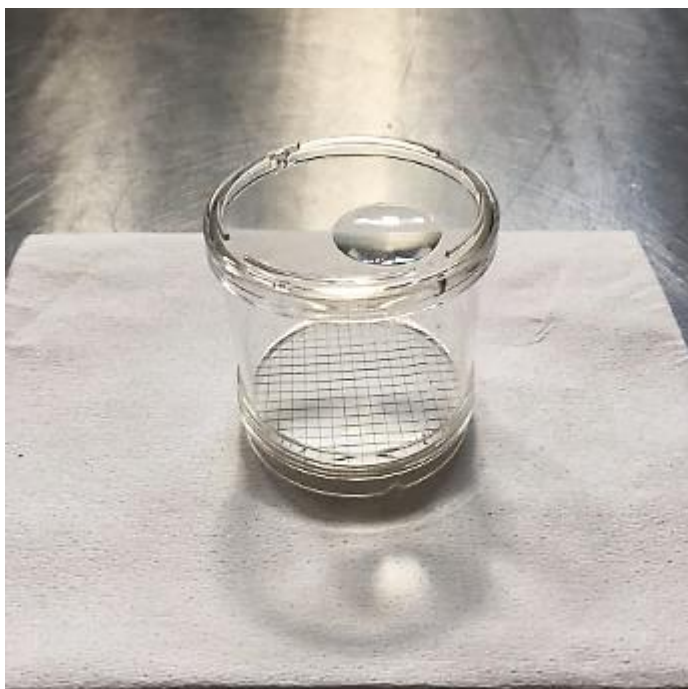
Autoclave Market Forge Sterilmatic



Reactores



Filtros monitores marca MERCK de 250 mL.



Sistema de Filtrado, MATRAZ KITASATO 250 mL



Incubadora, Imperial III



Anexo 35. Especificaciones Portable Datalogging Colorimeter DR/820,
DR/850, DR/890 marca Hach ®

SPECIFICATIONS

Specifications subject to change without notice.

Wavelength Range(s):

- Model DR/890: 420, 520, 560, 610 nm
- Model DR/850: 520, 610 nm
- Model DR/820: 520 nm

Wavelength Accuracy: ±1 nm

Wavelength Selection: Automatic

Photometric Linearity: ±0.002 A (0-1 A)

Photometric Reproducibility: ±0.005 A (0-1 A)

Photometric Accuracy: ±0.005 A @1.0 ABS Nominal

Source Lamp: Light Emitting Diode (LED)

Detector: Silicon Photodiode

Data Readout: 4-digit LCD, 1.5-cm Character Height

Readout Modes: % Transmittance, Absorbance, Concentration

External Outputs: IR (Infrared to RS-232 Serial using the Data Transfer Adapter)

Battery Power: (4) AA alkaline cells

Instrument Dimensions: 23.6 x 8.7 x 4.7 cm (9.3 x 3.4 x 1.9 inches)

Instrument Weight: 470 g (1 lb.)

Photometric Range: 0-2 A

Stray Light: <1.0% at 400 nm

Battery Life: 6 months (typical)

Temperature Range:

Operating Range: 0 to 50 °C (32 to 122 °F)

Storage Range: -40 to 60 °C (-40 to 140 °F)

Humidity: 90% at 50 °C

Environmental: Designed to meet IP67 Standard; dustproof and waterproof

Anexo 36. Especificaciones Portable Multiparameter marca Hach ®

SPECIFICATIONS

Specifications subject to change without notice.

General Specifications

Display: Custom LCD

Inputs:

(1) 5-pin Hach pH/mV/temperature probe connector

(1) 5-pin Hach conductivity or dissolved oxygen probe connector

Outputs: RS232 via Docking Station

Power requirements:

Meter: 4 AA alkaline batteries or via Docking Station

Docking Station: 6–12 V dc; use either Hach-supplied 115 or 230 V, 50/60 Hz external power supply or a customer-provided supply with 50 mA output, 5.5-mm power plug with a 2.5 mm center post (positive).

