

ESTUDIO TÉCNICO Y DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y
DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN LA PLANTA DE GASEOSAS HIPINTO S.A.S
PIEDECUESTA

ROBIN LEONARDO JAIMES BLANCO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA
BUCARAMANGA, COLOMBIA
2021

ESTUDIO TÉCNICO Y DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y
DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN LA PLANTA DE GASEOSAS HIPINTO S.A.S
PIEDECUESTA

ROBIN LEONARDO JAIMES BLANCO

Trabajo de grado para optar al título de Ingiero en Energía

Director de proyecto
M.Sc. Carlos Alirio Díaz González

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN ENERGÍA
BUCARAMANGA, COLOMBIA
2021

DEDICATORIA

Este proyecto es dedicado a mi familia por brindarme el apoyo necesario para culminar con éxito mis estudios, ser pilares fundamentales en mi preparación y motivación para nunca desistir. A mis amigos, compañeros y todas las personas que de una u otra forma aportaron en mi crecimiento personal y profesional brindándome su apoyo o transmitiéndome sus conocimientos para así poder afrontar con éxito múltiples situaciones logrando con cada uno de mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento de este proyecto primeramente va dirigido a Dios por guiar mis pasos y brindarme salud en todo momento, a mi familia por el esfuerzo y el apoyo que hicieron para la obtención de mi título y creer siempre en mis capacidades, a mis amigos por la confianza que me brindaron, a mi tutor M.Sc. Carlos Alirio Díaz González y a Gaseosas Hipinto S.A.S. Piedecuesta quienes hicieron posible el desarrollo de este proyecto mediante su acompañamiento y conocimiento brindado, a los docentes quienes fueron guía en mi carrera estudiantil.

Tabla de contenido

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
INTRODUCCIÓN	2
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.1 Identificación del problema	5
1.2 Identificación de la empresa	6
2. MARCO DE REFERENCIA	12
2.1 Marco Teórico.....	12
2.2 Marco Conceptual.....	13
2.2.1 Calderas	14
2.2.2 Tubería	15
2.2.3 Trampas de condensado	16
2.2.4 Filtros	18
2.2.5 Separadores de humedad	19
2.2.6 Manifold- Distribuidor de vapor	20
2.2.7 Junta tipo acordeón	20
2.2.8 Soportes	21
2.2.9 Aislamiento	22
2.2.10 Tanque de diario	23
3. OBJETIVOS.....	25
3.1 Objetivo General.....	25
3.2 Objetivos Específicos.....	25

4.	METODOLOGÍA.....	26
4.1	Diagnóstico del funcionamiento del sistema de generación y distribución del vapor.....	26
4.2	Desarrollar el problema de optimización.....	26
4.3	Plantear propuestas de mejora de desempeño del sistema.	26
5.	RESULTADOS	27
5.1	Diagnóstico de la situación actual de Gas Natural.....	27
5.1.1	Comportamiento del Gas Natural periodos 2020-2 y 2021-1	27
5.1.2	Consumo de Gas Natural con respecto a las cajas unitarias producidas 29	
5.2	Composición de los gases de escape de las calderas.	35
6.	EFICIENCIA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR.....	36
6.1	Flujo de gas	36
6.2	Flujo de Vapor	38
6.3	Eficiencia del Sistema de Distribución de Vapor.....	38
6.4	Combustión Teórica Gas Oriente Full Carga	39
6.5	Combustión Real Gas Oriente Full Carga.....	40
6.6	Combustión Real Gas Oriente Modulación y Bajo Fuego.....	51
7.	OBSERVACIONES.....	52
8.	RECOMENDACIONES DE MEJORAS	53
8.1	Revisión y evaluación de accesorios y trampas con fugas de vapor	53
8.2	Plan de calibración de las calderas	59
8.3	Incremento de la temperatura de agua de alimentación de las calderas. .	59
8.4	Implementación de LUP para correcto purgado de la red de Vapor.	60
8.5	Sistema separador de humedad.....	62

8.6	Purgas automáticas de fondo de Caldera.....	64
9.	ANÁLISIS FINANCIERO DE LAS RECOMENDACIONES DE MEJORAS.....	65
9.1	Separador de humedad	65
9.2	Calibración de la Caldera.....	69
9.3	Trampas de Vapor	71
10	OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR	73
10.1	Análisis del Vapor Flash	73
10.1.1	Cálculo del % de Vapor Flash generado	75
10.1.2	Dimensionamiento de la nueva línea de vapor	78
10.1.3	Equipo para el aprovechamiento del vapor flash	80
10.1.4	Ajuste de la combustión	85
10.1.5	Cambio de trampa de vapor.....	86
10.1.6	Separadores de gotas en otros equipos.....	86
10.2	Ahorro de Gas Natural por implementación de mejoras	86
10.3	Problema de Optimización.....	88
	RESULTADOS.....	90
	CONCLUSIÓN GENERAL.....	94
	CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.....	95
	BIBLIOGRAFÍA.....	96

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Ubicación de la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S. Piedecuesta (Fuente:(Google Maps)).....	6
Ilustración 2. Logo oficial de la empresa de Gaseosas Hipinto S.A.S. (Fuente: (Hipinto Postobón)	7
Ilustración 3. Plano P&ID Sistema de Generación de vapor (Fuente: (Hipinto S.A.S.))	11
Ilustración 4. Calderas pirotubulares de la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S.	14
Ilustración 5. Tubería de Gas Natural	15
Ilustración 6. Tubería de agua suavizada	15
Ilustración 7. Tubería de Agua de Alimentación Caldera	15
Ilustración 8. Tubería de Condensados	15
Ilustración 9. Tubería de Vapor.....	16
Ilustración 10. Trampa de vapor termostática bimetálica (Fuente: (Sarco, Referencia Técnica Calderas y Accesorios, 1999)) (Gaitán, 2011).....	17
Ilustración 11. Trampas de vapor mecánica de flotador (Fuente; (Sarco, Referencia Técnica Calderas y Accesorios, 1999)) (Gaitán, 2011).....	17
Ilustración 12. Trampas de vapor mecánica de balde invertido (Fuente; (regionales, 2007)) (Gaitán, 2011).....	18
Ilustración 13. Trampa termodinámica (Fuente; (Sarco, Referencia Técnica Calderas y Accesorios, 1999)) (Gaitán, 2011)	18
Ilustración 14. Filtros de vapor (Fuente; (Spirax Sarco, Manual de Filtros)) (Gaitán, 2011).....	19
Ilustración 15. Separador de gotas (Fuente; (Sarco, Distribución del Vapor, 1998)) (Gaitán, 2011).....	19
Ilustración 16. Distribuidor de vapor en la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S.	20
Ilustración 17. Junta tipo acordeón en la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S.	21

Ilustración 18. Soportes tipo patín (Fuente: (Sarco, Referencia Técnica Calderas y Accesorios, 1999)) (Gaitán, 2011).	22
Ilustración 19. Tanque de diario de la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S.	23
Ilustración 20. Consumo de Gas Natural en los años 2020-2021	29
Ilustración 21. Consumo de Gas Natural Vs Cajas Unitarias en los años 2020-2021	33
Ilustración 22. Cajas producidas por metro cúbico de gas natural consumido	34
Ilustración 23. Analizador de gases de combustión PHOTON - MADUR GA – 21	35
Ilustración 24. Analizador de gases Bacharach PCA400	36
Ilustración 25. Temperaturas de las tapas de la caldera y de la superficie cilíndrica	49
Ilustración 26. Flux de calor por radiación	49
Ilustración 27. Fugas de vapor en el sistema de Distribución (Fuente: Gaseosas Hipinto S.A.S).	54
Ilustración 28. Trampa de vapor en fallo - Lavadora de Botellones (Fuente: Gaseosas Hipinto S.A.S)	58
Ilustración 29. Vapor venteado a la atmósfera a causa de la trampa en fallo	58
Ilustración 30. Termopozo para el agua de alimentación de las Calderas	59
Ilustración 31. LUP para el correcto purgador de la red de vapor.....	61
Ilustración 32. Separador de humedad	62
Ilustración 33. Consumo de vapor de la lavadora de botellas.....	63
Ilustración 34. Kit estación de secado.....	63
Ilustración 35. Muestra de agua de purga de Caldera (Nalco Water)	64
Ilustración 36. Concentración de SDT	64
Ilustración 37. Purga de fondo automática.....	65
Ilustración 38. Curva P-V del vapor	66
Ilustración 39. Calculadora costo del vapor (Spirax Sarco)	68
Ilustración 40. Comportamiento del gas natural y C.U. luego de la calibración – Año 2020	69
Ilustración 41. Ahorro generador por calibraciones - año 2020	70

Ilustración 42. Comportamiento del gas natural y C.U. luego de la calibración – Año 2021	70
Ilustración 43. Purgador de vapor (TLV) (vapor, Vapor Flash, 2020).....	71
Ilustración 44. Costo del vapor (Fuente: Calculadora Spirax Sarco).....	73
Ilustración 45. Evaporación Flash durante la descarga de condensado (vapor, Vapor Flash, 2020)	74
Ilustración 46. Ejemplo de un sistema de recuperación de vapor flash (vapor, Vapor Flash, 2020)	74
Ilustración 47. Calculadora: Vapor Flash generado por condensado caliente (vapor, Calculadora: Vapor Flash generado por condensado caliente)	76
Ilustración 48. Vapor flash generado en el tanque de venteo	77
Ilustración 49. Calculadora: Dimensionamiento de Tubería para vapor por caída de presión (vapor, Calculadora: Dimensionamiento de Tubería para vapor por caída de presión).....	79
Ilustración 50. Resultados calculadora: Dimensionamiento de Tubería para vapor por caída de presión	79
Ilustración 51. Intercambiador de calor Turb Flow tipo EVC	80
Ilustración 52. Condiciones límite del intercambiador de calor Turb Flow tipo EVC	81
Ilustración 53. Sistema con implementación de EVC (Fuente:Spirax Sarco).....	82
Ilustración 54. Modelos disponibles de intercambiadores tipo EVC (Fuente: Spirax Sarco)	82
Ilustración 55. Dimensión peso del EVC (Fuente: Spirax Sarco).....	83
Ilustración 56. Estimación de ahorros obtenidos por un EVC (Fuente: Spirax Sarco)	85
Ilustración 57. Inversión Vs Δ indicador	89
Ilustración 58. Primer escenario de optimización.....	91
Ilustración 59. Segundo escenario de optimización	91
Ilustración 60. Tercer escenario de optimización	92
Ilustración 61. Cuarto escenario de optimización.....	92

Ilustración 62. Quinto escenario de optimización.....93
Ilustración 63. Sexto escenario de optimización93
Ilustración 64. Séptimo escenario de optimización94

Lista de Tablas

Tabla 1. Actividades y parámetros de control en el lavado de botellones, cajas y huacales	8
Tabla 2. Actividades y parámetros de control en el lavado de envase retornable ...	9
Tabla 3. Variables establecidas Agua de alimentación de las calderas (Fuente: Nalco Water)	12
Tabla 4. Consumo de Gas Natural, años 2020-2021	28
Tabla 5. Cajas producidas en los años 2020-2021, en su respectivo formato	30
Tabla 6. Formatos con su respectivo factor de conversión	31
Tabla 7. Cajas Unitarias en los años 2020-2021	32
Tabla 8. Análisis de gases en base seca	36
Tabla 9. Composición de los gases de escape de la caldera	37
Tabla 10. Flujos a distintos modos de operación	38
Tabla 11. Constituyentes a full carga	39
Tabla 12. Propiedades del agua saturada (liquido-vapor)	43
Tabla 13. Propiedades del agua saturada (liquido-vapor): Tabla de temperaturas	44
Tabla 14. Propiedades del agua saturada (liquido-vapor): Tabla de presiones	46
Tabla 15. Entalpía, entropía y energía libre de Gibbs	47
Tabla 16. Entalpías de formación de productos y reactivos.....	48
Tabla 17. Pérdidas de calor de la caldera.....	50
Tabla 18. Pérdidas por radiación	50
Tabla 19. Condiciones de aireación de la combustión.....	51
Tabla 20. Pérdidas por calor sensible de humos	52
Tabla 21. Pérdidas y eficiencias a diferentes condiciones de operación (M.Sc, 2021)	52
Tabla 22. Condición de las trampas de vapor en el sistema de distribución de vapor (Fuente: Gaseosas Hipinto S.A.S)	57
Tabla 23. Análisis financiero del separador de humedad	68
Tabla 24. Ahorro generador por calibraciones - año 2021	70

Tabla 25. Ahorro promedio generador por calibraciones	71
Tabla 26. Información de la planta.....	72
Tabla 27. Análisis Financiero Trampa de Vapor	73
Tabla 28. Propiedades del agua (Renedo).....	77
Tabla 29. Características y beneficios del EVC (Fuente: Spirax Sarco)	81
Tabla 30. Valor presente neto de ahorros generados por la trampa de vapor	87
Tabla 31. Metros cúbicos ahorrados e inversión por mejora	87
Tabla 32. Aumento del indicador por mejora	88
Tabla 33. Inversión ajustada debido a factores de confiabilidad.....	89

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un estudio técnico y de optimización del sistema de generación y distribución de vapor de la planta de gaseosas Hipinto S.A.S. con el fin diagnosticar e identificar el comportamiento actual y las falencias que se presentan en sistema de generación y red de distribución de vapor para realizar propuestas mejoras buscando la implementación de las mismas y de esta manera mejorar el desempeño del sistema de generación y distribución de vapor, contribuyendo en el aumento del indicador de gas natural

ABSTRACT

In the current document, describes a technical and optimization study of the steam generation and distribution system of the Hipinto S.A.S. soda plant was carried out in order to diagnose and identify the current behavior and deficiencies in the steam generation system and distribution network to make proposals for improvements seeking their implementation and thus improve the performance of the steam generation and distribution system, contributing to the increase of the natural gas indicator.

INTRODUCCIÓN

La idea fundamental del presente trabajo es realizar un estudio técnico y de optimización en la generación y distribución del vapor buscando aumentar la eficiencia del sistema, tanto de la maquinaria como los procesos y controlar la prevención de fugas de vapor.

A medida que los países en desarrollo comienzan gradualmente a desarrollar sus industrias y a participar en el comercio mundial, el aumento de los costos de la energía y los aumentos sustanciales previstos en la demanda de energía hacen que la eficiencia energética sea una prioridad máxima. Por un lado, la eficiencia energética tiene importancia comercial porque puede disminuir sobrecostos, aumentar la rentabilidad de la empresa, optimizar el uso de recursos y reducir la generación de desechos. Por otro lado, la eficiencia energética ayuda a reducir el impacto negativo del uso y el consumo de energía en el medio ambiente; un enfoque más consciente de los recursos permite que se haga más con menos impactando de manera positiva en la productividad y competitividad.

Según la UPME en su manual de optimización de sistemas de vapor industrial, menciona que el área de generación de vapor es el foco de todos los estudios de optimización de sistema de vapor. Esto se explica porque es el lugar donde se suministra energía en forma de combustible para generar vapor. Generalmente, el combustible que debe comprarse a un precio determinado libera una determinada cantidad de energía durante el proceso de combustión.

Las calderas que capturan esta energía para producir vapor son ampliamente utilizadas en fines industriales, semi-industriales o domésticos. Sus fines son la generación de energía, procesos químicos, calefacción, agua caliente sanitaria, fábricas que calientan fluidos y aire, evaporación, en hospitales, industrias textiles, aplicaciones en la industria alimenticia, calentamiento de agua en hoteles, piscinas, hogares, movimiento de turbinas, etc.

En los países más industrializados en Sudamérica como Brasil, Argentina y Colombia, existen muchas empresas relacionadas con la producción de calderas de alta calidad, debido a que existe un mercado mayor y proliferación en el uso y eficiencia de las calderas teniendo en cuenta que las empresas trabajan de acuerdo a normas internacionales, por lo que el costo de las calderas suele ser elevado.

(UPME, 2018)

El uso de vapor en la industria está muy generalizado. En la industria en promedio el uso de energía generada a partir del vapor industrial podría llegar estar entre el 35% y el 40 % del uso energético de las instalaciones. Por lo tanto, es muy importante optimizar estos sistemas y minimizar sus costos operativos. (UPME, 2018)

El vapor se utiliza como fuente de energía, se puede utilizar para calefacción y para ciertos procesos industriales. El vapor se transporta desde la caldera a un lugar específico a través de una red de distribución (sistema de tuberías), donde se utilizar para realizar una labor o trabajo en un proceso o maquinaria.

