

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**



**ESCUELA DE POSGRADO**

**TESIS**

**AUDITORÍA ENERGÉTICA TÉRMICA AL SISTEMA DE VAPOR  
PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES EN LA EMPRESA  
AZUCARERA DEL NORTE S.A.C. 2013**

**PRESENTADO POR:**

**Ing. JHON HERBERT OBISPO GAVINO**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN ECOLOGÍA Y  
GESTIÓN AMBIENTAL**

**ASESOR:**

**M(o). MAXIMO ROMERO ORTIZ**

**HUACHO - 2019**

**AUDITORÍA ENERGÉTICA TÉRMICA AL SISTEMA DE VAPOR  
PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES EN LA EMPRESA  
AZUCARERA DEL NORTE S.A.C. 2013**

**Ing. JHON HERBERT OBISPO GAVINO**

**TESIS DE MAESTRÍA**

**ASESOR: M(°). MAXIMO ROMERO ORTIZ**

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN  
ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRO EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL  
HUACHO  
2019**



## **DEDICATORIA**

A la memoria de mis abuelos Donato y Sergio, que con sus sabios conocimientos me prepararon para un futuro mejor.

A mis padres Aníbal y Saturnina por su apoyo incondicional en toda etapa de mi vida.

A Mónica e hijita Alexia Valentina que cada día al verla crecer evoca en mí aquella infancia de alegría, emociones y sueños.

*Jhon Herbert Obispo Gavino*

## AGRADECIMIENTO

A Dios por darme más alegrías en mi vida.

De manera especial a mis padres Anibal y Saturnina que me dieron la educación y las bases para un futuro mejor.

Al Sr. Eduardo Alvarado Pittman y la Dra. Mónica Alvarado Pfeifer por haberme permitido desarrollarme profesionalmente bajo su dirección en la Empresa Azucarera del Norte S.A.C.

Al Ing. Jorge Plasencia Cuayla y la Sra. Sucy Santamaria Díaz, por su apoyo y facilidades brindadas en la Empresa ANORSAC para la realización del estudio.

A los amigos y colegas de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión en especial a la Dra. Soledad Dionisia Llañez Bustamante, Dr. Apolinar Quinte Villegas, Dr. Berardo Beder Ruiz Sanchez, Dr. Luis Alberto Cardenas Saldaña, Dr. Angel Hugo Campos Diaz, M(o) Máximo Romero Ortiz y M(o) Algemiro Julio Muñoz Vilela por su apoyo en la culminación del presente trabajo de investigación.

*Jhon Herbert Obispo Gavino*

# ÍNDICE

Pág.


DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	xvi
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>1</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>1</b>
1.1 Descripción de la realidad problemática	1
1.2 Formulación del problema	2
1.2.1 Problema general	2
1.2.2 Problemas específicos	3
1.3 Objetivos de la investigación	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Justificación de la investigación	4
1.4.1 Justificación práctica	4
1.4.2 Justificación teórica	4
1.4.3 Justificación metodológica	4
1.4.4 Justificación social	4
1.5 Delimitaciones del estudio	5
1.5.1 Delimitación espacial	5
1.5.2 Delimitación temporal	5
1.5.3 Delimitación teórica	5
	v

	Pág.
1.6 Viabilidad del estudio	6
1.6.1 Viabilidad técnica	6
1.6.2 Viabilidad ambiental	6
1.6.3 Viabilidad financiera	6
1.6.4 Viabilidad Social	6
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>7</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>7</b>
2.1 Antecedentes de la investigación	7
2.1.1 Investigaciones internacionales	7
2.1.2 Investigaciones nacionales	11
2.2 Bases teóricas	11
2.2.1 Auditoria energética	11
2.2.2 Sistema de vapor	12
2.2.2.1 Generación de Vapor	13
2.2.2.2 Distribución de vapor	18
2.2.2.3 Consumo de vapor	22
2.2.2.4 Retorno de Condensados	24
2.3 Bases filosóficas	26
2.4 Definición de términos básicos	27
2.5 Hipótesis de investigación	32
2.5.1 Hipótesis general	32
2.5.2 Hipótesis específicas	32
2.6 Operacionalización de las variables	32



	Pág.
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>34</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>34</b>
3.1 Diseño metodológico	34
3.1.1 Tipo de investigación	34
3.1.2 Nivel de investigación	34
3.1.3 Diseño	34
3.1.4 Enfoque	35
3.2 Población y muestra	35
3.2.1 Población	35
3.2.2 Muestra	35
3.3 Técnicas de recolección de datos	36
3.4 Técnicas para el procesamiento de la información	37
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>38</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>38</b>
4.1 Análisis de resultados	38
4.1.1 Auditoría energética térmica en la generación de vapor	38
4.1.1.1 Auditoría al agua de alimentación	38
4.1.1.2 Auditoría al bagazo como combustible	48
4.1.1.3 Auditoría al aire de alimentación a la caldera	52
4.1.1.4 Auditoría a los gases de chimenea de la caldera	55
4.1.1.5 Auditoría al vapor generado de las calderas	58
4.1.1.6 Auditoría a las purgas de las calderas	62
4.1.1.7 Auditoría a las calderas	64
4.1.2 Auditoría energética térmica en la distribución de vapor	67
4.1.3 Auditoría energética térmica a los consumidores de vapor	75

	Pág.
4.1.4 Auditoria energética térmica en el retorno de los condensados	79
4.2 Contrastación de hipótesis	86
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>87</b>
<b>DISCUSIÓN</b>	<b>87</b>
5.1 Discusión de resultados	87
<b>CAPÍTULO VI</b>	<b>90</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>90</b>
6.1 Conclusiones	90
6.2 Recomendaciones	91
<b>REFERENCIAS</b>	<b>95</b>
7.1 Fuentes documentales	95
7.2 Fuentes bibliográficas	97
7.3 Fuentes hemerográficas	97
7.4 Fuentes electrónicas	97
<b>ANEXOS</b>	<b>99</b>



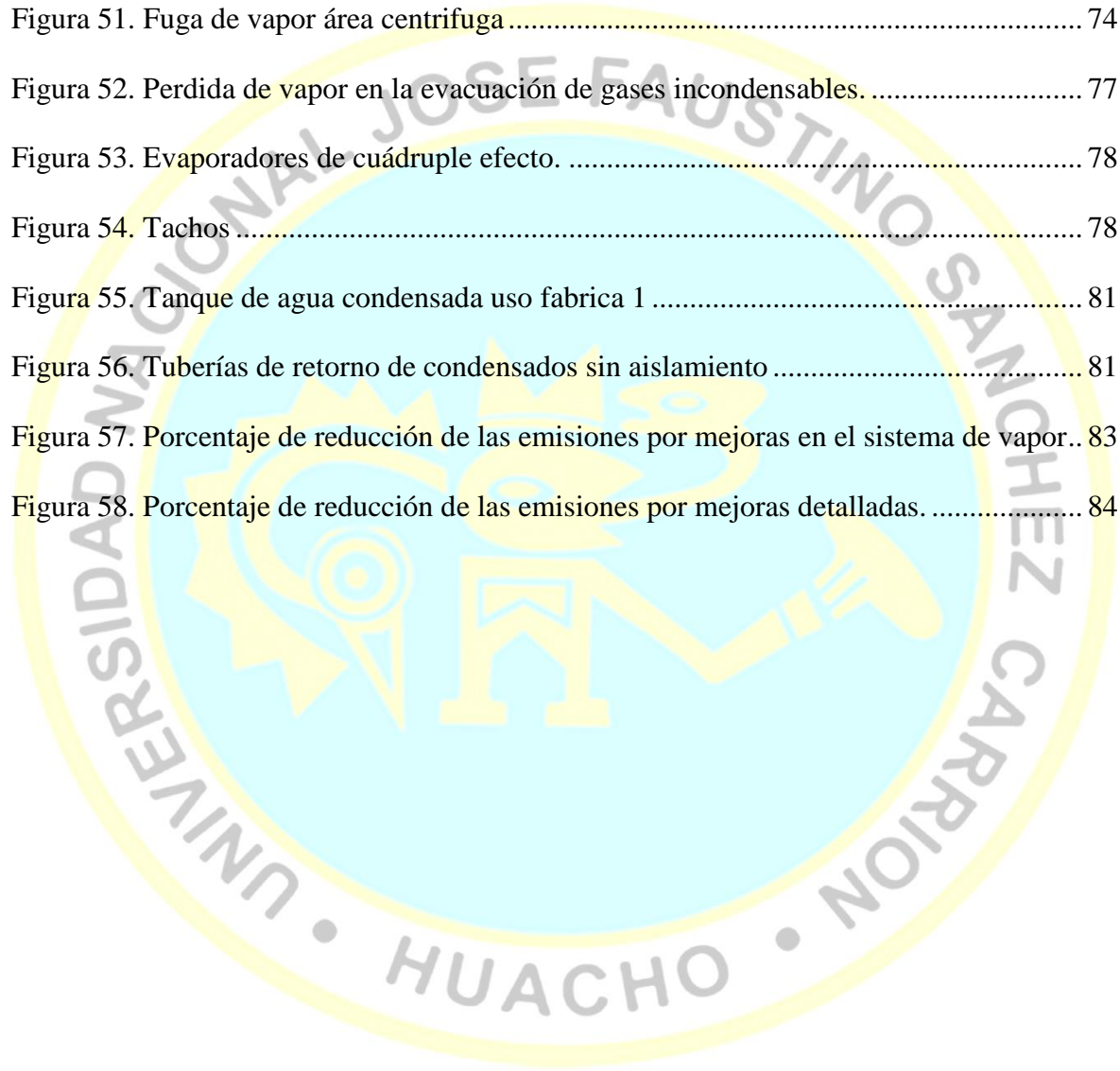


## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Vista general de las pérdidas de energía por reevaporizado en los tanques de almacenamiento 3, 4, 5, 6 y 7 .....	39
Figura 2. Vista parcial de pérdida de energía por reevaporizado en los tanques de almacenamiento 3, 4 y 5 .....	40
Figura 3. Perdida de energía por reevaporizado en el tanque de almacenamiento 6.....	40
Figura 4. Perdida de energía por reevaporizado en tanque de almacenamiento 7.....	41
Figura 5. Derrame de agua condensada en los tanques de almacenamiento 5 y 7. ....	41
Figura 6. Fugas de agua condensada en el tanque de almacenamiento 5.....	42
Figura 7. Sistema de bombeo 1 de agua condensada al desaereador .....	43
Figura 8. Sistema de bombeo 2 de agua condensada al desaereador .....	43
Figura 9. Sistema de bombeo 3 de agua condensada a calderas.....	44
Figura 10. Tuberías de agua condensada sin aislar al desaereador .....	44
Figura 11. Tuberías de agua condensada sin aislar al caldero.....	45
Figura 12. Dosificación de aditivos a las calderas.....	45
Figura 13. Tubería de agua de alimentación sin aislar a las calderas.....	46
Figura 14. Falta de reúso de reevaporizados al tanque desaereador.....	46
Figura 15. Torre de reevaporizado y controlador de nivel del desaereador .....	47
Figura 16. Economizador de la caldera .....	47
Figura 17. Conductor de bagazo principal del trapiche.....	50
Figura 18. Compuerta de alimentación de bagazo a las calderas .....	50
Figura 19. Chute de alimentación de bagazo a las calderas .....	51
Figura 20. Conductor de bagazo principal del trapiche para su almacenamiento .....	51
Figura 21. Almacenamiento de bagazo excedente .....	52
Figura 22. Ventilador de tiro forzado de aire de alimentación al hogar de la caldera 1.....	53

	Pág.
Figura 23. Conducto de aire alimentado al hogar de la caldera 1 .....	54
Figura 24. Conducto de aire alimentado al hogar de la caldera 2 .....	54
Figura 25. Ventilador de tiro inducido de la caldera 1 .....	56
Figura 26. Emisiones gaseosas emitidas por las chimeneas de caldera 1 y 2.....	57
Figura 27. Chimeneas y ventiladores inducidos de caldero 1 y 2 .....	57
Figura 28. Salida de vapor del domo de la caldera 1.....	59
Figura 29. Salida de vapor del domo de la caldera 2.....	59
Figura 30. Tubería de vapor de las calderas al colector principal .....	60
Figura 31. Tuberías de vapor de salida de los calderos 1 y 2 .....	60
Figura 32. Tuberías de vapor de las calderas al colector principal de vapor.....	61
Figura 33. Estado del colector principal de vapor. ....	61
Figura 34. Purga de la caldera 1 .....	63
Figura 35. Purga de la caldera 2 .....	63
Figura 36. Domo superior del caldero 1 .....	65
Figura 37. Domo superior del caldero 2 .....	66
Figura 38. Indicador de nivel del caldero 2 .....	66
Figura 39. Compuertas de inspección y limpieza de los calderos 1 y 2 .....	67
Figura 40. Fugas de vapor en las líneas por exceso de presión .....	69
Figura 41. Vista general estación principal de reducción de presión .....	69
Figura 42. Detalle de la estación principal de reducción de presión .....	70
Figura 43. Vista lateral entrada de vapor al evaporador.....	70
Figura 44. Tubería de vapor a Vacumpanes y calentadores.....	71
Figura 45. Tubería de vapor a los calentadores de Jugo encalado. ....	71
Figura 46. Tubería de vapor ingreso a los calentadores de jugo encalado. ....	72

	Pág.
Figura 47. Tubería de vapor a los tachos.....	72
Figura 48. Tubería de vapor al secador. ....	73
Figura 49. Fuga tubería de vapor al tacho. ....	73
Figura 50. Fuga de vapor área de cristalización. ....	74
Figura 51. Fuga de vapor área centrifuga.....	74
Figura 52. Perdida de vapor en la evacuación de gases incondensables. ....	77
Figura 53. Evaporadores de cuádruple efecto. ....	78
Figura 54. Tachos.....	78
Figura 55. Tanque de agua condensada uso fabrica 1.....	81
Figura 56. Tuberías de retorno de condensados sin aislamiento.....	81
Figura 57. Porcentaje de reducción de las emisiones por mejoras en el sistema de vapor..	83
Figura 58. Porcentaje de reducción de las emisiones por mejoras detalladas. ....	84



## ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Operacionalización de variables .....	32
Tabla 2. Identificación de mejoras en el agua de alimentación y su relevancia en la reducción de emisiones. ....	38
Tabla 3. Identificación de mejoras en el bagazo y su relevancia en la reducción de emisiones.....	48
Tabla 4. Identificación de mejoras en el aire alimentado y su relevancia en la reducción de emisiones.....	52
Tabla 5. Identificación de mejoras en los gases de chimenea y su relevancia en la reducción de emisiones. ....	55
Tabla 6. Identificación de mejoras en el vapor generado y su relevancia en la reducción de emisiones.....	58
Tabla 7. Identificación de mejoras en las purgas de caldera y su relevancia en la reducción de emisiones. ....	62
Tabla 8. Identificación de mejoras en las calderas y su relevancia en la reducción de emisiones.....	64
Tabla 9. Identificación de mejoras en la distribución de vapor y su relevancia en la reducción de emisiones. ....	67
Tabla 10. Identificación de mejoras en los consumidores de vapor y su relevancia en la reducción de emisiones. ....	75
Tabla 11. Identificación de mejoras en los consumidores de vapor y su relevancia en la reducción de emisiones. ....	79
Tabla 12. Reducción de las emisiones por implementación de mejoras identificadas por la auditoría .....	82

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Gestión de la Escuela de Post Grado de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión para el estudio.....	100
Anexo 2. Autorización de la Gerencia Empresa Azucarera del Norte S.A.C. ....	101
Anexo 3. Aspectos generales de la empresa.....	102
Anexo 4. Matriz de consistencia. ....	103
Anexo 5. Ubicación de la empresa .....	104
Anexo 6. Proceso de elaboración de azúcar rubia en la empresa .....	105
Anexo 7. Balance de materiales del proceso de elaboración de azúcar rubia.....	109
Anexo 8. Unidades consumidoras de vapor en el proceso productivo.....	110
Anexo 9. Balance de materiales e identificación de consumidores de vapor.....	111
Anexo 10. Balance de materiales en el área de cocimiento.....	112
Anexo 11. Consumo de vapor evaluado en los calentadores. ....	112
Anexo 12. Consumo de vapor evaluado en los evaporadores. ....	114
Anexo 13. Consumo de vapor evaluado en los tachos. ....	115
Anexo 14. Consumo de vapor evaluado calentadores y evaporador cuádruple efecto. ....	116
Anexo 15. Balance de energía en los evaporadores de cuádruple efecto evaluado.....	117
Anexo 16. Balance de energía en los evaporadores de cuádruple efecto evaluado.....	118
Anexo 17. Consumo total de vapor evaluado en la empresa.....	119
Anexo 18. Resumen del consumo de vapor evaluado en la empresa .....	120
Anexo 19. Consumo de vapor propuesto calentadores y Evaporador cuádruple efecto. ..	121
Anexo 20. Consumo total de vapor propuesto en la empresa .....	122
Anexo 21. Resumen del consumo de vapor propuesto en la empresa.....	123
Anexo 22. Reducción del consumo de vapor en los equipos por mejoras planteadas .....	124



Anexo 23. Reducción de las emisiones gaseosas en las tuberías de distribución por mejoras en aislamiento .....	125
Anexo 24. Reevaporizados perdidos en el retorno de condensados evaluado .....	126
Anexo 25. Equivalencia de los reevaporizados generados por el condensado evaluado con el vapor producido .....	127
Anexo 26. Reevaporizados perdidos en el retorno de condensados propuesto .....	128
Anexo 27. Equivalencia de los reevaporizados generados por el condensado propuesto con el vapor producido .....	129
Anexo 28. Tabla de emisiones de tuberías de vapor a 100 y 80 Psig.....	130
Anexo 29. Tabla de emisiones de tuberías de vapor a 30 y 20 Psig.....	131
Anexo 30. Tabla de emisiones de tuberías de vapor a 18,37 y 7,28 Psig.....	132
Anexo 31: Energía perdida de fugas de vapor al ambiente (Referencia 25°C).....	133
Anexo 32. Porcentaje de reevaporizado de condensados (Referencia 100°C).....	134
Anexo 33: Energía perdida por enfriamiento de condensados (Referencia 25°C).....	135
Anexo 34: Energía perdida por enfriamiento ligero de condensados.....	136
Anexo 35: Fotos de las actividades de auditoria realizadas por el investigador .....	137



# Auditoría energética térmica al sistema de vapor para la reducción de emisiones en la empresa Azucarera del Norte S.A.C. 2013

Jhon Herbert Obispo Gavino<sup>1</sup>

## RESUMEN

**Objetivo:** Realizar la auditoría termo energética al sistema de vapor para la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C. **Métodos:** Se utilizó la metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria publicada por la Agencia Andaluza de energía de España, con algunas adaptaciones a la realidad del ingenio azucarero. Se utilizó información de empresas especializada como Spirax Sarco, Armstrong Inc., TLV internacional. **Resultados:** Se estiman la reducción en las emisiones optimas medidas a través de la reducción del consumo de bagazo: 1) Generación de vapor: reducción humedad del bagazo (5,6834 %), reducción del calor residual de gases de chimenea (2,7654 %), mejora del calentamiento en el economizador (2,2340 %), calentamiento con vapor flash el desaereador (0,2341 %), mejora del aislamiento caldera (0,0255 %), recuperación vapor flash de purgas de calderas (0,0245 %), reducción del flujo de purga de caldera (0,0154 %). 2) Distribución de vapor: mejora del aislamiento de tuberías de vapor a planta (0,0233 %), eliminación de fugas en la distribución de vapor (0,0156 %), mejora aislamiento tuberías de vapor salida del caldero (0,0034 %), mejora aislamiento colector principal (0,0012 %). 3) Consumidores de vapor: reducir el consumo de vapor en los equipos (15,9608 %). 4) Retorno de los condensados: Pérdida de reevaporizados en condensados (6,6424 %), reducción del enfriamiento de condensados en tanques (0,0157 %). **Conclusiones:** Se identificaron las potencialidades de mejora en el sistema de vapor y se cuantificaron las más relevantes en la reducción de emisiones: 1) Generación de vapor: a) Agua de alimentación (mejora del calentamiento en el economizador, calentamiento con vapor flash el desaereador, mejora del aislamiento de tuberías, eliminación de fugas y derrames. b) Bagazo (reducción de la humedad e impurezas). c) Aire (mejora del calentamiento en el recuperador). d) Gases de chimenea: (reducción el calor residual). e) Vapor (mejora del aislamiento de tubería y colector principal). f) Purgas de caldera (reducción del flujo, recuperación de vapor flash) y g) Calderas (mejora del aislamiento, reducción del atoro de boquillas de parrillas, eliminación de fugas de gases del hogar); 2) Distribución de vapor: a) eliminación de las fugas y b) mejora del aislamiento de tuberías. 3) Consumidores de vapor: a) reducción del consumo de vapor, b) Mejora del aislamiento y c) Reducción de la fuga de vapor en los condensados (en calentadores de jugo encalado y jugo clarificado, evaporadores, tachos). 4) Retorno de los condensados: a) Reducción pérdidas de reevaporizados, b) Reducción el enfriamiento en los tanques.

Palabras clave: Auditoria energética térmica, sistema de vapor, emisiones, industria azucarera

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, email: jhon\_herbert@hotmail.com

## Thermal energy audit to the steam system for the reduction of emissions in the company Azucarera del Norte S.A.C. 2013

Jhon Herbert Obispo Gavino<sup>1</sup>

### ABSTRACT

**Objective:** Perform the thermal energy audit to the steam system for the reduction of emissions of the company Azucarera del Norte S.A.C. **Methods:** The methodology for the elaboration of energy audits in the industry published by the Andalusian Energy Agency of Spain was used, with some adaptations to the reality of the sugar mill. We used information from specialized companies such as Spirax Sarco, Armstrong Inc., TLV International. **Results:** The reduction in the optimal emissions measured through the reduction of bagasse consumption is estimated: 1) Steam generation: reduction of bagasse humidity (5.6834%), reduction of waste heat from flue gases (2.7654 %), improvement of the heating in the economizer (2.2340%), heating with flash steam the desaerador (0,2341%), improvement of the boiler insulation (0,0255%), flash vapor recovery of boiler purges (0, 0245%), reduction of the boiler blowdown flow (0.0154%). 2) Steam distribution: improvement of the insulation of steam pipes to the plant (0.0233%), elimination of leaks in the steam distribution (0.0156%), improvement of steam insulation of the cauldron outlet (0.0034% ), improves main collector insulation (0.0012%). 3) Steam consumers: reduce the consumption of steam in the equipment (15,9608%). 4) Return of condensates: Loss of re-evaporation in condensates (6.6424%), reduction of condensate cooling in tanks (0.0157%). **Conclusions:** The potentials for improvement in the steam system were identified and the most relevant ones were quantified in the reduction of emissions: 1) Steam generation: a) Feeding water (improvement of the heating in the economizer, heating with flash steam the desaerador , improvement of pipe insulation, elimination of leaks and spills b) Bagasse (reduction of humidity and impurities). c) Air (improvement of the heating in the recuperator). d) Chimney gases: (reduction of residual heat). e) Steam (improvement of the pipe insulation and main collector). f) Boiler purges (flow reduction, flash steam recovery) and g) Boilers (improvement of insulation, reduction of grilling nozzles, elimination of household gas leaks); 2) Steam distribution: a) elimination of leaks and b) improvement of pipe insulation. 3) Steam consumers: a) reduction of steam consumption, b) Improvement of insulation and c) Reduction of vapor leakage in condensates (in lime juice heaters and clarified juice, evaporators, bins). 4) Return of the condensates: a) Reduction of reevaporized losses, b) Reduction of cooling in the tanks.

Keywords: Thermal energy audit, steam system, emissions, sugar industry

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, email: jhon\_herbert@hotmail.com

## INTRODUCCIÓN

Las gran mayoría de empresas productivas de nuestro país, no usan eficientemente la energía, entre ellas la energía térmica. Las ineficiencias en las etapas del proceso de producción ocasionan un mayor consumo de combustible y en consecuencia la generación innecesaria de contaminantes en las emisiones que son emanadas al ambiente, generando impactos ambientales negativos en su zona de influencia.

En ese sentido, la auditoría termo energética al sistema de vapor en la empresa Azucarera del Norte S.A.C., permitirá que se pueda contar con alternativas identificadas con objetividad para la reducción de emisiones gaseosas que evacuan los equipos generadores de vapor (calderas) .

En consecuencia el estudio contribuirá a que la empresa logre operar eficientemente logrando reducir sus costos de producción y adicionalmente reducir las emisiones gaseosas, para un desarrollo sostenible, mejorando la calidad de vida de sus trabajadores y habitantes de localidades aledañas como Picsi y Ferreñafe.

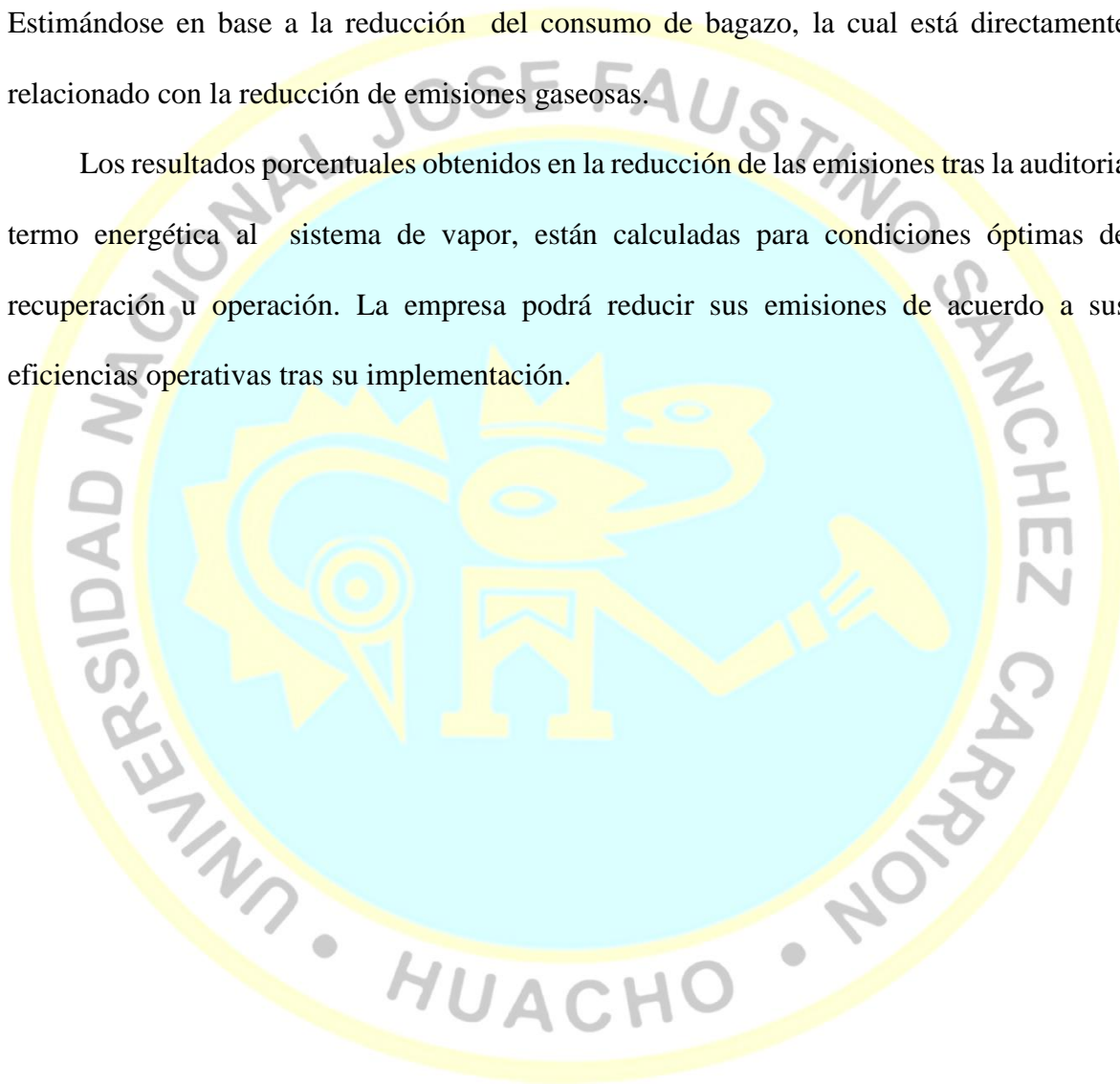
En el estudio se utilizó la metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria publicada por la Agencia Andaluza de energía de España, con algunas adaptaciones a la realidad del ingenio azucarero, conjuntamente con información técnicas publicadas por empresas especializada como Spirax Sarco, Armstrong Inc., TLV internacional; complementadas con la experiencia del investigador.

La auditoría termo energética se realizó a los cuatro componentes del sistema de vapor, el cual comprende: 1) La generación de vapor (auditándose al agua de alimentación, el bagazo como combustible, el aire de combustión, el vapor generado, las purgas de las calderas, los gases de chimenea y condiciones de la caldera). 2) La distribución de vapor (auditándose las tuberías de distribución y las estaciones de reducción de presión), 3) El consumo de vapor (auditándose los calentadores de jugo encalado, el calentador de jugo

clarificado, los evaporadores cuádruple efecto, los tachos o vacumpanes, las centrífugas y el secador) y 4) El retorno de condensado (auditándose las tuberías de retorno de condensado, los tanques de almacenamiento y los sistemas de bombeo).