Input impedance: >10¹² ohms

Installation Category: II (for 115V and 230V external power supplies)

Environmental Requirements: 0–50 °C at 85% non-condensing relative humidity

Meter dimensions: 21.2 x 8.7 x 4.2 cm (8.35 x 3.43 x 1.65 inches)

Enclosure: Waterproof (designed to meet IP67), chemical-resistant, dust proof; meter will float. Docking station is water-resistant to IP40.

SPECIFICATIONS, continued

pH Mode

Range: -2.00–19.99
Resolution (selectable): 0.001/0.01/0.1
Slope (meter allowable): 48–65 mV/decade
Instrument Drift: <40 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current: -1 pico amp \leq input bias \leq 1 pico amp at 25 $^\circ\text{C}$; ± 4 picoamp over full range

Millivolt Mode

Range: -2000–2000 mV
Resolution: 0.1 mV
Accuracy (meter only): ± 0.2 mV or $\pm 0.15\%$ of the reading, whichever is greater

Temperature

Range: -10.0–110 $^\circ\text{C}$
Resolution: 0.1 $^\circ\text{C}$
Accuracy: ± 0.3 $^\circ\text{C}$ from 0–70 $^\circ\text{C}$; ± 1.0 $^\circ\text{C}$ from 70–110 $^\circ\text{C}$

Conductivity Mode

Range: 0–19.99 μS ; 20–199.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 200–1999 $\mu\text{S}/\text{cm}$;
 2–19.99 mS/cm; 20–199.9 mS/cm
TDS: 0–50,000 mg/L as NaCl
Salinity: 0–42 ppt (‰)
Temperature: -10–105 $^\circ\text{C}$

Resolution:

Conductivity:

0.00–19.99 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.01 $\mu\text{S}/\text{cm}$
20.0–199.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$
200–1999 $\mu\text{S}/\text{cm}$	1 $\mu\text{S}/\text{cm}$
2.00–19.99 mS/cm	0.01 mS/cm
20.0–199.9 mS/cm	0.1 mS/cm

SPECIFICATIONS, continued

Resolution:

TDS:

0.00–199.9 mg/L	0.1 mg/L
200–1999 mg/L	1 mg/L
2.00–19.99 g/L	0.01 g/L
20.0–50 g/L	0.1 g/L

Salinity:

0.1 ppt (‰)

Temperature

±0.1 °C

Accuracy:

Conductivity: ±0.5% of range

TDS: ±0.5% of full scale

Salinity: ±0.1 ppt (-2 to 35°C)

Temperature: ±0.3 °C from 0–70 °C;

±1.0 °C from 70–110 °C

Conversion Factor for TDS: automatic or user adjustable

Temperature Compensation:

Manual (user selected coefficient, % per °C) or

Automatic (non-linear based on NaCl solutions)

Dissolved Oxygen Mode

Range: 0–20 mg/L (ppm), 0–200% sat.

Accuracy: ±1% full scale

Temperature: 0–50 °C

Resolution:

Oxygen Concentration: 0.01 or 0.1 ppm (mg/L)