La importancia radica en el diagnóstico del sistema de distribución de vapor y accesorios, sin descuidar el mantenimiento preventivo y correctivo de las trampas de vapor para evitar problemas de condensado, y evitar sobrecostos por fugas de vapor. (industria, 2021)

Con respecto a las trampas de vapor, estas son empleadas para funciones de trascendencia, es decir, cuando el sistema de vapor se interrumpe o es baja la calidad del vapor, ingresa aire en las tuberías ocupando espacio del vapor en compañía del condensado generado, por esta razón es importante desalojar este condensado en el momento en que van a operar los sistemas. También se realiza esta actividad por cuestiones de seguridad de las tuberías, ya que cuando el sistema está en estado 0, la temperatura del agua de alojada en la tubería será temperatura ambiente que, al entrar en contacto con el vapor proveniente de las calderas podría ocasionar golpes de ariete en las tuberías del sistema.

En función de lo expuesto, este trabajo describirá un panorama actual del sistema de generación y distribución de vapor en la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S., así mismo se propone el mejoramiento y solución a algunos problemas que aparecen en dicho sistema.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

Actualmente la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S. cuenta con una Sala de Calderas para la generación y distribución del vapor en planta, esta sala dispone de dos (2) calderas pirotubulares de 200 BHP cada una de la marca JCT, las cuales se les da un uso frecuente, ya que la planta fue diseñada para trabajar 24 horas por 7 días a la semana, siendo esta situación un punto muy importante para el deterioro de los componentes que se encuentran en las líneas debido a sus cargas de trabajo. Dicho escenario puede conllevar a bajo rendimiento y operaciones inadecuadas, lo cual incrementa directamente los costos de operación y mantenimiento. Se hace necesario e indispensable darle solución a esta problemática, con el fin de mejorar el desempeño al sistema de generación de vapor, lo cual permitirá un mejor uso de los recursos energéticos y contribuir a la gestión energética de la planta. (Gaitán, 2011)

Con base en este problema identificado se formula la siguiente pregunta cuyas respuestas darán una idea de la solución del problema: ¿Cuáles podrían ser las propuestas para mejorar el rendimiento del sistema de generación y distribución del vapor que permitan obtener un uso racional y eficiente de la energía, reducir el impacto ambiental y contribuir al funcionamiento óptimo del sistema?

La solución a este problema se justifica en que el sistema de generación y distribución de vapor es fundamental para el funcionamiento muchos procesos productivos en la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S., ya que dichos procesos necesitan de vapor a altas presiones y temperaturas para ser aprovechados en los procesos. Al ser una planta de trabajo 24/7, el funcionamiento de las calderas representa un alto costo de operación por lo cual es conveniente controlar la optimización del sistema para tener un proceso más eficiente y reducir los costos de producción.

Al buscar y proponer la optimización de operación del sistema de generación y distribución de vapor se obtendrán beneficios como:

- Mayor control sobre el consumo de combustibles en cada una de las calderas.
- Generación de vapor con menor consumo de Gas Natural
- Reducción de costos de operación y emisiones contaminantes del medio ambiente.

1.2 Identificación de la empresa

Durante más de 67 años la empresa de Gaseosas Hipinto S.A.S. se ha dedicado a la elaboración de bebidas no alcohólicas, agua mineral y otras aguas embotelladas, experiencia que le ha permitido obtener un reconocimiento de calidad en sus productos.

Está ubicada en VIA GUATIGUARA KM 3, PIEDECUESTA, SANTANDER y cada año persigue la excelencia en sus productos procurando obtener alta satisfacción de los clientes, por lo cual cuentan con personal altamente capacitado para cumplir con todos los estándares de la compañía.



*Ilustración 1. Ubicación de la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S. Piedecuesta
(Fuente:(Google Maps))*



Ilustración 2. Logo oficial de la empresa de Gaseosas Hipinto S.A.S. (Fuente: (Hipinto | Postobón)

La compañía implementa la innovación constante de productos, lo que le ha llevado a tener una diversidad de productos que amplía la participación en el mercado nacional e internacional y de esta manera logra ofrecer variedad de opciones a sus clientes.

En la industria de bebidas, las calderas que queman gas natural, diésel, gas licuado de petróleo, aceite ligero y biomasa se utilizan para generar vapor de alta temperatura donde sus usos son: limpieza, destilación, fermentación, etc... Esto se logra haciendo pasar una cantidad determinada de vapor a las condiciones deseadas a través de intercambiadores de calor, el vapor transfiere entonces parte de su energía térmica al fluido que pasa del otro lado de las paredes del intercambiador de calor (dependerá del proceso y del producto). Una vez que el vapor ha cedido su energía en este proceso, parte de él se condensara volviendo al estado líquido.

Para la producción de este vapor la caldera juega un papel importante es por ello que se debe de tener un cuidado especial con sus mantenimientos, así como el

cuidado con el agua que entra al sistema. Otro punto importante es sacarle el máximo provecho a la caldera teniendo la máxima eficiencia de esta.

El vapor generado por las calderas pirotubulares en la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S. es utilizado en diferentes procesos, entre los cuales están: Realización de CIP's (Clean In Place) en la sala de Jarabes y la PTAP (Planta de Tratamiento de Agua Potable); también es usado en procesos de limpieza por las diferentes lavadoras en las líneas de producción para el lavado de los envases retornables, huacales, cajas genéricas y botellones.

- **Lavado de botellones, cajas genéricas y huacales:**

- ✓ **Controlar las variables del proceso:** Durante el proceso de lavado el Jefe y/o Supervisor de Producción debe controlar las variables y realizar las inspecciones al producto terminado.

Después de realizar el control de las variables del proceso, el Jefe y/o Supervisor de Producción debe registrar la información generada en el proceso usando el sistema SAP. Se debe escribir el nombre del funcionario que cierra el lote en el texto explicativo del lote de inspección correspondiente.

Actividad del proceso donde es necesario el uso de vapor:

Actividad de control	Parámetro
Temperatura Solución Detergente	65°C ± 5°C

Tabla 1. Actividades y parámetros de control en el lavado de botellones, cajas y huacales

Manejo de la variable fuera de control: Si la temperatura se encuentra por fuera de parámetros, el operario encargado debe suspender el proceso y avisar al área Mantenimiento de Maquinaria para que revise el sistema controlador de vapor. Sólo se debe reanudar el proceso cuando se obtenga el parámetro establecido. En caso de que la temperatura se encuentra por debajo del parámetro establecido, el Jefe y/o Supervisor de Producción debe retener el producto terminado envasado desde el momento en que se realizó la última

verificación con resultados dentro de parámetros hasta que se detectó el valor fuera de especificaciones y solicitar al área de Gestión de Calidad para que realice siembra microbiológica de los botellones lavados, tomando como muestra uno por cada boquilla de lavado. Si alguno de los resultados microbiológicos se encuentra por fuera de parámetros, el Jefe de Gestión Calidad debe informar al Jefe y/o Supervisor de Producción para que proceda a separar y desechar el producto terminado retenido, en caso contrario puede ser liberado al mercado.

- **Lavado de envase retornable:** En esta lavadora se realiza el lavado de envase personal 250 ml, 350 ml y envase familiar Litrón (1250 ml.). La lavadora cuenta con 5 tanques de los cuales 4 de ellos debes ser calentados por medio de intercambiadores de calor tubulares externos de poco mantenimiento.

Actividad del proceso donde es necesario el uso de vapor:

Actividad de control	Parámetro
Temperatura de los Tanques	T1: 67°C ± 2°
	T2: 67°C ± 2°
	T3: 67°C ± 2°
	T4: 67°C ± 2°

Tabla 2. Actividades y parámetros de control en el lavado de envase retornable

Manejo de la variable: Si la temperatura se encuentra por fuera de los parámetros establecidos, se debe comunicar la situación al área de Mantenimiento de Maquinaria y suspender la entrada de envase a la lavadora hasta que se normalicen las condiciones de operación.

En el siguiente plano se logra apreciar una vista del sistema de generación vapor, el recorrido del vapor hacia la red de distribución y cuando se condensa este es capturado por las trampas llevando el condensado por la red de recirculación para dirigirlos al tanque de almacenamiento y finalmente reingresarlo a las calderas como agua de alimentación. (Bautista, 2017)

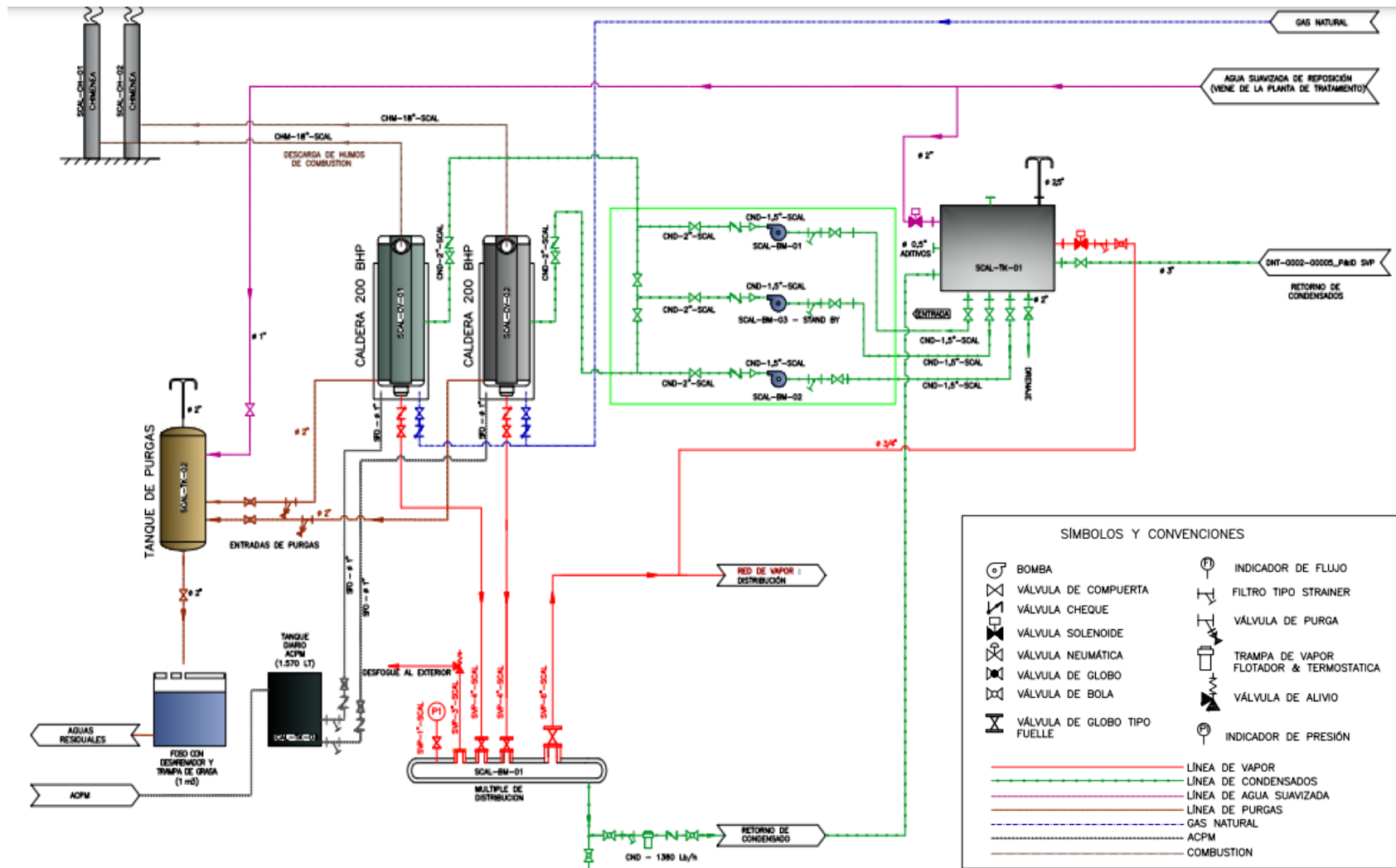


Ilustración 3. Plano P&ID Sistema de Generación de vapor (Fuente: (Hipinto S.A.S.))

Agua de alimentación en las calderas: El agua de alimentación debe ser agua suavizada, es decir con una cantidad de minerales bajos con el agua, ya que esto afecta el proceso de combustión y reduce las incrustaciones en la caldera. (Bautista, 2017)

En la siguiente tabla se muestra los parámetros de agua de alimentación y los resultados obtenidos por Nalco Water para el agua de alimentación usada en la planta.

Agua de Alimentación	
Variable	Parámetros de referencia
pH	6,5 – 10,0
Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	500 máx.
Dureza (ppm)	5 máx.
Alcalinidad M (ppm)	<200
Alcalinidad F (ppm)	<150
Hierro (ppm)	<0,1

Tabla 3. Variables establecidas Agua de alimentación de las calderas (Fuente: Nalco Water)

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Marco Teórico

La eficiencia energética puede definirse como la optimización del consumo energético para alcanzar unos niveles determinados de confort y de servicio, por ejemplo, como lo es en este caso, ajustar el consumo de gas natural a las necesidades reales y demanda de los usuarios o implementando mecanismos para ahorrar energía evitando pérdidas durante el proceso. En un país o planta de producción, disponer de un nivel adecuado de eficiencia energética permite, por ejemplo, aumentar la seguridad y confiabilidad de los sistemas además de generar ahorros energéticos y monetarios (BBVA, s.f.).

En Colombia, la gestión energética en la industria es una actividad relativamente reciente que ha tomado un significativo auge a partir de la política de desmonte de subsidios de los precios de los energéticos y la aprobación de la ley 697 de 2001 conocida como ley URE (Uso Racional de la Energía). Implementar un sistema de gestión.

Implementar un sistema de gestión energética permite identificar las pérdidas de energía más relevantes del sistema de vapor que impactan los costos por lo cual es de suma importancia evaluar técnica y económicamente los potenciales de reducción de las pérdidas y contar con un plan estratégico con metas alcanzables y entendidas por todos los actores claves.

En general el diagnóstico energético en sistemas de generación y distribución de vapor comprende objetivos fundamentales como:

- Establecer la eficiencia de los generadores de vapor.
- Indicar potenciales de ahorro energía a partir de implementaciones de mejora con el fin de optimizar el sistema de generación y distribución del vapor. (Restrepo, Burbano, & Salgado, 2005)

En cuanto a la parte de este trabajo relacionada con la optimización la cual busca mejorar la seguridad, confiabilidad y rentabilidad al minimizar problemas de condensación y las pérdidas de vapor con el fin de reducir el uso de energía del sistema de generación y distribución del vapor, se basó en las posibles mejoras a implementar en busca de maximizar del indicador de gas natural de la planta mediante el análisis de múltiples variables como lo serian el retorno de la inversión de equipos, ahorros generados y toda la evaluación financiera asociada para ser entregar propuestas acertadas.

2.2 Marco Conceptual

Elementos que componen la red de vapor

El sistema de distribución de vapor de la planta está compuesto por múltiples trampas de condensado, tuberías de alta presión, separadores de humedad, válvulas y electroválvulas de paso de vapor, manómetros, distribuidor de vapor, fuelles, soportes, tanque de diario, etc.

2.2.1 Calderas

La planta cuenta con dos calderas pirotubulares idénticas de la marca JCT con capacidad de 200 BHP, siendo una el respaldo de la otra. El funcionamiento de estas es de manera alternada, es decir, se alternan semanalmente y así cumplen con la demanda de vapor requerida por los equipos.



Ilustración 4. Calderas pirotubulares de la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S.