Las potencialidades de mejora en las unidades del sistema de vapor, se ordenaron de acuerdo a su relevancia en la reducción de las emisiones de las calderas de la empresa. Estimándose en base a la reducción del consumo de bagazo, la cual está directamente relacionado con la reducción de emisiones gaseosas.

Los resultados porcentuales obtenidos en la reducción de las emisiones tras la auditoria, termo energética al sistema de vapor, están calculadas para condiciones óptimas de recuperación u operación. La empresa podrá reducir sus emisiones de acuerdo a sus eficiencias operativas tras su implementación.





# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción de la realidad problemática

El uso de la energía en todas sus formas, es el medio de cambio y desarrollo de la sociedad, con ello las empresas principalmente las industriales operan transformando las materias primas en productos terminados, obteniendo en el proceso las utilidades deseadas.

Sin embargo, cuando dentro del proceso productivo por alguna razón se opera ineficientemente, ésta debe corregirse para su permanencia en el mercado que cada vez se hace más competitivo.

Uno de los grandes problemas que afrontan las empresas productivas de nuestro país, es sin duda el uso ineficiente de la energía térmica, obtenida por la quema de combustibles para la generación de vapor. Las ineficiencias en las diferentes etapas del proceso de producción ocasionan un mayor consumo de combustible y en consecuencia la generación excesiva e innecesaria de contaminantes en las emisiones evacuadas al ambiente por los equipos generadores de vapor comúnmente llamadas calderas.

Esta situación de ineficiencia energética afecta no sólo a la empresa, sino también a las localidades colindantes por la mayor generación de contaminantes en las emisiones gaseosas y que pudieran ser evitadas y/o reducidas.

Las causas que originan el problema de las emisiones gaseosas en la empresa Azucarera del Norte S.A.C., pueden identificarse con objetividad al analizarse los componentes del sistema de vapor (generación de vapor, distribución de vapor, consumo de

vapor y retorno de condensado). La identificación de las unidades y/o actividades de mejora en el sistema de vapor se desconocían, por ello es que se realizó el presente trabajo de investigación.

## **1.2 Formulación del problema**

Desde el punto de vista económico, los recursos energéticos, son bienes relativamente escasos y, por tanto, sin reducir la calidad de vida, su uso debe ser racional, evitando el despilfarro, más aún cuando para los próximos veinte años se prevé que el consumo energético a escala mundial aumentará en un 50%. (Ministerio de Energía y Minas, 2007, pág. 12)

La industria requiere de una gran cantidad de energía térmica y eléctrica para llevar a cabo sus procesos productivos. La energía se utiliza como un recurso necesario e insustituible para elaborar los productos con las calidades exigidas. Por tanto, como cualquier otro servicio habrá que adquirirlo o transformarlo, adecuándolo a las necesidades de su utilización, transportarlo a los puntos de consumo y, por último, posibilitar su uso final por los consumidores. Además, puesto que la energía no se destruye, habrá que recuperar la energía residual que quede tras su uso allí donde sea técnicamente factible y económicamente viable. En el caso de la energía térmica, ésta es llevada a los procesos por medio de los fluidos calo portadores, que tomando la energía térmica del combustible, a través en el sistema de generación, la transportan y transfieren para su consumo en los equipos de proceso. (Agencia Andaluza de energía, 2011, pág. 12)

### **1.2.1 Problema general**

- ¿Cómo la auditoría termo energética al sistema de vapor permitirá la reducción de emisiones en la empresa Azucarera del Norte S.A.C?



## **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Qué alternativas en la generación del vapor se puede identificar de acuerdo a su relevancia para la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.?
- ¿Qué alternativas en la distribución del vapor se puede identificar de acuerdo a su relevancia para la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.?
- ¿Qué alternativas en los consumidores de vapor se puede identificar de acuerdo a su relevancia para la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.?
- ¿Qué alternativas en el retorno de los condensados se puede identificar de acuerdo a su relevancia para la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

- Realizar la auditoría termo energética al sistema de vapor para la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Realizar la auditoría termo energética en la generación del vapor para identificar las potencialidades de mejora y su relevancia en la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.
- Realizar la auditoría termo energética en la distribución del vapor para identificar las potencialidades de mejora y su relevancia en la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.
- Realizar la auditoría termo energética a los consumidores del vapor para identificar las potencialidades de mejora y su relevancia en la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.

- Realizar la auditoría termo energética al retorno de los condensados para identificar las potencialidades de mejora y su relevancia en la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.

## **1.4 Justificación de la investigación**

### **1.4.1 Justificación práctica**

El trabajo de investigación resuelve el problema materia de investigación, permitiendo identificar las potencialidades de mejora en el sistema de vapor para la reducción de las emisiones a través de la reducción de la quema del bagazo como utilizado combustible.

### **1.4.2 Justificación teórica**

Se justifica por el hecho de que los resultados de la investigación podrán aplicarse en diferentes sectores industriales, aportando al conocimiento existente sobre las auditorías termo energéticas en ingenios azucareros.

### **1.4.3 Justificación metodológica**

La existencia de metodologías diseñadas para la realización de auditorías energéticas como lo señala Agencia Andaluza de la Energía de España, en su guía “Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria” viabiliza la realización del presente estudio.

### **1.4.4 Justificación social**

El estudio beneficiará al área de influencia de la empresa por la disminución de las emisiones, mejorando la calidad de vida de sus trabajadores y habitantes, localidades aledañas como Pisci y Ferreñafe, lo que permitirá a la empresa una mayor ventaja competitiva en el cuidado del medio ambiente.

## 1.5 Delimitaciones del estudio

### 1.5.1 Delimitación espacial

La auditoría termo energética al sistema de vapor se realizó en las instalaciones de la empresa Azucarera S.A.C. (ANORSAC), ubicado en:

#### Ubicación política:

- Lugar : km 12,6 de la carretera Chiclayo – Ferreñafe.
- Distrito : Picsi.
- Provincia : Chiclayo.
- Departamento : La Libertad.
- Región : Lambayeque.

#### Ubicación política:

- Latitud Sur: 06°40'39".
- Longitud Oeste: 79°46'58".

### 1.5.2 Delimitación temporal.

- Meses : Junio – Setiembre.
- Año : 2013

### 1.5.3 Delimitación teórica.

- Auditoría energética térmica.
- Sistema de vapor:
  - Generación del vapor.
  - Distribución del vapor.
  - Consumo de vapor.
  - Retorno de los Condensados.
- Emisiones gaseosas.
- Industria azucarera.

## **1.6 Viabilidad del estudio**

### **1.6.1 Viabilidad técnica**

El estudio se viabilizó gracias a la autorización de la Gerencia de la empresa Azucarera del Norte S.A.C con la gestión de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, (Anexo 1 y 2). Por otro lado el investigador contó con información técnica, habiendo laborado en la empresa en diferentes jefaturas desde su construcción, puesta en marcha y funcionamiento de la planta.

### **1.6.2 Viabilidad ambiental**

Debido a la naturaleza de la investigación de auditoria no se ha generado impacto ambiental negativo, por el contrario los resultados del estudio ofrecerán alternativas de impactos positivos en la reducción de las emisiones gaseosas, que beneficiaran a la empresa y su área de influencia.

### **1.6.3 Viabilidad financiera.**

Los recursos económicos necesarios para el estudio estuvieron garantizados en su totalidad por el investigador y las facilidades dadas por la empresa para la autorización de la auditoria.

### **1.6.4 Viabilidad Social.**

Se viabilizó dado que se cuenta con mano de obra calificada del investigador y asesor con la predisposición de la empresa en dar las facilidades de mano de obra no calificada para la realización del estudio de auditoria.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1 Investigaciones internacionales**

**Auditoría energética de un hospital.** Pedrajas (2017). Universidad Pontificia Comillas Madrid; cuyo objetivo fue identificar medidas y acciones encaminadas a contribuir a mejorar la eficiencia energética del hospital y la optimización de sus recursos, consiguiendo así un ahorro energético y económico, llegando a la conclusión que el consumo energético del hospital y la temperatura exterior están claramente correlacionadas, el consumo base es alto, ya que el hospital está abierto durante todo el año y dispone de muchos equipos que se están prácticamente todos los días, también refiere que en las instalaciones existen procesos eficientes energéticamente como el sistema de iluminación y el control, de manera plenamente domotizada.

**Análisis de la eficiencia energética aplicado al mantenimiento del sistema de generación y distribución de vapor para la empresa “La Ibérica”** Vargas (2016). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo – Ecuador, cuyo objetivo fue el análisis de la eficiencia energética aplicado al mantenimiento del sistema de generación y distribución de vapor para la empresa “La Ibérica” llegando a la conclusión que el sistema de vapor está funcionando en su totalidad, pero no con las normativas que rigen estos sistemas. La caldera está operando con una combustión no adecuada, porque según los resultados del análisis de gases residuos de la combustión, existe exceso de oxígeno, que es una clara muestra de una excesiva cantidad de aire que no aporta al proceso de la combustión y botamos energía térmica al



ambiente, hay que analizar el sistema de inyección de combustible, porque también tenemos un alto contenido de CO<sub>2</sub> (monóxido de carbono), ya con estos resultados se ha podido tomar las respectivas correcciones para reducir la contaminación al ambiente para el ahorro de energía para la empresa, también se realizó un programa de mantenimiento centrado en la eficiencia energética con el fin de ahorrar energía para la empresa.

El porcentaje de agua fresca de alimentación utilizado por cada libra de vapor producido por la caldera, 53,1826 %. De igual forma el porcentaje de condensado que se recupera de la red de distribución de vapor es de 46,8173 %. La eficiencia de la recuperación del condensado en esta industria es del 46,8173 %.

Debido a que el porcentaje de agua fresca de alimentación que se utiliza por cada libra de vapor es el mismo por no recuperar el condensado, entonces el porcentaje de pérdida energética en el sistema de distribución de vapor es de 53,1826 %, más el porcentaje de vapor instantáneo eliminado en el tanque de condensados 1,7269 % lo que suma entonces 54,9095 % de pérdida energética en el sistema de 172 distribución.

Debido a que todo equipo mecánico está sujeto a desgaste necesariamente requerirá de mantenimiento, la codificación de los elementos de la red de vapor facilita la determinación de las actividades de mantenimiento preventivo para los mismos elementos, válvulas de bola, compuerta, check, y trampas de vapor; así también el estado del equipo que utiliza vapor, los métodos utilizados para la revisión fueron la inspección visual, revisión de temperatura y análisis auditivo. Lo ideal fue combinar ambos métodos para efectuar una rutina de mantenimiento a la red.

**Eficiencia energética en la red de distribución de vapor a través de la recuperación del condensado en una industria de alimentos**, Álvarez (2016). Universidad de San Carlos de Guatemala, cuyo objetivo fue realizar un estudio de eficiencia energética en la red de distribución de vapor, para optimizar el proceso de recuperación de condensados,



llegando a la conclusión que la eficiencia de la caldera es de un 85,7%, la calidad de vapor tiene importancia únicamente cuando se trata de vapor húmedo, el valor se debería encontrar entre 0 y 1; en este caso 0,00425 del vapor mantiene humedad, es decir el 99,57 % del vapor producido por la caldera se encuentra libre de humedad antes de salir del cabezal de distribución principal.

**Auditoría energética al circuito de vapor y condensado de una planta de elaboración de café liofilizado**, Bohórquez (2013). Escuela Politécnica Nacional – Ecuador; cuyo objetivo era identificar las áreas donde exista un potencial de ahorro de energía y realizar un estudio técnico-económico para implementar mejoras en el corto plazo. Una Investigación aplicada – tecnológica, descriptivo – explicativo, llegando a la conclusión que se hizo una auditoría energética al circuito de vapor y condensado de una planta de café liofilizado, este estudio incluyó las purgas de la caldera, tuberías, distribuidores, condensados que no son aprovechados adecuadamente, aislamiento de las tuberías de distribución, fugas de vapor, trampas de vapor, problemas en usuarios de vapor.

**Informe de auditoría energética de la facultad de derecho de la universidad del país Vasco**, Gómez (2013). CEETAM, Cuba, cuyo objetivo fue Implementar el diagnóstico energético y ambiental en el hospital Guillermo Luis Fernández Hernández Baquero del Municipio de Moa, como caso de estudio para instalaciones hospitalarias para valorar el consumo de los portadores energéticos u su desempeño ambiental. Una investigación aplicada o tecnológica, descriptivo – explicativo, llegando a las conclusiones el diagnóstico energético y ambiental realizado, constituye una base para su realización en instalaciones hospitalarias con característica similares, con el fin de valorar el consumo de portadores energéticos y su proyección ambiental. Queda demostrado que aún existe un gran número de insuficiencia por resolver, tanto en el control de consumo de los portadores energéticos, como en la proyección ambiental de la institución; se evidencia que existe una reserva

importante para el ahorro de estos portadores y la necesidad apremiante de aplicar un sistema de gestión ambiental que mejore la imagen de la institución, las que se resuelven en su mayoría, siendo aplicables a otras instalaciones con características similares.

**Impacto de la optimización de la eficiencia energética en el sistema de producción del nuevo Carnic, S.A.** Ruiz (2011). Universidad Tomas More – Managua; cuyo objetivo fue analizar el impacto de la optimización de la eficiencia energética en el sistema de producción del Nuevo Carnic S.A. Llego a concluir que en la energía térmica el principal problema es la falta de aislamiento tanto de la caldera como del sistema de vapor, que incluye tuberías y receptores de vapor. Agregado que por la falta de mantenimiento preventivo existen fugas en las tuberías que generan no sólo pérdidas de calor importante, sino agua que tuvo un costo de bombeo y que vale por sí misma.

**Uso racional y eficiente de la energía en un sistema de vapor de una industria papelerera.** Jaramillo (2010). Universidad EAFIT – Colombia; cuyo objetivo era realizar una revisión energética de recuperación de condensado, aislamiento térmico y disminución de fugas en un sistema de distribución de vapor en una planta papelerera, con el fin de hacerlo más eficiente. Llegando a concluir que los puntos de ahorro energético identificados como posibles focos de ahorro energético, bajo el programa de UREE en la industria papelerera estudiada son: fugas de vapor y condensado en las líneas de distribución, fugas de vapor en las trampas, aislamientos térmicos malos y recuperación de condensado. Se debe tener un programa de mantenimiento predictivo o planeado para poder detectar fácilmente las fugas de vapor. Igualmente, las trampas de vapor tienen su vida útil, además si no se seleccionan de manera adecuada, se pierde vapor y no se recupera condensado. Antes de seleccionar una trampa se debe tener en cuenta la presión de trabajo y la capacidad de descarga de condensado dependiendo la longitud del tramo que se está purgando.

## **2.1.2 Investigaciones nacionales**

**Propuesta de auditoría energética del caldero N° 5 para incrementar la eficiencia de la Empresa Industrial Pucalá S.A.C.** Odar (2016). Universidad César Vallejo, cuyo objetivo fue elaborar una propuesta de auditoría energética en el área de generación de vapor caldero N° 05, de la Empresa Industrial Pucalá, S.A.C., para incrementar la eficiencia energética, en primer lugar se realizó un diagnóstico del estado de la caldera, llegando a la conclusión de proponer medidas de ahorro energético para la Empresa industrial Pucalá S.A.C. considerando la antigüedad de la caldera y la importancia que esta tiene en la producción de vapor (50%).

**Metodología de diseño de un generador de vapor acuatubular bagacero.** Andrade (2015). Universidad de Piura; cuyo Objetivo fue proponer una metodología para el diseño y análisis energético de este tipo de generadores de vapor, llegando a concluir Se cumplió el objetivo principal de la Tesis, pues se desarrolló y validó la metodología de diseño planteada. Los resultados obtenidos muestran mucha concordancia con la hoja de especificaciones de la caldera de la empresa Bioenergía del Chira S.A. y las discrepancias se encuentran dentro de un rango aceptable. Esta comparación resulta factible a partir del caso de estudio desarrollado en el Capítulo 5 y donde se han seguido los mismos parámetros de diseño.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Auditoria energética**

Una auditoría energética es un análisis que refleja cómo y dónde se usa la energía de una instalación industrial con el objetivo de utilizarla racional y eficientemente. Ayuda a comprender mejor cómo se emplea la energía en la empresa y a controlar sus costos, identificando las áreas en las cuales se pueden estar presentando despilfarros y en dónde es posible hacer mejoras. Es una evaluación técnica y económica de las posibilidades de reducir

el costo de la energía de manera rentable sin afectar la cantidad y calidad de su producto. (Ministerio de Energía y Minas, 2007, pág. 15)

La auditoría energética es un proceso sistemático mediante el cual se obtiene un conocimiento suficientemente fiable del consumo energético de la empresa para detectar los factores que afectan el consumo de energía e identificar, evaluar y ordenar las distintas oportunidades de ahorro de energía, en función de su rentabilidad. (Ministerio de Energía y Minas, 2007, pág. 15)

Una clasificación de las auditorías energéticas de acuerdo al proceso general, se da en: a) Auditorías eléctricas. Se realizan sobre equipos o sistemas que producen, convierten, transfieren, distribuyen o consumen energía eléctrica y b) Auditorías térmicas. Se realizan sobre equipos o sistemas que producen, convierten, transportan o distribuyen fluidos líquidos o gaseosos. (Ministerio de Energía y Minas, 2007, pág. 21)

Según la Agencia Andaluza de energía, (2011), indica el procedimiento de auditoría energética:

- 1) Recogida de información previa a la visita.
- 2) Análisis del proceso productivo.
- 3) Visita a las instalaciones.
- 4) Petición adicional de información.
- 5) Informe de la estructura energética.
- 6) Análisis de la monitorización existente.
- 7) Visita a las instalaciones y toma de datos de los equipos.
- 8) Balances de materia y energía. Esquemas, tablas y cálculo de rendimientos.
- 9) Análisis de eficiencia.
- 10) Listados de propuestas de mejora energética.
- 11) Selección de las medidas de ahorro energético.



12) Evaluación de ahorro energético y económico de las medidas seleccionadas.

13) Informe de auditoría energética. (Agencia Andaluza de energía, 2011, pág. 23)

## **2.2.2 Sistema de vapor**

Los componentes de un sistema de vapor: son: 1) Generador de vapor; se compone de la caldera y sus equipos auxiliares, 2) Distribución de vapor; está integrado por las tuberías que transportan al vapor desde la generación hasta el usuario, se incluye los cabezales de distribución de vapor, así como otros elementos de control, 3) Usos del vapor; son aquellos equipos y operaciones que utilizan el vapor y 4) Retorno de condensados; este sistema colecta el condensado del vapor tanto de las líneas de vapor como de los equipos que utilizan el vapor. (USAID, 2011, pág. 6)

### **2.2.2.1 Generación de Vapor**

#### **A. Agua de alimentación**

Puesto que el tanque de alimentación está caliente, se debe procurar minimizar las pérdidas de calor. Las mayores pérdidas tendrán lugar en la superficie del agua, por tanto es esencial alguna forma de tapa. Una alternativa es cubrir la superficie con una manta flotante de pelotas de plástico. Aparte de evitar que se pierda calor, se ha demostrado que este tipo de manta reduce la absorción de oxígeno por el agua. Revestir con aislante el tanque proporcionará un ahorro adicional y reducirá la temperatura ambiente de la sala de calderas. (Spirax Sarco, 2003, pág. 26)

Un método adicional de eficacia para las calderas se realiza con el uso de un economizador. Un economizador es un dispositivo que se pone en el punto donde se descargan a atmósfera los gases calientes de la caldera. Ya que estos gases están todavía calientes, se pueden utilizar para calentar el agua de alimentación que entra en la caldera, pasando el agua de alimentación a través del economizador antes de que alcance la caldera. (Spirax Sarco, 2003, pág. 26)



Un economizador es un intercambiador de calor tubular, que se instala a la salida de los gases de combustión de la caldera, por los que circula agua de alimentación que absorbe parte del calor de estos gases. La energía recuperada supone un calentamiento del agua de alimentación y, por tanto, una reducción del consumo de combustible necesario para ello, generando, por consiguiente, un ahorro energético y económico. (Agencia Andaluza de energía, 2011, pág. 31)

#### **B. Aire de combustión**

En este caso, se trata de calentar el aire de combustión, antes de su entrada en el equipo de generación, con los gases de combustión, disminuyendo el consumo de combustible. Mediante el recuperador, el rendimiento del equipo se verá notablemente mejorado. (Agencia Andaluza de energía, 2011, pág. 31)

#### **C. Bagazo como combustible**

La caldera es sólo parte de una instalación. Es tan importante como tener el quemador que responda a la carga y mantenga la correcta proporción de combustible / aire. Éste es un tema muy amplio y si hay cualquier duda se debe consultar a los proveedores de calderas y equipos de combustión. (Spirax Sarco, 2003, pág. 25)

El control de la combustión es importante en cualquier generador que use combustible fósil. Persigue dos objetivos: liberar la mayor cantidad de energía posible del combustible, provocando una combustión completa con el adecuado exceso de aire, y minimizar la cantidad de energía perdida con los humos procedentes de la combustión. (Agencia Andaluza de energía, 2011, págs. 28, 29)

El factor más determinante para una buena combustión es el exceso de aire. Existe un mínimo teórico necesario para la combustión completa, que normalmente se supera en una cantidad que marca la buena práctica de estos equipos y que depende del tipo de combustible. El exceso de aire debe ser controlado, pues a medida que crece, y una vez conseguida la

combustión completa, su aumento sólo provocaría pérdidas crecientes de energía a través de los gases expulsados. (Agencia Andaluza de energía, 2011, págs. 28, 29)

#### **D. Gases de chimenea**

Las mayores pérdidas en una caldera se detectarán en los gases calientes descargados por la chimenea. Si la combustión es buena, habrá sólo una pequeña cantidad de exceso de aire. Los gases de la combustión contendrán un porcentaje relativamente grande de dióxido de carbono y sólo una cantidad pequeña de oxígeno. También, si las superficies caloríficas están limpias, se extraerá un porcentaje alto de calor y la temperatura de los gases de la combustión será baja. (Spirax Sarco, 2003, pág. 25)

Si la combustión es pobre, con mucho exceso de aire, entonces aumentará el peso de los gases de la combustión que contendrán un porcentaje reducido de dióxido de carbono y la cantidad superior de oxígeno. Si la velocidad de combustión es alta o las superficies caloríficas están sucias, no será posible extraer un porcentaje alto de calor y la temperatura de los gases de la combustión aumentará. (Spirax Sarco, 2003, pág. 25)

La medida del dióxido de carbono u oxígeno en los gases de combustión, junto con la temperatura, permite calcular las pérdidas de los gases de combustión. Éste es el método normal de supervisar eficazmente la caldera y debe hacerse correctamente y con frecuencia bajo todas las condiciones de carga de la caldera. (Spirax Sarco, 2003, pág. 25)

#### **E. Vapor generado**

Vapor es un gas invisible que se genera cuando se le añade energía calorífica al agua en una caldera. Se necesita añadir suficiente energía para que se eleve la temperatura del agua hasta su punto de ebullición. Después de ello, cualquier energía adicional transforma el agua en vapor, sin un incremento en la temperatura. El vapor de agua es un vehículo para transferir calor en forma bastante eficiente y fácil de controlar. Es usado frecuentemente para transportar energía desde un punto central (la caldera) hasta varios lugares en la fábrica

donde se utiliza para calentar aire, agua o para diversos usos en el proceso. (Armstrong, 2002, pág. 6)

Cuando una caldera bien diseñada genera vapor bajo condiciones de carga estables, el porcentaje de sequedad del vapor será alto, aproximadamente entre 96% y 99%. Los cambios en la carga que ocurren más rápidamente de lo que puede responder la caldera, afectarán adversamente a este porcentaje de sequedad. La inevitable pérdida ocasional de control de TDS del agua de la caldera o la contaminación del agua de alimentación de la caldera, producirá que descargue vapor húmedo desde la caldera. (Spirax Sarco, 2003, pág. 43)

#### **F. Purga de caldera**

La purga de la caldera persigue mantener la concentración de sólidos dentro de unos márgenes, ya que estos se van concentrando a medida que el agua se evapora. Para ello, es necesario extraer el agua con una elevada concentración de sólidos disueltos y en suspensión, y sustituirla por agua de alimentación. La purga se hace necesaria para evitar que los sólidos precipiten y formen depósitos que puedan dificultar la transferencia de calor a través de las superficies, disminuyendo con ello la eficiencia en la generación de vapor. La purga deber ser la mínima necesaria, pues cualquier exceso, además de un mayor consumo de agua, supone una pérdida energética y económica ya que el agua de alimentación debe ser calentada, tratada y bombeada. (Agencia Andaluza de energía, 2011, pág. 30)

Los sólidos en suspensión también pueden causar problemas ya que se depositan en el fondo de la caldera. Si no se controlan, eventualmente se acumularían hasta un nivel peligroso. Todas las calderas de vapor incorporan una salida en el punto más bajo para eliminar periódicamente los sólidos precipitados, conocida como purga de fondo. Se requiere una descarga breve y súbita para una eliminación eficiente, que se consigue abriendo una válvula de gran paso que elimina grandes cantidades de agua de caldera. Esta

es una solución ideal para la purga de fondo y no se debe confundir con la necesidad de control de TDS. (Spirax Sarco, 2003, pág. 2)

Cuando se tiene condensado caliente o agua hirviendo, presurizados, y se libera a una presión más baja, parte de esos líquidos se vuelven a evaporar, y a esto es a lo que se le llama vapor flash o vapor secundario. El vapor flash es importante porque guarda unidades de calor o energía que pueden ser aprovechadas para una operación más económica de la planta. De lo contrario, esta energía es desperdiciada. (Armstrong, 2002, pág. 5)

### **G. Caldera**

Las calderas son la parte más importante del circuito de vapor, después de todo, es donde se crea el vapor. Una caldera puede definirse como un recipiente en el que se transfiere la energía de calorífica de un combustible a un líquido. En el caso de vapor saturado, la caldera proporciona también energía calorífica para producir un cambio de la fase de líquido a vapor. (Spirax Sarco, 2003, pág. 3)

Una caldera que tiene que cubrir con una carga puntual superior al rango máximo trabajará con una eficacia reducida. La presión puede caer produciendo arrastres que harán que la caldera sea incapaz de proporcionar el vapor de buena calidad que se precisa. (Spirax Sarco, 2003, pág. 25)

Si una caldera tiene que trabajar con un porcentaje pequeño de su régimen, entonces las pérdidas por radiación pueden ser significantes y de nuevo hay una caída en eficacia global. No es fácil igualar la producción de la caldera a una demanda de vapor variable. Dos o más calderas son más flexibles que una sola unidad y esto explica la disposición típica de una caldera más grande para la carga del invierno y una caldera pequeña para la carga de verano. (Spirax Sarco, 2003, pág. 25)



### 2.2.2.2 Distribución de vapor

La energía llega a la planta en forma de combustible líquido, sólido, gaseoso o eléctrico y se consume directamente en los equipos de generación térmica. (Agencia Andaluza de energía, 2011, pág. 12)

Los equipos de generación producen el calentamiento o enfriamiento de fluidos calo portadores (agua, vapor, aceite térmico, etc.) que han de ser distribuido en la fábrica hasta los puntos de consumo finales. El transporte de estos fluidos requiere el uso de sistemas de bombeo (líquidos), ventilación (gases) o compresores (aire comprimido). El transporte se realiza mediante redes hidráulicas cuya configuración depende del tipo de energía transportada. (Agencia Andaluza de energía, 2011, pág. 13)

El sistema de distribución de vapor es un enlace importante entre la fuente generadora del vapor y el usuario. La fuente generadora del vapor puede ser una caldera o una planta de cogeneración. Esta, debe proporcionar vapor de buena calidad en las condiciones de caudal y presión requeridas, y debe realizarlo con las mínimas pérdidas de calor y atenciones de mantenimiento. (Spirax Sarco, 2003, pág. 2)

Cuando seleccione la presión de trabajo, debe tenerse en cuenta lo siguiente: presión requerida en el punto de utilización, caída de presión a lo largo de la tubería debida a la resistencia al paso del fluido, pérdidas de calor en la tubería. (Spirax Sarco, 2003, pág. 4)

Si se distribuye a altas presiones, será necesario reducir la presión de vapor en cada zona o punto de utilización del sistema, con el fin de que se ajuste a lo que la aplicación requiere. (Spirax Sarco, 2003, pág. 5)

Antes de la válvula reductora se utiliza un separador para eliminar el agua que arrastra el vapor que entra, permitiendo que sólo el vapor seco saturado pase a través de la válvula reductora. Si se utiliza una válvula reductora de presión, es apropiado montar una válvula de seguridad aguas abajo para proteger el equipo. Si la válvula reductora fallase,



produciéndose un aumento de presión aguas abajo, el equipo resultaría dañado, e incluso podrían ocurrir daños personales. Con una válvula de seguridad instalada, cualquier exceso de presión será descargado a través de la válvula, evitando que se produzcan desperfectos. (Spirax Sarco, 2003, pág. 6)

Siempre que sea posible, la tubería de distribución debe montarse con un descenso no inferior a 40 mm cada 10 m, en la dirección del flujo. Hay una buena razón para ello. Si la tubería asciende en la dirección del flujo, el condensado tratará de volver hacia abajo. Pero el flujo de vapor en sentido contrario, que puede ir a una velocidad de hasta 80 km/h, barrerá el agua hacia arriba. Esto haría extremadamente difícil la recogida del agua y su evacuación. Es más, esto facilitaría que el agua se mezclase con el vapor produciendo vapor húmedo y que hubiese golpes de ariete. (Spirax Sarco, 2003, pág. 17)