% Saturation: 0.1%

Temperature: 0.1 °C

Instrument drift: < 1%/day

Anexo 37. Autoclave Market Forge Sterilmatic

Figura 58: Autoclave del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala



Anexo 38. Datos de placa espectrofotómetro de absorción atómica

Equipo: Espectrofotómetro de Absorción Atómica

Marca: Perkin Elmer

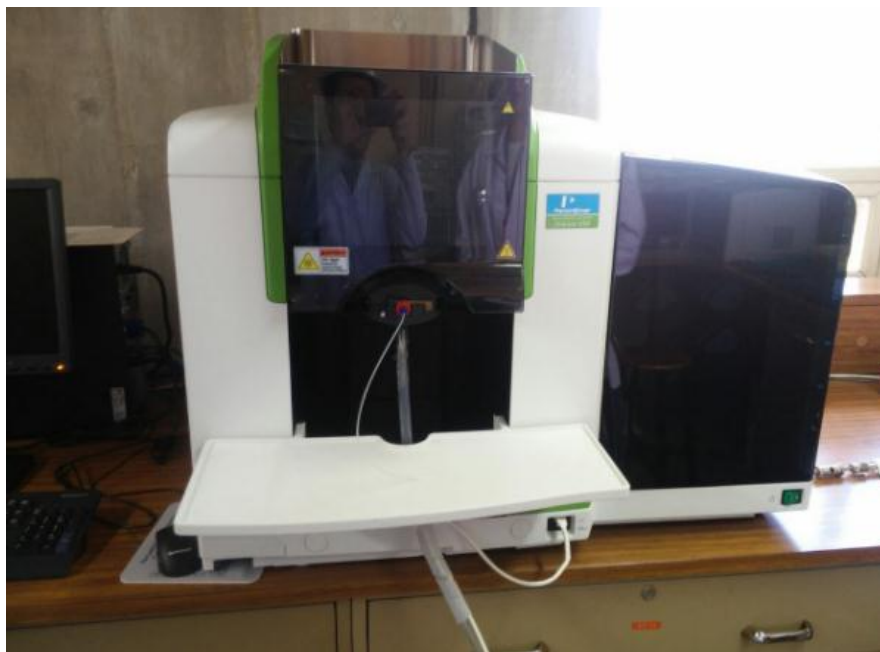
Modelo: PinAAcle 900F

Figura 59. Espectrofotómetro de absorción atómica



Anexo 39. Datos de placa

Espectrofotómetro de llama.



Datos de placa espectrofotómetro de llama

Descripción	Marca y modelo	Rango	Incertidumbre
Espectrofotómetro de llama	PerkinElmer 900F	0-100 mL/L	0.0005 mL/L

Anexo 40. Lodos de vinaza

Galón de lodos de vinaza



Anexo 41. Potenciómetro

Potenciómetro pHTestr20

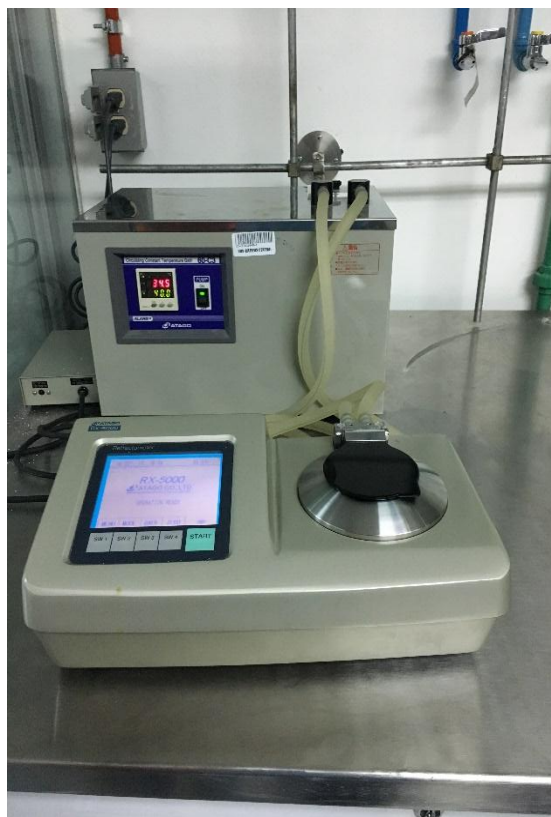


Datos de placa potenciómetro

Refractómetro	
Marca	Eutech
Serie	pHTestr20
Rango	-1.0 a 15.0 pH
Incertidumbre	0.01 pH