2.2.2 Tubería

En la red de distribución de vapor, la tubería que se encuentra en las líneas de vapor es de acero al carbono bajo las normas ASTM. En el proceso están incluidas también las tuberías como: La tubería de gas natural, tubería de agua suavizada, tubería de agua de alimentación de las calderas, tubería de retorno de condensados y tubería de vapor. Se pueden identificar de la siguiente manera:

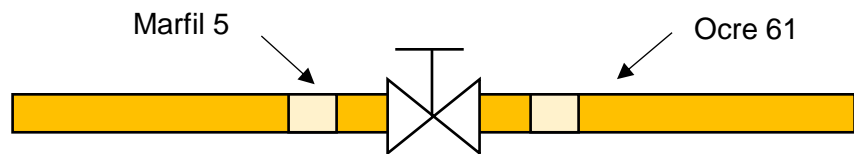


Ilustración 5. Tubería de gas natural

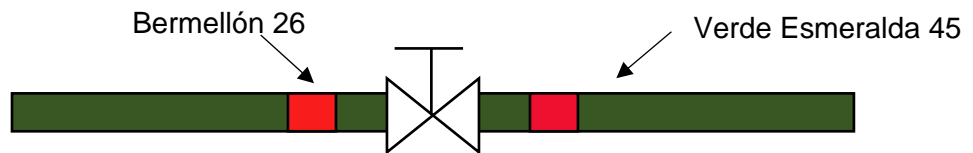


Ilustración 6. Tubería de agua suavizada

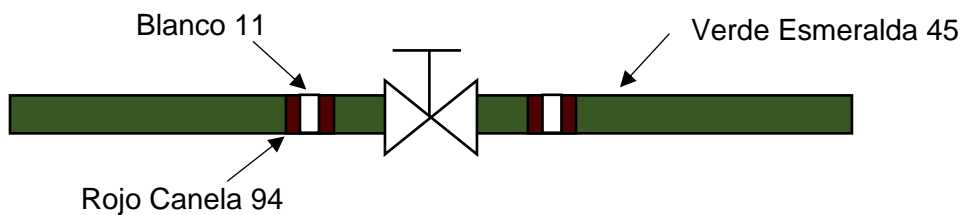


Ilustración 7. Tubería de agua de alimentación de Caldera

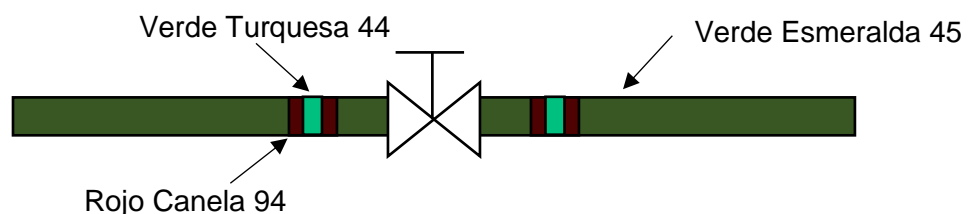


Ilustración 8. Tubería de Condensados

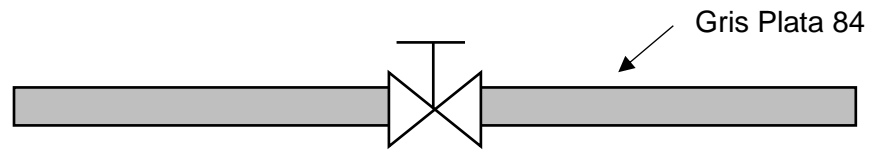


Ilustración 9. Tubería de Vapor

2.2.3 Trampas de condensado

Un trampa o purgador es un accesorio que permite evacuar los condensados formados en el circuito de vapor fuera de este a la red de condensado. La planta cuenta con 45 trampas en total ubicadas en lo largo del sistema de vapor.

Los condensados se sitúan en los puntos más bajos del circuito por lo que esos son los puntos donde se debe proceder a su evacuación. La evacuación puede realizarse de una manera simple mediante una válvula manual, pero esta operación no es muy adecuada ya que, se tiene que contar con un operario en todos los puntos de la red y con cierto intervalo de tiempo. Por lo tanto, se requiere de trampas automáticas que se encargan de manera periódica de mantener el circuito de vapor libre de condensados.

Clasificación de las trampas: Existen varios tipos de trampas según su principio de funcionamiento y aplicación específica, entre ellas se encuentra las siguientes:

- **Trampas termostáticas:** Trabajan con cambios de temperatura. La temperatura del vapor saturado viene fijada por supresión, cuando se produce el intercambio el vapor cede su entalpía de evaporación produciendo condensado a la temperatura del vapor. Un purgador termostático capta la temperatura y posiciona la válvula en relación al asiento para descargar el condensado

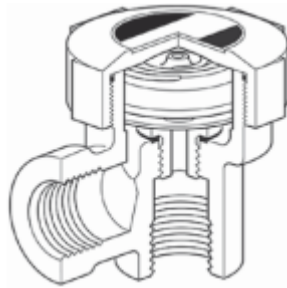


Ilustración 10. Trampa de vapor termostática bimetálica (Fuente: (Sarco, Referencia Técnica Calderas y Accesorios, 1999)) (Gaitán, 2011).

- **Trampas mecánicas:** Trabajan con cambios de densidad del fluido. Basan su funcionamiento en la diferencia de densidad entre el vapor y condensado. Existen dos tipos de trampas.
- **Trampa tipo flotador:** Estos purgadores tienen una cámara con un flotador o boya donde el acumula el condensado. El flotador sube en presencia de condensado para abrir la válvula.

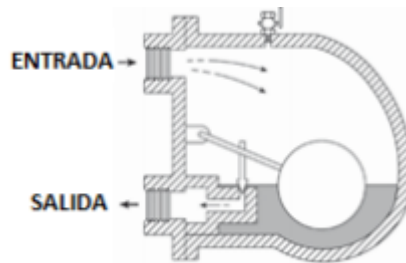


Ilustración 11. Trampas de vapor mecánica de flotador (Fuente; (Sarco, Referencia Técnica Calderas y Accesorios, 1999)) (Gaitán, 2011).

- **Trampa mecánica de balde invertido:** Estas trampas han demostrado menores pérdidas a condiciones de baja carga, esto se debe a que las pérdidas de vapor a través del orificio de venteo.



Ilustración 12. Trampas de vapor mecánica de balde invertido (Fuente; (regionales, 2007)) (Gaitán, 2011).

- **Trampas termodinámicas:** Las trampas termodinámicas trabajan con cambios de dinámica del fluido. El funcionamiento los purgadores termodinámicos depende en gran medida de la capacidad de formación de revaporizado del condensado.

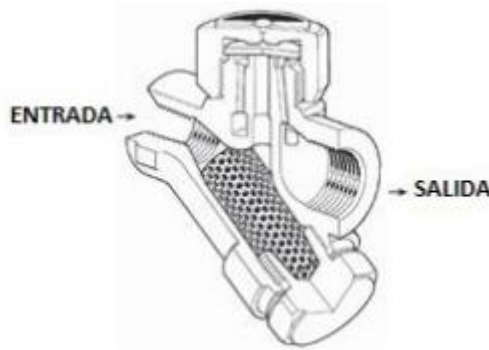


Ilustración 13. Trampa termodinámica (Fuente; (Sarco, Referencia Técnica Calderas y Accesorios, 1999)) (Gaitán, 2011)

2.2.4 Filtros

Es un elemento mecánico usado para retener impurezas que puede contener el fluido. Maneja las mismas conexiones que las válvulas y su fabricación es en cuerpo de acero, hierro fundido, bronce y acero inoxidable.

Su funcionamiento consiste en el paso de flujo a través de un cedazo el cual esta enrollado rígidamente en forma cilíndrica y no permite el paso de partículas extrañas en el flujo. Normalmente se debe especificar el material, la temperatura, la presión el tipo de fluido y el tamaño de la tubería a la cual serán conectadas.

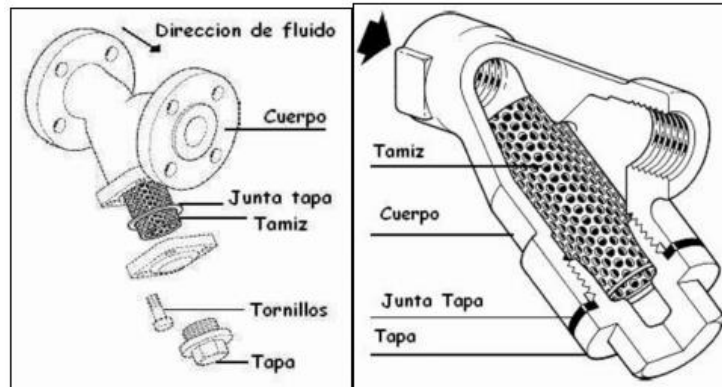


Ilustración 14. Filtros de vapor (Fuente; (Spirax Sarco, Manual de Filtros)) (Gaitán, 2011).

2.2.5 Separadores de humedad

La función de un separador de humedad es recolectar gotas de condensado suspendidas en el vapor con el fin de mejorar la calidad del mismo, disminuyendo el consumo de los equipos de proceso. Es requerido un sistema de trampeo en la parte inferior del separador de humedad para retirar el condensado que se vaya colectando por el paso del vapor.



Ilustración 15. Separador de gotas (Fuente; (Sarco, Distribución del Vapor, 1998)) (Gaitán, 2011).

2.2.6 Manifold- Distribuidor de vapor

En las unidades de distribución de vapor (MSD/SMSD), los manifolds reagrupan todas las válvulas de suministro de vapor en una ubicación. La estandarización de los componentes y la centralización de su ubicación simplifican la instalación al tiempo que reduce costes. También ahorrará tiempo debido a que el mantenimiento de rutina es más rápido, puede suministrar aislamiento y ser un gran ahorro en las instalaciones.



Ilustración 16. Distribuidor de vapor en la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S.

2.2.7 Junta tipo acordeón

Se les conoce también como juntas tipo acordeón; este suele ser un elemento que se monta en la línea sin necesidad de tener empaquetadura, tal como una junta deslizante y su principal función es absorber las dilataciones que se presentan en la línea y reducir los golpes de ariete, evitando que por estos golpes se rompa la tubería.



Ilustración 17. Junta tipo acordeón en la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S.

2.2.8 Soportes

Como la tubería tiene dilataciones debido a que dentro de ella fluye vapor a altas temperaturas, se hace necesario tener en cuenta la dilatación que esta tendrá, por lo cual debe ir soportada en algún elemento, el cual debe permitir la dilatación de la tubería sin generar un cambio mayor en su geometría, por esta razón suelen usarse soportes de tipo patín los cuales son un apoyo deslizante ideal para la tubería ya que, permite el movimiento en dos direcciones. Normalmente es recomendable montar una abrazadera a las tuberías soportadas por los patines para mantener la tubería alineada mientras se dilata y se contrae.

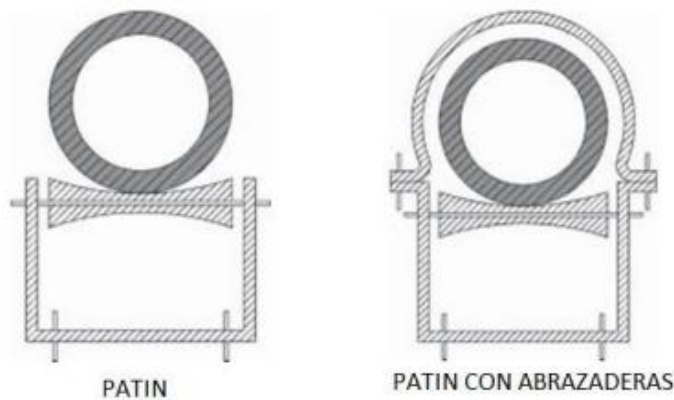


Ilustración 18. Soportes tipo patín (Fuente: (Sarco, Referencia Técnica Calderas y Accesorios, 1999)) (Gaitán, 2011).

2.2.9 Aislamiento

El aislamiento térmico es un material que se utiliza con el fin de conservar el calor y contribuir a la eficiencia del sistema ya que reduce las pérdidas de calor ya que, este calor tiene un valor monetario. Teniendo en cuenta los principios de la termodinámica, el cual demuestra que el calor fluye de las zonas más calientes a las zonas con menor temperatura y teniendo en cuenta que la tubería por la cual fluye vapor estaría a una temperatura más elevada que la temperatura ambiente, si no se tiene un debido aislamiento de los materiales, se tendrían recursos energéticos ineficientes. Este aislamiento también tiene como función proteger a los operadores y evitar la transmisión de calor a otros equipos.

Los principales materiales aislantes del mercado son:

- Landa de vidrio AW
- Cañuela Fibra de vidrio
- Silicato de Calcio
- Lana Mineral de Roca

2.2.10 Tanque de diario

El tanque de condensados sirve para suministrar el agua de alimentación al generador de vapor. El agua suavizada de aportación del sistema se añade al tanque de condensados donde se precalienta y se mezcla con los productos de tratamiento químico.

La planta cuenta con un tanque de acero al carbono, que posee una capacidad máxima de 7000 litros de agua, revestido con un aislante térmico para garantizar la temperatura del condensado.



Ilustración 19. Tanque de diario de la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S.

Agua de alimentación: agua que contiene parte de condensados y agua de reposición que pasa a través de una bomba de alimentación.

Agua de reposición: es la cantidad de agua que se debe añadir al sistema para reponer el agua que se ha perdido.

Agua suavizada: es el agua que ha sido tratada por el suavizador para remover sales minerales presentes.

Alcalinidad: es la cantidad de carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y silicatos o fosfatos en el agua. La alcalinidad del agua de alimentación es importante, ya que representa una fuente potencial de depósitos.

Caldera pirotubular: son calderas de tubos de humos donde los gases pasan por el interior de los tubos sumergidos en el interior de una masa de agua, todo ellos rodeado por una carcasa exterior.

Condensado: vapor condensado de plantas o procesos de energía, que no se mezcla con ninguna otra agua.

Conductividad: la conductividad del agua permite controlar la cantidad de sales disueltas en el agua. (Bautista, 2017)

Incrustación: la incrustación en la caldera es causada por impurezas que son precipitadas fuera del agua directamente sobre la superficie de transferencia de calor o por materia suspendida en el agua que se asienta en el metal y se vuelve dura y adherente.

El rendimiento térmico en las calderas y el recalentamiento en el metal expuesto a la llama se ven afectados notablemente por las incrustaciones presentes, además estas son muy peligrosas porque la conductividad térmica es pequeña. Además, los lavados químicos, los dispersantes y contracciones en la caldera pueden soltar las incrustaciones, por esta razón es importante eliminarlas evitando la acumulación de estas en el fondo de la caldera, de no removerlas se podría ver afectado el proceso de las purgas de fondo

Dureza: es la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en el agua, puesto que estos favorecen la formación de depósitos e incrustaciones difíciles de remover sobre las superficies de transferencia de calor de una caldera.

pH: representa las características ácidas o alcalinas del agua, con su medición se previene los problemas de corrosión (pH bajo) y depósitos (pH alto).

Purga: es un porcentaje de agua que se extrae del interior de la caldera, reemplazándola por agua de alimentación más pura para completar el caudal requerido por la caldera.

Suavizador: realiza un intercambio iónico en el agua de alimentación para las calderas de vapor, eliminando sales minerales presentes en el agua para evitar formación de incrustaciones en la caldera (Bautista, 2017).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Realizar un estudio técnico y de optimización del sistema de generación y distribución de vapor en la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S con el fin de proponer soluciones de mejora para disminuir el consumo de Gas Natural en las Calderas y de esta manera mejorar el indicador de desempeño del sistema en la planta.

3.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar el funcionamiento del sistema de generación y distribución de vapor mediante análisis de la combustión en las calderas y del funcionamiento de elementos de la red de distribución.
- Desarrollar el problema de optimización, que involucre parámetros de desempeño del sistema de generación y distribución del vapor bajo diferentes restricciones.
- Plantear propuestas de mejora de desempeño del sistema basado en los resultados del problema de optimización.

4. METODOLOGÍA

Según los objetivos específicos planteados la metodología del proyecto se compondrá de tres fases: Diagnóstico, problema de optimización y propuestas de mejora.

4.1 Diagnóstico del funcionamiento del sistema de generación y distribución del vapor.

En esta fase del proyecto se plantea realizar las siguientes actividades:

- Diagnóstico de la situación actual del Gas Natural en la planta.
- Identificar la composición química de los gases de escape de las Calderas.
- Realizar análisis de combustión en las calderas 1 y 2.
- Cuantificar el desempeño de las calderas 1 y 2.

4.2 Desarrollar el problema de optimización.

- Revisión por termografía de las trampas de vapor del sistema.
- Identificar trampas de vapor en fallo y fugas de vapor en la red de distribución.
- Inspección de la operación del sistema de purgas.

4.3 Plantear propuestas de mejora de desempeño del sistema.

- Proponer opciones de mejora de acuerdo a las falencias identificadas en el sistema.
- Realizar cotizaciones de equipos o componentes que deban ser cambiados o implementados con el fin de optimizar el sistema de generación y distribución de vapor.

5. RESULTADOS

El estudio y diagnóstico de la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S. se centró en identificar la situación actual de Gas Natural. El fin de este diagnóstico es conocer el comportamiento del Gas Natural, e identificar los componentes de la red de vapor que posiblemente no estén funcionando correctamente, ya que, gran cantidad de accesorios con los que cuenta la planta, fueron instalados alrededor de hace 20 años, por lo que es probable que algunos de ellos ya hayan finalizado su vida útil o no estén funcionando adecuadamente debido a su deterioro.

5.1 Diagnóstico de la situación actual de Gas Natural

En esta parte del proyecto se presenta el análisis y comportamiento del sistema actual de generación y distribución del vapor de la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S para el transcurso de los periodos 2020-2 y 2021-1. Con el fin de identificar como fue el comportamiento del Gas Natural en la planta.