Montando la tubería con un descenso en la dirección del flujo, tanto el vapor como el condensado, irán en la misma dirección y se pueden colocar puntos de purga en la línea para recoger y evacuar el agua. En cualquier caso, la cantidad de condensado que se forma en una línea de gran tamaño bajo condiciones de puesta en marcha, es suficiente para hacer necesaria la instalación de puntos de purga cada 30 m a 50 m, así como en los puntos bajos del sistema. (Spirax Sarco, 2003, pág. 17)

Reducir las fugas de vapor constituye uno de los mayores potenciales de ahorro energético y económico en las instalaciones industriales. Las pérdidas de vapor se localizan fundamentalmente en las tuberías y en los purgadores. Las fugas debidas a fallos en las tuberías son fácilmente detectables y deberán ser eliminadas con rapidez, sobre todo debido al riesgo que suponen para los operarios. En cambio, el mal funcionamiento de los purgadores es difícil de detectar, especialmente en sistemas de condensación cerrados en los que no es fácil acceder al punto de descarga del purgador. Un programa de mantenimiento de las instalaciones que tenga por objetivo la búsqueda y reparación de las fugas, es esencial

para una operación eficiente de los sistemas de vapor. Habrá que estimar la cantidad de vapor fugado, tanto en las redes como en los purgadores. (Agencia Andaluza de energía, 2011, pág. 43)

El golpe de ariete se produce cuando el condensado en lugar de ser purgado en los puntos bajos del sistema, es arrastrado por el vapor a lo largo de la tubería, y se detiene bruscamente al impactar contra algún obstáculo del sistema. Las gotitas de condensado acumuladas a lo largo de la tubería, como se muestra en la Figura 11, con el tiempo forman una bolsa 'sólida' de agua que será arrastrada por la tubería a la velocidad del vapor. Estas velocidades pueden ser de 30 km/h o más. Esta bolsa de agua es densa e incompresible y, cuando viaja a una velocidad elevada, tiene una energía cinética considerable. (Spirax Sarco, 2003, pág. 19)

Las derivaciones transportarán el vapor más seco siempre que las conexiones tomen el vapor de la parte superior de la tubería principal. Si la toma es lateral, o peor aún, de la parte inferior como en la Figura 08, transportarán el condensado, comportándose como un pozo de goteo. (Spirax Sarco, 2003, pág. 22)

Las calderas de vapor compactas modernas tienen unas grandes prestaciones con relación a su tamaño y carecen de capacidad de reserva para absorber condiciones de sobrecarga. Un tratamiento químico incorrecto del agua de alimentación, mal control de TDS o picos de carga pueden provocar serios problemas de arrastre de agua e impurezas del agua de caldera a las tuberías de distribución. (Spirax Sarco, 2003, pág. 24)

Los equipos de vapor pueden también sufrir daños permanentes al rayarse – acción cortante del vapor y el agua pasando a gran velocidad a través de una válvula parcialmente abierta. Cuando una válvula se ha rayado, no volverá a procurar un cierre estanco, aunque se elimine la suciedad de ella. Por lo tanto, es sensato montar un simple filtro en la

tubería delante de cada purgador, aparato de medida, válvula reductora y válvula de control. (Spirax Sarco, 2003, pág. 26)

La utilización de purgadores es el método más eficaz de drenar el condensado de un sistema de distribución de vapor. Los purgadores usados para drenar la línea deben ser adecuados para el sistema, y tener la capacidad suficiente para evacuar la cantidad de condensado que llegue a ellos, con las presiones diferenciales presentes en cualquier momento. (Spirax Sarco, 2003, pág. 28)

Las fugas de vapor son también ignoradas a menudo. Sin embargo, las fugas pueden tener un alto coste tanto en sentido económico como ambiental y por lo tanto, requieren de pronta atención para asegurar que el sistema de vapor trabaje con un rendimiento óptimo y un mínimo impacto ambiental. (Spirax Sarco, 2003, pág. 30)

A menudo se olvida que cuando se introduce vapor en una línea después de un periodo de parada, la tubería está llena de aire. Además, con el vapor se introducen ciertas cantidades de aire y otros gases no condensables, aunque las proporciones de estos gases son normalmente muy pequeñas comparadas con el vapor. No obstante, si no se toman medidas para eliminarlos, estos gases se acumularán en la tubería y en los espacios que libera el vapor para condensar en los intercambiadores de calor. El calentamiento del sistema de vapor se convertirá en un proceso largo que contribuirá a la disminución del rendimiento de la planta. Reducción de pérdidas de calor. (Spirax Sarco, 2003, pág. 44)

El cálculo del espesor de aislante de una superficie, es un problema de optimización. Por un lado, cuanto mayor sea dicho espesor, menores serán las pérdidas que pudieran producirse, con lo que la cantidad de condensado decrece. Por otro, cuanto mayor sea el aislamiento, mayor será el coste de inversión requerida para ello. Las pérdidas debidas a la falta de aislamiento, o a su deterioro, dependen de una serie de factores, entre los que caben destacar: La diferencia de temperatura entre el vapor y el exterior, las velocidades de ambas

corrientes, el material, espesor, diámetro y longitud de la tubería, su ubicación y las condiciones ambientales. (Agencia Andaluza de energía, 2011, pág. 42)

Cuando una línea de vapor se ha calentado, se sigue produciendo condensado a causa de las pérdidas de calor por radiación. La tasa de condensación depende de la temperatura del vapor, la temperatura ambiente y la eficacia del sistema de aislamiento. (Spirax Sarco, 2003, pág. 46)

Para que un sistema de distribución sea máximamente eficiente, deberán cuidarse todos los aspectos para reducir las pérdidas de calor al mínimo de forma rentable. El espesor de aislamiento más rentable dependerá de diversos factores: coste de la instalación, valor del calor transportado por el vapor, tamaño de la tubería y temperatura de la tubería. Si la tubería que se desea aislar está en el exterior, deberá tenerse en cuenta la velocidad del aire y la capacidad de amortiguamiento del aislante. (Spirax Sarco, 2003, pág. 46)

### **2.2.2.3 Consumo de vapor**

Cuando el vapor se encuentra con condensado, que ha sido enfriado a una temperatura menor que la del vapor, se puede producir otro tipo de golpe de ariete que se conoce como choque térmico. El vapor ocupa un volumen mucho mayor que el condensado, así que cuando el vapor se condensa de forma repentina se generan ondas de choque que viajan por todo el sistema. Esta forma de golpe de ariete puede dañar el equipo, y básicamente indica que el condensado no está siendo drenado adecuadamente en el sistema. Al mismo tiempo, el condensado ocupa espacio dentro de la unidad de transferencia de calor, lo cual reduce el tamaño físico y la capacidad de la unidad. Si el condensado se remueve rápidamente entonces la unidad está llena de vapor. Pero al condensarse el vapor se forma una capa de agua dentro de las superficies del intercambiador de calor. Además, los gases no-condensables no se convierten en líquidos y fluyen hacia afuera por gravedad, sino que se acumulan dentro de la unidad y también forman una capa delgada en las superficies del



intercambiador de calor - junto con la suciedad y el sarro. Todos estos elementos son impedimentos para una transferencia de calor adecuada. (Armstrong, 2002, pág. 7)

Aire siempre está presente durante el arranque del equipo y en el agua de alimentación a la caldera. Además, el agua de alimentación puede tener disueltos ciertos carbonatos que liberan bióxido de carbono. La velocidad a que fluye el vapor empuja estos gases hacia las paredes de los intercambiadores de calor, lo que puede resultar en el bloqueo del flujo del calor. Esto empeora el problema del drenaje de condensados dados que estos gases deben de ser removidos del sistema junto con el condensado. (Armstrong, 2002, pág. 7)

Se podría entender por equipos de proceso los consumidores finales directos de energía, los cuales la requieren para realizar transformaciones sobre el producto procesado (reactores, hornos de proceso, secaderos, columnas de destilación, evaporadores de único o múltiple efecto) o su calentamiento o enfriamiento (intercambiadores de calor). La capacidad de actuación sobre los equipos de proceso final es muy variable, ya que en ocasiones puede estar restringida (reactores, columnas), o puede ser más accesible como ocurre en el caso de hornos y secaderos. Los requerimientos térmicos de los equipos de proceso, satisfechos a través de la red de distribución (vapor, agua caliente o fría), podrían serlo mediante el uso de corrientes residuales del proceso, disminuyendo así la demanda energética. (Agencia Andaluza de energía, 2011, pág. 14)

El trabajo de una trampa de vapor es el sacar condensado, aire y CO<sub>2</sub> del sistema tan rápido como se empiezan a acumular. (Armstrong, 2002, pág. 9)

Sobre los tipos de purgadores o trampas de vapor a) Termostático (funciona con cambios de temperatura): La temperatura del vapor saturado está establecida por su presión. En el proceso, donde se produce el intercambio, el vapor, cede su entalpía de evaporación, produciendo condensado a la temperatura del vapor. Cualquier pérdida de calor posterior significa que la temperatura de este condensado disminuye. Un purgador



termostático capta la temperatura y posiciona la válvula en relación al asiento para descargar el condensado. b) Mecánico (funciona por cambios de densidad del fluido): Éste basa su funcionamiento en la diferencia de densidad entre el vapor y el condensado. Estos purgadores se dividen en dos categorías, 'purgador de boya cerrada' y 'purgador de cubeta invertida'. En el purgador de boya cerrada esta sube en presencia de condensado para abrir una válvula. En el de cubeta invertida esta flota cuando el vapor alcanza el purgador y cierra una válvula. Ambos son esencialmente “mecánicos” en su método de funcionamiento. c) Termodinámico (funciona por cambios de dinámica en el fluido): El funcionamiento de los purgadores termodinámicos depende en parte en la formación de reevaporizado del condensado. Este grupo incluye los purgadores termodinámicos, de disco, de impulso y laberinto y también la simple placa orificio que no se puede realmente definir como mecánico ya que se trata sencillamente de un orificio de un diámetro determinado que pasar una cantidad determinada de condensado. Todos se basan en que el condensado caliente, descargado a presión, puede “revaporizar” para dar una mezcla de vapor y agua. (Spirax Sarco, 2003, pág. 11)

#### **2.2.2.4 Retorno de Condensados**

Si 1 ton/h de vapor se suministra a un equipo para un proceso de calentamiento, entonces la misma cantidad de condensado (1 ton/h) necesita ser descargada del equipo. La recuperación del condensado es un proceso que reutiliza el agua y el calor sensible contenidos en el condensado descargado. Recuperar el condensado, en lugar de tirarlo, conlleva ahorros significativos de energía, tratamiento químico y agua fresca. (TLV, 2018)

El condensado es un producto secundario de la transferencia de calor en un sistema de vapor. Se forma en el sistema de distribución debido a la inevitable existencia de radiación. También se forma en equipos de calentamiento y de proceso debido a la transferencia de calor del vapor a la sustancia que se desea calentar. Una vez que el vapor se condensa al

haber soltado todo su valioso calor latente, el condensado caliente se debe de remover inmediatamente. El condensado todavía es agua caliente con valor energético y se debe de regresar a la caldera, aun cuando el calor disponible en un kilogramo de condensado es relativamente poco comparado al de un kilogramo de vapor. (Armstrong, 2002, pág. 6)

El condensado que se acumula en las líneas de vapor puede ser la causa de cierto tipo de golpe de ariete. Cuando el vapor viaja a velocidades de hasta 160 km/h tiende a producir “olas” al pasar sobre el condensado. Si se ha acumulado demasiado condensado entonces el vapor a alta velocidad lo estará empujando, lo cual produce un tapón de agua que crece y crece al empujar el líquido delante de él. Cualquier componente que trate de cambiar la dirección del flujo - conexiones, válvulas reguladoras, codos, bridas ciegas - puede ser destruido. Asimismo, aparte del daño producido por este ‘golpeteo hidráulico’, el agua a alta velocidad puede causar erosión significativa en las conexiones y tuberías con superficies metálicas. (Armstrong, 2002, pág. 7)

Reusar el condensado caliente puede llevar a considerables ahorros de energía y agua, también a la mejora de las condiciones de trabajo y a reducir la huella de carbono de la planta. (TLV, 2018)

EL condensado contiene una cantidad valiosa de calor sensible, que puede ser entre el 10 y el 30% de la energía inicial que contiene el vapor. Alimentar la caldera con condensado de alta temperatura puede maximizar la generación de la caldera porque se requiere menor energía para convertir el agua en vapor. Cuando es eficientemente recuperado y usado, incluso puede reducirse el consumo de combustible entre el 10 y el 20%. (TLV, 2018)

Siempre que sean removidas las impurezas que vienen con el condensado, éste puede ser usado como agua de alimentación de la caldera, reduciéndose los costos de agua fresca y tratamiento, así como los costos de agua de enfriamiento usada para bajarle la temperatura al condensado antes de enviarlo al drenaje (si fuera el caso). (TLV, 2018)

Reducir la cantidad de combustible necesario gracias a la recuperación de condensado equivale a menor contaminación del aire porque se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>. (TLV, 2018)

El condensado que descargan las trampas de vapor se maneja de dos formas. Se va al drenaje justo después de salir por la trampa, lo que representa la pérdida de la energía contenida en el agua; o bien es transportado por tubería hacia otro lugar, idealmente al sistema de recuperación. (TLV, 2018)

Considerar la presencia de vapor al diseñar el retorno de condensados parece ir contra la lógica pero, en realidad es necesario. Esto se debe a un fenómeno llamado evaporación flash, que ocurre cuando el condensado se forma a alta presión y llega a un sistema de menor presión, como el retorno de condensados a la salida de la trampa de vapor. En este caso, como la presión a la entrada de la trampa de vapor es mayor que a su salida, parte del condensado se flashea en vapor instantáneamente cuando es descargado por la trampa. (TLV, 2018)

Si las líneas de retorno de los condensados y de distribución de vapor no se aíslan convenientemente, darán lugar a una importantísima pérdida de energía. Cualquier superficie por encima de los 50 °C debe ser calorifugada, incluyendo las superficies de la caldera, las tuberías, los depósitos y los accesorios. De este modo, pueden reducirse las pérdidas de calor hasta en un 90%. (Agencia Andaluza de energía, 2011, pág. 42)

### **2.3 Bases filosóficas**

El trabajo se enmarca a la filosofía positivista, que es teoría y metodología de la ciencia, siendo las ideas filosóficas de la lógica (pensamiento concreto) y de problema filosófico al epistemológico, el cual estudia la producción de conocimiento desde sus aspectos metodológicos hasta sus aspectos teóricos esenciales. Siendo por tanto la epistemología parte

de la filosofía que estudia los principios, fundamentos, extensión y metodos de conocimiento humano.

## 2.4 Definición de términos básicos

**Auditoria energética:** Una Auditoría Energética es un análisis que refleja cómo y dónde se usa la energía de una instalación industrial con el objetivo de utilizarla racional y eficientemente. Ayuda a comprender mejor cómo se emplea la energía en la empresa y a controlar sus costos, identificando las áreas en las cuales se pueden estar presentando despilfarros y en dónde es posible hacer mejoras. Es una evaluación técnica y económica de las posibilidades de reducir el costo de la energía de manera rentable sin afectar la cantidad y calidad de su producto. (Ministerio de Energía y Minas, 2007, pág. 15)

**Auditoria energética térmica:** Se realizan sobre equipos o sistemas que producen, convierten, transportan o distribuyen fluidos líquidos o gaseosos”. (Ministerio de Energía y Minas, 2007, pág. 21)

**Bagazo:** El bagazo, fibra residual de la caña de azúcar después de la molienda, es un combustible natural para producir vapor en las fábricas azucareras. (EcuRed, s.f.)

**Brix:** Los grados Brix, determinan el porcentaje de sólidos solubles presentes en una disolución, en el caso de la industria alimentaria, nos indica la cantidad de sacarosa presente en la muestra a analizar. Así, una disolución 25 °Bx, contendrá 25 gramos de sacarosa por cada 100 gramos de disolución, es decir, 25 gramos de sacarosa y 75 gramos de disolvente. (medidordeph.com, 2014)

**Caldera:** Una caldera puede definirse como un recipiente en el que se transfiere la energía de calorífica de un combustible a un líquido. En el caso de vapor saturado, la caldera proporciona también energía calorífica para producir un cambio de la fase de líquido a vapor. (Spirax Sarco, 2003)



**Caldera acuotubular:** Las calderas acuotubulares difieren de las calderas pirotubulares en que el agua circula dentro de los tubos con la fuente de calor rodeándolos. Esto significa que pueden usarse presiones más altas porque el diámetro del tubo es significativamente más pequeño que el cuerpo en la caldera pirotubular, y por consiguiente la tensión circunferencial también es significativamente menor. (Spirax Sarco, 2003)

**Calentadores de jugo:** Son equipos destinados a calentar continuamente el jugo alcalizado hasta un nivel cercano a su punto de ebullición (105 °C) que viene del tanque alcalizador utilizando como medio de calentamiento el vapor de escape o vapor vegetal. (Jeri, 2013)

**Calor específico:** capacidad térmica específica o capacidad calorífica específica a la cantidad de calor que una sustancia o un sistema termodinámico es capaz de absorber antes de incrementar su temperatura en una unidad. Es decir, el calor específico mide la cantidad de calor necesaria para producir esa variación de la temperatura en una unidad. (conceptos.de, 2018)

**Calor del Líquido Saturado:** Ésta es la cantidad de calor requerida para elevar la temperatura de un kilogramo de agua desde 0° C hasta el punto de ebullición a la presión y temperatura mostradas. Se expresa en kJ/kg (o en kcal/kg). (Armstrong, 2002, pág. 4)

**Calor Latente o Calor de Vaporización:** Es la cantidad de calor (expresada en kJ/kg o kcal/h) que se requiere para cambiar un kilogramo de agua hirviendo a un kilogramo de vapor. Esta misma cantidad de calor se libera cuando un kilogramo de vapor se condensa y se vuelve un kilogramo de agua. El Calor Latente es diferente para cada combinación de presión/temperatura. (Armstrong, 2002, pág. 4)

**Clarificación:** El propósito del proceso de clarificación es separar las impurezas presentes en el jugo. El jugo contiene una considerable cantidad de materia fina y coloidal



en suspensión que debe eliminarse para conseguir azúcares de alta pureza al final del proceso. (Torres, s.f.)

**Calor total del vapor:** Es el calor total en vapor arriba de 0° C. Es igual a la suma del Calor del Líquido Saturado y el Calor Latente, expresado en kJ/kg o en kcal/kg. (Armstrong, 2002, pág. 4)

**Condensado:** Condensado es el líquido formado cuando el vapor pasa de fase gas a fase líquida. En un proceso de calentamiento, el condensado es el resultado del vapor que transfirió parte de su energía calorífica, conocida como calor latente, al producto, línea o equipo que debe ser calentado. (TLV, 2018)

**Industria azucarera:** Empresa cuyo negocio es la producción y comercialización del azúcar. (Wikipedia, 2011)

**Jugo encalado:** El jugo mixto proveniente de los molinos pasa a un tanque llamado de encalado, donde es tratado con una solución cal (5 °Baumé) con la finalidad de aumentar el pH desde 4,5 hasta 7,2 y 7,4 aproximadamente, este producto reacciona con los fosfatos contenidos en el jugo formando un compuesto con el nombre de fosfato tricálcico, que forma sales precipitables de gran superficie de contacto y por ende de gran poder en la clarificación de los jugos. (Chacón, 2017)

**Presiones Absoluta y Relativa:** Presión absoluta es la presión (en bar) medida con respecto al vacío perfecto. Presión Relativa o de Manómetro es la presión (en bar) medida con respecto a la presión atmosférica, la cual es igual a 1.01 bar absoluta. Presión Relativa más 1.01 es igual a la Presión Absoluta. Igualmente, Presión Absoluta menos 1.01 bar es igual a la Presión Relativa. (Armstrong, 2002, pág. 4)

**Sistema de vapor:** Conformado por 1) Generador de vapor; se compone de la caldera y sus equipos auxiliares, 2) Distribución de vapor; está integrado por las tuberías que transportan al vapor desde la generación hasta el usuario, se incluye los cabezales de

distribución de vapor, así como otros elementos de control, 3) Usos del vapor; son aquellos equipos y operaciones que utilizan el vapor y 4) Retorno de condensados; este sistema colecta el condensado del vapor tanto de las líneas de vapor como de los equipos que utilizan el vapor. (USAID, 2011, pág. 6)

**Temperatura:** La temperatura es una propiedad física que se refiere a las nociones comunes de calor o ausencia de calor, sin embargo, su significado formal en termodinámica es más complejo, a menudo el calor o el frío percibido por las personas tiene más que ver con la sensación térmica, que con la temperatura real. Fundamentalmente, la temperatura es una propiedad que poseen los sistemas físicos a nivel macroscópico, la cual tiene una causa a nivel microscópico, que es la energía promedio por partícula. (EcuRed, s.f.)

**Trampa de vapor:** Las trampas de vapor son un tipo de válvula automática que filtra el condensado (es decir vapor condensado) y gases no condensables como lo es el aire esto sin dejar escapar al vapor. En la industria, el vapor es regularmente usado para calentamiento o como fuerza motriz para un poder mecánico. Las trampas de vapor son usadas en tales aplicaciones para asegurar que no se desperdicie el vapor. (TLV, 2018)

**Tubería:** Es un sistema de tubos ensamblados con la finalidad de conducir líquidos o gases aunque también pueden servir para transportar otro tipo de materiales tales como hormigón, cemento, cereales, etc. (Wikipedia, 2005)

**Vapor vegetal:** Vapor vegetal de baja presión procedente de evaporadores primarios o extracciones de evaporadores para diferentes usos del proceso (Anónimo, 2018, pág. 3)

**Volumen específico del líquido:** Es el volumen por unidad de masa y se expresa en metros cúbicos por kilogramo ( $m^3/kg$ ). (Armstrong, 2002, pág. 4)

**Volumen Específico del Vapor:** Es el volumen por unidad de masa y se expresa en metros cúbicos por kilogramo ( $m^3/kg$ ). (Armstrong, 2002, pág. 4)

**Vapor:** El vapor es el estado en el que se encuentra un gas cuando se halla a un nivel inferior al de su punto crítico; éste hace referencia a aquellas condiciones de presión y temperatura por encima de las cuales es imposible obtener un líquido por compresión. Si un gas se encuentra por debajo de ese punto, esto significa que es susceptible de condensación a través de una reducción de su temperatura (manteniendo la presión constante) o por vía de la presurización (con temperatura constante). (Pérez & Gardey, 2010)

**Vapor húmedo:** Esta es la forma más común de vapor que se pueda experimentar en plantas. Cuando el vapor se genera utilizando una caldera, generalmente contiene humedad proveniente de las partículas de agua no vaporizadas las cuales son arrastradas hacia las líneas de distribución de vapor. Incluso las mejores calderas pueden descargar vapor conteniendo de un 3% a un 5% de humedad. Al momento en el que el agua se aproxima a un estado de saturación y comienza a evaporarse, normalmente, una pequeña porción de agua generalmente en la forma de gotas, es arrastrada en el flujo de vapor y arrastrada a los puntos de distribución. Este uno de los puntos claves del porque la separación es usada para remover el condensado de la línea de distribución. (TLV, 2018)

**Vapor flash:** Vapor Flash es el vapor que se forma a partir del condensado caliente cuando existe una reducción en la presión. (TLV, 2018)

**Vapor sobrecalentado:** El vapor sobrecalentado se crea por el sobrecalentamiento del vapor saturado o húmedo para alcanzar un punto mayor al de saturación. Esto quiere decir que es un vapor que contiene mayor temperatura y menor densidad que el vapor saturado en una misma presión. El vapor sobrecalentado es usado principalmente para el movimiento-impulso de aplicaciones como lo son las turbinas, y normalmente no es usado para las aplicaciones de transferencia de calor. (TLV, 2018)

**Vapor Saturado:** es vapor puro a una temperatura igual a la temperatura a que hierve el agua a una presión dada. (Armstrong, 2002, pág. 4)

**Vapor Flash:** Cuando se tiene condensado caliente o agua hirviendo, presurizados, y se libera a una presión más baja, parte de esos líquidos se vuelven a evaporar, y a esto es a lo que se le llama Vapor Flash o Vapor Secundario. (Armstrong, 2002, pág. 5)

## **2.5 Hipótesis de investigación**

### **2.5.1 Hipótesis general**

- La auditoría termo energética al sistema de vapor permite identificar las potencialidades y estimar la reducción de las emisiones en la empresa Azucarera del Norte S.A.C.

### **2.5.2 Hipótesis específicas**

- La auditoría termo energética en la generación del vapor permite identificar potencialidades de mejoras y determinar su relevancia en la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.
- La auditoría termo energética en la distribución del vapor permite identificar potencialidades de mejoras y determinar su relevancia en la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.
- La auditoría termo energética a los consumidores de vapor permite identificar potencialidades de mejoras y determinar su relevancia en la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.
- La auditoría termo energética al retorno de los condensados permite identificar potencialidades de mejoras y determinar su relevancia en la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.

## **2.6 Operacionalización de las variables**

Se indican en la tabla 1



Tabla 1.

*Operacionalización de variables*

Variables	Operacionalización de variables		
	Dimensión	Indicador	Escala
<b>Variable independiente</b>  Auditoria energética térmica al sistema de vapor	Generación de vapor	• Agua de alimentación	Nominal
		• Aire de combustión	Nominal
		• Bagazo como combustible	Nominal
		• Gases de chimenea	Nominal
		• Vapor generado	Nominal
		• Purga de caldera	Nominal
		• Caldera	Nominal
	Distribución de vapor	• Relevancia	Ordinal
		• Tuberías	Nominal
		• Reducción de presión	Nominal
	Consumidores de vapor	• Relevancia	Ordinal
		• Calentadores de jugo encalado	Nominal
		• Calentador de jugo clarificado	Nominal
		• Evaporadores	Nominal
• Tachos		Nominal	
• Centrifuga		Nominal	
• Secador		Nominal	
Retorno de condensados	• Relevancia	Ordinal	
	• Tuberías	Nominal	
	• Tanques	Nominal	
	• Sistema de bombeo	Nominal	
<b>Variable dependiente</b>  2. Reducción de emisiones en la empresa Azucarera del Norte S.A.C.	Reducción de emisiones	• Relevancia	Ordinal
		• Porcentaje de reducción del consumo de bagazo	Razón

Fuente: elaboración propia



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Diseño metodológico**

##### **3.1.1 Tipo de investigación**

Dependiendo del objetivo de la investigación que se va a realizar, podemos determinar el tipo de investigación al que corresponde. Esta labor debe realizarse antes de formular el plan de investigación, con el fin de tener bien definido lo que se piensa hacer y qué tipo de información se debe obtener, ya que este documento constituye una secuencia estructurada de fases y operaciones que se articulan en cadena. (Carrasco, 2017, pág. 43)

Tipo de investigación: investigación aplicada.

##### **3.1.2 Nivel de investigación**

Siendo la producción de los nuevos conocimientos y la resolución de problemas críticos, acciones estratégicas, que en esencia representan el propósito fundamental de la investigación científica, deben realizarse guardando un cierto orden progresivo y escalonado. (Carrasco, 2017, pág. 41)

Nivel de investigación: investigación descriptiva explicativa

##### **3.1.3 Diseño**

La diversidad y complejidad de los hechos y fenómenos de la realidad (social y natural) han conducido a diseñar y elaborar numerosas y variadas estrategias, para analizar y responder a los problemas de investigación según su propia naturaleza y características. Así,

por ejemplo, tenemos: los diseños experimentales y los diseños no experimentales, ambos con igual importancia y trascendencia en el plano científico. (Carrasco, 2017, pág. 59)

Diseño: No experimental transversal descriptivo explicativo.

Descriptivo por la auditoria termo energética realizada al sistema de vapor y explicativo en la identificación de las potenciales de mejora y su aporte en la reducción de emisiones gaseosas de la empresa.

### 3.1.4 Enfoque

La metodología del presente trabajo de investigación es mixta: cualitativa y cuantitativa. Cualitativa en la realización de auditoria termo energética al sistema de vapor y cuantitativa en la estimación del porcentaje de reducción de las emisiones a lograr con los resultados de la auditoria.

## 3.2 Población y muestra

### 3.2.1 Población

Es el conjunto de todos los elementos (unidades de análisis) que pertenecen al ámbito espacial donde se desarrolla el trabajo de investigación. (Carrasco, 2017, pág. 236)

**Población:** Flujo de materia y energía térmica del sistema de vapor de la Empresa Azucarera del Norte S.A.C.

### 3.2.2 Muestra

“La muestra es una parte o fragmento representativo de la población, cuyas características son las de ser objetiva y reflejo fiel de ella, de tal manera que los resultados obtenidos en la muestra puedan generalizarse a todos los elementos que conforman dicha población.” (Carrasco, 2017, pág. 237)

**Muestra:** Flujo de materia y energía térmica del sistema de vapor de la Empresa Azucarera del Norte S.A.C.

### **3.3 Técnicas de recolección de datos**

En la realización de la auditoría, se recabo in situ la información del proceso, los parámetros de producción, condiciones operativas del sistema de vapor y se contrasto para su validación con los datos monitoreados por el personal de la empresa. Utilizándose técnicas:

#### **Técnica de observación.**

La observación consiste en el uso sistemático de nuestros sentidos orientados a la captación de la realidad que queremos estudiar. A través de sus sentidos el hombre capta la realidad que lo rodea, que luego organiza intelectualmente. (Sabino, 1992, pág. 111).