Anexo 42. Refractómetro

Refractómetro ATAGO

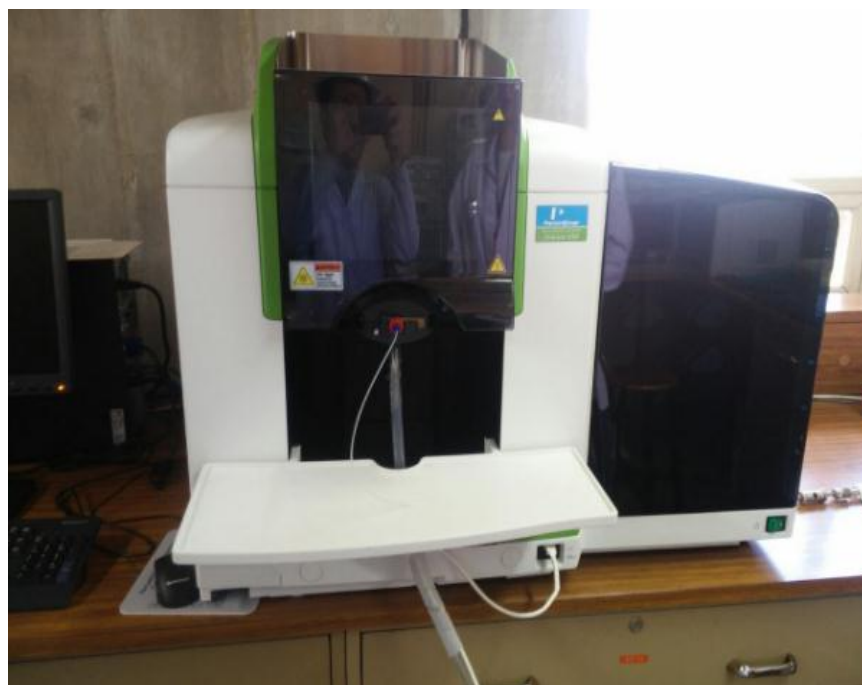


Datos de placa refractómetro

Refractómetro	
Marca	ATAGO
Serie	RX- 5000
Rango	1.32700 - 1.58000 nD
Incertidumbre	0.00004 nD

Anexo 43. Espectrofotómetro de absorción atómica

Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer



Datos de placa Espectrofotómetro de absorción atómica

Espectrofotómetro de absorción atómica	
Marca	Perkin Elmer
Serie	PinAAcle 900F
Rango	0-100 mL/L
Incertidumbre	0.0005 mL/L

Anexo 44. Soluciones

Soluciones utilizadas en el espectrofotómetro de absorción atómica



Anexo 45. Depósito de compostaje

Exterior e interior del depósito de compostaje, dimensiones 0.70 x 0.35 x 0.30 m.



Anexo 46. Balanza

Balanza Incshi



Anexo 47. Secador de bandejas

Secador de bandejas Extech



Datos de placa secador de bandejas

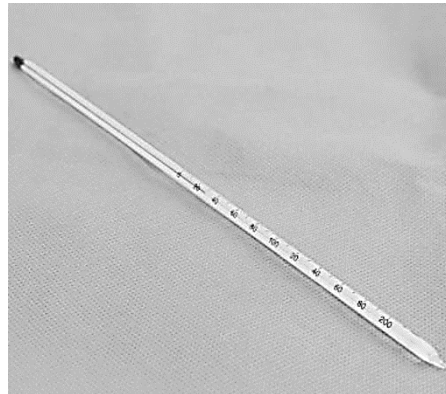
Secador de bandejas	
Marca	Extech
Modelo	EC-404-6
Temperatura	90°C
Intervalo de purga	2.6 min

Anexo 48. Mezcla de compostaje

Mezcla inicial de compostaje

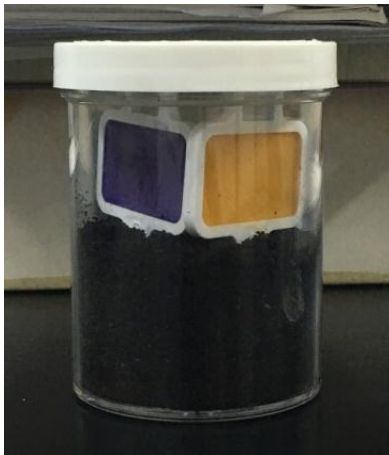


Anexo 49. Termómetro

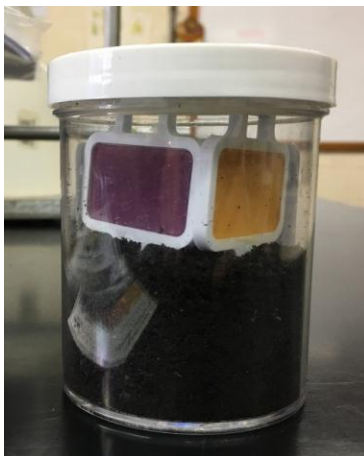


Anexo 50. Prueba de madurez Solvita® para determinación de pH por colorimetría del compost