5.1.1 Comportamiento del Gas Natural periodos 2020-2 y 2021-1

Primeramente, el estudio se centra en el análisis del comportamiento de Gas Natural en el transcurso del año 2020-2 y 2021-1, Los datos de consumo se obtuvieron del Software SAP, el cual brindó toda la información necesaria para la realización de la actividad, todo esto se hace con el fin de poder identificar los meses donde hubo mayor consumo y el resultado fue el siguiente:

Meses	Consumo G.N [m ³]
Junio 2020	54.824
Julio 2020	53.028
Agosto 2020	46.429
Septiembre 2020	49.320
Octubre 2020	50.604
Noviembre 2020	47.925
Diciembre 2020	52.708
Enero 2021	45.965
Febrero 2021	63.778
Marzo 2021	69.564
Abril 2021	54.839
Mayo 2021	64.650
Promedio	54.470

Tabla 4. Consumo de Gas Natural, años 2020-2021

En la siguiente ilustración se observa con más claridad el comportamiento del consumo de Gas Natural.

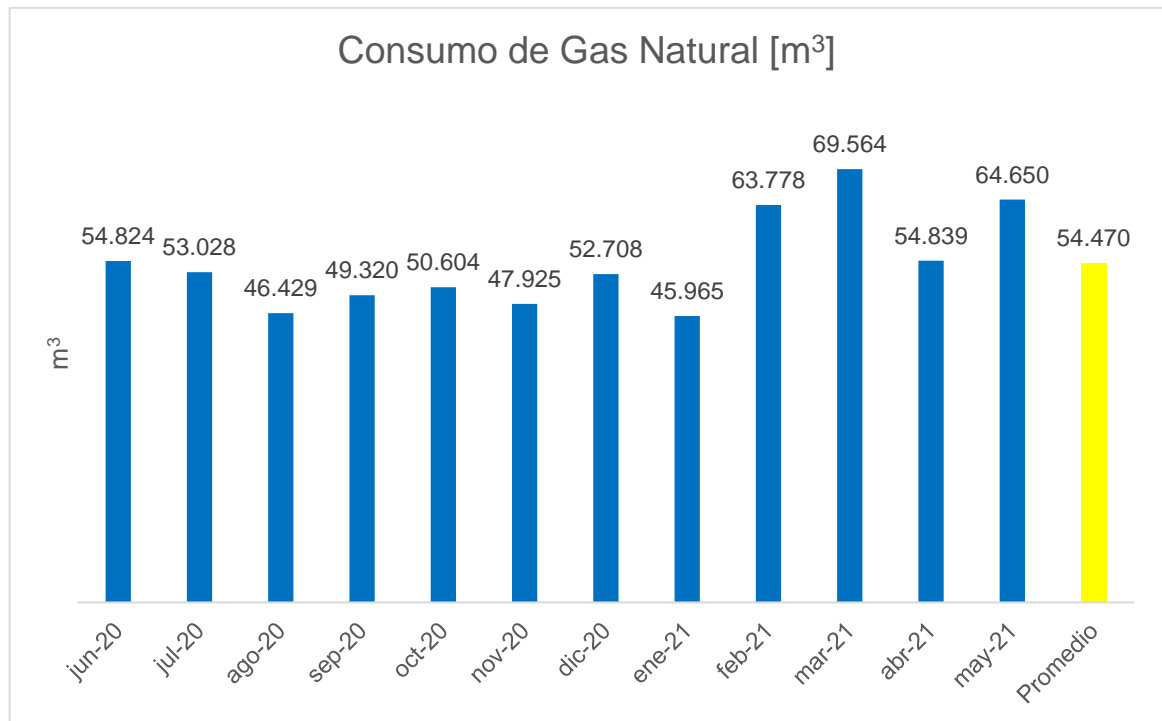


Ilustración 20. Consumo de Gas Natural en los años 2020-2021

5.1.2 Consumo de Gas Natural con respecto a las cajas unitarias producidas

Para calcular el rendimiento del gas natural, es necesario relacionarlo con las cajas unitarias producidas, por lo que el paso siguiente fue calcular las cajas producidas mes a mes en sus diferentes presentaciones.

Cajas Producidas												
Formatos	Jun 20	Jul 20	Ago 20	Sept 20	Oct 20	Nov 20	Dic 20	Ene 21	Feb 21	Mar 21	Abr 21	May 21
6 L	30.488	39.549	38.324	32.413	41.632	34.471	34.650	35.589	43.836	37.366	35.015	30.433
360 mL	6.591	7.233	7.659	7.051	9.299	8.240	11.198	12.114	15.486	11.011	9.677	6.650
20 L	60.422	80.413	83.917	75.698	87.562	80.634	83.951	94.510	107.515	93.218	88.433	77.713
1.250 mL	68.787	70.831	63.418	58.974	81.280	68.545	93.954	102.430	127.153	99.813	76.802	73.076
350 mL	24.269	17.773	25.555	25.703	39.978	30.771	49.918	45.609	43.417	34.515	31.994	22.868
250 mL	36.917	38.090	37.343	57.778	64.453	64.373	77.525	82.650	88.990	76.360	61.365	52.375
500 mL	25.543	42.468	30.891	11.863	24.453	25.552	0	0	16.512	0	0	0
Pet 250 ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.500 mL	26.439	32.710	14.745	21.656	26.087	45.868	79.003	21.531	20.797	45.959	29.479	31.614
2.500 mL	187.681	242.057	295.898	349.217	301.193	242.088	329.664	265.780	216.282	279.251	232.704	332.434
3.125 mL	73.757	82.026	40.863	64.233	71.581	109.753	78.078	59.989	43.460	64.376	57.789	57.489
2.000 mL	400.976	292.961	259.248	272.957	235.348	242.213	281.920	252.430	238.622	306.983	76.250	44.341

Tabla 5. Cajas producidas en los años 2020-2021, en su respectivo formato

Una vez obtenidas las cajas producidas en sus respectivos formatos, se procede a multiplicarlas por un factor de conversión exclusivo para cada formato establecido por la empresa para poder estandarizarlas en Cajas Unitarias.

A continuación, se dará a conocer el factor de conversión para cada tipo de caja.

Formato	Factor de conversion
AGUA 6000 Cm ³	4,2267
AGUA BOLSA 360 Cm ³	3,804
BOTELLON 20000 Cm ³	3,5222
VD GAS 1250MLX12 RET	2,6417
VD GAS 350MLX30 RET	1,8492
8.5 ONZAS (250 Cm ³)	1,3208
PET 1500 X 12	3,17
PET 2000 X 8	2,8178
PET 2500 X 8	3,5222
PET 3125	3,3021
PET 250 X 15	0,6604
500 PET X 15	1,3208

Tabla 6. Formatos con su respectivo factor de conversión

Al multiplicar las cajas por su respectivo factor de conversión, los resultados de cajas unitarias fueron los siguientes

Meses	Cajas Unitarias
Junio 20	2.794.129
Julio 20	2.856.915
Agosto 20	2.745.999
Septiembre 20	3.005.653
Octubre 20	2.968.911
Noviembre 20	2.860.810
Diciembre 20	3.391.444
Enero 21	2.274.644
Febrero 21	2.822.027
Marzo 21	3.163.371
Abril 21	2.158.151
Mayo 21	2.318.052
Promedio	2.780.009

Tabla 7. Cajas Unitarias en los años 2020-2021

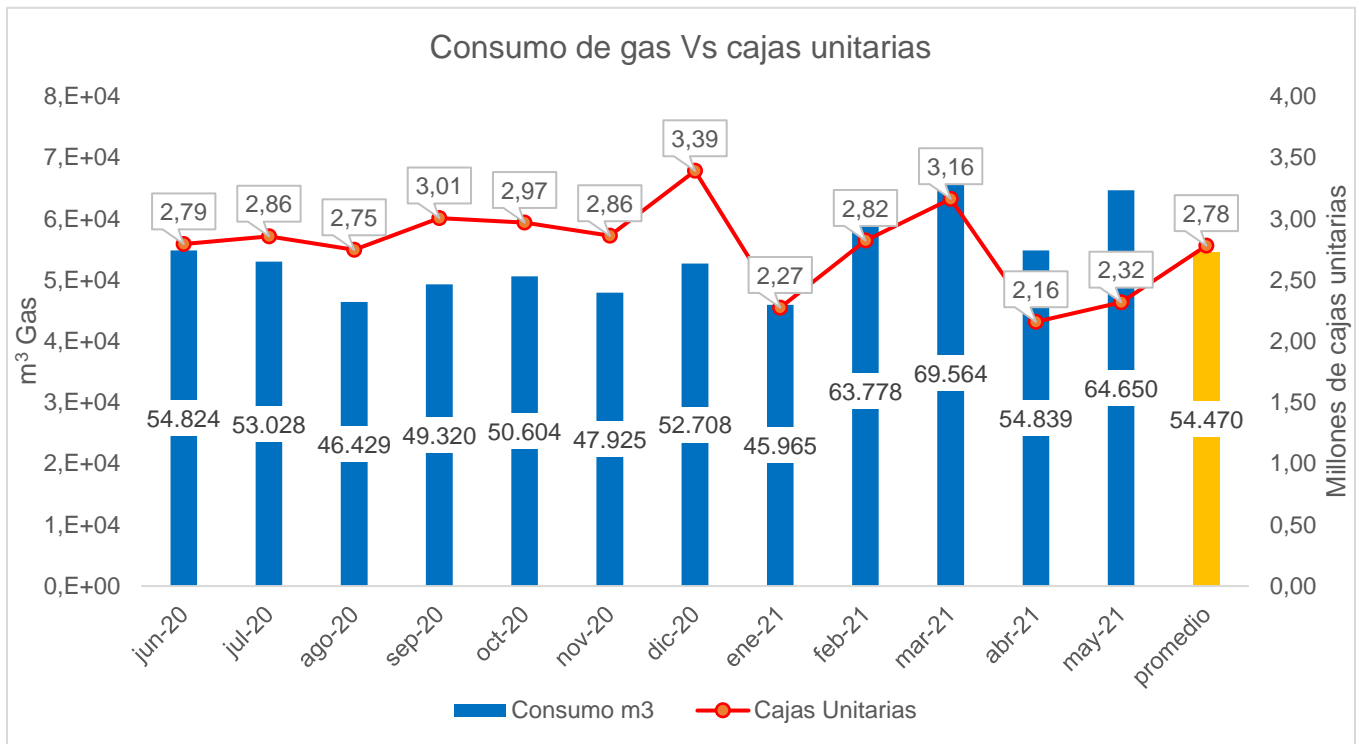


Ilustración 21. Consumo de Gas Natural Vs Cajas Unitarias en los años 2020-2021

Una vez se conoce el consumo de Gas Natural y las Cajas Unitarias de todo el año, se puede apreciar mediante una gráfica el comportamiento que tuvo a través de los meses.

En la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S. se maneja el rendimiento de la energía con respecto a las cajas unitarias, ya sea para energía eléctrica o térmica como en este caso, por esta razón es importante conocer cuántas cajas unitarias se producen por un metro cubico de Gas Natural consumido. Esta será la gráfica que se muestra a continuación.

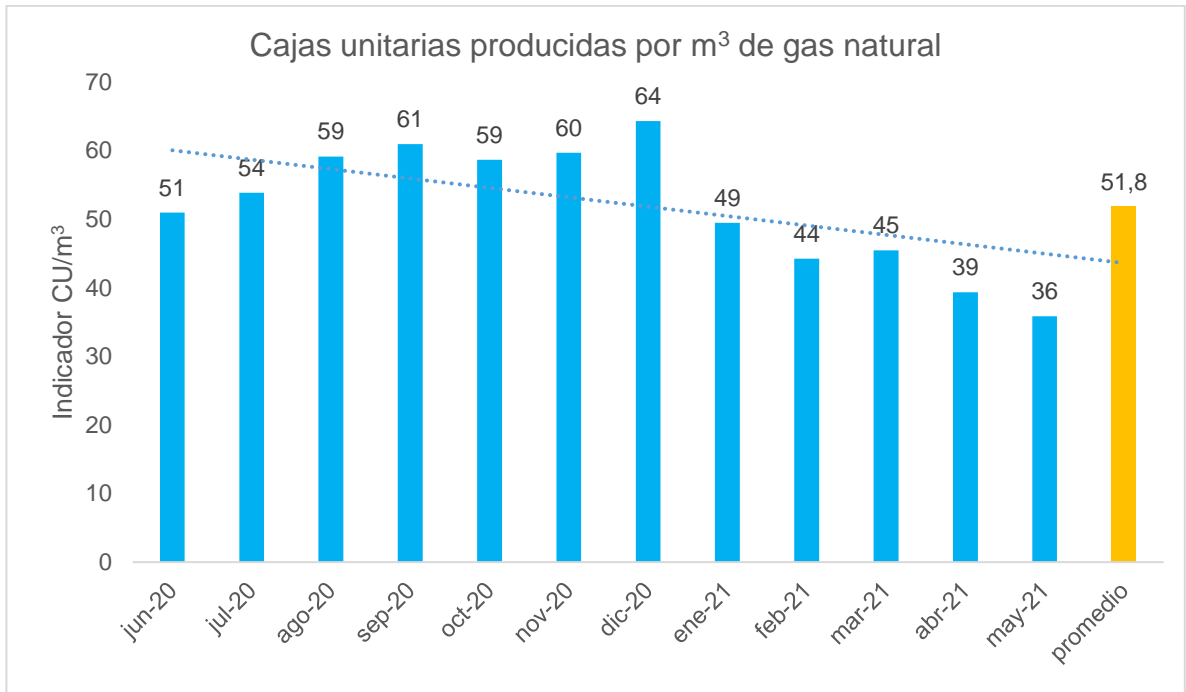


Ilustración 22. Cajas producidas por metro cúbico de gas natural consumido

La gerencia estableció el valor objetivo de rendimiento de energía por parte del Gas Natural para los periodos 2020-2 y 2021-1, en un valor de 51,8 C.U./m³. Como se puede apreciar en la gráfica, el segundo semestre del año 2020 tuvo el rendimiento esperado, estando por encima del valor objetivo propuesto. Para el primer semestre 2021 hubo una decadencia considerable en el indicador y se finalizó el mes de mayo con el pico más bajo del estudio, con un total de 36 C.U./m³.

Se puede decir que la empresa cumplió con el objetivo planteado en el año 2020 pero incumplió en el año 2021 en su totalidad de meses, teniendo un rendimiento negativo en el primer semestre del 2021.

5.2 Composición de los gases de escape de las calderas.

Mediante a un estudio y medición realizado por la Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB) en junio del 2021, se logró identificar la composición de los gases de escape a la salida de la caldera 2, los cuales son necesarios para realizar el análisis de combustión de la misma y conocer sus eficiencias actuales.

Se realizaron mediciones para tres condiciones de operación de la caldera en funcionamiento. Estas condiciones de operación fueron:

- Operación a full carga (para llegar a la presión de operación de la caldera)
- Operación bajo modulación (manteniendo los niveles de presión de operación de la caldera)
- Operación a fuego bajo (para momentos de operación de un solo equipo consumidor de vapor para lavado de envases)

Para cada condición de operación de la caldera se hizo un análisis de gases de combustión con los siguientes equipos:

Analizador de gases de combustión PHOTON - MADUR GA – 21 (Lectura de CO₂)



Ilustración 23. Analizador de gases de combustión PHOTON - MADUR GA – 21

Analizador de gases Bacharach PCA400 (Lectura de O₂).



Ilustración 24. Analizador de gases Bacharach PCA400

Los análisis de gases (en base seca) para cada condición se muestran en la siguiente tabla.

Análisis de gases en base seca				
	Full Carga	Modulación	Bajo Fuego	T _{humos} [°C]
CO ₂	11,96%	11,65%	9,52%	198
O ₂	1,60%	2,10%	6,40%	183
N ₂	86,44%	86,25%	84,08%	160

Tabla 8. Análisis de gases en base seca

6. EFICIENCIA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR.

Se presentan los resultados obtenidos del análisis de gases de combustión y de eficiencia de una de las calderas de la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S, en Piedecuesta. El estudio se ha planteado inicialmente para las dos calderas gemelas que se tienen en la planta, pero debido el mal funcionamiento del sistema de control de la relación aire combustible en una de ellas, se realizó el análisis para una de ellas, pero tomando 3 puntos de operación para lograr obtener un diagnóstico más amplio para esta caldera.

6.1 Flujo de gas

Los datos de flujo de gas fueron estimados mediante medición del tiempo transcurrido entre cada cambio del medidor de volumen ubicado en la parte exterior de la sala de calderas. El flujo estimado ha sido corregido a condiciones estándar (anteriormente llamadas condiciones normales) de 0 °C y 101.325 kPa. (Se usa esta nomenclatura por su uso continuado hoy en día para comparar flujos volumétricos).