Se utilizó la observación para identificar y obtener información relevante por la percepción intencionada y selectiva, ilustrada e interpretativa de las condiciones operativas del sistema de vapor de la empresa.

Utilizándose instrumentos como lista de cotejo, cuadernos de notas y fichas de observación.

#### **Técnicas documentales.**

La investigación de carácter documental se apoya en la recopilación de antecedentes a través de documentos gráficos de cualquier índole y de diversos autores, en los que el investigador fundamenta y complementa su investigación. (Ledesma, 2014)

Se utilizó documentos del información disponible de la empresa relacionada al proceso, sistema de vapor y auditoria energética, informes del proceso, parámetros de producción, condiciones operativas del sistema de vapor y estadísticas del consumo energético de la planta.

### **3.4 Técnicas para el procesamiento de la información**

Se utilizó la guía metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria, publicada por la Agencia Andaluza de la Energía (2011), con algunas modificaciones y adaptaciones de acuerdo a la naturaleza de la investigación, que consistió en:

1. Recopilación previa de información de la empresa para la auditoría.
2. Programación de actividades de auditoría energética.
3. Análisis del proceso productivo.
4. Visita a la empresa para la auditoría energética
5. Identificación de los consumidores de vapor de la empresa.
6. Informe de la estructura energética térmica del sistema de vapor.
7. Balance de materia y energía del sistema de vapor.
8. Identificación de potencialidades de mejora en la reducción de emisiones.
9. Clasificación de potencialidades de mejora de acuerdo a su relevancia.
10. Cuantificación de las potencialidades de mejora relevantes en la reducción de emisiones.
11. Evaluación de la reducción de las emisiones, equivalente en la reducción de combustible (bagazo).

Los datos recolectados se ordenaron y clasificaron en una hoja de cálculo para ser procesados mediante la estadística descriptiva y su presentación mediante gráficos apropiados para su interpretación. Adicionalmente los datos fueron procesados y representados en un software de diseño gráfico como Corel Draw.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1 Análisis de resultados

##### 4.1.1 Auditoría energética térmica en la generación de vapor

##### 4.1.1.1 Auditoría al agua de alimentación

Tabla 2.

*Identificación de mejoras en el agua de alimentación y su relevancia en la reducción de emisiones.*

	Relevancia en la reducción				
	MB	B	R	A	MA
1. Generación de vapor					
1.1 Agua de alimentación					
1.1.1 Almacenamiento					
Eliminar las fugas y derrames		x			
1.1.2 Sistema de Bombeo					
Mejora aislamiento de tuberías	x				
Eliminar las fugas	x				
1.1.3 Desaerador					
Calentar con vapor flash en el desaerador				x	
1.1.4 Economizador					
Mejorar el calentamiento en el economizador			x		

MB: Muy bajo, B: Bajo, R: Regular, A: alto y MA: Muy alto.

Fuente: elaboración propia

## A. Almacenamiento.

La empresa cuenta con 07 unidades de almacenamiento:

- Tanque de almacenamiento 1 horizontal de uso fábrica.
- Tanque de almacenamiento 2 horizontal de transferencia a calderas.
- Tanque de almacenamiento 3 vertical de alimentación al desarenador.
- Tanque de almacenamiento 4 vertical e alimentación al desarenador.
- Tanque de almacenamiento 5 vertical de alimentación al desarenador.
- Tanque de almacenamiento 6 horizontal de alimentación al desarenador.
- Tanque de almacenamiento 7 horizontal de alimentación al desarenador.

Ante ausencia de agua condensada se utiliza un ablandador con resina ciclo sodio, que abastece a los tanques de almacenamiento 3, 4 y 5.



*Figura 1.* Vista general de las pérdidas de energía por reevaporizado en los tanques de almacenamiento 3, 4, 5, 6 y 7

Fuente: ANORSAC



*Figura 2.* Vista parcial de pérdida de energía por reevaporizado en los tanques de almacenamiento 3, 4 y 5

Fuente: ANORSAC



*Figura 3.* Pérdida de energía por reevaporizado en el tanque de almacenamiento 6

Fuente: ANORSAC





*Figura 4. Perdida de energía por reevaporizado en tanque de almacenamiento 7*

Fuente: ANORSAC



**Derrame del tanque vertical**



**Derrame del tanque horizontal**

*Figura 5. Derrame de agua condensada en los tanques de almacenamiento 5 y 7.*

Fuente: ANORSAC





*Figura 6.* Fugas de agua condensada en el tanque de almacenamiento 5.

Fuente: ANORSAC

**B. Sistema de bombeo:**

Se cuenta con tres sistemas de bombeo para la alimentación de agua a las calderas:

- Sistema de bombeo 1: Para los tanques horizontales 6 y 7 de agua condensada hacia el desaerador.
- Sistema de bombeo 2: Para los tanques verticales de agua condensada 3,4 y 5 hacia el desaerador.
- Sistema de bombeo 3: Para el desaerador de agua condensada hacia las calderas de vapor.



*Figura 7.* Sistema de bombeo 1 de agua condensada al desaereador

Fuente: ANORSAC



*Figura 8.* Sistema de bombeo 2 de agua condensada al desaereador

Fuente: ANORSAC





*Figura 9.* Sistema de bombeo 3 de agua condensada a calderas

Fuente: ANORSAC



*Figura 10.* Tuberías de agua condensada sin aislar al desaereador

Fuente: ANORSAC



*Figura 11.* Tuberías de agua condensada sin aislar al caldero

Fuente: ANORSAC



*Figura 12.* Dosificación de aditivos a las calderas

Fuente: ANORSAC





*Figura 13.* Tubería de agua de alimentación sin aislar a las calderas

Fuente: ANORSAC

### **C. Desaerador:**

La empresa cuenta con desaerador aislado completamente, con indicador y controlador de nivel automático. Se identificaron los siguientes inconvenientes:



*Figura 14.* Falta de reúso de reevaporizados al tanque desaerador

Fuente: ANORSAC



*Figura 15.* Torre de reevaporizado y controlador de nivel del desaereador

Fuente: ANORSAC

#### **D. Economizador:**

Los dos calderos presentan un economizador ubicado en la parte posterior superior del hogar de la caldera. Se observa que puede incrementarse el área de calefacción para recuperar el calor residual evacuados por los gases de chimenea.



*Figura 16.* Economizador de la caldera

Fuente: ANORSAC

#### 4.1.1.2 Auditoría al bagazo como combustible

Tabla 3.

*Identificación de mejoras en el bagazo y su relevancia en la reducción de emisiones.*

1.2 Bagazo	Relevancia en la reducción				
	MB	B	R	A	MA
1.2.1 Conductor de Bagazo					
Reducir los derrames de bagazo	x				
Mejorar la alimentación	x				
Reducir las paradas imprevistas	x				
1.2.2 Material del Bagazo					
Reducir la humedad			x		
Reducir las impurezas		x			
Aumentar la cantidad de fibra	x				

**MB: Muy bajo, B: Bajo, R: Regular, A: alto y MA: Muy alto.**

Fuente: elaboración propia

La auditoría termo energética en el bagazo como combustible encontró que:

- El bagazo utilizado como combustible en las calderas proviene del tándem de cinco molinos. Su calidad y cantidad depende principalmente por la variedad de caña molida (fibra, medula), las impurezas que contiene la caña (tierra, arena, hojas), operación de ajuste de los molinos, presión de trabajo en los molinos, carga de la caña molida y grado de agua de inhibición compuesta agregada en los molinos.
- Con frecuencia hay derrames de bagazo por los conductores de bagazo principal a consecuencia del precalentamiento del mismo en el mismo conductor, adicionalmente se da los derrames por en los trabajos de mantenimiento por



descarrilamiento del conductor, que incrementan los contaminantes de los efluentes líquidos de la empresa.

- La alimentación del bagazo en el chute de alimentación opera en ocasiones ineficientemente con la expulsión de gases de chimenea del hogar ocasionando pérdidas de energía térmica.
- Las paradas imprevistas en los molinos obliga a utilizar el bagazo almacenado a través del conductor auxiliar de bagazo. El bagazo almacenado al estar expuesto a la intemperie en épocas de calor presentan una menor humedad y en tiempos de lluvia lo contrario, de no controlarse las compuertas de regulación de entrada de bagazo a los calderos, se produce un desbalance en el consumo de bagazo, que no es eficientemente controlado por el operador.
- Para una buena combustión de bagazo es necesario que ésta contenga humedades próximas al 50 % o menos para su alimentación a las calderas. La empresa con objeto de incrementar la extracción agrega agua en exceso que perjudica la combustión produciendo inquemados e incrementando el calor residual en los gases de combustión por evaporación del agua contenida en el bagazo.
- Por otro lado la falta de exigencias en las impurezas en la caña abastecida a la planta ocasiona baja calidad de bagazo, perjudicando la combustión al obstruir la parrilla de la caldera y ocasionar abrasión en las tuberías de agua del hogar de la caldera.
- En ocasiones se observa que se procesa caña con bajo contenido de fibra, perjudicando la combustión en la generación de vapor, por lo que la empresa recurre a su mezcla con bagazo almacenado de mayor cantidad de fibra.





*Figura 17.* Conductor de bagazo principal del trapiche

Fuente: ANORSAC



*Figura 18.* Compuerta de alimentación de bagazo a las calderas

Fuente: ANORSAC



*Figura 19.* Chute de alimentación de bagazo a las calderas

Fuente: ANORSAC



*Figura 20.* Conductor de bagazo principal del trapiche para su almacenamiento

Fuente: ANORSAC





Figura 21. Almacenamiento de bagazo excedente

Fuente: ANORSAC

#### 4.1.1.3 Auditoría al aire de alimentación a la caldera

Tabla 4.

Identificación de mejoras en el aire alimentado y su relevancia en la reducción de emisiones.

1.3 Aire alimentado	Relevancia en la reducción				
	MB	B	R	A	MA
1.3.1 Ventilador tiro forzado					
Control de flujo de aire					x
Mejorar la alimentación al hogar					x
1.3.2 Conducto de alimentación de aire					
Mejorar el aislamiento tubería					x
1.3.3 Recuperador					
Mayor calentamiento en el recuperador					x

**MB: Muy bajo, B: Bajo, R: Regular, A: alto y MA: Muy alto.**

Fuente: elaboración propia

La auditoría termo energética en el aire de alimentación encontró que:

- El aire es alimentado a las dos calderas por ventiladores de tiro forzado de manera independiente. El aire es precalentado con los gases de combustión en un recuperador ubicado en la parte posterior de la caldera. Su ingreso a las calderas es por la parte inferior del hogar de la caldera, a través de parrillas que tiene agujeros ubicados en toda la base del hogar
- En los ventiladores de tiro forzado, a la entrada se utiliza un dampers para el control de flujo, el cual no está automatizado y enlazado con la dosificación de bagazo en la caldera. Su control es manual y a experiencia del operador.
- Por otro lado la alimentación de aire a las parrillas de la caldera es variable producto de las impurezas (tierras y arenas) que se depositan al combustionar el bagazo, produciendo descontrol en la combustión del bagazo.
- El aire caliente salida del recuperador no se encuentra aislado ocasionando pérdidas de calor absorbidas en el recuperador, con baja área de calefacción.



*Figura 22.* Ventilador de tiro forzado de aire de alimentación al hogar de la caldera 1

Fuente: ANORSAC





*Figura 23.* Conducto de aire alimentado al hogar de la caldera 1

Fuente: ANORSAC



*Figura 24.* Conducto de aire alimentado al hogar de la caldera 2

Fuente: ANORSAC

#### 4.1.1.4 Auditoría a los gases de chimenea de la caldera

Tabla 5:

*Identificación de mejoras en los gases de chimenea y su relevancia en la reducción de emisiones.*

1.4 Gases de chimenea	Relevancia en la reducción				
	MB	B	R	A	MA
1.4.1 Ventilador tiro inducido					
Eliminar las fugas					X
1.4.2 Gases de chimenea					
Reducir el exceso de calor					X
Exceso de inquemados y material particulado					X

**MB: Muy bajo, B: Bajo, R: Regular, A: alto y MA: Muy alto.**

Fuente: Elaboración propia

La auditoría termo energética a los gases de chimenea encontró que:

- Cada una de las dos calderas tienen una chimenea de igual dimensión (diámetro y altura), ubicadas en la parte posterior a nivel del suelo. Siendo las calderas de diferentes áreas de calefacción y en consecuencia diferentes regímenes de producción de vapor, los flujos de gases de combustión evacuados también son diferentes, lo que conlleva a diferentes eficiencias de control del material particulado. Esto pasaría inadvertido si se cuenta con un lavadero de gases para el control de material particulado
- Se presenta pérdidas de energía calorífica en los gases de combustión que no se cuantifican y por consiguiente no son reducidas para la mejora de las eficiencias de la caldera.
- A la entrada del ventilador inducido en cada caldero se utiliza un dampers para el control de flujo de gases de chimenea, el cual no está automatizado y enlazado

con los cambios de demanda de vapor. Su control es manual y a expensas de la experiencia del operador. No se presentan fugas de gases de combustión por los ventiladores de tiro inducido.

- Los gases de chimenea de los dos calderos contienen frecuentemente material particulado proveniente principalmente de las impurezas del bagazo como partículas finas que logran sobrepasar la gravedad dentro de la chimenea e inquemados producto de la ineficiencia en la combustión del bagazo dentro del hogar.



*Figura 25.* Ventilador de tiro inducido de la caldera 1

Fuente: ANORSAC





*Figura 26.* Emisiones gaseosas emitidas por las chimeneas de caldera 1 y 2

Fuente: ANORSAC



*Figura 27.* Chimeneas y ventiladores inducidos de caldero 1 y 2

Fuente: ANORSAC



4.1.1.5 Auditoria al vapor generado de las calderas

Tabla 6:

*Identificación de mejoras en el vapor generado y su relevancia en la reducción de emisiones.*

1.5 Vapor generado	Relevancia en la reducción				
	MB	B	R	A	MA
1.5.1 Tubería de vapor					
Mejora de aislamiento de tubería					x
1.5.2 Colector principal					
Mejora de aislamiento colector					x
Mejorar la evacuación de condensados					x

**MB: Muy bajo, B: Bajo, R: Regular, A: alto y MA: Muy alto.**

Fuente: elaboración propia

La auditoría termo energética al vapor generado encontró que:

- El vapor generado por los dos calderas son dirigidas a un colector principal de distribución de vapor a la planta.
- Aislamiento parcial y en algunos tramos inexistentes en las tuberías de vapor desde los domos superiores de los calderos al colector principal de vapor de distribución a planta.
- Aislamiento en mal estado del colector principal, falta de mantenimiento y/o reparaciones.
- Evacuación de condensados en el colector principal dirigido al ambiente, con pérdidas de reevaporizados y calor sensible



*Figura 28.* Salida de vapor del domo de la caldera 1.

Fuente: ANORSAC



*Figura 29.* Salida de vapor del domo de la caldera 2.

Fuente: ANORSAC



*Figura 30.* Tubería de vapor de las calderas al colector principal

Fuente: ANORSAC



*Figura 31.* Tuberías de vapor de salida de los calderos 1 y 2

Fuente: ANORSAC





*Figura 32.* Tuberías de vapor de las calderas al colector principal de vapor

Fuente: ANORSAC



*Figura 33.* Estado del colector principal de vapor.

Fuente: ANORSAC



4.1.1.6 Auditoría a las purgas de las calderas

Tabla 7.

*Identificación de mejoras en las purgas de caldera y su relevancia en la reducción de emisiones.*

1.6 Purgas de caldera	Relevancia en la reducción				
	MB	B	R	A	MA
1.6.1 Purga de fondo					
Reducir el flujo					x
1.6.2 Reevaporizador					
Recuperar vapor Flash				x	
1.6.3 Intercambiador de calor					
Recuperar calor sensible					x

MB: Muy bajo, B: Bajo, R: Regular, A: alto y MA: Muy alto.

Fuente: elaboración propia

La auditoría termo energética en las purgas de la caldera encontró que:

- Las purgas de las calderas están ubicadas en las partes laterales de los domos inferiores de los calderos, las purgas se evacuan manualmente periódicamente de acuerdo a la cantidad de sólidos totales reportada por laboratorio.
- No se controla apropiadamente el flujo de las purgas de fondo del caldero. Se realiza periódicamente por lo que las pérdidas de energía se ven incrementadas.
- Las purgas realizadas a las calderas se evacuan directamente a la canaleta, sin recuperación de vapor reevaporizado.
- La descarga directamente al ambiente no recupera el calor sensible que contiene la purga de la caldera.



*Figura 34. Purga de la caldera 1*

Fuente: ANORSAC



*Figura 35. Purga de la caldera 2*

Fuente: ANORSAC

#### 4.1.1.7 Auditoría a las calderas

Tabla 8.

*Identificación de mejoras en las calderas y su relevancia en la reducción de emisiones.*

1.7 Caldera	Relevancia en la reducción				
	MB	B	R	A	MA
1.7.1 Tuberías					
Reducir las Incrustaciones	x				
1.7.2 Hogar del caldero					
Mejorar el aislamiento caldera					x
Eliminar fugas en las paredes de tubos	x				
Reducir atoro de boquillas de las parrillas					x
Eliminar las fugas de gases de chimenea					x
1.7.3 Accesos de entrada y salida					
Reducir la apertura de compuertas	x				

MB: Muy bajo, B: Bajo, R: Regular, A: alto y MA: Muy alto.

Fuente: elaboración propia

La auditoría termo energética a las calderas encontró que:

- La empresa Azucarera del Norte S.A.C. tiene dos calderas bagaceras acuotubulares para la generación de vapor. Las dos calderas utilizan únicamente bagazo para su operación.
- Las tuberías de las paredes de agua dentro del hogar del caldero, presentan acumulación significativa de incrustaciones, que reducen la velocidad de transferencia de calor, reduciendo la eficiencia de las calderas.
- El hogar de las calderas esta moderadamente aislamiento, existiendo zonas sin aislar reduciendo la eficiencia de las calderas.
- Se detecta fugas de vapor por los tubos de las paredes de agua dentro del hogar de las calderas, debe ser eliminado para mejorar las eficiencias de la caldera.

- Se observa atoro frecuente de las boquillas de las parrillas de ingreso de aire de combustión que disminuye el flujo de aire reduciendo la eficiencia de combustión. El operador para el desatoro aumenta el flujo de aire de alimentación para de remoción de las impurezas atoradas en las boquillas.
- Se observa fugas frecuentes de gases de combustión por la alimentación de bagazo y la compuerta de inspección o limpieza en las calderas, con pérdidas de calor importante.
- Se opera deficientemente con apertura prolongada y frecuente de las compuertas ocasionando fugas de calos y enfriamiento del hogar de las calderas.



*Figura 36.* Domo superior del caldero 1

Fuente: ANORSAC





*Figura 37.* Domo superior del caldero 2

Fuente: ANORSAC



*Figura 38.* Indicador de nivel del caldero 2

Fuente: ANORSAC



Figura 39. Compuertas de inspección y limpieza de los calderos 1 y 2

Fuente: ANORSAC

#### 4.1.2 Auditoría energética térmica en la distribución de vapor

Tabla 9.

*Identificación de mejoras en la distribución de vapor y su relevancia en la reducción de emisiones.*

2. Distribución de vapor	Relevancia en la reducción				
	MB	B	R	A	MA
2.1 Tubería de distribución					
Eliminar las fugas		x			
Mejorar el aislamiento de tuberías			x		
Mejorar la evacuación de condensados	x				
2.2 Estación de reducción de presión					
Eliminar las fugas			x		
Mejorar el aislamiento de tuberías			x		
Mejorar la evacuación de condensados			x		

MB: Muy bajo, B: Bajo, R: Regular, A: alto y MA: Muy alto.

Fuente: elaboración propia

La auditoría termo energética en la distribución del vapor encontró que:

- Las dos calderas inicialmente distribuyen el vapor hacia un cabezal principal de distribución, de acuerdo a las necesidades de consumo de vapor de la planta esta es enviada a las unidades de calefacción
- El cabezal principal de vapor está parcialmente son aislamiento, dada su alta temperatura es necesario su corrección para la mejora de la eficiencia energética.
- En ocasiones se observa pérdidas de vapor a través de la válvula de seguridad en el cabezal de distribución de vapor por exceso de presión hacia los evaporadores.
- Aislamiento parcial de los cabezales de distribución de vapor, ocasionando pérdidas innecesarias de energía térmica y generación de condensados.
- Aislamiento parcial de las tuberías de vapor vegetal de alimentación a los calentadores de jugo encalada, ocasionando pérdidas innecesarias de energía térmica y exceso de condensados alimentados a los calentadores afectando su eficiencia.
- Aislamiento defectuoso de las tuberías de vapor hacia los tachos, ocasionando pérdidas de energía térmica y exceso de condensados que saturan las superficies de intercambio de calor en la calandrea de tachos perjudicando su eficiencia.
- Falta de aislamiento de tuberías de vapor hacia el secador, siendo de alta presión necesaria para el calentamiento de aire de secado, se hace importante el control de esta pérdida de energía térmica.
- Detección de fugas de vapor zona centrifugas y cristalizadores, las pérdidas de energía térmica son importantes.





*Figura 40.* Fugas de vapor en las líneas por exceso de presión

Fuente: ANORSAC



*Figura 41.* Vista general estación principal de reducción de presión

Fuente: ANORSAC





*Figura 42.* Detalle de la estación principal de reducción de presión

Fuente: ANORSAC



*Figura 43.* Vista lateral entrada de vapor al evaporador

Fuente: ANORSAC



*Figura 44.* Tubería de vapor a Vacumpanes y calentadores.

Fuente: ANORSAC



*Figura 45.* Tubería de vapor a los calentadores de Jugo encalado.

Fuente: ANORSAC





*Figura 46.* Tubería de vapor ingreso a los calentadores de jugo encalado.

Fuente: ANORSAC



*Figura 47.* Tubería de vapor a los tachos.

Fuente: ANORSAC



*Figura 48.* Tubería de vapor al secador.

Fuente: ANORSAC



*Figura 49.* Fuga tubería de vapor al tacho.

Fuente: ANORSAC





*Figura 50.* Fuga de vapor área de cristalización.

Fuente: ANORSAC



*Figura 51.* Fuga de vapor área centrifuga

Fuente: ANORSAC

### 4.1.3 Auditoría energética térmica a los consumidores de vapor

Tabla 10.

*Identificación de mejoras en los consumidores de vapor y su relevancia en la reducción de emisiones.*

	Relevancia en la reducción				
	MB	B	R	A	MA
3. Consumo de vapor					
3.1 Calentadores de jugo encalado					
Reducir las fugas en gases incondensables					x
Mejorar el aislamiento					x
Reducir el consumo de vapor					x
Reducir las fugas de vapor en los condensados					x
3.2 Calentador de jugo clarificado					
Reducir las fugas en gases incondensables					x
Mejorar el aislamiento					x
Reducir el consumo de vapor					x
Reducir las fugas de vapor en los condensados					x
3.3 Evaporadores cuádruple efecto					
Control de los gases incondensables					x
Mejorar el aislamiento					x
Reducir el consumo de vapor					x
Reducir las fugas de vapor en los condensados					x
3.4 Tachos o Vacumpanes					
Reducir las fugas en gases incondensables					x
Mejorar el aislamiento					x
Reducir el consumo de vapor					x
Reducir el lavado de tachos					x
Reducir las fugas de vapor en los condensados					x

	Relevancia en la reducción				
	MB	B	R	A	MA
<b>3.5 Centrifuga</b>					
Mejorar el aislamiento					x
Reducir el consumo de vapor					x
<b>3.6 Secador</b>					
Reducir las fugas de vapor					x
Mejorar el aislamiento					x
Reducir las fugas de vapor en los condensados					x
Reducir el consumo de vapor					x

MB: Muy bajo, B: Bajo, R: Regular, A: alto y MA: Muy alto.

Fuente: elaboración propia

La auditoría termo energética a los consumidores de vapor encontró que:

- Uso de sangrías o tomas de vapor de los evaporadores de cuádruple efecto para el calentamiento de los calentadores de jugo, el cual permitirá reducir el consumo de vapor.
- En la evacuación de condensados de los calentadores de jugo, no se canalizan hacia un tanque flash para la recuperación de los reevaporizados.
- Se detecta la falta de control en la evacuación de gases incondensables en los calentadores de jugo.
- Se detecta la falta de control en la evacuación de gases incondensables en los evaporadores de múltiple efecto, se hace significativo en los primeros cuerpos de evaporación.



- Exceso del consumo de vapor en los evaporadores, que puede lograrse con la redistribución de las sangrías y/o tomas de vapor hacia los calentadores.
- En la evacuación de condensados de los evaporadores de cuádruple efecto, de los primeros cuerpos no se recupera el vapor reevaporizado, asimismo no se envía directamente a las calderas, ocasionando pérdidas por enfriamiento por tiempos prolongados de retención. En los últimos cuerpos de los evaporadores se utiliza los reevaporizados de los cuerpos anteriores para calefacción de la siguiente unidad de múltiple efecto.
- Reducir el consumo de vapor en los tachos a través de un control de las templeas que impida el uso excesivo de agua de lavado y vapor de calefacción. Asimismo el aseguramiento de la calidad de jugo clarificado permitirá una menor viscosidad de la masa cocida reduciendo los tiempos y consumo de vapor.
- Reducir las fugas de los reevaporizados de los condensados de los tachos.



*Figura 52.* Pérdida de vapor en la evacuación de gases incondensables.

Fuente: ANORSAC



*Figura 53.* Evaporadores de cuádruple efecto.

Fuente: ANORSAC



*Figura 54.* Tachos

Fuente: ANORSAC

#### 4.1.4 Auditoría energética térmica en el retorno de los condensados

Tabla 11.

*Identificación de mejoras en los consumidores de vapor y su relevancia en la reducción de emisiones.*

	Relevancia en la reducción				
	MB	B	R	A	MA
4. Retorno de condensados					
4.1 Tubería de retorno de condensados					
Eliminar las fugas					X
Mejorar el aislamiento					X
4.2 Tanques de almacenamiento					
Reducir las pérdidas de reevaporizados					X
Reducir el tiempo de retención					X
Reducir el enfriamiento en los tanques					X
Eliminar las fugas					X
4.3 Sistema de bombeo					
Mejorar el aislamiento					X
Eliminar las fugas					X
Realizar mantenimiento de equipos de bombeo					X

MB: Muy bajo, B: Bajo, R: Regular, A: alto y MA: Muy alto.

Fuente: elaboración propia

La auditoría termo energética al retorno de condensados encontró que:

- Los condensados obtenidos del primer evaporador provenientes del vapor directamente de las calderas, son enviadas previo análisis de azúcares a los tanques de almacenamiento próximos a la calderas.



- Los condensados de los evaporadores de los últimos cuerpos es almacenada y utilizada para uso como agua de imbibición en trapiche, agua de lavado filtro Oliver, en la preparación de lechada de cal, en el lavado de granos en los tachos.
- Todas las tuberías de recolección de condensados no se encuentran aisladas.
- Se observa pérdidas de energía térmica en los tanques de almacenamiento producto de las pérdidas de reevaporizados generados por los condensados con exceso de temperatura, que en la mayoría de los casos sobrepasan los 100 °C.
- Las trampas de vapor instaladas en los calentadores de jugo, evaporadores son de tipo mecánico, las cuales deben ser inspeccionadas y mantenidas periódicamente para garantizar una óptima operación en la evacuación.
- La evacuación de los condensados en los tachos son de tipo sifón, que operan eficientemente, debiéndose tener la precaución de no exceder la altura de desnivel del sifón por exceso de presión del vapor de calefacción en los tachos.
- Se observan derrames de condensados en los tanques de almacenamiento, con temperaturas por debajo de lo evacuado, producto del enfriamiento por un exceso de tiempo de retención.