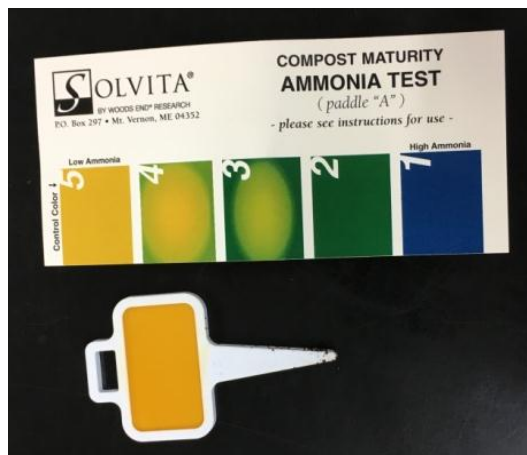
Prueba de madurez al inicio del análisis



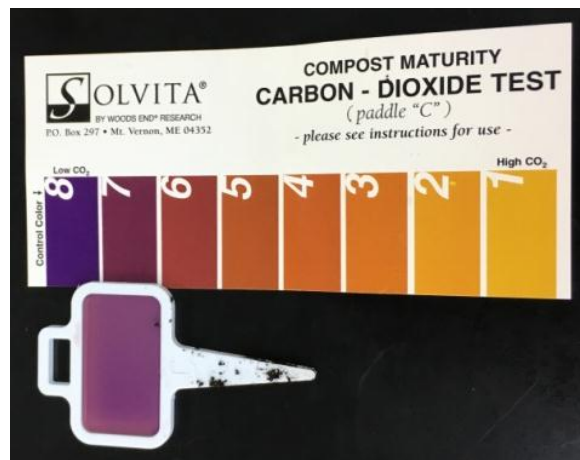
Prueba de madurez después de 4 horas



Test para determinar la cantidad de amoníaco presente en el compost



Test para determinar la cantidad de dióxido de carbono presente en el compost



Calculadora del índice

use the Ammonia and CO₂ paddle color numbers and read across and down to where the columns meet

		SOLVITA Carbon Dioxide Test Result is:								
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Solvita Ammonia Test Result is:	5	VLow / No NH ₃	1	2	3	4	5	6	7	8
	4	Low NH ₃	1	2	3	4	5	6	7	8
	3	Medium NH ₃	1	1	2	3	4	5	6	7
	2	High NH ₃	1	1	1	2	3	4	5	6
	1	Very High NH ₃	1	1	1	1	1	2	3	4

a Example: If the NH₃ result is 2, and the CO₂ result is 6, then the Maturity Index is: 4

Anexo 51. Compost obtenido

Compost final



Anexo 52. Proceso de compostaje

Método: Pilas de compostaje por volteo

El terreno debe estar nivelado y techado.

1. Recolección de residuos orgánicos: obtener de reciclaje de comunidades vecinas, de la municipalidad y de los residuos de la alimentación de los empleados.
2. Clasificación: Clasificar los residuos retirando vidrio, metales, plásticos, y huesos.
3. Reducción de tamaño: Utilizar una picadora para reducir los residuos a un tamaño de partículas entre 5 y 20 cm, para aumentar el área de contacto y favorecer la oxigenación.
4. Mezcla: Determinar la humedad de los residuos orgánicos. Si la humedad es baja, mezclar los residuos con los lodos de vinaza con una proporción de 1:2.
5. Formación de pilas: Formar las pilas de compostaje con las siguientes dimensiones: 1 metro de alto y 3 metros de ancho, esto con el fin de realizarlo de forma manual, utilizando palas, y así evitar los altos costos de una máquina de volteos.
6. Compostaje: Controlar la temperatura, el pH y la humedad durante la fase mesofílica I, termofílica, mesofílica II y maduración (utilizando un termómetro, un potenciómetro, una balanza de humedad y la técnica del puño cerrado). Realizar los volteos cada dos días utilizando palas. Si al realizar la técnica del puño cerrado el material queda suelto, hidratar las pilas con los lodos de vinaza hasta obtener una humedad adecuada.
7. Tamizado: Pasar el compost a través de una zaranda o una criba para eliminar las partículas muy grandes, que pueden influir en la apariencia del compost y su efecto. Recircular estas partículas agregándolas a la mezcla de compostaje.
8. Uso compost: Almacenar el compost, utilizarlo en las plantaciones o empacarlo en sacos para destinarlo a la venta.