Las condiciones de sitio a las cuales se estimó el flujo de gas fueron las siguientes: Temperatura de sitio: 28,3 °C Presión atmosférica de sitio: 89,72 kPa A condiciones normales se tiene una densidad del gas natural de 0,869 kg/m³. Esta densidad se ha determinado para una composición del gas natural distribuido por VantiGas natural del Oriente mostrada a continuación:

Constituyente	Fórmula Química	Composición por Volumen (%)	Composición Normalizada (%)
Metano	CH ₄	81,80%	81,51%
Etano	C ₂ H ₆	12,00%	11,96%
Propano	C ₃ H ₈	2,00%	1,99%
I-butano	C ₄ H ₁₀	0,23%	0,23%
N-butano	C ₄ H ₁₀	0,22%	0,22%
Nitrógeno	N ₂	0,90%	0,90%
Dióxido de Carbono	CO ₂	3,20%	3,19%
	Total	100,35%	100,00%

Tabla 9. Composición de los gases de escape de la caldera

Con la densidad del gas, se estiman los flujos máscicos adicionalmente a los flujos volumétricos determinados para cada modo de operación.

Modo de operación	Caudal a condiciones de sitio [m ³ /h]	Caudal a condiciones normales [m ³ /h]	Caudal máscico [kg/h]	Caudal máscico [lb/h]
Fuego Bajo	43,9	37,8	32,85	72,27
Modulando	120	103,33	89,79	197,55

Full Carga	171,43	147,61	128,28	282,21
------------	--------	--------	--------	--------

Tabla 10. Flujos a distintos modos de operación

Dado que el modo de operación de la caldera de lunes a sábado es diferente (operación a carga nominal con modulación) a la operación en domingo (operación a bajo fuego solo para un proceso de lavado), se hace una ponderación de los caudales de acuerdo con los días de operación:

$$\text{Caudal de gas ponderado} = \frac{\text{Caudal}_{\text{modulación}} * \text{días}_{\text{modulación}} + \text{Caudal}_{\text{bajo}} * \text{días}_{\text{bajo}}}{7 \text{ días}}$$

Donde los días a modulación son 6 (lun - sab) y los días de fuego bajo son 1 (dom). El caudal ponderado de gas es entonces 81,66 m³ /h. En base másica este flujo es 70,96 kg/h.

6.2 Flujo de Vapor

De acuerdo con estimaciones realizadas durante los meses de mayo y junio y con base en mediciones hechas por personal de Spirax-Sarco, la relación promedio entre flujo de vapor y flujo de gas, para este intervalo de tiempo es de 23,55 lb por cada m³ de gas natural consumido en la caldera.

La relación másica entre vapor y gas natural es entonces 12,32 kg_{vapor} / kg_{gas}.

Con el flujo de gas ponderado estimado, el flujo de vapor es 1008,05 kg/h o 0,28 kg/s (2217,7 lb/h).

6.3 Eficiencia del Sistema de Distribución de Vapor

Conocido el flujo de vapor estimado, se determinó la entalpía de este a la condición de 100 PSI (condición normal de generación del vapor en la caldera). Este valor de entalpía es de 2050 kJ/kg.

Con el flujo ponderado de vapor estimado y su entalpia, el flujo de energía ponderado que fluye por la red de distribución es de 2'418.916 kJ/h (685.8 kW o 69.9 BHP). (M.Sc, 2021)

Con el flujo ponderado de gas y su poder calorífico (37230 kJ/Nm³), se determina la potencia térmica de entrada, resultando un valor de 3682028.377 kJ/h (1022.8 kW o 104.3 BHP).

La eficiencia entonces es:

$$\eta = \frac{m_{vapor}(h_g - h_{alimentación})}{m_{gas} * PCI} = \frac{685,8 \text{ kW}}{1022,8 \text{ kW}} = 67\%$$

6.4 Combustión Teórica Gas Oriente Full Carga

Constituyente	Formula Química	Fracción Molar	C	H	O	N	Masa Molar Relativa
Metano	CH ₄	81,51%	1	4	0	0	13,042
Etano	C ₂ H ₆	11,96%	2	8	0	0	3,827
Propano	C ₃ H ₈	1,99%	3	8	0	0	0,876
i-Butano	C ₄ H ₁₀	0,23%	4	10	0	0	0,133
N-Butano	C ₄ H ₁₀	0,22%	4	10	0	0	0,128
Nitrógeno	N ₂	0,90%	0	0	0	2	0,252
Dióxido de carbono	CO ₂	3,19%	1	0	2	0	1,404

Tabla 11. Constituyentes a full carga

$$M_{fuel} = \sum \text{Masa molar relativa}_i$$

$$M_{fuel} = 13,042 + 3,827 + 0,876 + 0,133 + 0,128 + 0,252 + 1,404$$

$$M_{fuel} = 19,661 \frac{Kg}{Kmol}$$

$$\text{Carbonos} = \text{Fracción molar}_i * \text{Carbono}_i$$

$$\text{Hidrogenos} = \text{Fracción molar}_i * \text{Hidrogeno}_i$$

$$\text{Oxigenos} = \text{Fracción molar}_i * \text{Oxigenos}_i$$

$$\text{Nitrogenos} = \text{Fracción molar}_i * \text{Nitrogeno}_i$$

$$\text{Carbonos} = (0,8151CH_4 * 1) + (0,1196C_2H_6 * 2) + (0,0199C_3H_8 * 3) + (0,0023C_4H_{10} * 4) + (0,0022C_4H_{10} * 4) + (0,0319CO_2 * 1)$$

$$\text{Carbonos} = 1,1639$$

$$\text{Hidrogenos} = 4,4214$$

$$\text{Oxigenos} = 0,0638$$

$$\text{Nitrogenos} = 0,018$$

$$0,8151CH_4 + 0,1196C_2H_8 + 0,0199C_3H_8 + 0,0023C_4H_{10} + 0,0022C_4H_{10} + 0,009N_2 + 0,0319O_2 + at(O_2 + 3,76N_2) \rightarrow XCO_2 + YH_2O + ZN_2$$

$$C: 1(0,8151) + 2(0,1196) + 3(0,0199) + 4(0,0023) + 4(0,0022) + 1(0,0319) = X$$

$$X = 1,1639$$

$$H: 4(0,8151) + 8(0,1196) + 8(0,0199) + 10(0,0023) + 10(0,0022) = 2Y$$

$$Y = 2,2107$$

$$O: 2(0,0319) + 2at = 2X + Y$$

$$2(0,0319) + 2at = 2(1,1639) + 2,2107$$

$$at = \frac{2(1,1639) + 2,2107 - 2(0,0319)}{2}$$

$$at = 2,23735$$

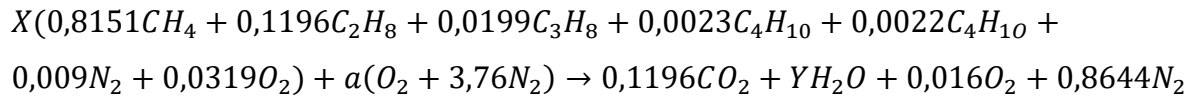
$$N: 2(0,0090) + at(2 * 3,76) = 2Z$$

$$\frac{2(0,0090) + at(2 * 3,76)}{2} = Z$$

$$Z = 8,421436$$

$$0,8151CH_4 + 0,1196C_2H_8 + 0,0199C_3H_8 + 0,0023C_4H_{10} + 0,0022C_4H_{10} + 0,009N_2 + 0,0319O_2 + 2,2373(O_2 + 3,76N_2) \rightarrow 1,1639CO_2 + 2,2107H_2O + 8,4214N_2$$

6.5 Combustión Real Gas Oriente Full Carga



$$C: X(1(0,8151) + 2(0,1196) + 3(0,0199) + 4(0,0023) + 4(0,0022) + 1(0,0319)) = 0,1196$$

$$X(1,1639) = 0,1196$$

$$X = 0,1028$$

$$H: X(4,4214) = 2Y$$

$$\frac{0,1028 * 4,4214}{2} = Y$$

$$Y = 0,2272$$

$$O: X(0,0638) + 2a = 2(0,1196) + Y + 2(0,016)$$

$$a = \frac{0,2392 + 0,2272 + 0,032 - 6,558 \times 10^{-3}}{2}$$

$$a = 0,246$$

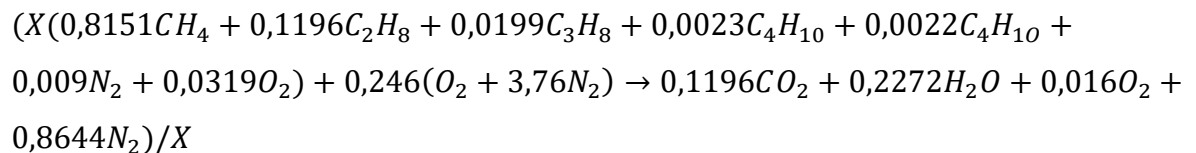
En siguiente paso será dividir todo entre "X=0,1028" para dejar la ecuación en 1Kmol de Combustible

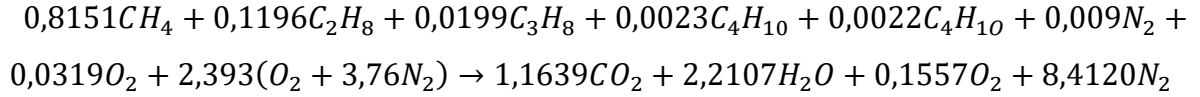
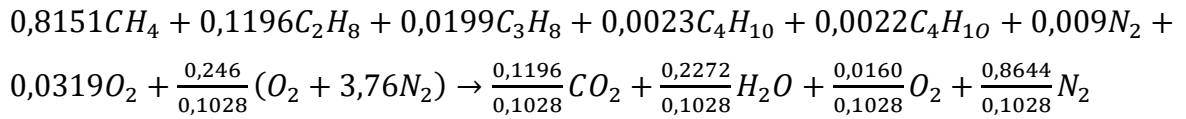
$$Carbonos = \frac{1,1639}{0,1028} = 11,3266$$

$$Hidrogenos = \frac{4,4214}{0,1028} = 43,0273$$

$$Oxigenos = \frac{0,0638}{0,1028} = 0,6209$$

$$Nitrogenos = \frac{0,018}{0,1028} = 0,1752$$





$$Emisiones_{CO_2} = \frac{M_{fuel} * Masa\ molar_{CO_2}}{Carbonos}$$

$$Emisiones_{CO_2} = \frac{19,661 * 44}{11,326} = 25,348 \frac{Kg_{CO_2}}{Kg_{fuel}}$$

$$Relaci3n \frac{Hidrogeno}{Carbono} = \frac{43,027}{11,326}$$

$$\frac{H}{C} = 3,8$$

$$\frac{m_{humos}^3}{m_{fuel}^3} = CO_2 + H_2O + O_2 + N_2$$

$$\frac{m_{humos}^3}{m_{fuel}^3} = 1,1639CO_2 + 2,2107H_2O + 0,1557O_2 + 8,412N_2$$

$$\frac{m_{humos}^3}{m_{fuel}^3} = 11,94$$

$$\frac{m_{humos\ secos}^3}{m_{fuel}^3} = CO_2 + O_2 + N_2$$

$$\frac{m_{humos\ secos}^3}{m_{fuel}^3} = 1,1639CO_2 + 0,1557O_2 + 8,412N_2$$

$$\frac{m_{humos\ secos}^3}{m_{fuel}^3} = 9,73$$

$$Volumen\ requerido\ de\ aire = a * 4,73$$

$$Volumen\ requerido\ de\ aire = 11,39\ Kmole_{aire}$$

Volmen requerido de agua = 0,463 Kmol_{agua}

$$y_i \text{ de vapor de los humos} = \frac{H_2O + \text{Vol. requerido}_{H_2O}}{\frac{m_{\text{humos}}^3}{m_{\text{fuel}}^3} + \text{Vol. requerido}_{H_2O}}$$

$$y_i \text{ de vapor de los humos} = \frac{2,2107 + 0,463}{11,94 + 0,463}$$

$y_i \text{ de vapor de los humos} = 0,22$

Ahora se procede a calcular la presión del agua saturada a la temperatura del sitio, este dato se obtiene de las tablas de propiedades del agua saturada (líquido-vapor):
Tabla de temperaturas.

Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de temperaturas

Temp. °C	Presión bar	Volumen específico m ³ / kg		Energía interna kJ / kg		Entalpía kJ / kg			Entropía kJ / kg K	
		sat, v _l x 10 ³	sat, v _g	Líquido u _l	Vapor u _g	Líquido h _l	Vapor h _g	Vapor h _g	Líquido s _l	Vapor s _g
01	0,00611	1,0002	206,136	0,00	2375,3	0,01	2501,3	2501,4	0,0000	9,1562
4	0,00813	1,0001	157,232	16,77	2380,9	16,78	2491,9	2508,7	0,0610	9,0514
5	0,00872	1,0001	147,120	20,97	2382,3	20,98	2489,6	2510,6	0,0761	9,0257
6	0,00935	1,0001	137,734	25,19	2383,6	25,20	2487,2	2512,4	0,0912	9,0003
8	0,01072	1,0002	120,917	33,59	2386,4	33,60	2482,5	2516,1	0,1212	8,9501
10	0,01228	1,0004	106,379	42,00	2389,2	42,01	2477,7	2519,8	0,1510	8,9008
11	0,01312	1,0004	99,857	46,20	2390,5	46,20	2475,4	2521,6	0,1658	8,8765
12	0,01402	1,0005	93,784	50,41	2391,9	50,41	2473,0	2523,4	0,1806	8,8524
13	0,01497	1,0007	88,124	54,60	2393,3	54,60	2470,7	2525,3	0,1953	8,8285
14	0,01598	1,0008	82,848	58,79	2394,7	58,80	2468,3	2527,1	0,2099	8,8048
15	0,01705	1,0009	77,926	62,99	2396,1	62,99	2465,9	2528,9	0,2245	8,7814
16	0,01818	1,0011	73,333	67,18	2397,4	67,19	2463,6	2530,8	0,2390	8,7582
17	0,01938	1,0012	69,044	71,38	2398,8	71,38	2461,2	2532,6	0,2535	8,7351
18	0,02064	1,0014	65,038	75,57	2400,2	75,58	2458,8	2534,4	0,2679	8,7123
19	0,02198	1,0016	61,293	79,76	2401,6	79,77	2456,5	2536,2	0,2823	8,6897
20	0,02339	1,0018	57,791	83,95	2402,9	83,96	2454,1	2538,1	0,2966	8,6672
21	0,02487	1,0020	54,514	88,14	2404,3	88,14	2451,8	2539,9	0,3109	8,6450
22	0,02645	1,0022	51,447	92,32	2405,7	92,33	2449,4	2541,7	0,3251	8,6229
23	0,02810	1,0024	48,574	96,51	2407,0	96,52	2447,0	2543,5	0,3393	8,6011
24	0,02985	1,0027	45,883	100,70	2408,4	100,70	2444,7	2545,4	0,3534	8,5794
25	0,03169	1,0029	43,360	104,88	2409,8	104,89	2442,3	2547,2	0,3674	8,5580
26	0,03363	1,0032	40,994	109,06	2411,1	109,07	2439,9	2549,0	0,3814	8,5367
27	0,03567	1,0035	38,774	113,25	2412,5	113,25	2437,6	2550,8	0,3954	8,5156
28	0,03782	1,0037	36,690	117,42	2413,9	117,43	2435,2	2552,6	0,4093	8,4946
29	0,04008	1,0040	34,733	121,60	2415,2	121,61	2432,8	2554,5	0,4231	8,4739
30	0,04246	1,0043	32,894	125,78	2416,6	125,79	2430,5	2556,3	0,4369	8,4533
31	0,04496	1,0046	31,165	129,96	2418,0	129,97	2428,1	2558,1	0,4507	8,4329

Tabla 12. Propiedades del agua saturada (líquido-vapor)

Por medio de una interpolación se calcula la presión de saturación a la “ $T_{\text{sito}}=28,3^{\circ}\text{C}$ ”

$$P_{\text{saturación}@28,3^{\circ}\text{C}} = 0,0385 \text{ bar} = 3,85 \text{ Kpa}$$

$$\text{Presión del vapor} = \phi * P_{\text{saturación}@28,3^{\circ}\text{C}}$$

$$\text{Presión del vapor} = 0,75 * 3,85 \text{ Kpa}$$

$$\text{Presión del vapor} = 2,89 \text{ Kpa}$$

$$\text{Presión del vapor de los humos} = y_i \text{ de vapor de los humos} * \text{Presión}_{\text{sito}}$$

$$\text{Presión del vapor de los humos} = 0,22 * 89,72 \text{ Kpa}$$

$$\text{Presión del vapor de los humos} = 19,34 \text{ Kpa}$$

Ahora se procede a calcular la relación (aire-fuel) mediante la siguiente ecuación.

$$\frac{A}{C} = \frac{\text{Vol. requerido de aire} * 28,84}{1 * M_{\text{fuel}}} \rightarrow \frac{11,39 \text{Kmol}_{\text{aire}} * 28,84 \text{Kg}_{\text{aire}}}{1 * 19,661 \frac{\text{Kg}_{\text{fuel}}}{\text{Kmol}}}$$

$$\frac{A}{C} = 16,71 \frac{\text{Kg}_{\text{aire}}}{\text{Kg}_{\text{fuel}}}$$

El siguiente paso será calcular la temperatura de rocío a la presión de vapor de los humos. Para esto será necesaria nuevamente las tablas de propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de temperaturas.

Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de temperaturas

Temp, °C	Presión bar	Volumen específico m ³ / kg		Energía interna kJ / kg		Entalpía kJ / kg			Entropía kJ / kg K	
		Líquido sat,	Vapor sat,	Líquido sat,	Vapor sat,	Líquido sat,	Vapor vaporiz, sat,	Vapor sat,	Líquido sat,	Vapor sat,
		$v_f \times 10^3$	v_g	u_f	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_g
35	0,05628	1,0060	25,216	146,67	2423,4	146,68	2418,6	2565,3	0,5053	8,3531
36	0,05947	1,0063	23,940	150,85	2424,7	150,86	2416,2	2567,1	0,5188	8,3336
38	0,06632	1,0071	21,602	159,20	2427,4	159,21	2411,5	2570,7	0,5458	8,2950
40	0,07384	1,0078	19,523	167,56	2430,1	167,57	2406,7	2574,3	0,5725	8,2570
45	0,09593	1,0099	15,258	188,44	2436,8	188,45	2394,8	2583,2	0,6387	8,1648
50	0,1235	1,0121	12,032	209,32	2443,5	209,33	2382,7	2592,1	,7038	8,0763
55	0,1576	1,0146	9,568	230,21	2450,1	230,23	2370,7	2600,9	,7679	7,9913
60	0,1994	1,0172	7,671	251,11	2456,6	251,13	2358,5	2609,6	,8312	7,9096
65	0,2503	1,0199	6,197	272,02	2463,1	272,06	2346,2	2618,3	,8935	7,8310
70	0,3119	1,0228	5,042	292,95	2469,6	292,98	2333,8	2626,8	,9549	7,7553

Tabla 13. Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de temperaturas

Por medio de una interpolación se calcula la temperatura de rocío a la “Presión de vapor de los humos=19,34 Kpa”

$$Temperatura\ rocío_{@19,34\ Kpa} = 59,29\ ^\circ C$$

El siguiente paso será hallar la entalpia del vapor a 6,89 bar g, ya que esta es presión máxima de operación que alcanza la caldera. Para este cálculo serán necesarias las tablas de Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de presiones. Este dato será necesario para poder hallar el calor útil que está dado por la siguiente ecuación

$$Q_{util} = \dot{m}_{vapor} * h_{fg}@6,89\ bar$$

Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de presiones

Presión bar	Temp., °C	Volumen específico		Energía interna		Entalpia			Entropía	
		m ³ / kg		kJ / kg		kJ / kg			kJ / kg K	
		Líquido sat,	Vapor sat,	Líquido sat,	Vapor sat,	Líquido sat,	Vapor vaporiz.,	Vapor sat,	Líquido sat,	Vapor sat,
		$v_f \times 10^3$	v_g	u_f	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_g
0,04	28,96	1,0040	34,800	121,45	2415,2	121,46	2432,9	2554,4	0,4226	8,4746
0,06	36,16	1,0064	23,739	151,53	2425,0	151,53	2415,9	2567,4	0,5210	8,3304
0,08	41,51	1,0084	18,103	173,87	2432,2	173,88	2403,1	2577,0	0,5926	8,2287
0,10	45,81	1,0102	14,674	191,82	2437,9	191,83	2392,8	2584,7	0,6493	8,1502
0,20	60,06	1,0172	7,649	251,38	2456,7	251,40	2358,3	2609,7	0,8320	7,9085
0,30	69,10	1,0223	5,229	289,20	2468,4	289,23	2336,1	2625,3	0,9439	7,7686
0,40	75,87	1,0265	3,993	317,53	2477,0	317,58	2319,2	2636,8	1,0259	7,6700
0,50	81,33	1,0300	3,240	340,44	2483,9	340,49	2305,4	2645,9	1,0910	7,5939
0,60	85,94	1,0331	2,732	359,79	2489,6	359,86	2293,6	2653,5	1,1453	7,5320
0,70	89,95	1,0360	2,365	376,63	2494,5	376,70	2283,3	2660,0	1,1919	7,4797
0,80	93,50	1,0380	2,087	391,58	2498,8	391,66	2274,1	2665,8	1,2329	7,4346
0,90	96,71	1,0410	1,869	405,06	2502,6	405,15	2265,7	2670,9	1,2695	7,3949
1,00	99,63	1,0432	1,694	417,36	2506,1	417,46	2258,0	2675,5	1,3026	7,3594
1,50	111,4	1,0528	1,159	466,94	2519,7	467,11	2226,5	2693,6	1,4336	7,2233
2,00	120,2	1,0605	0,8857	504,49	2529,5	504,70	2201,9	2706,7	1,5301	7,1271
2,50	127,4	1,0672	0,7187	535,10	2537,2	535,37	2181,5	2716,9	1,6072	7,0527
3,00	133,6	1,0732	0,6058	561,15	2543,6	561,47	2163,8	2725,3	1,6718	6,9919
3,50	138,9	1,0786	0,5243	583,95	2546,9	584,33	2148,1	2732,4	1,7275	6,9405
4,00	143,6	1,0836	0,4625	604,31	2553,6	604,74	2133,8	2738,6	1,7766	6,8959
4,50	147,9	1,0882	0,4140	622,25	2557,6	623,25	2120,7	2743,9	1,8207	6,8565
5,00	151,9	1,0926	0,3749	639,68	2561,2	640,23	2108,5	2748,7	1,8607	6,8212
6,00	158,9	1,1006	0,3157	669,90	2567,4	670,56	2086,3	2756,8	1,9312	6,7600
7,00	165,0	1,1080	0,2729	696,44	2572,5	697,22	2066,3	2763,5	1,9922	6,7080
8,00	170,4	1,1148	0,2404	720,22	2576,8	721,11	2048,0	2769,1	2,0462	6,6628

Tabla 14. Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de presiones

$$h_{fg@6,89 \text{ bar}} = 2068,49 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_{util} = 0,28 \frac{\text{kg}_{vapor}}{\text{s}} * 2068,49 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{vapor}}$$

$$Q_{util} = 579,2 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

$$P.C. I_{gas \text{ natural}} = \sum_i (N_i * h_i)_{P,TR} - \sum_j (N_j * h_j)_{R,TR}$$

TABLA A-26

Entalpía de formación, función de Gibbs de formación y entropía absoluta a 25°C, 1 atm

Sustancia	Fórmula	\bar{h}_f° kJ/kmol	\bar{g}_f° kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol · K
Acetileno	C ₂ H ₂ (g)	+226,730	+209,170	200.85
Agua	H ₂ O(l)	-285,830	-237,180	69.92
Alcohol etílico	C ₂ H ₅ OH(g)	-235,310	-168,570	282.59
Alcohol etílico	C ₂ H ₅ OH(l)	-277,690	-174,890	160.70
Alcohol metílico	CH ₃ OH(g)	-200,670	-162,000	239.70
Alcohol metílico	CH ₃ OH(l)	-238,660	-166,360	126.80
Amoniaco	NH ₃ (g)	-46,190	-16,590	192.33
Benceno	C ₆ H ₆ (g)	+82,930	+129,660	269.20
n-butano	C ₄ H ₁₀ (g)	-126,150	-15,710	310.12
Carbón	C(s)	0	0	5.74
Dióxido de carbono	CO ₂ (g)	-393,520	-394,360	213.80
n-dodecano	C ₁₂ H ₂₆ (g)	-291,010	+50,150	622.83
Etano	C ₂ H ₆ (g)	-84,680	-32,890	229.49
Etileno	C ₂ H ₄ (g)	+52,280	+68,120	219.83
Hidrógeno	H ₂ (g)	0	0	130.68
Hidrógeno	H(g)	+218,000	+203,290	114.72
Hidroxilo	OH(g)	+39,460	+34,280	183.70
Metano	CH ₄ (g)	-74,850	-50,790	186.16
Monóxido de carbono	CO(g)	-110,530	-137,150	197.65
Nitrógeno	N ₂ (g)	0	0	191.61
Nitrógeno	N(g)	+472,650	+455,510	153.30
n-octano	C ₈ H ₁₈ (g)	-208,450	+16,530	466.73
n-octano	C ₈ H ₁₈ (l)	-249,950	+6,610	360.79
Oxígeno	O ₂ (g)	0	0	205.04
Oxígeno	O(g)	+249,190	+231,770	161.06
Peróxido de hidrógeno	H ₂ O ₂ (g)	-136,310	-105,600	232.63
Propano	C ₃ H ₈ (g)	-103,850	-23,490	269.91
Propileno	C ₃ H ₆ (g)	+20,410	+62,720	266.94
Vapor de agua	H ₂ O(g)	-241,820	-228,590	188.83

Fuente: De JANAF, *Thermochemical Tables*, Midland, MI, Dow Chemical Co., 1971. *Selected Values of Chemical Thermodynamic Properties*, NBS Technical Note 270-3, 196B; y *API Research Project 44*, Carnegie Press, 1953.

Tabla 15. Entalpía, entropía y energía libre de Gibbs

Productos		Reactivos	
Especie	h _f 25°C	Especie	h _f 25°C
CO ₂ (g)	-393.520	CH ₄	-74.850
H ₂ O (g)	-241.820	C ₂ H ₆	-84.680
N ₂ (g)	0	C ₃ H ₈	-103.850
		C ₄ H ₁₀	-135.600

C ₄ H ₁₀	-126.150
N ₂	0
CO ₂	-393.520
O ₂	0

Tabla 16. Entalpías de formación de productos y reactivos

$$P.C.I = \left[1,1639(-393,520 + 37,13(28,3 - 25))_{CO_2} + 2,2107(-241.820 + 33,56(28,3 - 25))_{H_2O} + 8,4214(0 + 29,09(28,3 - 25))_{N_2} \right] - \left[0,8151(-74.850 + 36,14(28,3 - 25))_{CH_4} + 0,1196(-84.680 + 53,1(28,3 - 25))_{C_2H_6} + 0,0199(-103.850 + 7,05(28,3 - 25))_{C_3H_8} + 0,0023(-135.600 + 99,75(28,3 - 25))_{C_4H_{10}} + 0,0022(-126.150 + 99,75(28,3 - 25))_{C_4H_{10}} + 0,009(0 + 29,09(28,3 - 25))_{N_2} + 0,0319(-393.520 + 37,13(28,3 - 25))_{CO_2} + 2,23(0 + 29,4(28,3 - 25))_{O_2} + (2,23 * 3,76) * (0 + 29,09(28,3 - 25))_{N_2} \right]$$

$$P.C.I = -906.215,79 \frac{kJ}{kmol_{fuel}}$$

$$Q_{humos} = 1,1639(37,13(198 - 25)) + 2,2107(33,56(198 - 25)) + 0,1557(29,4(198 - 25)) + 8,412(29,09(198 - 25))$$

$$Q_{humos} = 63.444 \frac{kJ}{kmol}$$

$$\%Q_{humos} = \frac{Q_{humos}}{-P.C.I} = \frac{63.444 \frac{kJ}{kmol}}{906.215,79 \frac{kJ}{kmol}} = 7\%$$

Lo siguiente es calcular las perdidas por radiación, pero estas requieren de las áreas externas calientes de la caldera. Estas dimensiones son las siguientes:

Diámetro de la caldera: 1.8 m

Largo de la caldera: 4.5 m

Las temperaturas de las tapas de la caldera y de la superficie cilíndrica se muestran a continuación:

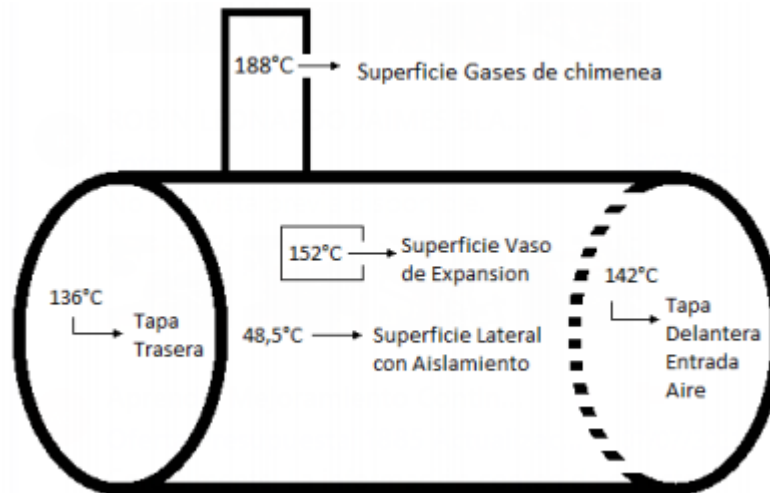


Ilustración 25. Temperaturas de las tapas de la caldera y de la superficie cilíndrica

Con estas temperaturas se determinan los flux de calor por radiación que se pierden al medio mediante la siguiente gráfica.

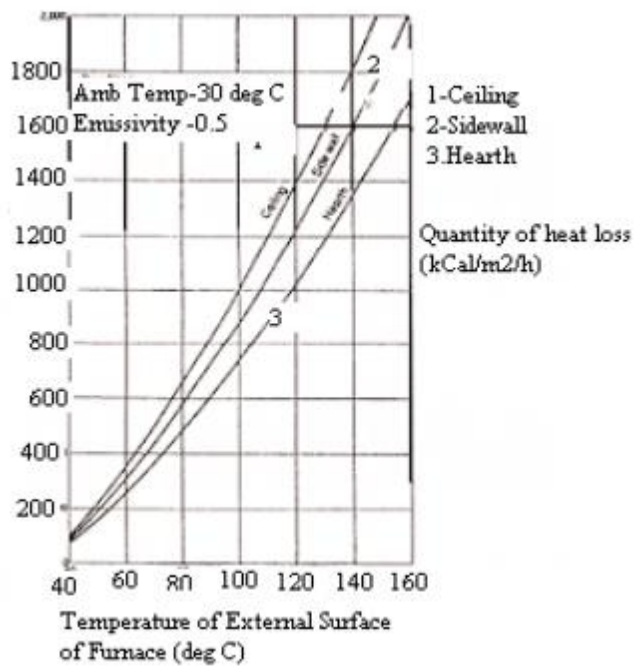


Ilustración 26. Flux de calor por radiación

		Área [m ²]	Q [kCal/h-m ²]	Q [kCal/h]	Q [kCal/s]	Q [kW]
Diámetro [m]	1,8	5,09	1700	8651,9	2,40	10,05
Largo [m]	4,5	25,45	200	5089,4	1,41	5,91
Vaso de expansión [m x m]	0,25x0,25	0,04	1700	68,0	0,02	0,08

Tabla 17. Pérdidas de calor de la caldera

Las pérdidas por radiación se estiman de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Q_{rad} = \frac{Q_{i,rad} [kW]}{\frac{Caudal_{gas}}{3600} * PCI [kW]}$$

Donde Q_i , es cada calor por radiación (vaso de expansión, tapas (x2), superficie cilíndrica) y teniendo un valor de caudal de gas diferente para cada condición de operación.

Las pérdidas por radiación son entonces:

	Full Carga	Modulación	Bajo Fuego
% Q_{rad} por vaso de expansión	0,004%	0,01%	0,02%
% Q_{rad} por tapas	0,57%	0,81%	2,21%
% Q_{rad} por sup. Cilíndrica	0,33%	0,48%	1,30%
% Q_{rad} total	0,9%	1,3%	3,53%

Tabla 18. Pérdidas por radiación (M.Sc, 2021)

$$Q_{radiación} = 0,9\% - P.C.I$$

$$Q_{radiación} = 8.155,94 \frac{kJ}{kmol}$$

$$Q_{útil} = -Q_{radiación} - (Q_{sensiblehumos} + P.C.I)$$

$$Q_{útil} = -8.155,94 \frac{kJ}{kmol} - \left(63.444 \frac{kJ}{kmol} - 906.215,79 \frac{kJ}{kmol} \right)$$

$$Q_{útil} = 834.615,81 \frac{kJ}{kmol}$$

$$Eficiencia = \frac{Q_{\text{útil}}}{-P.C.I} * 100$$

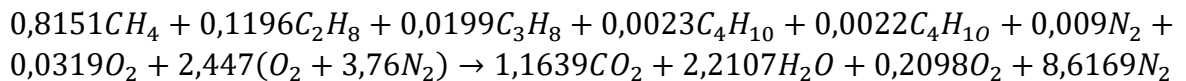
$$Eficiencia_{full\ load} = 92\%$$

Se realiza el mismo procedimiento mostrado anteriormente para el análisis de gases en modulación y bajo fuego de la caldera. Los resultados obtenidos fueron los siguientes.