*Figura 55.* Tanque de agua condensada uso fabrica 1

Fuente: ANORSAC



*Figura 56.* Tuberías de retorno de condensados sin aislamiento

Fuente: ANORSAC

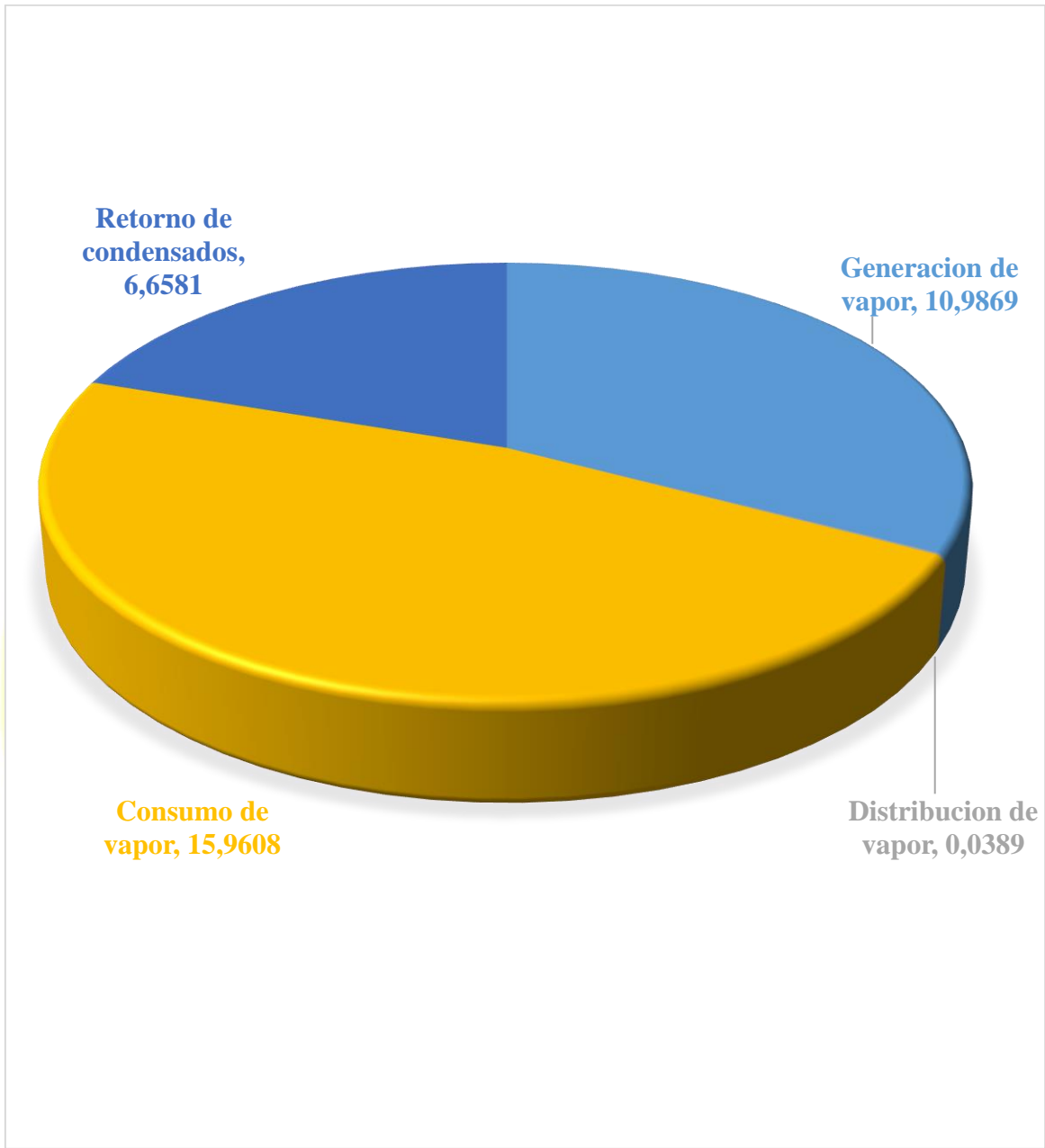
Tabla 12.

*Reducción de las emisiones por implementación de mejoras identificadas por la auditoría*

N°	Componente del sistema de vapor	N°	Potencialidades de mejoras	Relevante Si/No	Acciones de mejora	% Reducción	
						Parcial	Total
I	Agua de alimentación	1	Mejorar el calentamiento en el economizador	Si	Adicionar tuberías de calentamiento en el economizador	2,234	10.9614
		2	Calentar con vapor flash en el desaereador,	Si	Energía recuperada del vapor flash perdido	0,2341	
		3	Mejorar el aislamiento de tuberías	No	Aislamiento de tuberías		
		4	Eliminar las fugas y derrames	No	Reparación de válvulas y control de niveles		
	Bagazo	5	Reducir la humedad	Si	Mejora de la molienda y secado del bagazo	5,6834	
		6	Reducir las impurezas	No	Mejorar de la cosecha y el lavado de la caña.		
	Aire alimentado	7	Mayor calentamiento en el recuperador	No	Aislar las tuberías de aire y aumentar área de calefacción		
	Gases de chimenea	8	Reducir el calor residual	Si	Controlar la temperatura de gases, regulación de flujos	2,7654	
	Vapor generado	9	Mejora aislamiento de tuberías salida caldero	Si	Reparar y aislar las tuberías de vapor	0,0034	
		10	Mejora de aislamiento colector principal	Si	Reparar y aislar el colector principal de vapor	0,0012	
	Purga del caldero	11	Reducir el flujo	Si	Controlar los STD en la caldera y uso de antiespumante	0,0154	
		12	Recuperar vapor flash	Si	Instalación de un tanque flash de recuperación	0,0245	
		13	Mejorar el aislamiento caldera	Si	Reparación y aislamiento de las calderas	0,0255	
	Caldera	14	Reducir atoro de boquillas de las parrillas	No	Aumentar la limpieza de la caña y lavado		
		15	Eliminar las Fugas de gases	No	Hermetizar las calderas		
II	Distribución de vapor	16	Eliminar las fugas	Si	Soldar los orificios y ajuste de empaques	0,0156	0,0389
		17	Mejorar el aislamiento de tuberías a planta	Si	Reparar y aislar las tuberías	0,0233	
III	Consumo de vapor	18	Reducir el consumo de vapor en los equipos	Si	Optimizar el consumo de vapor	15,9608	15,9608
		19	Mejorar el aislamiento de los equipos	No	Aislamiento de equipos de calefacción		
		20	Reducir las fugas de vapor en condensados	No	Mantenimiento preventivo de trampas de vapor		
IV	Retorno de condensados	21	Reducir las fugas en gases incondensables	No	Controlar la temperatura del gas incondensable		6,6581
		22	Reducir las perdida de reevaporizados	Si	Reutilizar los reevaporizados para calentamiento	6,6424	
		23	Reducir el enfriamiento en los tanques	Si	Reducir tiempo retención, alimentar próximo al caldero	0,0157	
<b>TOTAL</b>						<b>33,6447</b>	

Fuente: elaboración propia





*Figura 57.* Porcentaje de reducción de las emisiones por mejoras en el sistema de vapor

Fuente: ANORSAC

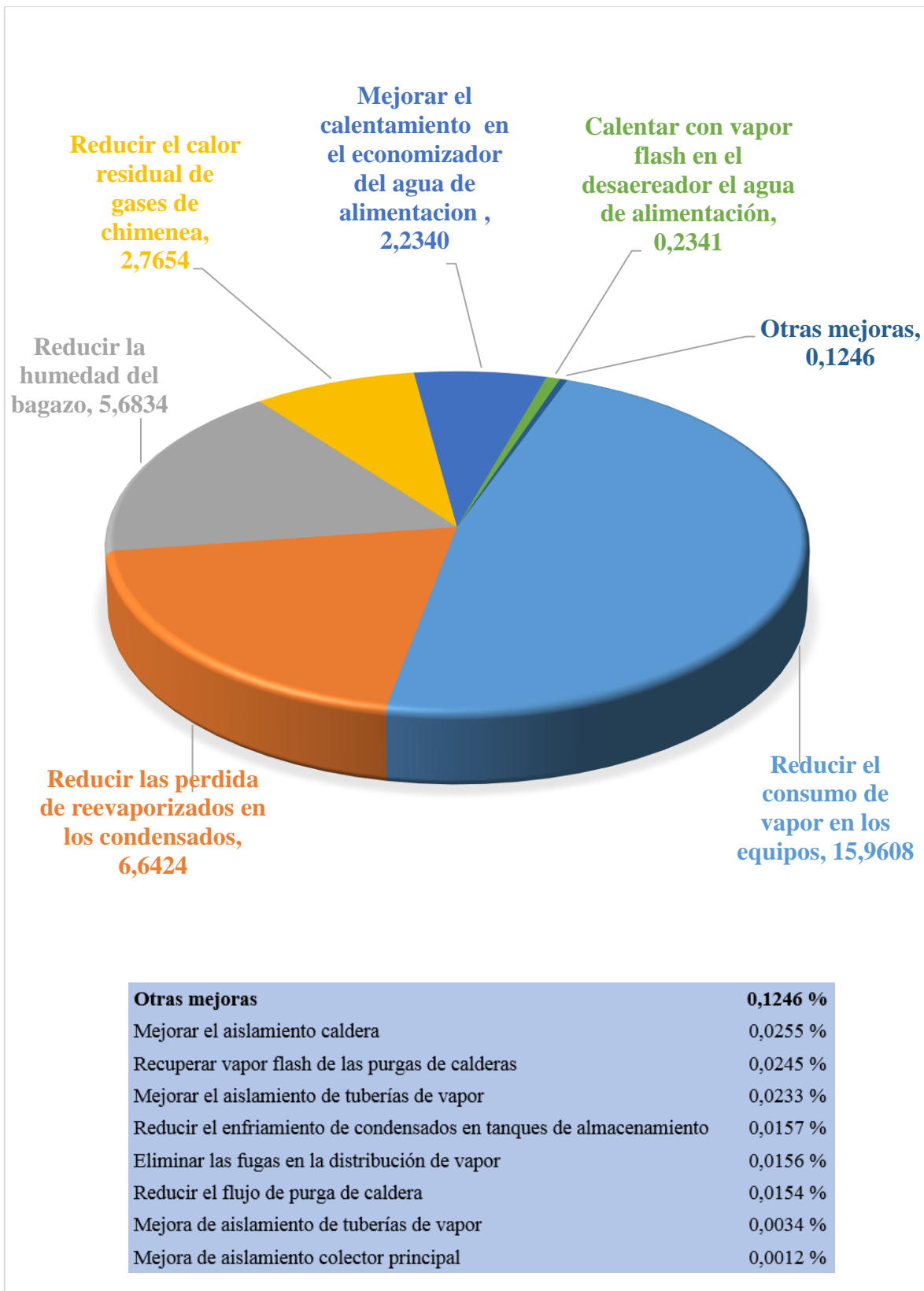


Figura 58. Porcentaje de reducción de las emisiones por mejoras detalladas.

Fuente: ANORSAC

Del estudio de auditoría termo energética al sistema de vapor para la reducción de las emisiones se obtuvieron resultados, las cuales son estimaciones en condiciones óptimas de recuperación de energía, la planta de acuerdo a su eficiencia de recuperación deberá considerar estos datos:

- En la generación de vapor se puede reducir las emisiones con la reducción de la humedad del bagazo en un 5,6834 %, con la reducción del calor residual de gases de chimenea en 2,7654 %, con la mejora del calentamiento en el economizador en 2,2340 %, con el calentamiento de vapor flash en el desaereador en 0,2341 %, con la mejora del aislamiento caldera en 0,0255 %, con la recuperación vapor flash de purgas de calderas en 0,0245 %, con la reducción del flujo de purga de caldera en 0,0154 %.
- En la distribución de vapor se puede reducir las emisiones con la mejora del aislamiento de tuberías de vapor a planta en un 0,0233 %, con la eliminación de fugas en la distribución de vapor en un 0,0156 %, con la mejora del aislamiento de tuberías de vapor salida del caldero en un 0,0034 %, con la mejora del aislamiento del colector principal en un 0,0012 %.
- En los consumidores de vapor se puede reducir las emisiones con la reducción del consumo de vapor en los equipos en un 15,9608 %.
- En el retorno de los condensados se puede reducir las emisiones con la eliminación de las pérdidas de reevaporizados de los condensados desde su evacuación en un 6,6424 %, con la reducción del enfriamiento de condensados en tanques en un 0,0157 %.



## 4.2 Contrastación de hipótesis

De acuerdo al nivel de investigación descriptiva explicativa, se identificaron las potencialidades de mejora en el sistema de vapor:

- La auditoría termo energética en la generación del vapor identifica las potencialidades de mejoras y determina en orden de importancia su relevancia en la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.
- La auditoría termo energética en la distribución del vapor identifica las potencialidades de mejoras y determina en orden de importancia su relevancia en la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.
- La auditoría termo energética a los consumidores de vapor identifica las potencialidades de mejoras y determina en orden de importancia su relevancia en la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.
- La auditoría termo energética al retorno de los condensados identifica las potencialidades de mejoras y determina en orden de importancia su relevancia en la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN

#### 5.1 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos son concordantes con las investigaciones indicadas en los antecedentes, las cuales se indican a continuación:

Respecto al estudio realizado por Pedrajas (2017): auditoría energética de un hospital, concluye que el consumo energético del hospital y la temperatura exterior están claramente correlacionadas.

Respecto al estudio realizado por Vargas (2016): análisis de la eficiencia energética aplicado al mantenimiento del sistema de generación y distribución de vapor para la empresa “La Ibérica”, concluye que la caldera está operando con una combustión no adecuada, botando energía térmica al ambiente, analiza el sistema de inyección de combustible para tomar las respectivas correcciones para reducir la contaminación al ambiente para el ahorro de energía para la empresa.

Respecto al estudio realizado por Álvarez (2016): eficiencia energética en la red de distribución de vapor a través de la recuperación del condensado en una industria de alimentos, concluye que la calidad de vapor tiene importancia únicamente cuando se trata de vapor húmedo, un alto porcentaje del vapor producido por la caldera se encuentra libre de humedad antes de salir del cabezal de distribución principal.

Respecto al estudio realizado por Bohórquez (2013): auditoría energética al circuito de vapor y condensado de una planta de elaboración de café liofilizado, llegando a la conclusión que se hizo una auditoría energética al circuito de vapor y condensado de una planta de café liofilizado, este estudio incluyó las purgas de la caldera, tuberías, distribuidores, condensados que no son aprovechados adecuadamente, aislamiento de las tuberías de distribución, fugas de vapor, trampas de vapor, problemas en usuarios de vapor.

Respecto al estudio realizado por Gómez (2013): informe de auditoría energética de la facultad de derecho de la universidad del país Vasco, se concluye asimismo que el diagnóstico energético y ambiental realizado, constituye una base para su realización en instalaciones hospitalarias con característica similares, con el fin de valorar el consumo de portadores energéticos y su proyección ambiental; se evidencia que existe una reserva importante para el ahorro de estos portadores.

Respecto al estudio realizado por Ruiz (2011) : impacto de la optimización de la eficiencia energética en el sistema de producción del nuevo Carnic, S.A., concluye que la energía térmica el principal problema es la falta de aislamiento tanto de la caldera como del sistema de vapor, que incluye tuberías y receptores de vapor. Agregado que por la falta de mantenimiento preventivo existen fugas en las tuberías que generan no sólo pérdidas de calor importante, sino agua que tuvo un costo de bombeo y que vale por sí misma.

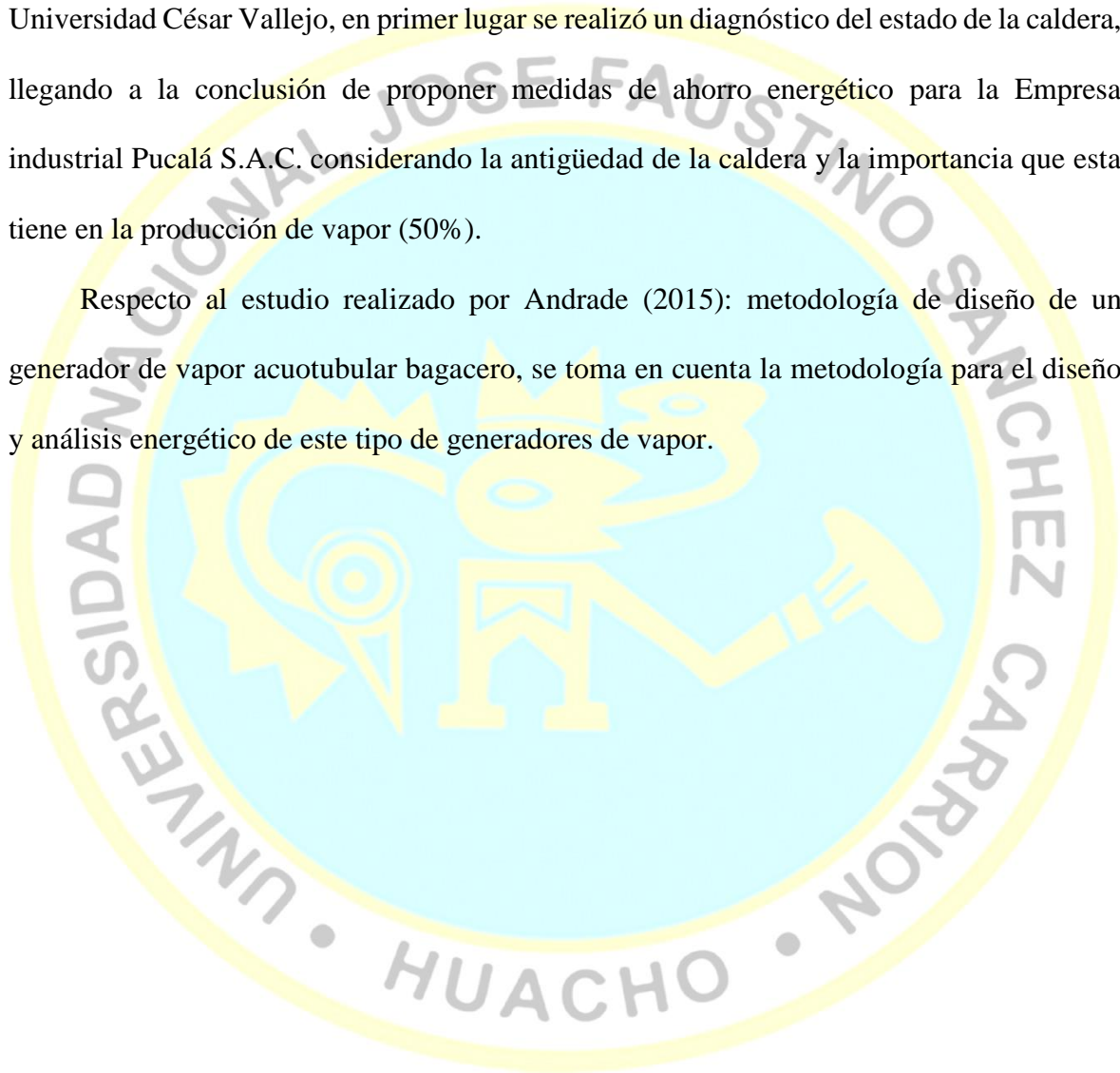
Respecto al estudio realizado por Ortíz (2010): uso racional y eficiente de la energía en un sistema de vapor de una industria papelera. Jaramillo. Concluye que los puntos de ahorro energético identificados como posibles focos de ahorro energético son: fugas de vapor y condensado en las líneas de distribución, fugas de vapor en las trampas, aislamientos térmicos malos y recuperación de condensado. Se debe tener un programa de mantenimiento predictivo o planeado para poder detectar fácilmente las fugas de vapor. Igualmente, las trampas de vapor tienen su vida útil, además si no se seleccionan de manera adecuada, se



pierde vapor y no se recupera condensado. Antes de seleccionar una trampa se debe tener en cuenta la presión de trabajo y la capacidad de descarga de condensado dependiendo la longitud del tramo que se está purgando.

Respecto al estudio realizado por Odar (2016): propuesta de auditoría energética del caldero N° 5 para incrementar la eficiencia de la Empresa Industrial Pucalá S.A.C. Universidad César Vallejo, en primer lugar se realizó un diagnóstico del estado de la caldera, llegando a la conclusión de proponer medidas de ahorro energético para la Empresa industrial Pucalá S.A.C. considerando la antigüedad de la caldera y la importancia que esta tiene en la producción de vapor (50%).

Respecto al estudio realizado por Andrade (2015): metodología de diseño de un generador de vapor acuotubular bagacero, se toma en cuenta la metodología para el diseño y análisis energético de este tipo de generadores de vapor.



## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 Conclusiones**

La auditoría termo energética al sistema de vapor para la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C., se estimó en base a la reducción del consumo de bagazo, el cual está directamente relacionado con las emisiones. Por tanto se concluye, que se identificaron las potencialidades de mejora en el sistema de vapor y se cuantificaron las más relevantes en la reducción de emisiones:

- En la generación de vapor se reducirán las emisiones: respecto al agua de alimentación con la mejora del calentamiento en el economizador, calentamiento con vapor flash el desaerador, mejora del aislamiento de tuberías, eliminación de fugas y derrames; respecto al bagazo utilizado como combustible con la reducción de la humedad e impurezas; respecto al aire de combustión con la mejora del calentamiento en el recuperador; respecto a los gases de chimenea con la reducción el calor residual; respecto al vapor generado en las calderas con la mejora del aislamiento de tubería y colector principal; respecto a las purgas de caldera con la reducción del flujo, recuperación de vapor flash y respecto a las calderas con la mejora del aislamiento, reducción del atoro de boquillas de parrillas y eliminación de fugas de gases del hogar.
- En la distribución de vapor se reducirán las emisiones con la eliminación de las fugas y mejora del aislamiento de tuberías.

- En los consumidores de vapor se reducirán las emisiones con la reducción del consumo de vapor en planta, mejora del aislamiento de equipos y reducción de la fuga de vapor en los condensados (en calentadores de jugo encalado y jugo clarificado, evaporadores, tachos).
- En el retorno de los condensados se reducirán las emisiones con la reducción de pérdidas de reevaporizados y la reducción el enfriamiento en los tanques.

## 6.2 Recomendaciones

Adicionalmente a las conclusiones del estudio, se puede recomendar:

### a) Recomendaciones en la generación de vapor.

#### Agua de alimentación:

- Reducir el descenso de temperatura del agua condensada desde su generación hasta su alimentación a las calderas. El tiempo de retención debe ser controlado.
- Reducir las fugas y derrames de agua condensada, recomendándose la instalación de controles automáticos de nivel.
- Mejorar el calentamiento de agua de alimentación en el economizador, con la instalación de tuberías adicionales para incrementar el área de calefacción, dando una mayor recuperación de calor de los gases de chimenea.
- Realizar un mantenimiento predictivo periódicamente a los sistemas de bombeo y tanques de almacenamiento de agua condensada.
- Enviar los condensados de vapor provenientes de la caldera directamente hacia el desaereador con controles frecuentes que garanticen su óptima calidad, con el objeto de evitar su enfriamiento y en consecuencia reducir el consumo de bagazo.

#### Bagazo como combustible

- Reducir la humedad del bagazo, un bagazo húmedo absorbe calor que podría ser aprovechado por el agua en la caldera para la generación de vapor.



- Reducir las impurezas que contiene el bagazo, mejorando las condiciones de abastecimiento de materia prima desde el campo y con mejora del lavado de la caña, el cual influye en la calidad de jugo y en consecuencia reducción del consumo de vapor.
- Controlar el porcentaje de fibra de la caña el cual permitirá una correcta y eficiente combustión del bagazo en el hogar del caldero.
- Realizar mantenimientos preventivos a las parrillas del hogar de la caldera por la acumulación de inquemados, cenizas etc., reduciendo el tiempo de limpieza y así reducir el enfriamiento de las calderas.

#### **Aire de combustión**

- Instalar tuberías adicionales en el recuperador de calor en el ducto del aire de combustión que sale del hogar del caldero, lo cual permitirá mejorar la temperatura del aire de ingreso al hogar del caldero y en consecuencia la combustión y eficiencia de las calderas.
- Reducir o eliminar las fugas de aire caliente, lo cual permitirá controlar el flujo apropiadamente evitando fugas de energía térmica del caldero.
- Realizar mantenimientos preventivos a las parrillas de combustión por la acumulación de inquemados, cenizas etc., evitando su atoro y mejorando el ingreso de aire para la combustión del bagazo.

#### **Vapor generado**

- Eliminar las fugas de vapor en las tuberías, los cuales son identificables con facilidad para la mejora de la eficiencia energética de la planta.
- Realizar mantenimientos preventivos periódicamente a las trampas de vapor que garanticen condiciones óptimas de operación, evitando pérdidas de vapor innecesarias por pase.

- Realizar mantenimientos preventivos de los aislamientos de las tuberías de vapor que reducirá las pérdidas de energía termina.

### **Purgas de la caldera**

- Utilizar antiespumante en las calderas con el objeto de incrementar los sólidos totales disueltos en el agua, conjuntamente con un control automático de purgas que permita reducir al mínimo su evacuación
- Recuperar los reevaporizados de las purgas de la caldera, en el calentamiento de otros fluidos como por ejemplo en el desaerador.

### **Gases de chimenea**

- Controlar la temperatura de gases de combustión de la chimenea evacuados al ambiente como método indirecto en la medición y control de combustión y eficiencia de la caldera.
- Controlar el porcentaje de exceso de aire, que asegure una eficiente combustión del bagazo en los calderos
- Eliminar las fugas de gases en los calderos, con el objeto de darle hermeticidad y un mayor control de los parámetros operacionales que aseguren una mayor eficiencia.

### **Aislamiento del caldero**

- Mejorar e instalar aislamiento de las paredes, domos y tuberías de las calderas.
- Realizar limpieza y mantenimiento preventivos de los aislamientos periódicamente.

### **b) Recomendaciones en la distribución de vapor.**

- Prever cambios de consumo de vapor de calefacción en los evaporadores que evite las pérdidas por exceso de presión a través de las válvulas de seguridad, fugas que pueden ser controladas mediante un sistema de comunicación entre la estación de evaporadores y las calderas.

- Realizar mantenimientos preventivos a las trampas de vapor de las tuberías y cabezales de distribución.
  - Mejorar e instalar aislamiento a las tuberías de vapor vivo y vegetal de la planta.
- c) **Recomendaciones en los consumidores de vapor.**
- Concientizar en el trabajo eficiente y responsable a todo el personal de producción y mantenimiento.
  - Entrenar periódicamente a los operarios para que operen eficientemente los equipos.
  - Analizar cambios de fuentes de suministros de vapor desde la sangría de los evaporadores, con el objeto de reducir el consumo de vapor en planta y con ello reducir el consumo de bagazo.
- d) **Recomendaciones en el retorno de condensados.**
- Utilizar los reevaporizados producidos tras la evacuación de la condensación del vapor proveniente del caldero y vegetal proveniente de los evaporadores, instalando un tanque flash para su recuperación en uso de fábrica en el calentamiento de equipos de calefacción, tanques, tuberías, etc.
  - Enviar el condensado de mayor temperatura al desaereador previo control exhaustivo y frecuente de contaminantes con el objeto de elevar la temperatura de ingreso del agua de alimentación a las calderas.

## REFERENCIAS

### 7.1 Fuentes documentales

- Agencia Andaluza de energía. (2011). *Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria*. Recuperado el 15 de Febrero de 2013, de [https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/documentos/metodologia\\_xwebx1.pdf](https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/documentos/metodologia_xwebx1.pdf)
- Álvarez, N. (2016). *Eficiencia energética en al red de distribución de vapor a través de la recuperación del condensado en una industria de alimentos*. Tesis de Grado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado el 07 de enero de 2018, de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4576/1/Nery%20Rafael%20Alvarez%20Gonz%C3%A1lez.pdf>
- Andrade, C. (2015). *Metodología de diseño de un generador de vapor acutubular bagacero*. Tesis de grado, Universidad de Piura, Piura. Recuperado el 15 de Enero de 2018, de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2205/IME\\_184.pdf?sequence=1](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2205/IME_184.pdf?sequence=1)
- Armstrong. (2002). *Guía para la conservación de vapor en el drenado de condensados*. Recuperado el 06 de Diciembre de 2012, de <http://www.armstronginternational.com/files/products/traps/pdf/n101spanish.pdf>
- Bohórquez, R. (2013). *Auditoría energética al circuito de vapor y condensado de una Planta de elaboración de café liofilizado*. Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil. Recuperado el 15 de enero de 2018, de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/21705/1/TESIS%20FINAL.pdf>
- Chacón, A. (10 de Noviembre de 2017). *Encalado de jugo de la caña (alcalinización)*. Recuperado el 02 de agosto de 2018, de scribd.com: <https://es.scribd.com/document/363171966/Encalado-de-Jugo>
- Gómez, J. (2013). *Informe de auditoría nergética de la Facultad de derecho*. Universidad del País Vasco, Donostia. Obtenido de



[https://www.ehu.eus/documents/1734204/1888125/Informe\\_auditoria\\_energetica\\_s ematek.pdf/d5b0f463-e338-425d-898b-5a5697eea134](https://www.ehu.eus/documents/1734204/1888125/Informe_auditoria_energetica_s ematek.pdf/d5b0f463-e338-425d-898b-5a5697eea134)

Jaramillo, A. (2010). *Uso racional y eficiente de la energía en un sistema de vapor de una industria papelera*. Tesis de grado, Universidad EAFIT, Medellín. Recuperado el 18 de Agosto de 2017, de [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/4439/AndresJulian\\_Jaramillo Ortiz\\_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/4439/AndresJulian_Jaramillo_Ortiz_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Odar, G. (2016). *Propuesta de auditoría energética del caldero N° 5 para incrementar la eficiencia de la Empresa Industrial Pucala S.A.C - 2016*. Tesis de Grado, Universidad César Vallejo, Chiclayo. Recuperado el 22 de enero de 2018, de [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/8915/odar\\_ag.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/8915/odar_ag.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Pedrajas, J. (2017). *Auditoría energética en un hospital*. Tesis de grado, Universidad Pontificia Comillas, Madrid. Recuperado el 08 de enero de 2018, de <https://repositorio.comillas.edu/jspui/bitstream/11531/26081/1/TFM000860.pdf>

Ruiz, S. (2011). *Impacto de la optimización de la eficiencia energética en el Sistema de Producción del Nuevo Carnic S.A*. Informe de Tesis, Universidad Tomás More, Managua. Recuperado el 25 de marzo de 2017, de <http://www.unithomasmore.edu.ni/tesis/Stephen%20final.pdf>

Spirax Sarco. (2003). *Guía de Calderas y accesorios*. Recuperado el 06 de Diciembre de 2012, de [http://www.spiraxsarco.com/global/ar/Training/Documents/Gu%C3%ADa\\_de\\_Calderas\\_y\\_accesorios.pdf](http://www.spiraxsarco.com/global/ar/Training/Documents/Gu%C3%ADa_de_Calderas_y_accesorios.pdf)

Spirax Sarco. (2003). *Guía de distribución de vapor*. Recuperado el 06 de Diciembre de 2012, de <http://www1.frm.utn.edu.ar/electromecanica/materias%20pagina%20nuevas/INSTALACIONES%20TERMICAS%20MECANICAS%20Y%20FRIGORIFICAS/material/apuntes/01-Distribucion%20de%20Vapor%20-%20Spirax%20Sarco.pdf>

Spirax Sarco. (2003). *Guía de Trampas para vapor y eliminadores de aire*. Recuperado el 06 de Diciembre de 2012, de <https://es.scribd.com/document/350665361/Guia-de-Referencia-Tecnica-Purga-de-Vapor-y-Eliminacion-de-Aire>

Spirax Sarco. (2003). *Purgas en Calderas*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2013, de <http://www.spiraxsarco.com/global/es/Products/Documents/SB/P403-56.pdf>

TLV. (2018). *TLV. Compañía especialista en vapor*. Recuperado el 15 de Agosto de 2018, de <https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/what-is-a-steam-trap.html>

USAID. (2011). *Guía de buenas prácticas en eficiencia energética para sistemas de vapor*. Recuperado el 13 de enero de 2018, de [http://cnpml-honduras.org/wp-content/uploads/docu\\_tecnicos/OTROS/Guia\\_Sistemas\\_de\\_Vapor.pdf](http://cnpml-honduras.org/wp-content/uploads/docu_tecnicos/OTROS/Guia_Sistemas_de_Vapor.pdf)

Vargas, M. (2016). *Análisis de la eficiencia energética aplicando al mantenimiento del sistema de generación y distribución de vapor para la empresa "La Ibérica"*. Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. Recuperado el 15- de Enero de 2018, de [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/4439/AndresJulian\\_Jaramillo\\_Ortiz\\_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/4439/AndresJulian_Jaramillo_Ortiz_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## **7.2 Fuentes bibliográficas**

Carrasco, S. (2017). *Metodología de la Investigación Científica* (13 ed.). Lima, Perú: San Marcor E.I.R.L.