Anexo 53. Procedimiento estándar para utilizar el espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer

1. Encender el equipo en el interruptor ON.
2. Colocar la lámpara de cátodo hueco y fijar la longitud de onda de trabajo y el paso del haz en 0,2 o 0,7
3. Abrir la bombona de acetileno y encender el compresor de aire.
4. Teclear (Param Entry). Colocar el valor de la corriente en 10 mA. (enter) y fijar el tiempo de integración en 0,2 (enter).
5. Hallar el valor de la máxima señal que puede detectar el fotomultiplicador con la radiación que emite la lámpara para ello se hace lo siguiente: Teclear (AA) (Energy). Variar la perilla de la longitud de onda. Variar las perillas de la lámpara. Cuando se satura la señal dar a (ganancia). Verificar que la trayectoria del haz radiación pase por el centro de un papel de filtro.
6. Luego de optimizada la radiación encender la llama. Para ello girar la perilla hasta aire Mantener el botón rojo presionado hasta que encienda la llama. Asignar los flujos de aire y acetileno si la llama es reductora u oxidante.
7. Se halla la posición de la llama óptima para la atomización para ello se utiliza el patrón de menor concentración. Teclear el botón (AA) (Continuos) de esta manera se mide la absorbancia en modo continuo. Aspirar agua destilada y teclear (A/Z), autozero. Con la manguera de succión sumergida en la solución del patrón mover las diferentes posiciones de la llama (hacia arriba, lateral, etc) y ver el valor de la absorbancia, la posición óptima de las perillas debe dar el mayor valor de la absorbancia para el patrón de menor concentración. Luego variar lentamente los flujos de oxidante y combustible hasta obtener el valor máximo de la absorbancia. Finalmente, hallar la posición óptima apagar la llama girar el botón en posición off y verificar el paso del haz de radiación.
8. Luego de optimizada todas las condiciones medir las absorbancias de todos los patrones y la dilución de la muestra. Para ello utilizar el modo de integración.
9. Teclear (Param Entry), Colocar int time (1) enterData Presionar la tecla Ready para obtener el valor de absorbancia.
10. Apagar el equipo. Para apagar la lámpara, teclear: (Param Entry) (0) (enter) Cerrar el gas y apagar el compresor. Sacar y guardar la lámpara.

Potenciómetro



Datos de placa potenciómetro

Descripción	Marca y modelo	Rango	Incertidumbre
Potenciómetro	Conductronic 120	0-14	-

Cromatógrafo de gases



Datos de placa cromatógrafo de gases

Descripción	Marca y modelo	Rango
Cromatógrafo de gases	6890N	0-100%

Balanza analítica utilizada



Datos de placa balanza analítica

Descripción	Marca y modelo	Rango	Incertidumbre
Balanza analítica	Ohaus Pro	0-300g	0.0001g

Equipo Hach utilizado para medición de DBO.



Datos de placa equipo Hach para medición de DBO

Descripción	Marca y modelo	Rango	Incertidumbre
Electrodo DBO	Sonda LBOD101 Hach	0-20 g/L	0.01 mg/L