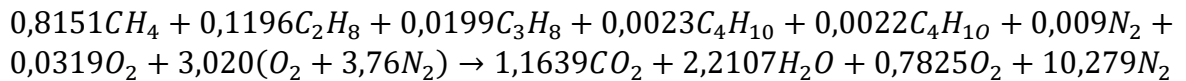
6.6 Combustión Real Gas Oriente Modulación y Bajo Fuego

De acuerdo con los balances de combustión, las ecuaciones de combustión para cada condición de operación son las siguientes:

Modulando:



Bajo Fuego:



Las condiciones de aireación de la combustión para cada condición de operación son las siguientes:

	Full Carga	Modulación	Bajo Fuego
% Aireación	107%	109,4%	135,6%

Tabla 19. Condiciones de aireación de la combustión

En la siguiente tabla se muestran los resultados para las pérdidas por calor sensible de humos.

	Full Carga	Modulación	Bajo Fuego
% Q _{humos}	7,00%	6,53%	6,55%

Tabla 20. Pérdidas por calor sensible de humos

Los valores obtenidos para estas pérdidas son bajos en comparación para la mayoría de las calderas pirotubulares a gas natural (entre 10% y 12%), pero son coherentes con las temperaturas de los humos medidas en los análisis de humos.

El porcentaje de pérdidas totales y las eficiencias son las siguientes:

	Full Carga	Modulación	Bajo Fuego
% $Q_{\text{humos}} + Q_{\text{radiación}}$	7,90%	7,83%	10,08%
Eficiencia de combustión de la caldera	92,10%	92,17%	89,92%

Tabla 21. Pérdidas y eficiencias a diferentes condiciones de operación (M.Sc, 2021).

7. OBSERVACIONES

Inicialmente, es importante anotar que los valores de temperatura de humos de combustión son relativamente bajos para la caldera en cuestión dado que es una caldera que opera a una presión baja (100 PSI nominalmente) y por lo tanto, la temperatura del vapor saturado producido no es muy alta, e igualmente, el flujo de vapor tampoco es el máximo que puede entregar la caldera (como se observa en las estimaciones de flujos de energía). Esto genera

Comparando los valores obtenidos para la eficiencia en la caldera de alrededor de un 90% mediante análisis de combustión y, para la eficiencia de todo el sistema de generación y distribución de vapor de un 67%, se observa que los 23 puntos porcentuales de pérdida de eficiencia en el uso del gas natural se encuentran en la red de distribución de vapor. Esto puede ser debido al mal funcionamiento de trampas de vapor que permiten el paso de vapor sin que entregue su energía al proceso y a la existencia de tramos de tubería sin conexión a algún equipo de consumo de vapor, lo que genera la condensación de una apreciable cantidad de vapor.

De acuerdo con los resultados del análisis de la combustión, la caldera opera en buenas condiciones de eficiencia. Se observa la formación de llama amarilla durante

el funcionamiento en condiciones de full carga y en modulación, lo que puede estar generando la acumulación de hollín en las superficies de intercambio de calor internas. Esto puede ser corregido aumentando levemente el exceso de aireación a un 10% o 12% en estas condiciones, lo que no afectaría significativamente la eficiencia ya que para disminuir este parámetro en un 1% se estima que se debe aumentar la aireación en 10 puntos porcentuales, de manera que se podría mantener la eficiencia en valores cercanos a un 90% en la caldera y disminuir la acumulación de hollín.

8. RECOMENDACIONES DE MEJORAS

Se realizan recomendaciones de mejoras en el sistema de vapor con el fin de mejorar la eficiencia en la generación, distribución y uso del vapor teniendo en cuenta las variables técnicas y económicas que estén involucradas en los siguientes puntos:

- Revisión y evaluación de accesorios y trampas con fugas de vapor.
- Plan de calibración de las calderas.
- Incremento de la temperatura de agua de alimentación a la caldera.
- Implementación de LUP para correcto purgado de la red de vapor.
- Sistema separador de humedad.
- Purgas automáticas de calderas.

Todo lo anterior buscando la máxima eficiencia energética y buscando disminuir el consumo de combustible en la caldera. Con el firme propósito de optimizar el sistema de vapor en la planta.

8.1 Revisión y evaluación de accesorios y trampas con fugas de vapor

La revisión y corrección de fallas en la red de distribución generaría que la caldera trabaje menos en condiciones de full carga de fuego o en modulación, teniendo menos tiempo un alto consumo de gas. Numéricamente, esos 23% puntos

porcentuales de pérdida de energía pueden significar una disminución de hasta un 18% de gas natural, lo que serían aproximadamente 380 m³ de gas cada día de acuerdo con los datos de consumo de gas natural promedios estimados durante los meses de mayo y junio.

Durante el tiempo de estudio realizado en la planta, se detectaron fugas en la red de distribución de vapor en válvulas y uniones. Es de suma importancia la corrección de estas fugas, ya que, representan pérdidas energéticas y monetarias para la empresa.



Ilustración 27. Fugas de vapor en el sistema de Distribución (Fuente: Gaseosas Hipinto S.A.S).

Con respecto a las trampas de vapor, se realizó una inspección termográfica de las cuarenta y cinco (45) trampas que se encuentran instaladas estratégicamente a lo largo de la tubería para remover los condensados de la línea y se clasificaron según su marca, diámetro y estado de la trampa. El resultado de muestra a continuación:

AREA/EQUIPO	Marca				Diámetro (Pulgadas)							Estado	
	SXS	SM	TLV	OM	1/2	3/4	1	1,5	2	2,5	3	B	M
Caldera / Distribuidor Principal			X				X					X	
Caldera / Distribuidor Principal	X								X			X	
Tubería Principal / Pierna Colectora 1	X				X							X	
Tubería Principal / Pierna Colectora 2			X		X							X	

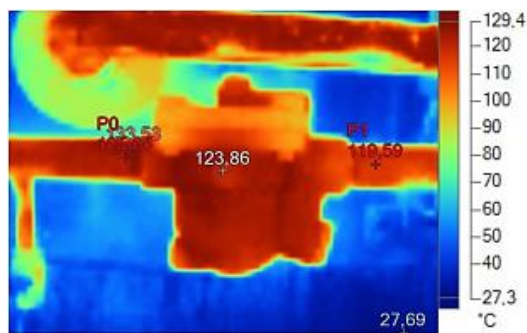
Tubería Principal / Pierna Colectora 3	X				X							X
Tubería Principal / Pierna Colectora 4	X				X							X
Tanque Disolutor / Separador	X						X					X
Tanque Disolutor / Pierna Colectora	X				X							X
Tanque Disolutor / Intercambiador	X							X				X
Dosificador Pulpa / Tetra Pie De Línea	X				X							X
Dosificador Pulpa / Separador	X						X					X
Dosificador Pulpa / Intercambiador	X							X				X
Dosificador Pulpa / Intercambiador	X							X				X
CIP A / Pierna Colectora	X				X							X
CIP A / Separador De Humedad	X				X							X
CIP A / Bomba De Condensados			X		X							X
CIP A / Intercambiador A		X							X			X
CIP B / Intercambiador B		X							X			X
CIP A / Intercambiador A				X					X			X
CIP B / Intercambiador B				X					X			X
CIP B / Pierna Colectora	X				X							X
CIP A B / Reguladora	X										X	X
CIP A B / Válvula Seguridad	X								X			X
Lavadora De Botella/ Pierna Colectora			X		X							X
Lavadora De Botella / Tanque 1		X							X			X
Lavadora De Botella / Tanque 2		X							X			X

Lavadora De Botella / Tanque 3		X							X			X	
Lavadora De Botella / Tanque 4		X							X			X	
Lavadora De Botella / Tanque 1			X				X					X	
Lavadora De Botella / Tanque 2	X						X					X	
Lavadora De Botella / Tanque 3			X				X					X	
Lavadora De Botella / Tanque 4			X				X					X	
Lavadora De Botella / Bomba			X		X							X	
Lavadora De Cajas / Pierna Colectora			X		X							X	
Lavadora De Botellones / Pierna Colectora	X				X								X
Secador Aire / Clarificador 4	X				X							X	
Lavadora Guacales	X				X							X	
Lavadora De Botellones / Drenaje Serpentines			X				X					X	
Lavadora De Caja / Genéricas	X				X							X	
Lavadora De Caja Genérica / Pierna Col	X				X							X	
PTAP / Pierna Colectora 1	X				X							X	
PTAP / Modulo CIP 1		X						X				X	
PTAP / Modulo CIP 2	X							X				X	
PTAP / Modulo CIP 3	X								X			X	
PTAP / Pierna Colectora 2	X				X							X	
PTAP / Bomba De Condensados	X				X							X	
PTAP / I/C Agua Cristal	X				X							X	
PTAP / I/C Agua Cristal				X		X						X	

PTAP / I/C Agua Cristal				X			X					X
PTAP / I/C Tetra CIP	X							X				X
PTAP / I/C Tetra esterilización	X				X							X
PTAP / I/C Tetra esterilización		X				X						X
PTAP / I/C Tetra esterilización	X						X					X
PTAP / I/C Gaseosa	X				X							X
PTAP / I/C Gaseosa	X					X						X
PTAP / I/C Gaseosa		X					X					X

Tabla 22. Condición de las trampas de vapor en el sistema de distribución de vapor (Fuente: Gaseosas Hipinto S.A.S)

Como se observa en la tabla, la trampa de vapor de la Lavadora de Botellones / Pierna Colectora, se encuentra en fallo, por lo cual se recomienda hacer el cambio de la trampa, ya que, está dejando pasar el vapor y generado fugas del mismo. A continuación, se muestran las fotografías de la trampa de vapor tomadas con la cámara termográfica.



IR_06896.IS2
15/03/2021 11:31:02



Imagen de luz visible

Información de la imagen

Temperatura promedio	82,94°C
Rango de la imagen	27,69°C a 133,53°C
Tamaño de sensor IR	80 x 60
Hora de la imagen	15/03/2021 11:31:02

Marcadores de la imagen principal

Nombre	Temperatura	Emisividad	Segundo plano
Punto central	123,86°C	0,95	22,00°C
Caliente	133,53°C	0,95	22,00°C
Frío	27,69°C	0,95	22,00°C
P0	125,65°C	0,95	22,00°C
P1	119,59°C	0,95	22,00°C

Ilustración 28. Trampa de vapor en fallo - Lavadora de Botellones (Fuente: Gaseosas Hipinto S.A.S)



Ilustración 29. Vapor venteado a la atmósfera a causa de la trampa en fallo

8.2 Plan de calibración de las calderas

Según el seguimiento realizado a las calderas 1 y 2 de la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S., se pudo observar que las calibraciones son efectivas durante sus primeros cinco (5) meses. Estas calderas trabajan aproximadamente 8400 horas/año por lo cual tienden a descalibrarse rápidamente, por esta razón se recomienda la calibraciones trimestrales o máximo semestrales, con el fin de evitar desperdicios de Gas Natural para su funcionamiento y poder mantener en óptimas condiciones el proceso de combustión de las mismas.

8.3 Incremento de la temperatura de agua de alimentación de las calderas.

Otra alternativa para disminuir el consumo de gas natural es el incremento de la temperatura del agua de alimentación, que actualmente está en 81 °C, mediante la recuperación de condensados de la red de vapor. El Departamento de Energía de los EE.UU (DOE) señala que un aumento de 5 °C en la temperatura del agua de alimentación genera un aumento de un 1% en la eficiencia, lo que significa una disminución de cerca de 17 m³ de gas cada día por un aumento de 5 °C en la temperatura de alimentación.



Ilustración 30. Termopozo para el agua de alimentación de las Calderas

Las alternativas para el aumento del agua de alimentación son:

- Instalación de economizadores aprovechando el calor de los humos para calentar el agua de alimentación: Se ha reportado que la recuperación del calor sensible para precalentar el agua de alimentación a la caldera puede representar un ahorro de combustible del 5% al 10%, en calderas con potencia útil mayor de 100 BHP y presiones mayores a 75 psi, operando con alto factor de carga y de utilización al año, tiene una gran viabilidad técnica y económica.
- Recuperación de condensados: 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 este condensado de mayor 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%. Pare el caso de estudio, un ahorro de combustible cercano a un 10% se podría obtener aumentando la temperatura del condensado desde los 76 C actuales hasta 126 °C y dado que la temperatura del condensado en el sistema está entre 150 y 160 °C, esta alternativa puede tener viabilidad técnica y económica⁵.

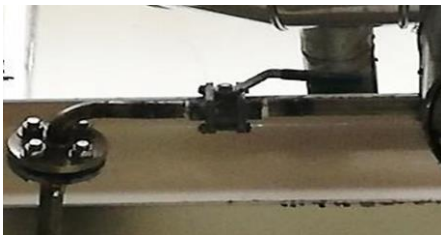
8.4 Implementación de LUP para correcto purgado de la red de Vapor.

Durante el tiempo de estudio realizado en la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S., se detectó que no se estaba realizando el correcto purgado de la red de vapor para la remoción del condensado, este purgado se realiza normalmente los días lunes, ya que, el día domingo el sistema de generación de vapor permanece apagado por más de 8 horas, lo que ocasiona que todo el vapor estancado en la red de distribución del mismo, pase de su estado gaseoso a líquido. Este condensado debido al desnivel que presenta la tubería, tiende a acumularse en los pozos de goteo de las líneas. Para explicar mejor el problema presentado y dar una solución

del mismo, se realiza un LUP (Lección de un punto), el cual se implementará para la retroalimentación del personal en el correcto purgado de la red de vapor.

NOTA: Al realizar la purga de la red de vapor, garantizar que las válvulas de retorno de condensados y la de purga del pozo de goteo se encuentren abiertas, el siguiente paso será abrir la válvula de purga de la red de vapor cuando la caldera ha dejado de estar en funcionamiento por más de 8 horas, ya que todo el vapor que se encontraba en el sistema ha pasado a su estado líquido.

Válvula de retorno de condensados
NORMALMENTE ABIERTA



Pozo de goteo
Lugar donde cae el condensado alojado en la tubería

Válvula de purga del pozo de goteo
NORMALMENTE ABIERTA



Válvula de purga de la red de vapor
NORMALMENTE CERRADA



Ilustración 31. LUP para el correcto purgado de la red de vapor

La falencia que cometía el personal encargado del purgado de la red de vapor es que abrían la válvula de purga de la red de vapor, que se encuentra normalmente cerrada, pero tenían cerrada la válvula de purga del pozo de goteo la cual debe permanecer normalmente abierta, por esta razón el condensado estancado en el pozo de goteo, no podía bajar por la tubería, es decir, no sé estaba purgando la red.

8.5 Sistema separador de humedad

Las calderas modernas tienen una gran capacidad comparada con su tamaño y hay que tener mucho cuidado para evitar situaciones de excesiva sobrecarga. Un incorrecto tratamiento del agua de alimentación y picos de consumo pueden provocar el arrastre de agua hacia las tuberías de distribución. El vapor húmedo contiene menos entalpía de evaporación que el vapor saturado seco a la misma presión y reduce la eficiencia del proceso o del equipo de calefacción. Por esta razón, se deben tomar medidas para garantizar el mayor título posible (fracción seca) del vapor generado.

Si bien los drenajes en la línea eliminarán todo condensado que se forme en la tubería, no podrán eliminar las gotitas de humedad arrastradas por el propio vapor. La solución más simple a este problema es la instalación de un separador de gotas, del que se muestra un modelo típico en la figura. Una pantalla central obliga al vapor a cambiar de dirección y a adquirir un movimiento circular. El vapor seco puede pasar sin dificultad, pero las gotas de agua, más pesadas, se recogen en el punto de drenaje inferior. Una trampa adecuada elimina el agua separada junto con el condensado que pudiese haber en este tramo de tubería de distribución.