Sabino, C. (1992). *El proceso de la investigación*. Caracas, Venezuela: Panapo.

## **7.3 Fuentes hemerográficas**

Ministerio de Energía y Minas. (2007). *Guía didáctica para el desarrollo de auditorías energéticas*. Recuperado el 06 de Diciembre de 2017, de [https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/902/1/upme\\_217\\_auditorias\\_energeticas\\_2007.pdf](https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/902/1/upme_217_auditorias_energeticas_2007.pdf)

## **7.4 Fuentes electrónicas**

Anónimo. (2018). *Operación de evaporadores*. Obtenido de <http://www.aulavirtual-exactas.dyndns.org/claroline/backends/download.php?url=L0NyaXN0YWxpemFja>

fNuL1Zpc2l0YV9JbmdlbmlvL1Byb2NIZGltaWVudG9fb3BlcmF0aXZvX2V2YX  
BvcmFkb3Jlc18tQIBNLS5wZGY%3D&cidReset=true&cidReq=OPTRCA

Conceptos.de. (2018). *Concepto de calor específico*. Recuperado el 01 de Agosto de 2018, de concepto.de: <https://concepto.de/calor-especifico/>

EcuRed. (s.f.). *Bagazo de caña como combustible*. Recuperado el 15 de julio de 2018, de [https://www.ecured.cu/Bagazo\\_de\\_ca%C3%B1a\\_como\\_combustible](https://www.ecured.cu/Bagazo_de_ca%C3%B1a_como_combustible)

EcuRed. (s.f.). *Temperatura*. Recuperado el 01 de agosto de 2018, de <https://www.ecured.cu/Temperatura>

Jeri, L. (07 de Mayo de 2013). *Calentadores de jugo*. Recuperado el 10 de agosto de 2018, de <https://es.scribd.com/doc/139990570/Calentadores-de-Jugo>

Ledesma, R. (Mayo de 2014). *Las Técnicas de la Investigación*. Recuperado el 13 de Abri de 2018, de Monografias.com: <http://www.monografias.com/trabajos101/tecnicas-investigacion/tecnicas-investigacion2.shtml#top>

Medidordeph.com. (15 de setiembre de 2014). *El azúcar y los grados brix*. Recuperado el 05 de Agosto de 2018, de <https://medidordeph.com/blog/2014/09/el-azucar-y-los-grados-brix/>

Pérez, J., & Gardey, A. (2010). *Definición.pe*. Recuperado el 12 de Agosto de 2018, de Definición de vapor: <https://definicion.de/vapor/>

Torres, P. (s.f.). *Proceso de azúcar. Clarificación*. Recuperado el 01 de agosto de 2018, de <http://pedroluispnf.blogspot.com/2009/07/clarificacion.html>

Wikipedia. (2005). *Tubería*. Recuperado el 01 de agosto de 2018, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Tuber%C3%ADa>

Wikipedia. (2011). *Azucarera*. Recuperado el 10 de Agosto de 2018, de [https://es.wikipedia.org/wiki/Azucarera#Planta\\_azucarera](https://es.wikipedia.org/wiki/Azucarera#Planta_azucarera)



**ANEXOS**



Anexo 1. Gestión de la Escuela de Post Grado de la Universidad Nacional José Faustino

Sánchez Carrión para el estudio



*Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión*  
**ESCUELA DE POSTGRADO**

*"Año de la Inversión para el Desarrollo Rural y la Seguridad Alimentaria"*

Huacho, 14 de febrero de 2013.

Señor  
**GERENTE GENERAL DE LA  
EMPRESA AZUCARERA DEL NORTE S.A.C**  
Presente.-

**ASUNTO:** PRESENTACIÓN DE ALUMNO TESIS DE MAESTRÍA: JHON HERBERT OBISPO GAVINO

De mi consideración:

Cordialmente me dirijo a su Despacho para hacer de su conocimiento que la Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión viene apoyando en la ejecución de trabajos de investigación que conlleven a la obtención del Grado Académico avanzados.

En tal sentido me permito presentar al Ing. JHON HERBERT OBISPO GAVINO, egresado de la Maestría en ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL, quien desarrollará el Trabajo de Investigación: "AUDITORÍA TÉRMICA AL SISTEMA DE VAPOR PARA EL AHORRO ENERGÉTICO Y LA REDUCCIÓN DE EMISIONES EN LA EMPRESA AZUCARERA DEL NORTE S.A.C."; en tal sentido solicitamos y recurrimos a su gran espíritu de colaboración, para brindar facilidades al indicado maestrista, y pueda recabar información para la culminación de dicho trabajo de investigación. En caso de realizar alguna coordinación, puede hacerlo al teléfono 992460720.

Agradeciendo la atención que brinde a la presente, hago propicia la oportunidad para expresarle mi consideración y estima personal.

Atentamente.



*Manuel Ángel Mendoza Cruz*  
Director de la Escuela de Postgrado

C.c.: Archivo  
MAMC/ *Angela*

EMPRESA AZUCARERA  
DEL NORTE S.A.C.  
**RECIBIDO**

FECHA: 12 MAY 2013 HORA: 10:30am

*Rumbo a la acreditación total*

Av. Mercedes Indacochea N° 609 - Ciudad Universitaria - Teléf. 2395288 - Telefax 2322904 - Huacho / [www.unjfsc.edu.pe](http://www.unjfsc.edu.pe)

Fuente: Escuela de Post grado de la UNJFSC.

Anexo 2. Autorización de la Gerencia Empresa Azucarera del Norte S.A.C.



EMPRESA AZUCARERA DEL NORTE SAC

**MEMORANDUM**

DE : Ing. Jorge Plasencia Cuayla  
JEFE DE PLANTA

PARA : Srta. Diana Coico Monja  
RR.HH.

FECHA : 21/05/14

ASUNTO: EL QUE SE INDICA

Mediante la presente, le hago de conocimiento que en coordinación con Don Samuel Roncal Miñano y la Sra. Sucey Santamaría Díaz y el Ing. Luis Heras Huaccha se ha acordado apoyar al Ing. Jhon Obispo Gavino en su Proyecto de Tesis de Maestría de la Universidad José Faustino Sánchez Carrión cuyo tema es "AUDITORIA TERMICA AL SISTEMA DE VAPOR PARA EL AHORRO ENERGETICO Y LA REDUCCION DE EMISIONES".

Adicionalmente le mencionó que el día Domingo, 25.05.14 visitará nuestra y hará un recorrido por las diferentes áreas en compañía de la Sra. Sucey Santamaría Díaz en el horario de 8 am a 5 pm

Sin otro particular.

*[Handwritten signature]*  
Empresa Azucarera del Norte S.A.C.  
~~Ing. Luis Heras Huaccha~~  
JEFE DE TRAPICHE

EMP. AZUCARERA DEL NORTE SAC.  
*[Handwritten signature]*  
Ing. Jorge Plasencia Cuayla  
JEFE DE PLANTA

cc  
Jefe RR.HH.  
Vigilancia

*[Handwritten signature]*

Emp. Azucarera del Norte S.A.C.  
Km. 12.6 Carretera Ferreñale  
VIGILANCIA  
FECHA: 21/05/14

*[Handwritten signature]*

### Anexo 3. Aspectos generales de la empresa

#### a) Ubicación Política

- País : Perú.
- Departamento : La Libertad.
- Provincia : Chiclayo.
- Distrito : Picsi.
- Dirección : km 12,6 de la carretera Chiclayo – Ferreñafe.

#### b) Ubicación geográfica:

- Latitud Sur : 06°40'39"
- Longitud Oeste : 79°46'58"

#### c) Linderos:

- Por el Norte con una acequia Fala y con el dren 1400.
- Por el Sur con campos de cultivo.
- Por el Este con la carretera Ferreñafe – Chiclayo.
- Por el Oeste con campos de cultivo.

#### d) Actividad de la empresa

Relación de actividades industriales bajo la competencia del Ministerio de Agricultura. Decreto Supremo N° 068-82-ITI/IND. Establece una relación de actividades agroindustriales de competencia única del Sector Agricultura, siempre que implicaran la transformación de materias primas de origen agropecuario y que mayoritariamente fuesen de producción nacional. Para dichas actividades detalladas en el artículo 1° de la norma mencionada, se dispuso que el Ministerio de Agricultura fuera el órgano competente para conocer y resolver los distintos aspectos relacionados con las mismas.



Anexo 4. Matriz de consistencia.

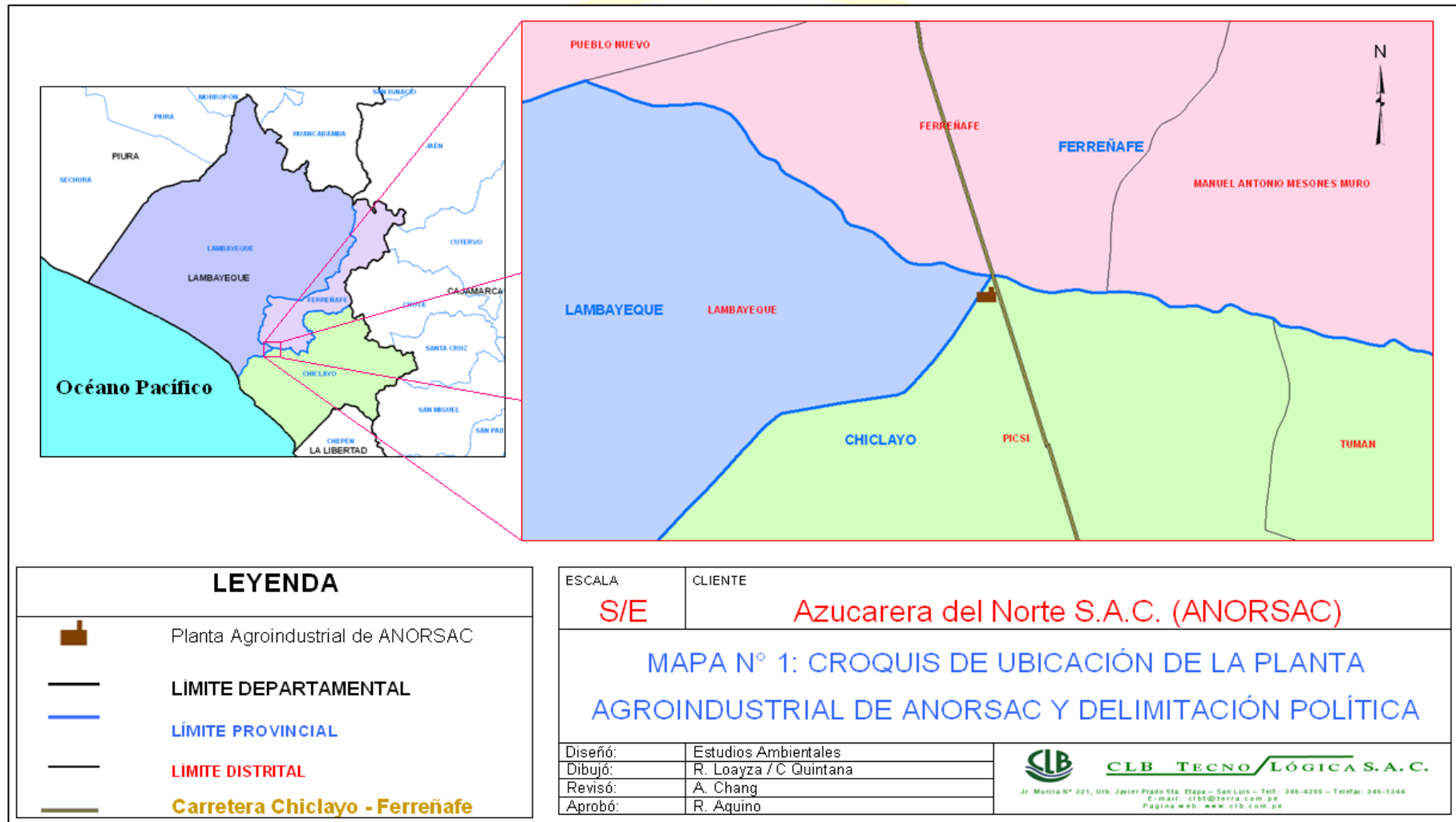
AUDITORÍA ENERGÉTICA TÉRMICA AL SISTEMA DE VAPOR PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES EN LA EMPRESA AZUCARERA DEL NORTE S.A.C., 2013

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES			MÉTODOS Y TÉCNICAS
				DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA	
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cómo la auditoría termo energética al sistema de vapor permitirá la reducción de emisiones en la empresa Azucarera del Norte S.A.C.?</li> </ul>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar la auditoría termo energética al sistema de vapor para la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.</li> </ul>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La auditoría termo energética al sistema de vapor permite identificar las potencialidades y estimar la reducción de las emisiones en la empresa Azucarera del Norte S.A.C.</li> </ul>	<p><b>Variable independiente</b></p> <p>1. Auditoría energética térmica al sistema de vapor</p>	<p>Generación de vapor</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agua de alimentación</li> <li>Aire de combustión</li> <li>Bagazo como combustible</li> <li>Gases de chimenea</li> <li>Vapor generado</li> <li>Purga de caldera</li> <li>Caldera</li> <li>Relevancia</li> </ul>	<p>Nominal</p> <p>Nominal</p> <p>Nominal</p> <p>Nominal</p> <p>Nominal</p> <p>Ordinal</p>	<p><b>TIPO DE INVESTIGACIÓN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicativa o tecnológica</li> </ul> <p><b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>No experimental transversal descriptivo explicativo</li> </ul> <p><b>POBLACIÓN Y MUESTRA</b></p> <p><b>. Población</b></p> <p>Flujos de materia y energía térmica del sistema de vapor de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.</p> <p><b>. Muestra.</b></p> <p>Flujos de materia y energía térmica del sistema de vapor de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.</p> <p><b>PROCEDIMIENTO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Recopilación datos de la empresa.</li> <li>Auditoría de los generadores de vapor.</li> <li>Auditoría de la distribución de vapor.</li> <li>Auditoría de los consumidores de vapor.</li> <li>Auditoría del retorno de condensados.</li> <li>Análisis de resultados</li> <li>Conclusiones y recomendaciones</li> </ul> <p><b>TÉCNICAS A EMPLEAR</b></p> <p>Observación.</p> <p>Medición</p> <p>Análisis documental</p> <p><b>INSTRUMENTOS</b></p> <p>Ficha de observación.</p> <p>Lista de cotejo.</p> <p>Cinta métrica.</p> <p>Medidor de flujo.</p> <p>Cámara fotográfica.</p> <p>Filmadora.</p> <p>Computadora.</p>
<p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Qué alternativas en la generación del vapor se puede identificar de acuerdo a su relevancia para la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.?</li> <li>¿Qué alternativas en la distribución del vapor se puede identificar de acuerdo a su relevancia para la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.?</li> <li>¿Qué alternativas en los consumidores de vapor se puede identificar de acuerdo a su relevancia para la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.?</li> <li>¿Qué alternativas en el retorno de los condensados se puede identificar de acuerdo a su relevancia para la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.?</li> </ul>	<p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar la auditoría termo energética en la generación del vapor para identificar las potencialidades de mejora y su relevancia en la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.</li> <li>Realizar la auditoría termo energética en la distribución del vapor para identificar las potencialidades de mejora y su relevancia en la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.</li> <li>Realizar la auditoría termo energética a los consumidores del vapor para identificar las potencialidades de mejora y su relevancia en la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.</li> <li>Realizar la auditoría termo energética al retorno de los condensados para identificar las potencialidades de mejora y su relevancia en la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.</li> </ul>	<p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La auditoría termo energética en la generación del vapor permite identificar potencialidades de mejoras y determinar su relevancia en la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.</li> <li>La auditoría termo energética en la distribución del vapor permite identificar potencialidades de mejoras y determinar su relevancia en la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.</li> <li>La auditoría termo energética a los consumidores de vapor permite identificar potencialidades de mejoras y determinar su relevancia en la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.</li> <li>La auditoría termo energética al retorno de los condensados permite identificar potencialidades de mejoras y determinar su relevancia en la reducción de emisiones de la empresa Azucarera del Norte S.A.C.</li> </ul>	<p><b>Variable dependiente</b></p> <p>Reducción de emisiones en la empresa Azucarera del Norte S.A.C.</p>	<p>Distribución de vapor</p> <p>Consumidores de vapor</p> <p>Retorno de condensados</p> <p>Reducción de emisiones</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tuberías</li> <li>Reducción de presión</li> <li>Relevancia</li> <li>Calentadores de jugo encalado</li> <li>Calentador de jugo clarificado</li> <li>Evaporadores</li> <li>Tachos</li> <li>Centrifuga</li> <li>Secador</li> <li>Relevancia</li> <li>Tuberías</li> <li>Tanques</li> <li>Sistema de bombeo</li> <li>Relevancia</li> <li>Porcentaje de reducción del consumo de bagazo</li> </ul>	<p>Nominal</p> <p>Nominal</p> <p>Ordinal</p> <p>Nominal</p> <p>Nominal</p> <p>Nominal</p> <p>Nominal</p> <p>Ordinal</p> <p>Nominal</p> <p>Nominal</p> <p>Nominal</p> <p>Ordinal</p> <p>Razón</p>	

Fuente: elaboración propia



### Anexo 5. Ubicación de la empresa



LEYENDA	
	Planta Agroindustrial de ANORSAC
	LÍMITE DEPARTAMENTAL
	LÍMITE PROVINCIAL
	LÍMITE DISTRITAL
	<b>Carretera Chiclayo - Ferreñafe</b>

ESCALA	CLIENTE
S/E	Azucarera del Norte S.A.C. (ANORSAC)
<p>MAPA N° 1: CROQUIS DE UBICACIÓN DE LA PLANTA AGROINDUSTRIAL DE ANORSAC Y DELIMITACIÓN POLÍTICA</p>	
Diseñó:	Estudios Ambientales
Dibujó:	R. Loayza / C Quintana
Revisó:	A. Chang
Aprobó:	R. Aquino
<b>CLB TECNO/LÓGICA S.A.C.</b> <small>Jr. Murcia N° 321, Urb. Javier Prado Sta. etapa - San Luis - Telf.: 346-4395 - Telefax: 346-1044  E-mail: clb@terra.com.pe  Página web: www.clb.com.pe</small>	

Fuente: PAMA Empresa Azucarera del Norte S.A.C.

## Anexo 6. Proceso de elaboración de azúcar rubia en la empresa

### 1. Molienda.

Esta etapa se divide a su vez en dos sub-etapas: Preparación de caña y Molienda propiamente dicha de caña.

#### 1.1. Preparación de caña.

Comprende actividades de:

**1.1.1. Recepción de caña.** En esta actividad se reciben las unidades de transporte, que traen la caña de azúcar cosechada de los campos –en forma controlada por Vigilancia de la planta ANORSAC- y pasan a la báscula.

**1.1.2 Pesado, descarga y acopio.** En estas actividades las unidades de transporte de caña son pesadas en una báscula de plataforma de 70 toneladas para luego ser descargadas por medio de una grúa hilo. La caña es colocada y descargada en chute de donde con ayuda de una garra hidráulica es acopiada en un patio, siguiendo un orden de acuerdo a la llegada y el campo o los campos que se están moliendo.

**1.1.3 Lavado.** En esta actividad la caña es colocada en un conductor inclinado, llamado mesa o unidad de lavado- donde recibe un lavado de agua temperada con la finalidad de eliminar la tierra y/o arena que por efectos de carguío trae la caña.

**1.1.4 Picado (o corte) y desfibrado.** En estas actividades la caña lavada que viene de la mesa cae a un conductor el cual la hace pasar por un juego de machetes que corta y trocea la caña, posteriormente pasa por un nivelador que tiene por función emparejar la caña picada, para posteriormente ser alimentada al desfibrador cuya función es desgarrar la caña exponiendo la fibra de caña, de modo tal que se favorezca la extracción de la sacarosa de fibra.

## **1.2. Molienda propiamente dicha de caña.**

La caña preparada por los machetes y el desfibrador es pasada a los molinos, donde se efectúa el proceso de extracción de la sacarosa, mediante la compresión de la caña desfibrada con unos rodillos de fierro fundido, dispuestos triangularmente en grupos de cuatro mazas, que conforman un molino. Se dispone de un tándem de 5 molinos, que extraen el jugo por compresión, previa adición de agua en una proporción de 30% con respecto a la caña que se muele por hora, obteniéndose un bagazo del 30% un jugo del 95 % con respecto a la caña en ambos casos.

El jugo obtenido llamado jugo mezclado es enviado a la fábrica para la elaboración del azúcar y el bagazo es enviado como combustible a los calderos para la generación del vapor.

## **2. Elaboración de azúcar.**

Esta etapa comprende las siguientes sub-etapas:

### **2.1. Tratamiento de jugo.**

Esta sub-etapa comprende las actividades de: pesado, encalado, calentamiento, clarificación y filtración.

**2.1.1 Pesado.** En esta actividad el jugo mezclado proveniente del trapiche es pesado en una balanza de 0.5 toneladas.

**2.1.2 Encalado.** Este jugo por naturaleza contiene una serie de impurezas (solubles e insolubles) y es ácido lo que no permite una fácil clarificación o separación de las partículas en suspensión por lo que requiere ser encalado a un pH de 8,0, con lechada de cal de 5 a 6 °Be o sacarato. La lechada de cal es una preparación líquida de cal con agua, la cual es adicionada con la ayuda de una bomba.

**2.1.3 Calentamiento.** Actividad en la cual el jugo mezclado y encalado, es calentado por medio de tres calentadores donde la temperatura del jugo es elevada gradualmente primero a 60 °C, luego a 80 °C y finalmente a 104 °C.

**2.1.4 Clarificación.** En esta actividad, al jugo caliente se le agrega un floculante –polímero de alto peso molecular- para acelerar la sedimentación de los sólidos insolubles, los cuales son atrapados por el floculante. Por rebose sale el jugo clarificado a un pH de 6.8 a 7.0, aspecto claro brillante, con un máximo de insolubles de 300 ppm. En el fondo del clarificador se sitúan los sólidos -que conforman la cachaza- cuya evacuación es constante.

**2.1.5 Filtración.** Los lodos de la clarificación tienen un alto contenido de azúcar, la cual para ser recuperada se somete a un proceso –o actividad- de filtración al vacío a través de unos filtros rotativos donde se recupera la sacarosa en el jugo filtrado que es retornado al jugo mezclado. La torta de cachaza es enviada a una tolva de donde es retirada para que, luego de un tratamiento, sea comercializada como abono.

## **2.2 Evaporación.**

En esta etapa el jugo clarificado es concentrado de un Brix de 14.0 a un Brix de 60.0, eliminándosele un poco más del 80 % de agua. Este proceso se realiza en un evaporador de múltiple efecto al vacío

## **2.3 Cocimientos.**

La sacarosa que viene en el jarabe es concentrada y cristalizada en unos equipos evaporadores al vacío llamados tachos, donde se obtienen las masas cocidas que son mezclas de cristales de azúcar y miel. El sistema de cocimientos que se aplica es el de tres templeas, que puede ser variado a dos templeas si la calidad de la caña baja.

## **2.4 Enfriamiento cristalización.**

La masa cocida que es preparada en los tachos al vacío, es descargada en unos cristalizadores donde por enfriamiento la sacarosa que aun contiene la miel se incorpora al grano.

## **2.5 Centrifugación.**

La masa cocida fría pasa por una centrífuga donde se separa y se lava el grano de azúcar de la miel contenida. La miel así obtenida se retorna a los tachos separándose, según sea ésta A



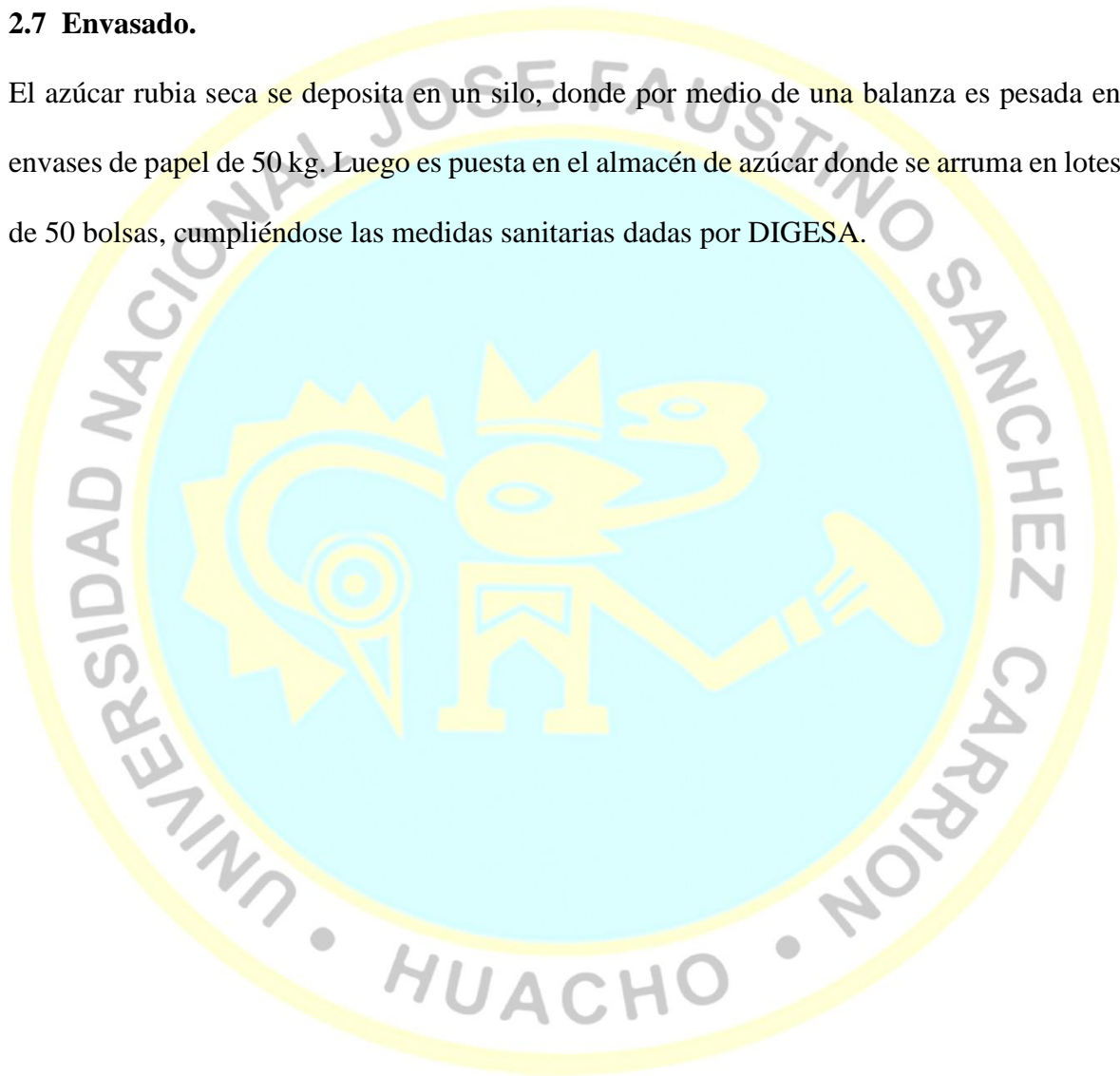
o B. En el caso de la masa tercera se obtiene la última miel C o melaza, que se envía a destilería de alcohol.