XIII. GLOSARIO

- Ácido sulfhídrico (en biogás): proporciona el olor característico del biogás (huevo podrido), corrosivo.
- Bacterias metanogénicas: grupo especializado de bacterias anaerobias obligadas que descompone la materia orgánica y forma metano
- Biogás: gas producido por la descomposición de materia orgánica.
- Bomba: dispositivo que incrementan la energía mecánica del fluido sin cambiar apreciablemente la densidad del mismo por medio de la transferencia directa de presión positiva (bombas de desplazamiento positivo) o bien a partir de la transferencia de energía por mecanismos rotatorios (bombas centrífugas)
- Cabeza: también conocida como carga, representa cada uno de los términos expresados en la ecuación de Bernoulli que pueden ser altura, presión y velocidad.
- Cabeza de altura: ligada al cambio de altura entre el punto de succión y descarga.
- Cabeza de presión: asociada a la presión superficial que está en los tanques de succión y descarga.
- Cabeza de velocidad: ligada a la energía debido al movimiento en el fluido.
- Cabeza dinámica: ligada a la energía debido al movimiento en el fluido, además de las pérdidas por fricción. Existen tres diferentes formas de perder presión debido a la fricción en una tubería: expansión y contracción de la sección transversal, así como instalación de válvulas y accesorios.
- Cabeza estática: es la altura de la superficie del líquido en el tanque de succión o descarga sobre la línea central de la bomba. Contiene la cabeza de altura y la cabeza de presión.
- Cabeza total: es la diferencia entre la cabeza total de descarga y la cabeza total de succión.
- Cabeza total de descarga: es la suma de la cabeza estática y dinámica para la línea de descarga de un sistema.
- Cabeza total de succión: es la diferencia entre la cabeza estática y dinámica para la línea de succión de un sistema.
- Cavitación: erosión en la bomba debido a la evaporación del fluido en la línea de succión. Para evitarlo, se recomienda mantener un $NPSH_A$ mayor que $NPSH_R$.
- Curva característica de una bomba centrífuga: es una curva de la capacidad de carga de una bomba y son dadas usualmente por el fabricante. Permiten relacionar velocidades de flujo, cabezas totales, eficiencia y potencia requerida.
- DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno, parámetro que cuantifica la materia orgánica susceptible a ser oxidada por medios biológicos que hay en una muestra líquida.
- Destilación: Proceso que consiste en el calentamiento de un líquido a tal punto que sus componentes de mayor volatilidad, cambien de fase para luego enfriar el vapor producido y condensarlo.

- Digestión anaerobia: Proceso en el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno.
- DQO: Demanda Química de Oxígeno, parámetro que cuantifica la materia orgánica susceptible a ser oxidada por medios químicos que hay en una muestra líquida.
- Efluentes: residuos líquidos mezclados con sólidos provenientes de un proceso.
- Etanol: alcohol producido a partir de la fermentación de los productos de la caña de azúcar, maíz, remolacha, trigo o cebada. En este caso particular se trata de una composición derivada del proceso de producción de azúcar de caña.
- Fermentación: Es una forma de respiración anaeróbica, llamada también respiración intermolecular. En una fermentación se presentan productos muy variados, según el sustrato, el microorganismo y los factores que alteren el proceso. Entre los procesos más conocidos se encuentra el alcohol etílico, ácido láctico entre otros. En el caso de la fermentación alcohólica, esta se efectúa en ausencia de oxígeno molecular. La levadura más comúnmente utilizada es *Saccharomyces Cerevisiae*.
- Melaza: Sustancia espesa, dulce y de color oscuro que queda como residuo de la cristalización del azúcar de caña
- Metano: Gas incoloro, inodoro y muy inflamable, más ligero que el aire, que en la naturaleza se produce por la descomposición de la materia orgánica
- $NPSH_A$: es la carga neta de succión positiva que está disponible en el sistema analizado. Un valor por encima de $NPSH_R$ garantiza que no habrá problemas de cavitación en la línea de succión.
- $NPSH_R$: es la carga neta de succión positiva requerida por la bomba y este lo establece el fabricante. Un valor de $NPSH_A$ por encima de este garantiza que no habrá problemas de cavitación en la línea de succión
- Presión: se define como una fuerza que actúa en una determinada área. Puede ser manométrica cuando no se considera la presión del ambiente o absoluta que es la suma de la manométrica y atmosférica. Se representa en el Sistema Internacional como Pascal (Pa) que es un Newton dividido un metro cuadrado.
- Purificación de biogás: Disminución porcentual de dióxido de carbono y ácido sulfhídrico en el contenido de biogás. Purificación de metano.
- TMAR: En una inversión financiera, el aportante del capital espera una tasa mínima de retorno para invertir y tener la certeza que recuperará su inversión.
- Variador de velocidad: son dispositivos electrónicos que controlan la velocidad de rotación del motor de manera segura y silenciosa. Modifican la curva característica de la bomba.
- Vinaza: Es un material líquido de alta viscosidad, el cual se obtiene como resultado de la producción de etanol, ya sea por destilación de melaza fermentada, o también de fermentación directa de jugos provenientes de la caña. El origen de la vinaza es la caña de azúcar, por lo que su

composición elemental es un reflejo de su material de procedencia., como lo son procesos de extracción y fermentación (García and Rojas, 2015).