### **2.6 Secado.**

El azúcar rubia obtenida es llevada con un espiral a un secador rotatorio de donde se le seca con aire caliente obteniéndose una azúcar rubia de 0.30 % de humedad.

### **2.7 Envasado.**

El azúcar rubia seca se deposita en un silo, donde por medio de una balanza es pesada en envases de papel de 50 kg. Luego es puesta en el almacén de azúcar donde se arruma en lotes de 50 bolsas, cumpliéndose las medidas sanitarias dadas por DIGESA.



## Anexo 7. Balance de materiales del proceso de elaboración de azúcar rubia.

Se considerará el balance de materiales en función a la caña sucia ingresada al ingenio, considerando los datos promedios de producción. El sistema de cocimiento evaluado es de Tres Templas: A, B y C

### a) Balance unidad de lavado

Molienda de caña Sucia (CS)	=	103,0928 %
Impurezas% CS	=	3,0928 %
Molienda caña limpia (CL)	=	100,0000 %

### b) Balance en los molinos

Agua de inhibición % CL.	=	28,0000 %
Bagazo % CL	=	30,0000 %
Jugo Mezclado % CL	=	98,0000 %

### c) Balance en el tratamiento de jugo

Jugo Encalado % CL	=	99,2165 %
--------------------	---	-----------

### d) Balance en el clarificador

Jugo Clarificado % CL	=	96,0000 %
-----------------------	---	-----------

### e) Balance en el evaporador de cuádruple efecto

Jarabe % CL	=	22,1532 %
Agua evaporada % CL	=	73,8468 %

### f) En los Vacumpanes

Agua evaporada. tachos % CL .	=	8,4801 %
Masa A y B % CL	=	21,5805 %

### g) En la centrifuga

Agua agregada % CL	=	0,9287 %
Azúcar A y B húmeda % CL	=	10,9934 %
Miel A % CL	=	6,3221 %
Miel B % CL	=	4,6856 %
Melaza % CL	=	3,6079 %
Azúcar C % CL	=	2,9301 %

### h) En el secador

Agua evaporada % CL	=	0,0295 %
Azúcar A y B Seca % CL	=	10,9632 %

## Anexo 8. Unidades consumidoras de vapor en el proceso productivo.

Se identifican en la Empresa las siguientes unidades consumidoras de vapor:

1. Calentadores de Jugo Encalado

Vapor de calefacción de tres calentadores conectados en serie.

2. Calentadores de Jugo Clarificado

Vapor de Calefacción de un calentador de Jugo Clarificado

3. Evaporadores

Vapor de Calefacción al primer efecto del cuádruple efecto.

4. Tachos o Vacumpanes

Vapor de Calefacción en el cocimiento de masas. Se trabaja en un sistema de tres templeas.

5. Centrifugas

Vapor directo secado de granos centrifuga comercial.

Vapor calentamiento de azúcar tercera.

6. Secado

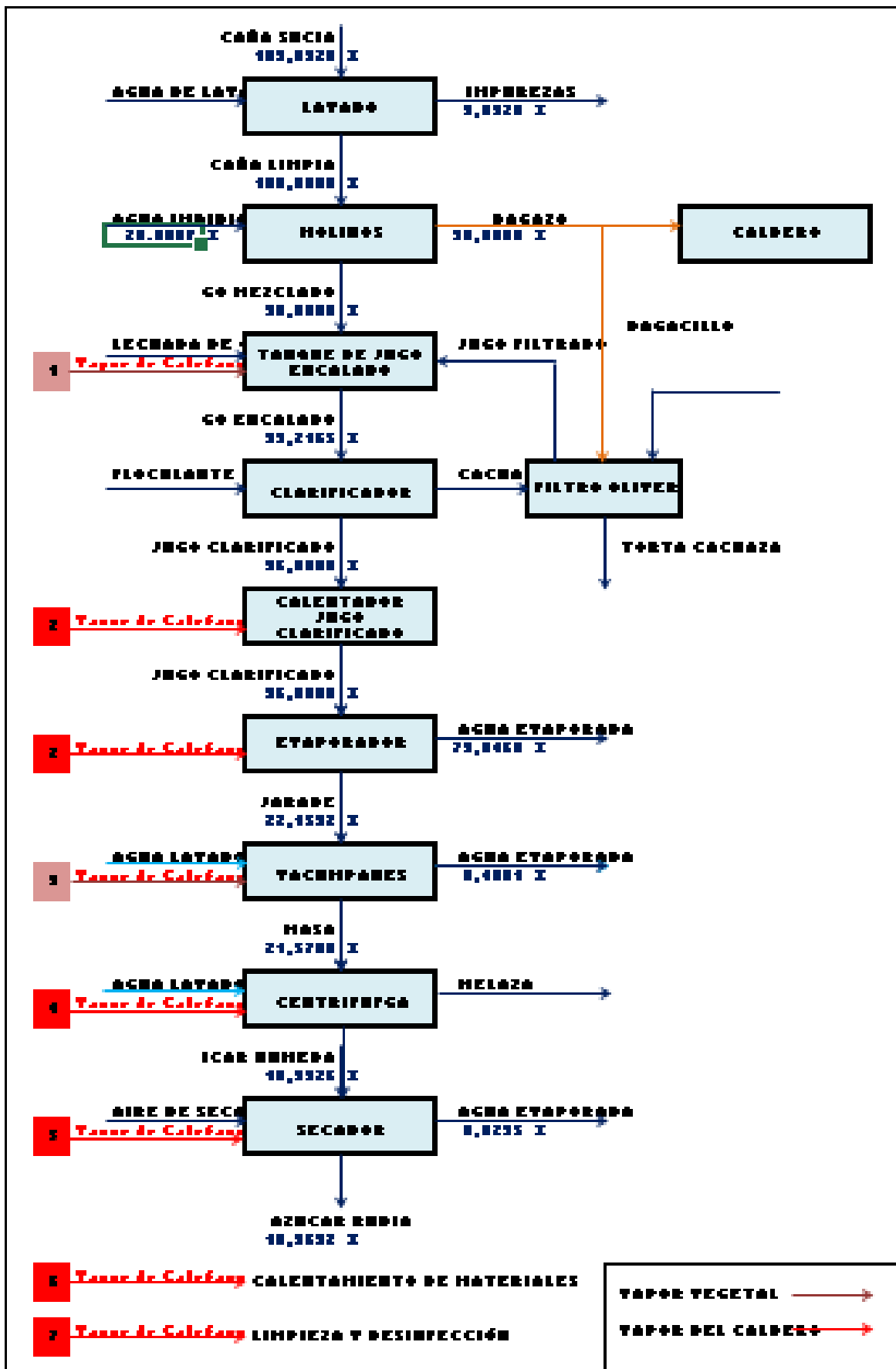
Vapor de calefacción calentador de aire para el secado del azúcar.

7. Otros:

Calentamiento de jarabes y masas.

Limpieza y desinfección de trapiche.

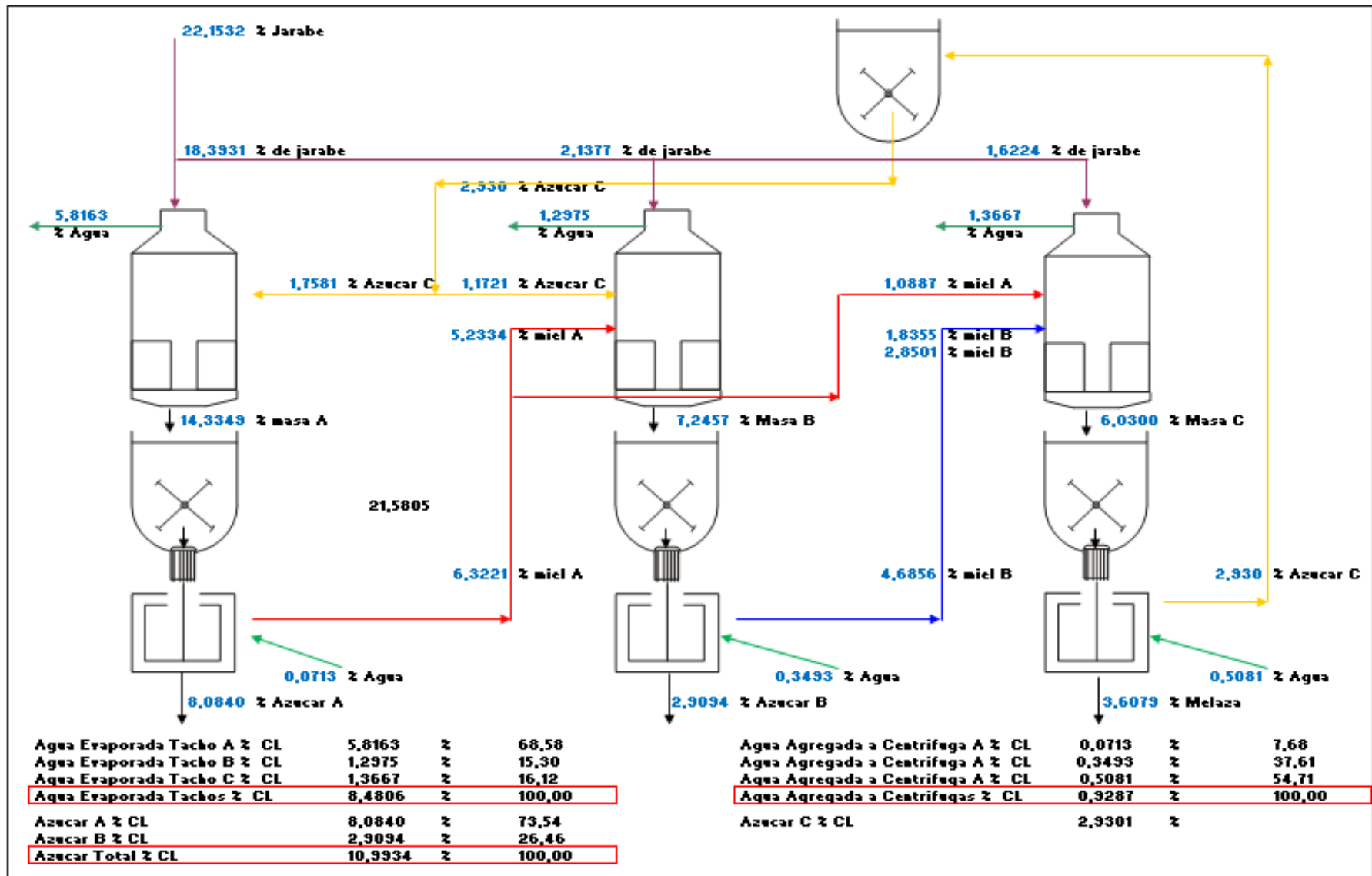
Anexo 9. Balance de materiales e identificación de consumidores de vapor.



Fuente: Elaboración propia



Anexo 10. Balance de materiales en el área de cocimiento.



Fuente: Elaboración propia

Anexo 11. Consumo de vapor evaluado en los calentadores.

Jugo Encalado % Caña S.: JE % CS = 99,2165 %

Jugo Clarificado % Caña S.: JC % CS = 96,0000 %

Brix JC = 15

EQUIPO	Vapor de Calefacción			Jugo		Calor específico Ce Kcal/Kg/°C	Eficiencia Ef	Vapor consumido % CL
	Presión Psig	Temperatura °C	Entalpia evaporación Hlv Kcal/Kg	Temperatura ingreso Ting °C	Temperatura salida Tsal °C			
I Calentador de Jugo Encalado	7,28	111,6	531,90	30	65	0,916	0,95	6,2950
II Calentador de Jugo Encalado	7,28	111,6	531,90	65	90	0,916	0,95	4,4964
II Calentador de Jugo Encalado	18,37	124,4	523,42	90	105	0,916	0,95	2,7416
Calentador de Jugo Clarificado	30	134,5	516,5	95	115	0,916	0,95	3,5843

Fuente: Elaboración propia

Anexo 12. Consumo de vapor evaluado en los evaporadores.

Jugo Encalado % Caña S.: JE % CS = 99,2165 %

Jugo Clarificado % Caña S.: JC % CS = 96,0000 %

Brix JC = 15

EQUIPO	Vapor de Calefacción		Corrientes de Entrada (% de Caña Sucia)				Material Jugo / Jarabe
	Presión	Temperatura	Consumo de Vapor	Material Jugo / Jarabe	Vapor	Condensado	
		°C					
1er evaporador	30,00 Psig	134,5	37,8921	93,12	33,17	36,15	60,00
2do Evaporador	18,37 Psig	124,4	18,2988	60,00	18,33	17,69	41,60
3er Evaporador	7,28 Psig	111,6	8,5987	41,60	8,64	8,64	32,2
4to Evaporador	5,63 Pulg Hg	94,2	9,6348	32,2	10,7	9,7	21,49

Fuente: Elaboración propia

Anexo 13. Consumo de vapor evaluado en los tachos.

Jugo Encalado % Caña S.: JE % CS = 99,2165 %

Jugo Clarificado % Caña S.: JC % CS = 96,0000 %

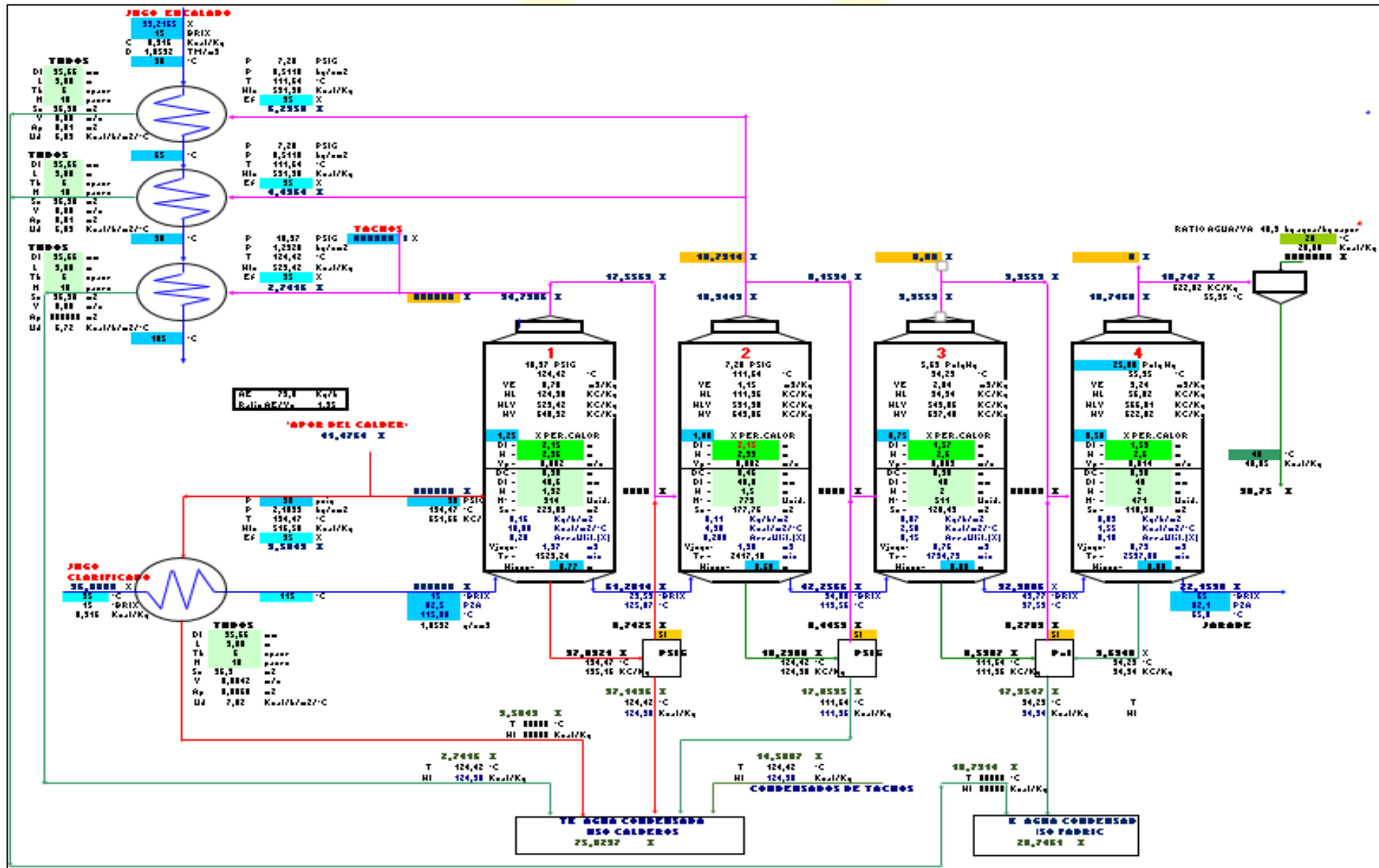
Brix JC = 15

EQUIPO	Vapor de Calefacción			Condiciones de Vacío					
	Presión	Temperatura °C	Entalpia evaporación Hlv (Kcal/Kg)	Ratio Vapor/AE	Presión	Temperatura	Entalpia vapor Hlv Kcal/Kg	AE % CS	Vapor consumido % CL
Tacho A	18,37	124,4	523,4	1,5	25 Pulg Hg	54,5	622	5,642	8,463
Tacho B	18,37	124,4	523,4	1,5	25 Pulg Hg	54,5	622	1,259	1,889
Tacho C	18,37	124,4	523,4	1,5	25 Pulg Hg	54,5	622	1,326	1,989

Fuente: Elaboración propia



Anexo 14. Consumo de vapor evaluado calentadores y evaporador cuádruple efecto.



Fuente: Elaboración propia

Anexo 15. Balance de energía en los evaporadores de cuádruple efecto evaluado

Equipo	Entrada			Salida		
	Material	Flujo % CL	Energía Kcal/kg	Material	Flujo % CL	Energía Kcal/kg
Evaporador 1	Vapor	37,89	24692,77	Condensado	37,89	5121,49
	Jugo	96,00	10112,64	Perdidas	-	435,07
				Vapor	34,80	22560,63
				Jugo	61,20	6688,23
	<b>Total</b>	<b>96,00</b>	<b>34805,41</b>		<b>96,00</b>	<b>34805,41</b>
Evaporador 2	Vapor	18,30	11863,51	Condensado	18,30	2285,57
	Jugo	61,20	6688,23	Perdidas	-	185,52
				Vapor	18,94	12197,75
				Jugo	42,26	3882,90
	<b>Total</b>	<b>61,20</b>	<b>18551,74</b>		<b>61,20</b>	<b>18551,74</b>
Evaporador 3	Vapor	8,60	5536,35	Condensado	8,60	962,70
	Jugo	42,26	3882,90	Perdidas	-	70,64
				Vapor	9,36	5963,49
				Jugo	32,90	2422,42
	<b>Total</b>	<b>42,26</b>	<b>9419,25</b>		<b>42,26</b>	<b>9419,25</b>
Evaporador 4	Vapor	9,63	6141,26	Condensado	9,63	908,98
	Jugo	32,90	2422,42	Perdidas	-	42,82
				Vapor	10,75	6684,77
				Jugo	22,15	927,11
	<b>Total</b>	<b>32,90</b>	<b>8563,68</b>		<b>32,90</b>	<b>8563,68</b>

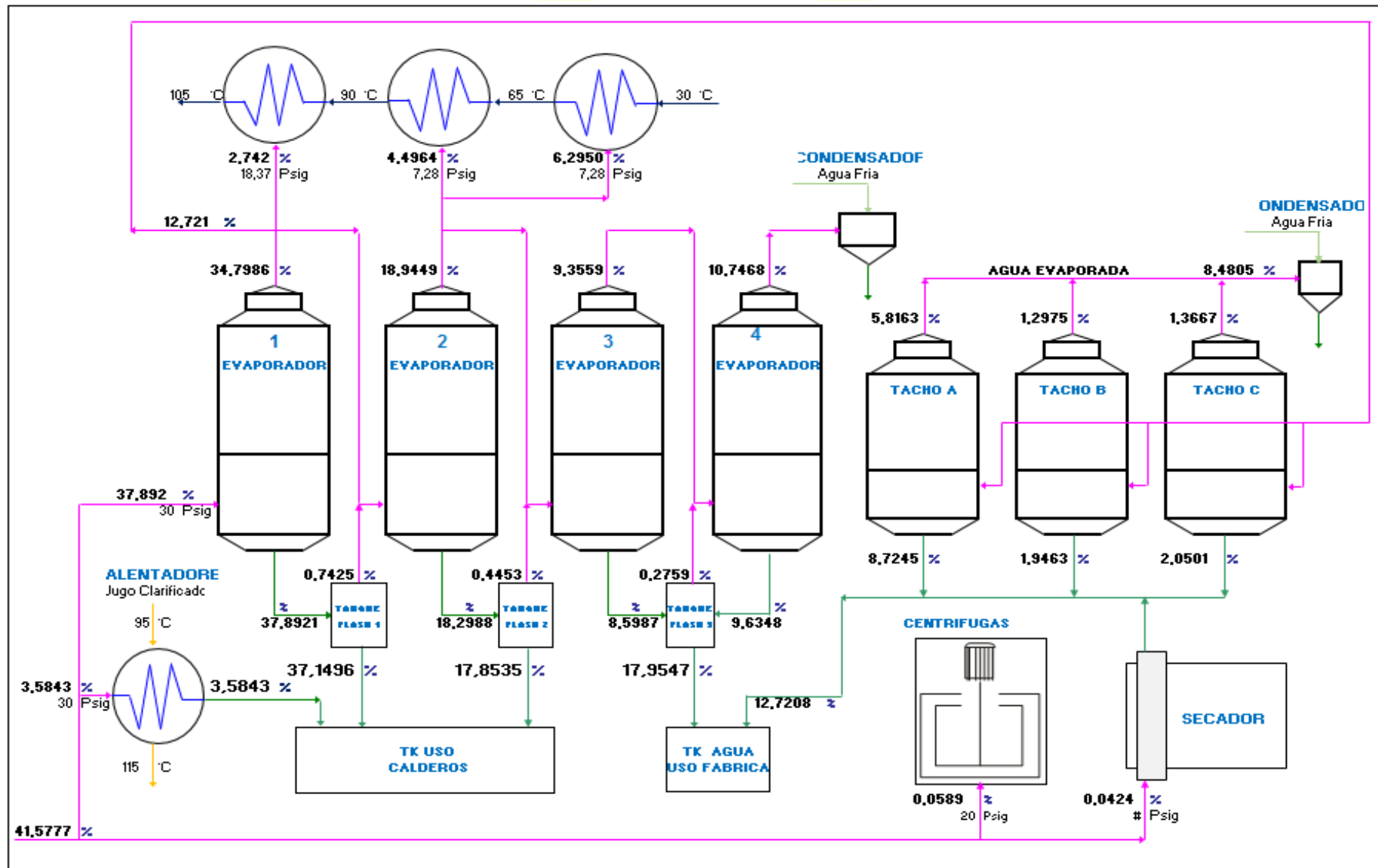
Fuente: Elaboración propia

Anexo 16. Balance de energía en los evaporadores de cuádruple efecto evaluado

Equipo	Entrada			Salida		
	Material	Flujo % Cl	Energía Kcal/kg	Material	Flujo % CL	Energía Kcal/kg
Tanque Flash 1	Condensado	37,89	5121,49	Reevaporizado	0,74	481,41
				Condensado	37,15	4640,08
	Total	37,89	5121,49		37,89	5121,49
Tanque Flash 2	Condensado	18,30	2285,57	Reevaporizado	0,45	286,73
				Condensado	17,85	1998,85
	Total	18,30	2285,57		18,30	2285,57
Tanque Flash 3	Condensado	18,23	1871,68	Reevaporizado	0,28	177,77
				Condensado	17,95	1693,91
	Total	18,23	1871,68		18,23	1871,68

Fuente: Elaboración propia

Anexo 17. Consumo total de vapor evaluado en la empresa.



Fuente: Elaboración propia



Anexo 18. Resumen del consumo de vapor evaluado en la empresa

**Vapor proveniente del caldero**

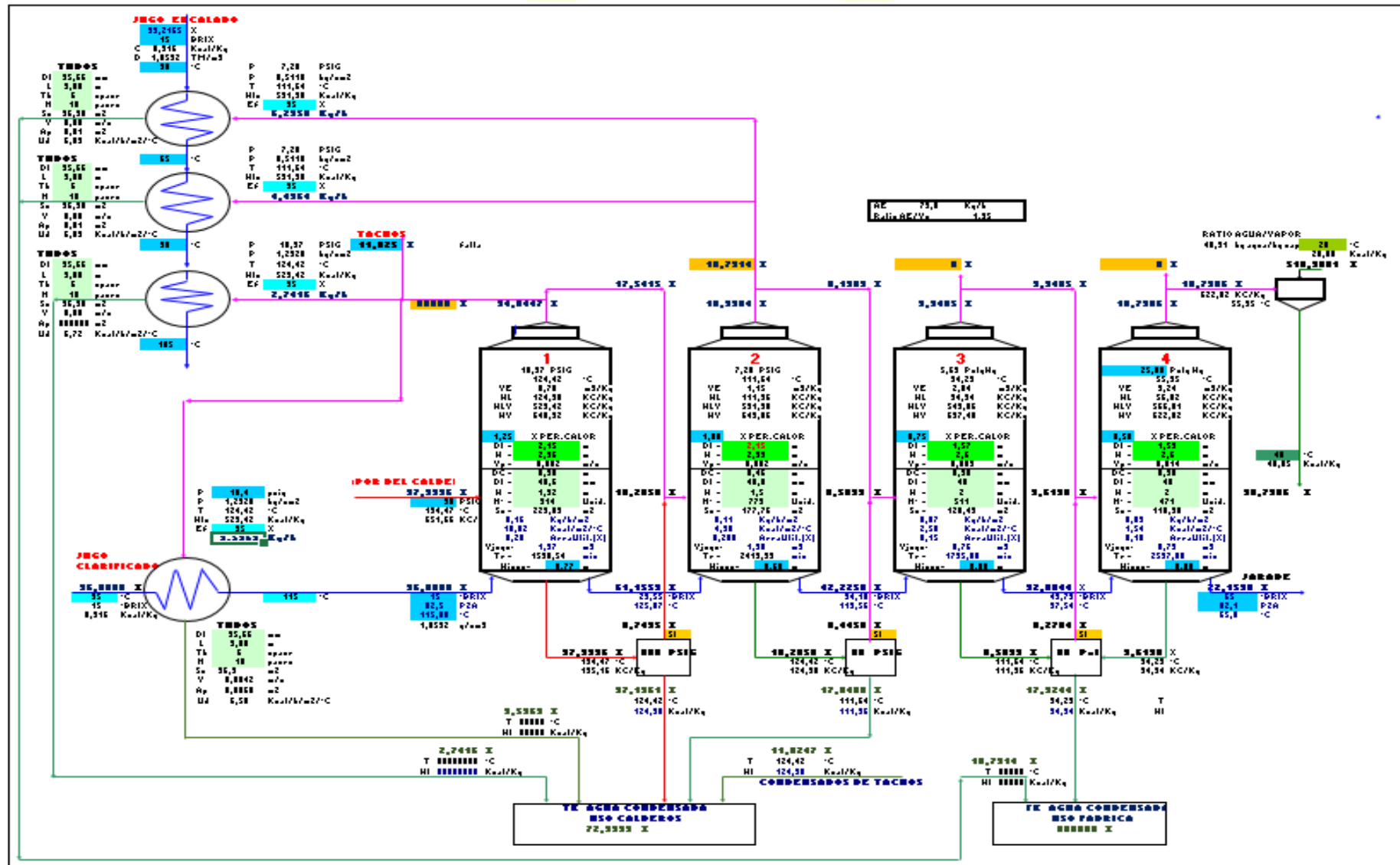
	Consumo % de CL	Presión Psig	Temperatura °C
Evaporador	41,5777	30	134,5
Calentador Jugo Clarificado	3,5843	30	134,5
Centrifuga	0,0589	20	126,0
Secador	0,0424	80	162,2
<b>TOTAL</b>	<b>45,2633</b>		

**Vapor vegetal**

	Consumo % de CL	Presión Psig	Temperatura °C
I Calentador Jugo Encalado	6,2950	7,28	111,6
II Calentador Jugo Encalado	4,4964	7,28	111,6
III Calentador Jugo Encalado	2,7416	18,37	124,4
Total Tachos A, B y C	12,7208	18,37	124,4

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 19. Consumo de vapor propuesto calentadores y Evaporador cuádruple efecto.



Fuente: Elaboración propia



Anexo 21. Resumen del consumo de vapor propuesto en la empresa

**Vapor proveniente del caldero**

	Consumo % de CL	Presión Psig	Temperatura °C
Evaporador	37,9396	30	134,5
Centrifuga	0,0589	20	126,0
Secador	0,0424	80	162,2
<b>TOTAL</b>	<b>38,0409</b>		

**Vapor vegetal**

	Consumo % de CL	Presión Psig	Temperatura °C
I Calentador Jugo Encalado	6,2950	7,28	111,6
II Calentador Jugo Encalado	4,4964	7,28	111,6
III Calentador Jugo Encalado	2,7416	18,37	124,4
Calentador Jugo Clarificado	3,53693	18,37	124,4
Total Tachos A, B y C	11,0247	18,37	124,4

Fuente: Elaboración propia

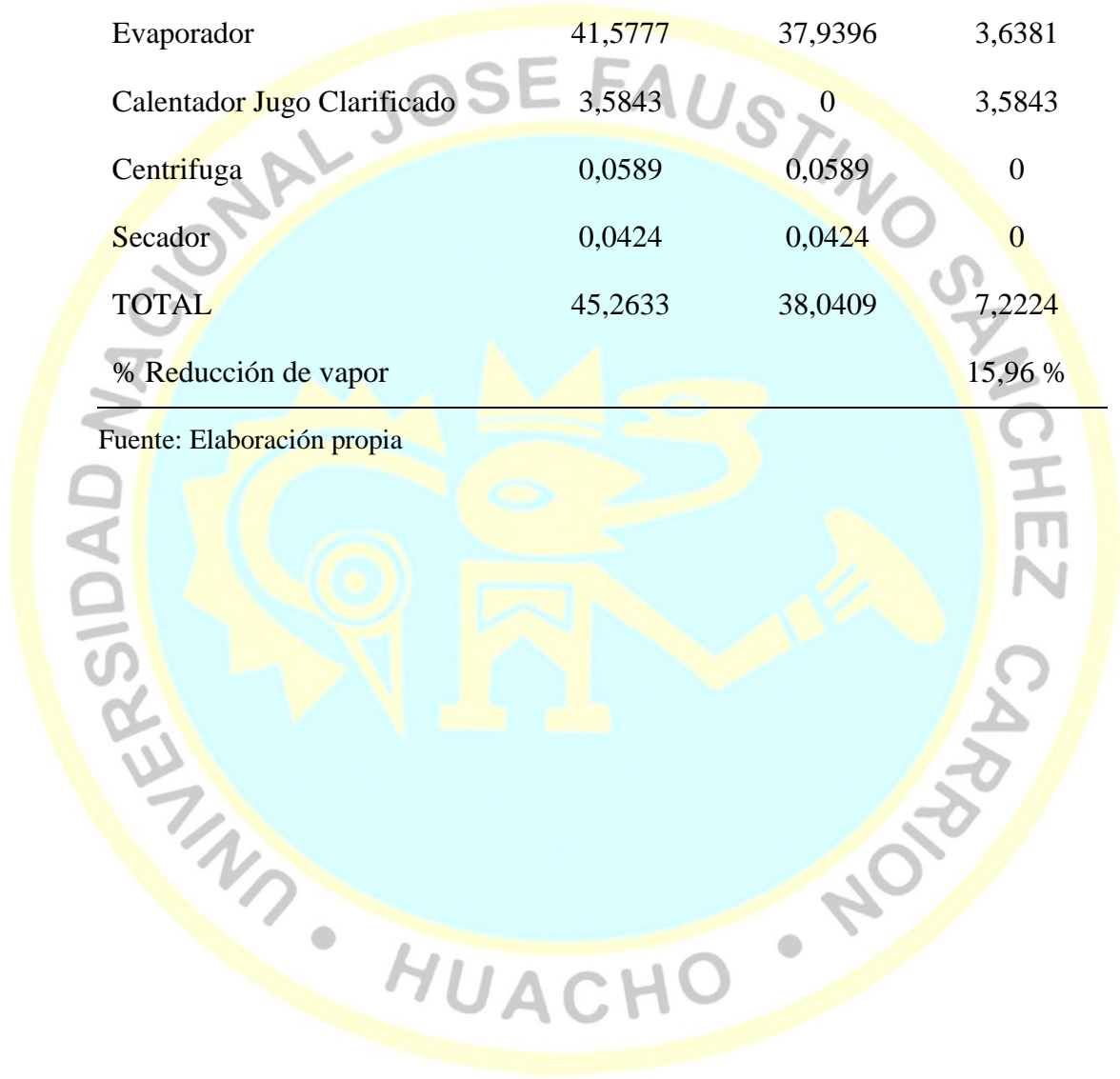


Anexo 22. Reducción del consumo de vapor en los equipos por mejoras planteadas

**Vapor proveniente del caldero**

	Consumo Evaluado % de CL	Consumo Propuesto % de CL	Diferencia % CL
Evaporador	41,5777	37,9396	3,6381
Calentador Jugo Clarificado	3,5843	0	3,5843
Centrifuga	0,0589	0,0589	0
Secador	0,0424	0,0424	0
<b>TOTAL</b>	<b>45,2633</b>	<b>38,0409</b>	<b>7,2224</b>
<b>% Reducción de vapor</b>			<b>15,96 %</b>

Fuente: Elaboración propia



Anexo 23. Reducción de las emisiones gaseosas en las tuberías de distribución por mejoras en aislamiento

N°	Tramo de tubería	Dimensiones tubería			Condiciones del vapor			Emisión calorífica	Factor de aislamiento		Perdida		
		Diámetro Nominal		Longitud	Presión	Temperatura	Entalpia evaporación		Observado	Optimo	Energía	Condensado	
		Pulg.	mm				m	Psig					°C
1	Salida de las calderas	6	152	30	100	169,9	489	2046	1212	0,30	0,15	19634,40	9,60
2	Distribución a evaporadores	6	152	50	100	169,9	489	2046	1212	0,25	0,15	21816,00	10,66
3	Ingreso al evaporador	18	457	8	30	130,5	516	2159	2332	0,3	0,15	10074,24	4,67
4	Al calentador Jugo Clarificado	4	102	15	30	130,5	516	2159	591	0,25	0,15	7978,50	3,70
5	Al secador y centrifuga	2	51	90	80	162,2	496	2075	454	0,25	0,15	14709,60	7,09
TOTAL											74212,74	35,71	

Las pérdidas de energía y condensado por enfriamiento no dependen del consumo de vapor de la planta, por consiguiente, calculando al consumo evaluado, se tiene un 0,0233 % ahorro.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 24. Reevaporizados perdidos en el retorno de condensados evaluado

N°	Descarga de condensado	Flujo % CL	Condiciones de descarga				Condiciones donde se evacua				% Reevaporizado
			presión manométrica	Tempe ratura	Entalpia liquida	Entalpia vapor	presión manométrica	Tempe ratura	Entalpia liquida	Entalpia vapor	
			Psig.	°C	Kcal/Kg	Kcal/Kg	Psig.	°C	Kcal/Kg	Kcal/Kg	
1	Del 1er Evaporador	35,7899	18,37	124,4	124,9	648,3	0	100	100,2	639,6	4,5864
2	Del Segundo evaporador	18,2488	7,28	111,6	112,0	643,9	0	100	100,2	639,6	2,1887
3	Del tercer y cuarto evaporador	18,8382	-2,77	94,2	94,3	637,4	0	100	100,2	639,6	0,0000
4	Del Calentador Jugo encalado I	6,295	7,28	111,6	112,0	643,9	0	100	100,2	639,6	2,1887
5	Del Calentador Jugo encalado II	4,4964	7,28	111,6	112,0	643,9	0	100	100,2	639,6	2,1887
6	Del Calentador Jugo encalado III	2,7416	18,37	124,4	124,9	648,3	0	100	100,2	639,6	4,5864
7	Del Calentador Jugo Clarificado	3,5843	30,00	134,5	135,1	651,7	0	100	100,2	639,6	6,4883
8	Tacho A	8,7245	18,37	124,4	124,9	648,3	0	100	100,2	639,6	4,5864
9	Tacho B	1,9463	18,37	124,4	124,9	648,3	0	100	100,2	639,6	4,5864
10	Tacho A	2,0501	18,37	124,4	124,9	648,3	0	100	100,2	639,6	4,5864
11	Secador	0,0424	80,00	162,2	163,7	659,7	0	100	100,2	639,6	11,7823
	Total	102,7575									47,7685

Fuente: Elaboración propia

Anexo 25. Equivalencia de los reevaporizados generados por el condensado evaluado con el vapor producido

N°	Descarga de condensado	Flujo reevaporizado % CL	Condiciones óptimas de descarga			Condiciones de vapor Producido		Ahorro de vapor de % CL
			presión	Entalpia	Entalpia	presión	Entalpia	
			manométrica	vapor	liquida	manométrica	vapor	
			Psig.	Kcal/Kg	Kcal/Kg	Psig.	Kcal/Kg	
1	Del 1er Evaporador	1,6415	0	639,6	100,2	100,00	661,7	1,57679
2	Del Segundo evaporador	0,3994	0	639,6	100,2	100,00	661,7	0,38367
3	Del tercer y cuarto evaporador	0,0000	0	639,6	100,2	100,00	661,7	0,00000
4	Del Calentador Jugo encalado I	0,1378	0	639,6	100,2	100,00	661,7	0,13235
5	Del Calentador Jugo encalado II	0,0984	0	639,6	100,2	100,00	661,7	0,09453
6	Del Calentador Jugo encalado III	0,1257	0	639,6	100,2	100,00	661,7	0,12079
7	Del Calentador Jugo Clarificado	0,2326	0	639,6	100,2	100,00	661,7	0,22340
8	Tacho A	0,4001	0	639,6	100,2	100,00	661,7	0,38437
9	Tacho B	0,0893	0	639,6	100,2	100,00	661,7	0,08575
10	Tacho A	0,0940	0	639,6	100,2	100,00	661,7	0,09032
11	Secador	0,0050	0	639,6	100,2	100,00	661,7	0,00480
	Total	3,2238						3,0968

Porcentaje de reducción de vapor generado del caldero 6, 84%

Fuente: Elaboración propia



Anexo 26. Reevaporizados perdidos en el retorno de condensados propuesto

N°	Descarga de condensado	Flujo  % CL	Condiciones de descarga				Condiciones donde se evacua				% Reevapo rizado
			presión manom étrica	Tempe ratura	Entalpia liquida	Entalpia vapor	presión manom étrica	Temper atura	Entalpia liquida	Entalpia vapor	
			Psig.	°C	Kcal/Kg	Kcal/Kg	Psig.	°C	Kcal/Kg	Kcal/Kg	
1	Del 1er Evaporador	37,1961	18,37	124,4	124,9	648,3	0	100	100,2	639,6	4,5864
2	Del Segundo evaporador	17,84	7,28	111,6	112,0	643,9	0	100	100,2	639,6	2,1887
3	Del tercer y cuarto evaporador	17,9294	-2,77	94,2	94,3	637,4	0	100	100,2	639,6	0,0000
4	Del Calentador Jugo encalado I	6,295	7,28	111,6	112,0	643,9	0	100	100,2	639,6	2,1887
5	Del Calentador Jugo encalado II	4,4964	7,28	111,6	112,0	643,9	0	100	100,2	639,6	2,1887
6	Del Calentador Jugo encalado III	2,7416	18,37	124,4	124,9	648,3	0	100	100,2	639,6	4,5864
7	Del Calentador Jugo Clarificado	3,5369	18,37	124,4	124,9	648,3	0	100	100,2	639,6	4,5864
8	Tacho A	7,5612	18,37	124,4	124,9	648,3	0	100	100,2	639,6	4,5864
9	Tacho B	1,6868	18,37	124,4	124,9	648,3	0	100	100,2	639,6	4,5864
10	Tacho A	1,7767	18,37	124,4	124,9	648,3	0	100	100,2	639,6	4,5864
11	Secador	0,0424	80,00	162,2	163,7	659,7	0	100	100,2	639,6	11,7823
	Total	101,1025									45,8665

Fuente: Elaboración propia

Anexo 27. Equivalencia de los reevaporizados generados por el condensado propuesto con el vapor producido

N°	Descarga de condensado	Flujo reevaporizado % CL	Condiciones óptimas de descarga			Condiciones de vapor Producido		Ahorro de vapor de % CL
			presión	Entalpia	Entalpia	presión	Entalpia	
			manométrica	vapor	liquida	manométrica	vapor	
			Psig.	Kcal/Kg	Kcal/Kg	Psig.	Kcal/Kg	
1	Del 1er Evaporador	1,7059	0	639,6	100,2	100,00	661,7	1,63874
2	Del Segundo evaporador	0,3905	0	639,6	100,2	100,00	661,7	0,37508
3	Del tercer y cuarto evaporador	0,0000	0	639,6	100,2	100,00	661,7	0,00000
4	Del Calentador Jugo encalado I	0,1378	0	639,6	100,2	100,00	661,7	0,13235
5	Del Calentador Jugo encalado II	0,0984	0	639,6	100,2	100,00	661,7	0,09453
6	Del Calentador Jugo encalado III	0,1257	0	639,6	100,2	100,00	661,7	0,12079
7	Del Calentador Jugo Clarificado	0,1622	0	639,6	100,2	100,00	661,7	0,15582
8	Tacho A	0,3468	0	639,6	100,2	100,00	661,7	0,33312
9	Tacho B	0,0774	0	639,6	100,2	100,00	661,7	0,07431
10	Tacho A	0,0815	0	639,6	100,2	100,00	661,7	0,07828
11	Secador	0,0050	0	639,6	100,2	100,00	661,7	0,00480
	Total	3,1312						3,0078

Porcentaje de reducción de vapor generado del caldero 6, 64%

Fuente: Elaboración propia

Anexo 28. Tabla de emisiones de tuberías de vapor a 100 y 80 Psig.

Tubería de vapor						
Presión manométrica Psig.	Temperatura °C	Diámetro		Temperatura ambiente	Diferencia de temperatura °C	Emisiones de tuberías W/m
		Pulg.	mm			
100	169,9	18	457	25,0	144,9	3517
100	169,9	16	406	25,0	144,9	3136
100	169,9	14	356	25,0	144,9	2756
100	169,9	12	305	25,0	144,9	2375
100	169,9	10	254	25,0	144,9	1994
100	169,9	8	203	25,0	144,9	1614
100	169,9	6	152	25,0	143,9	1224
100	169,9	5	127	25,0	144,9	1050
100	169,9	4	102	25,0	144,9	878
100	169,9	3	76	25,0	144,9	650
100	169,9	2 1/2	64	25,0	144,9	566
100	169,9	2	51	25,0	144,9	492
100	169,9	1 1/2	38	25,0	144,9	354
100	169,9	1	25	25,0	144,9	293
100	169,9	3/4	19	25,0	144,9	229
100	169,9	1/2	13	25,0	144,9	182
100	169,9	1	25	25,0	144,9	293
100	169,9	3/4	19	25,0	144,9	229
100	169,9	1/2	13	25,0	144,9	182
80	162,2	18	457	25,0	137,2	3233
80	162,2	16	406	25,0	137,2	2884
80	162,2	14	356	25,0	137,2	2534
80	162,2	12	305	25,0	137,2	2184
80	162,2	10	254	25,0	137,2	1834
80	162,2	8	203	25,0	137,2	1484
80	162,2	6	152	26,0	136,2	1128
80	162,2	5	127	25,0	137,2	968
80	162,2	4	102	25,0	137,2	810
80	162,2	3	76	25,0	137,2	592
80	162,2	2 1/2	64	25,0	137,2	522
80	162,2	2	51	25,0	137,2	454
80	162,2	1 1/2	38	25,0	137,2	327
80	162,2	1	25	25,0	137,2	270
80	162,2	3/4	19	25,0	137,2	212
80	162,2	1/2	13	25,0	137,2	168
80	162,2	1	25	25,0	137,2	270
80	162,2	3/4	19	25,0	137,2	212
80	162,2	1/2	13	25,0	137,2	168

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 29. Tabla de emisiones de tuberías de vapor a 30 y 20 Psig.

Tubería de vapor						
Presión manométrica Psig.	Temperatura °C	Diámetro		Temperatura ambiente	Diferencia de temperatura °C	Emisiones de tuberías W/m
		Pulg.	mm			
30	134,5	18	457	25,0	109,5	2332
30	134,5	16	406	25,0	109,5	2080
30	134,5	14	356	25,0	109,5	1829
30	134,5	12	305	25,0	109,5	1577
30	134,5	10	254	25,0	109,5	1326
30	134,5	8	203	25,0	109,5	1075
30	134,5	6	152	25,0	108,5	812
30	134,5	5	127	25,0	109,5	700
30	134,5	4	102	25,0	109,5	591
30	134,5	3	76	25,0	109,5	440
30	134,5	2 1/2	64	25,0	109,5	379
30	134,5	2	51	25,0	109,5	330
30	134,5	1 1/2	38	25,0	109,5	259
30	134,5	1	25	25,0	109,5	196
30	134,5	3/4	19	25,0	109,5	155
30	134,5	1/2	13	25,0	109,5	125
30	134,5	1	25	25,0	109,5	196
30	134,5	3/4	19	25,0	109,5	155
30	134,5	1/2	13	25,0	109,5	125
20	126,0	18	457	25,0	101,0	2051
20	126,0	16	406	25,0	101,0	1830
20	126,0	14	356	25,0	101,0	1609
20	126,0	12	305	25,0	101,0	1388
20	126,0	10	254	25,0	101,0	1167
20	126,0	8	203	25,0	101,0	946
20	126,0	6	152	25,0	100,0	718
20	126,0	5	127	25,0	101,0	616
20	126,0	4	102	25,0	101,0	516
20	126,0	3	76	25,0	101,0	390
20	126,0	2 1/2	64	25,0	101,0	337
20	126,0	2	51	25,0	101,0	292
20	126,0	1 1/2	38	25,0	101,0	231
20	126,0	1	25	25,0	101,0	174
20	126,0	3/4	19	25,0	101,0	137
20	126,0	1/2	13	25,0	101,0	112
20	126,0	1	25	25,0	101,0	174
20	126,0	3/4	19	25,0	101,0	137
20	126,0	1/2	13	25,0	101,0	112

Fuente: Elaboración propia.



Anexo 30. Tabla de emisiones de tuberías de vapor a 18,37 y 7,28 Psig.

Tubería de vapor				Temperatura ambiente	Diferencia de temperatura	Emisiones de tuberías
Presión manométrica	Temperatura	Diámetro				
		Pulg.	Mm			
Psig.	°C				°C	W/m
18,37	124,4	18	457	25,0	99,4	2004
18,37	124,4	16	406	25,0	99,4	1788
18,37	124,4	14	356	25,0	99,4	1572
18,37	124,4	12	305	25,0	99,4	1356
18,37	124,4	10	254	25,0	99,4	1141
18,37	124,4	8	203	25,0	99,4	925
18,37	124,4	6	152	25,0	98,4	701
18,37	124,4	5	127	25,0	99,4	602
18,37	124,4	4	102	25,0	99,4	504
18,37	124,4	3	76	25,0	99,4	381
18,37	124,4	2 1/2	64	25,0	99,4	329
18,37	124,4	2	51	25,0	99,4	286
18,37	124,4	1 1/2	38	25,0	99,4	226
18,37	124,4	1	25	25,0	99,4	170
18,37	124,4	3/4	19	25,0	99,4	134
18,37	124,4	1/2	13	25,0	99,4	110
18,37	124,4	1	25	25,0	99,4	170
18,37	124,4	3/4	19	25,0	99,4	134
18,37	124,4	1/2	13	25,0	99,4	110
7,284	111,6	18	457	25,0	86,6	1684
7,284	111,6	16	406	25,0	86,6	1503
7,284	111,6	14	356	25,0	86,6	1321
7,284	111,6	12	305	25,0	86,6	1140
7,284	111,6	10	254	25,0	86,6	958
7,284	111,6	8	203	25,0	86,6	777
7,284	111,6	6	152	25,0	85,6	588
7,284	111,6	5	127	25,0	86,6	505
7,284	111,6	4	102	25,0	86,6	423
7,284	111,6	3	76	25,0	86,6	321
7,284	111,6	2 1/2	64	25,0	86,6	275
7,284	111,6	2	51	25,0	86,6	239
7,284	111,6	1 1/2	38	25,0	86,6	191
7,284	111,6	1	25	25,0	86,6	143
7,284	111,6	3/4	19	25,0	86,6	112
7,284	111,6	1/2	13	25,0	86,6	91
7,284	111,6	1	25	25,0	86,6	143
7,284	111,6	3/4	19	25,0	86,6	112
7,284	111,6	1/2	13	25,0	86,6	91

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 31. Energía perdida de fugas de vapor al ambiente (Referencia 25°C)

Presión manométrica		Vapor	Referencia			Energía perdida
Psig.	Kg/cm2	Temperatura °C	Entalpia vapor Kcal/Kg	Temperatura °C	Entalpia liquida Kcal/Kg	Kcal /Kg
200	14,058	197,7	667,23	25	25,05	642,18
195	13,707	196,6	667,04	25	25,05	641,99
190	13,355	195,4	666,87	25	25,05	641,82
185	13,004	194,3	666,69	25	25,05	641,64
180	12,652	193,1	666,48	25	25,05	641,43
175	12,301	191,9	666,28	25	25,05	641,23
170	11,950	190,7	666,07	25	25,05	641,02
165	11,598	189,4	665,84	25	25,05	640,79
160	11,247	188,1	665,59	25	25,05	640,54
155	10,895	186,8	665,36	25	25,05	640,31
150	10,544	185,5	665,09	25	25,05	640,04
145	10,192	184,1	664,82	25	25,05	639,77
140	9,841	182,2	664,55	25	25,05	639,50
135	9,489	181,3	664,23	25	25,05	639,18
130	9,138	179,8	663,93	25	25,05	638,88
125	8,786	178,3	663,62	25	25,05	638,57
120	8,435	176,7	663,28	25	25,05	638,23
115	8,083	175,1	662,91	25	25,05	637,86
110	7,732	173,4	662,54	25	25,05	637,49
105	7,381	171,7	662,12	25	25,05	637,07
100	7,029	169,9	661,69	25	25,05	636,64
95	6,678	168,1	661,26	25	25,05	636,21
90	6,326	166,2	660,79	25	25,05	635,74
85	5,975	164,2	660,27	25	25,05	635,22
80	5,623	162,2	659,74	25	25,05	634,69
75	5,272	160,0	659,18	25	25,05	634,13
70	4,920	157,8	658,59	25	25,05	633,54
65	4,569	155,4	657,93	25	25,05	632,88
60	4,217	152,9	657,24	25	25,05	632,19
55	3,866	150,4	656,49	25	25,05	631,44
50	3,515	147,6	655,66	25	25,05	630,61
45	3,163	144,7	654,82	25	25,05	629,77
40	2,812	141,5	653,88	25	25,05	628,83
35	2,460	138,1	652,84	25	25,05	627,79
30	2,109	134,5	651,66	25	25,05	626,61
25	1,757	130,4	650,36	25	25,05	625,31
20	1,406	126,0	648,85	25	25,05	623,80
15	1,054	121,0	647,11	25	25,05	622,06
10	0,703	115,2	645,11	25	25,05	620,06
5	0,351	108,4	642,69	25	25,05	617,64
0	0,000	100,0	639,56	25	25,05	614,51
-5	-0,351	88,7	635,27	25	25,05	610,22

Fuente: Elaboración propia

Anexo 32. Porcentaje de reevaporizado de condensados (Referencia 100°C)

Agua condensada				Medio flash			% Reeva porizado
Tempe ratura	Entalpia liquida	Presión manométrica		Tempe ratura	Entalpia liquida	Entalpia vapor	
°C	Kcal/Kg	Psig.	Kg/cm <sup>2</sup>	°C	Kcal/Kg	Kcal/Kg	
180	182,39	0	0	100	100,15	639,56	15,25
178	180,30	0	0	100	100,15	639,56	14,86
176	178,22	0	0	100	100,15	639,56	14,47
174	176,10	0	0	100	100,15	639,56	14,08
172	173,98	0	0	100	100,15	639,56	13,69
170	171,92	0	0	100	100,15	639,56	13,30
168	169,80	0	0	100	100,15	639,56	12,91
166	167,73	0	0	100	100,15	639,56	12,53
164	165,63	0	0	100	100,15	639,56	12,14
162	163,54	0	0	100	100,15	639,56	11,75
160	161,47	0	0	100	100,15	639,56	11,37
158	159,38	0	0	100	100,15	639,56	10,98
156	157,32	0	0	100	100,15	639,56	10,60
154	155,27	0	0	100	100,15	639,56	10,22
152	153,17	0	0	100	100,15	639,56	9,83
150	151,08	0	0	100	100,15	639,56	9,44
148	149,02	0	0	100	100,15	639,56	9,06
146	146,99	0	0	100	100,15	639,56	8,68
144	144,91	0	0	100	100,15	639,56	8,30
142	142,86	0	0	100	100,15	639,56	7,92
140	140,82	0	0	100	100,15	639,56	7,54
138	138,78	0	0	100	100,15	639,56	7,16
136	136,76	0	0	100	100,15	639,56	6,79
134	134,68	0	0	100	100,15	639,56	6,40
132	132,64	0	0	100	100,15	639,56	6,02
130	130,62	0	0	100	100,15	639,56	5,65
128	128,53	0	0	100	100,15	639,56	5,26
126	126,51	0	0	100	100,15	639,56	4,89
124	124,49	0	0	100	100,15	639,56	4,51
122	122,46	0	0	100	100,15	639,56	4,14
120	120,41	0	0	100	100,15	639,56	3,76
118	118,37	0	0	100	100,15	639,56	3,38
116	116,32	0	0	100	100,15	639,56	3,00
114	114,27	0	0	100	100,15	639,56	2,62
112	112,31	0	0	100	100,15	639,56	2,25
110	110,33	0	0	100	100,15	639,56	1,89
108	108,28	0	0	100	100,15	639,56	1,51
106	106,26	0	0	100	100,15	639,56	1,13
104	104,24	0	0	100	100,15	639,56	0,76
102	102,15	0	0	100	100,15	639,56	0,37
100	100,15	0	0	100	100,15	639,56	0,00

Fuente: Elaboración propia

Anexo 33. Energía perdida por enfriamiento de condensados (Referencia 25°C)

Agua condensada				
Caliente		Frio		Energía perdida
Temperatura	Entalpia liquida	Temperatura	Entalpia liquida	
°C	Kcal/kg	°C	Kcal/kg	Kcal /kg
97	97,12	25	25,05	72,07
96	96,12	25	25,05	71,07
95	95,12	25	25,05	70,07
94	94,11	25	25,05	69,06
93	93,10	25	25,05	68,05
92	92,09	25	25,05	67,04
91	91,09	25	25,05	66,04
90	90,08	25	25,05	65,03
89	89,08	25	25,05	64,03
88	88,07	25	25,05	63,02
87	87,07	25	25,05	62,02
86	86,07	25	25,05	61,02
85	85,06	25	25,05	60,01
84	84,06	25	25,05	59,01
83	83,06	25	25,05	58,01
82	82,05	25	25,05	57,00
81	81,05	25	25,05	56,00
80	80,07	25	25,05	55,02
79	79,09	25	25,05	54,04
78	78,08	25	25,05	53,03
77	77,06	25	25,05	52,01
76	76,03	25	25,05	50,98
75	75,03	25	25,05	49,98
74	74,03	25	25,05	48,98
73	73,03	25	25,05	47,98
72	72,03	25	25,05	46,98
71	71,03	25	25,05	45,98
70	70,03	25	25,05	44,98
69	69,03	25	25,05	43,98
68	68,02	25	25,05	42,97
67	67,02	25	25,05	41,97
66	66,02	25	25,05	40,97
65	65,02	25	25,05	39,97
60	60,03	25	25,05	34,98
55	55,08	25	25,05	30,03
50	50,06	25	25,05	25,01
45	45,04	25	25,05	19,99
40	40,05	25	25,05	15,00
35	35,06	25	25,05	10,01
30	30,04	25	25,05	4,99
25	25,05	25	25,05	0,00

Fuente: Elaboración propia



Anexo 34. Energía perdida por enfriamiento ligero de condensados

Agua condensada				
Caliente		Frio		Energía perdida
Temperatura	Entalpia liquida	Temperatura	Entalpia liquida	
°C	Kcal/kg	°C	Kcal/kg	
98	98,13	97	97,12	1,01
98	98,13	96	96,12	2,01
98	98,13	95	95,12	3,01
98	98,13	94	94,11	4,02
98	98,13	93	93,10	5,03
98	98,13	92	92,09	6,04
98	98,13	91	91,09	7,04
97	97,12	96	96,12	1,00
97	97,12	95	95,12	2,01
97	97,12	94	94,11	3,01
97	97,12	93	93,10	4,02
97	97,12	92	92,09	5,03
97	97,12	91	91,09	6,04
97	97,12	90	90,08	7,04
96	96,12	95	95,12	1,00
96	96,12	94	94,11	2,01
96	96,12	93	93,10	3,02
96	96,12	92	92,09	4,03
96	96,12	91	91,09	5,03
96	96,12	90	90,08	6,04
96	96,12	89	89,08	7,04
95	95,12	94	94,11	1,01
95	95,12	93	93,10	2,02
95	95,12	92	92,09	3,03
95	95,12	91	91,09	4,03
95	95,12	90	90,08	5,04
95	95,12	89	89,08	6,04
95	95,12	88	88,07	7,05
94	94,11	93	93,10	1,01
94	94,11	92	92,09	2,02
94	94,11	91	91,09	3,02
94	94,11	90	90,08	4,03
94	94,11	89	89,08	5,03
94	94,11	88	88,07	6,04
94	94,11	87	87,07	7,04
93	93,10	92	92,09	1,01
93	93,10	91	91,09	2,02
93	93,10	90	90,08	3,02
93	93,10	89	89,08	4,03
93	93,10	88	88,07	5,03
93	93,10	87	87,07	6,03
93	93,10	86	86,07	7,03

Fuente: Elaboración propia

Anexo 35. Fotos de las actividades de auditoría realizadas por el investigador



---

**M(o) MAXIMO ROMERO ORTIZ**  
**ASESOR**

---

**Dr. BERARDO BEDER RUIZ SANCHEZ**  
**PRESIDENTE**

---

**Dr. LUIS ALBERTO CARDENAS SALDAÑA**  
**SECRETARIO**

---

**M(o).. ALGEMIRO JULIO MUÑOZ VILELA**  
**VOCAL**