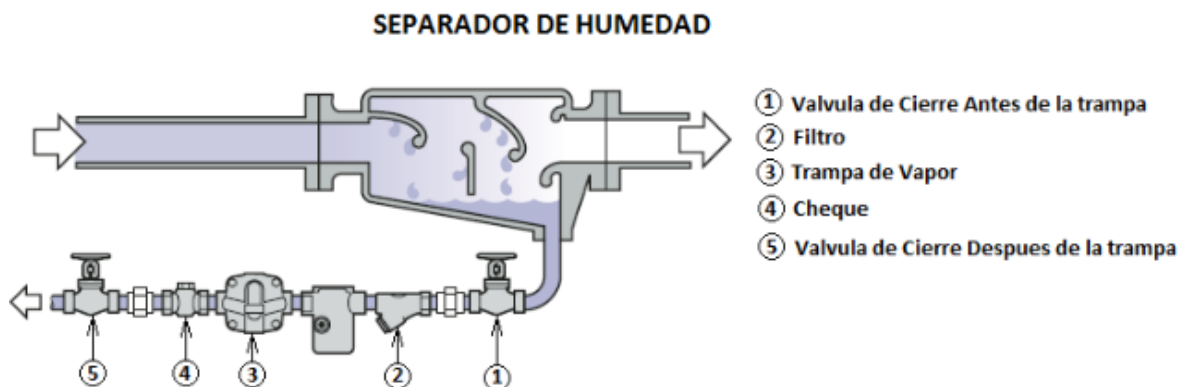


Ilustración 32. Separador de humedad

La planta de gaseosas Hipinto S.A.S. cuenta con equipos los cuales son necesarios el uso del vapor para su funcionamiento, como lo es la lavadora de botellas, la cual

es la encargada de realizar la limpieza y desinfección de envases nuevos o reciclados, con la finalidad de conseguir una condición óptima sanitaria para su utilización en el posterior envasado del producto. Por esta razón es importante que el título del vapor sea lo más cercano posible a 1.

Actualmente no se cuenta con sistema separador de humedad en la línea de vapor hacia el equipo lavadora de botellas. Por el equipo de Medición Endress + Hauser tenemos conocimiento de que este equipo se consume 791,97 Kg/h de vapor con un título del 96,55%



Ilustración 33. Consumo de vapor de la lavadora de botellas

Instalar un sistema separador de humedad de 3" en la línea de vapor antes de las válvulas de control para aumentar el título de vapor al 99%.



Ilustración 34. Kit estación de secado

8.6 Purgas automáticas de fondo de Caldera.

Los datos del mes de junio 2021 del analista del agua de caldera de Nalco Water nos muestran lo siguiente:

AGUA PURGA DE CALDERA 1		
Variable	Parámetro de Referencia	Resultado obtenido
pH	10,5 - 11,8	12,1
Conductividad (Ms/cm)	< 5,5	8,0
Alcalinidad M (ppm)	< 700	1700
Sulfito (ppm)	15-60	20
Dureza (ppm)	< 4	0
Sílice (ppm)	< 150	700
Ciclos	<30	145

Ilustración 35. Muestra de agua de purga de Caldera (Nalco Water)

Lo que nos indica la purga de la caldera es que se está efectuando un volumen de purga muy bajo, esto hace que los valores de la mayoría de las variables superen los límites de control sugeridos, esto es perjudicial para la caldera ya que hace que esta se incruste y pierda eficiencia en la transferencia de calor.

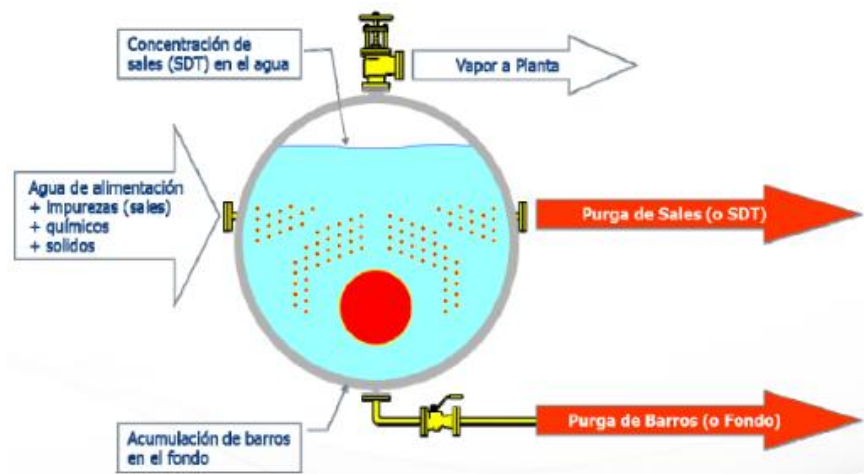


Ilustración 36. Concentración de SDT

Las calderas en planta no tienen purga de superficie para eliminar las sales o SDT y actualmente la purga de fondo se hace manual, pero es evidente que no se está realizando correctamente haciendo que estas permanezcan concentradas.

Para eliminar lodos debe producirse turbulencia y se consigue con purgas cortas y rápidas (3 a 5 seg.). La mejor opción es una válvula de esfera, con actuador neumático y temporizador actuando varias veces al día, las menos posibles según la calidad del agua.

Se recomienda la Automatización e implementación de las Purgas de Fondo para evitar faltas de purgas o realizar purgas en exceso, quitando el factor humano y evitar pérdidas de energía o incrustación en la caldera.

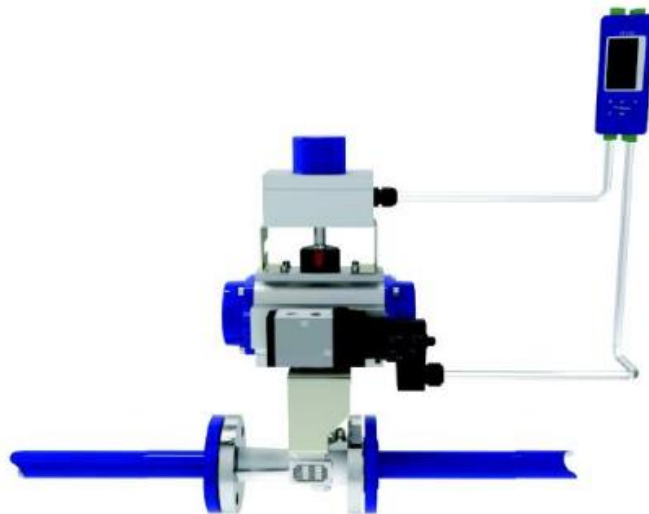


Ilustración 37. Purga de fondo automática

9. ANÁLISIS FINANCIERO DE LAS RECOMENDACIONES DE MEJORAS.

9.1 Separador de humedad

Para estimar el flujo de vapor que consume la lavadora de botellas, se hizo un seguimiento durante 2 meses de las libras horas de vapor que pasan a través del medidor de Endress + Hauser y las horas de operación de la lavadora, una vez con

estos datos recolectados, se realizó una ponderación mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{vapor\ antes} = \frac{\sum \dot{m}_i * minutos_i}{\sum minutos_i}$$

$$\dot{m}_{vapor\ antes} = \frac{34'924.546}{20.046} = 1.742 \frac{Lb}{h}$$

Finalizando el mes de Julio, se implementó una estación de secado S3 3" ANSI125 CON TRAMPEO FTI-125 (Purga, Filtro, Check y válvulas de Corte) para la lavadora de botellas del proveedor Spirax Sarco, con el fin de aumentar el título del vapor del 96,55% a 99% y los resultados fueron los siguientes:

$$\dot{m}_{vapor\ despues} = \frac{4'015.271}{2.892} = 1.388 \frac{Lb}{h}$$

$$\Delta_{vapor} = 1.742 - 1.388 = 354 \frac{Lb}{h}$$

El flujo de vapor obtenido luego de la implementación del separador de humedad se redujo en 354 Lb/h, lo que equivale a una reducción de 20,32%

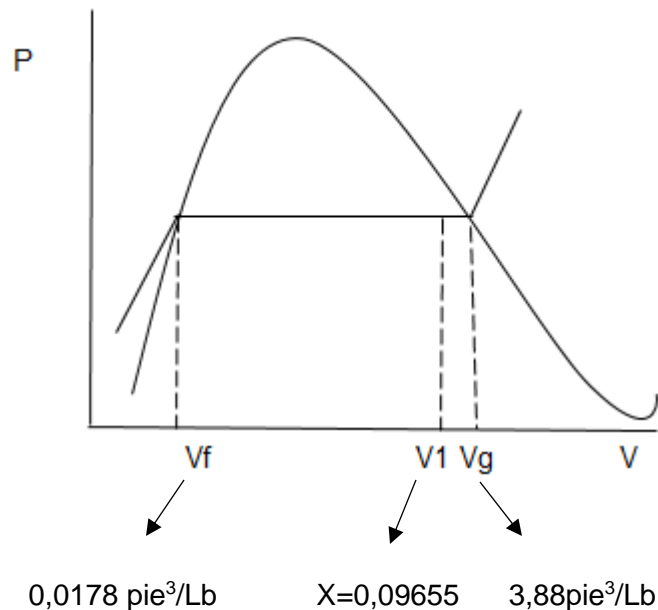


Ilustración 38. Curva P-V del vapor

Con estos datos, se procede a hallar el V1 a esa calidad de vapor mediante la siguiente formula:

$$V_1 = (V_g - V_f) - V_f$$

$$V_1 = \left(3,88 \frac{\text{pies}^3}{\text{Lb}} - 0,0178 \frac{\text{pies}^3}{\text{Lb}} \right) - 0,0178 \frac{\text{pies}^3}{\text{Lb}} \rightarrow 3,8443 \frac{\text{pie}^3}{\text{Lb}}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_{\text{vapor}} + \dot{m}_{\text{cond.}} = \dot{m}_x X_1 + \dot{m}(1 - X_1)$$

$$\dot{m}_1 = 1.742 \frac{\text{Lb}}{\text{h}} * 0,9655 + 1.742 \frac{\text{Lb}}{\text{h}} (1 - 0,9655)$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_{\text{vapor}1} = 1686 \frac{\text{Lb}_{\text{vapor}}}{\text{h}} + 60,25 \frac{\text{Lb}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{h}}$$

$$\dot{V}_1 = \dot{m}_1 V_1 = 1.742 * 3,844 = 6.697 \frac{\text{pies}^3}{\text{h}}$$

$$\dot{V}_2 = \dot{m}_2 V_2 = 1.388 * 3,88 = 5.387 \frac{\text{pies}^3}{\text{h}}$$

En el caso 2:

$$\dot{m}_{\text{vapor}2} = 1.388 \frac{\text{Lb}}{\text{h}} \rightarrow 0,1748 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{V}_2 = \frac{m_2 * \dot{R} * T_2}{P_2}$$

$$\dot{V}_2 = \frac{0,1748 * 0,461 * 443,1}{791,09} = 0,045 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \rightarrow 5.720 \frac{\text{pie}^3}{\text{h}}$$

Condición Inicial:

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = 1.686 \frac{\text{Lb}}{\text{h}} \rightarrow 0,2124 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{V}_{\text{vapor}1} = \frac{0,2124 * 0,461 * 443,1}{791,09} = 0,054 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \rightarrow 6.865 \frac{\text{pie}^3}{\text{h}}$$

Esto quiere decir que los ahorros generados por la implementación del separador de humedad son gracias a que la lavadora funciona 100 PSI, y ya que el vapor se

encuentra con más título de vapor, puede alcanzar esta presión utilizando menor flujo de vapor.

El cálculo del costo del vapor en la planta se realizó mediante un software proporcionado por Spirax Sarco en el cual se tuvo en cuenta el precio del Gas Natural en \$ 1320 COP/m³ las siguientes consideraciones:

COSTO DEL VAPOR				
Presion de Operación	7 bar			
Temp. Agua Alimentac	80 Celsius			
Eficiencia caldera	90%			
Combustible	Gas Natural			
Costo combustible	\$ 1.320 m ³			
Costo del vapor	<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.394 Ton. vapor</td> </tr> <tr> <td>\$ 102,39 kg vapor</td> </tr> <tr> <td>\$ 35.665,6757 GJ</td> </tr> </table>	\$ 102.394 Ton. vapor	\$ 102,39 kg vapor	\$ 35.665,6757 GJ
\$ 102.394 Ton. vapor				
\$ 102,39 kg vapor				
\$ 35.665,6757 GJ				

Ilustración 39. Calculadora costo del vapor (Spirax Sarco)

Con lo cual nos arroja el siguiente costo de \$ 102,39 COP/kg_{vapor}

Análisis financiero del Separador de humedad		
Costo del vapor según SXS	\$ 102,39	\$/kg _{Vapor}
Lb/h de vapor promedio mes	1.742	Lb/h
Lb/h luego de implementar Separador	1.388	Lb/h
Diferencia	354	Lb/h
Relación Kg - Lb	2,2	-
Diferencia	160,9	Kg/h
Ahorro por hora	\$ 16.476	\$/h
Horas de trabajo promedio mes	221	Horas
Ahorro mes	\$ 3.634.633	\$/mes
Ahorro año	\$ 43.615.599	\$/año
CAPEX	\$ 12.949.123	\$
PayBack	3,68	Meses

Tabla 23. Análisis financiero del separador de humedad

9.2 Calibración de la Caldera

Para los ahorros generados por la calibración de la Caldera, se tuvo en cuenta las calibraciones realizadas en el Julio de 2020 y mayo de 2021.

Se obtuvo una ecuación con la cual se puede determinar el consumo de Gas Natural respecto a la cantidad de cajas unitarias después de la calibración, se tuvo en cuenta los cuatro (4) meses antes de la calibración y las cajas unitarias producidas mes y de esta manera calcular los ahorros de combustible.

Para el año 2020:

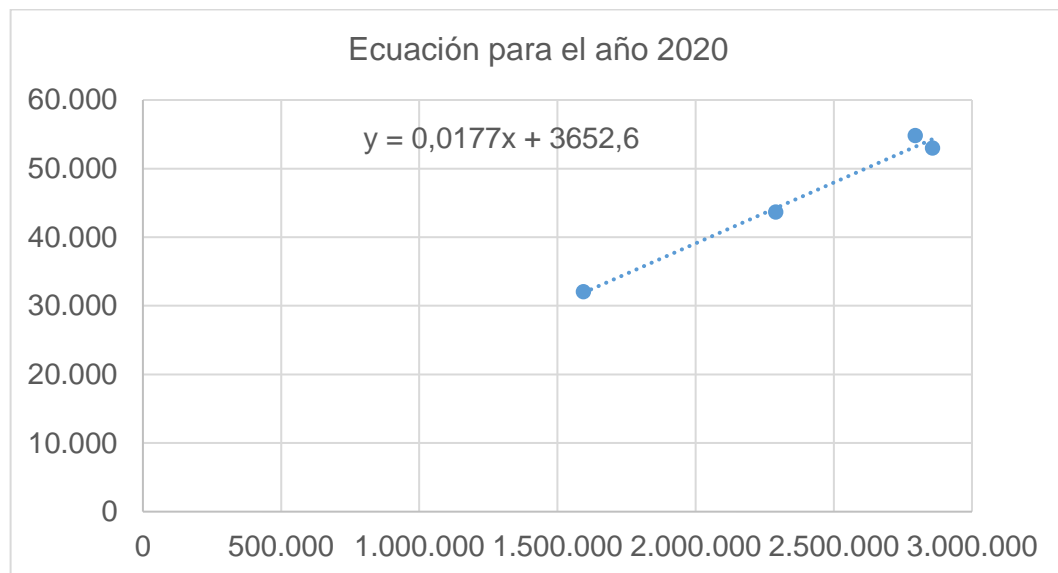


Ilustración 40. Comportamiento del gas natural y C.U. luego de la calibración – Año 2020

Ahorro generado después de las calibraciones 2020				
Fecha	Consumo base (m ³)	Consumo nuevo (m ³)	Ahorro mensual (m ³)	Ahorro monetario
abr-20	32.068	Antes de la Calibración		
may-20	43.696			
jun-20	54.824			
jul-20	53.028			
ago-20	46.429	52.257	5.828	\$ 7.690.511
sep-20	49.320	56.853	7.533	\$ 9.940.313

oct-20	50.604	56.202	5.598	\$ 7.387.717
nov-20	47.925	54.289	6.364	\$ 8.398.035
dic-20	52.708	63.681	10.973	\$ 14.480.505
ene-21	45.965	43.914	-2.051	\$ -2.706.819
Total			34.245	\$ 45.190.262

Ilustración 41. Ahorro generador por calibraciones - año 2020

Como se puede observar en la tabla, se generaron ahorros por la calibración durante los primeros 5 meses, el sexto mes se evidencia un gasto mayor de Gas Natural, lo que genera pérdidas para la empresa.

Para el año 2021:

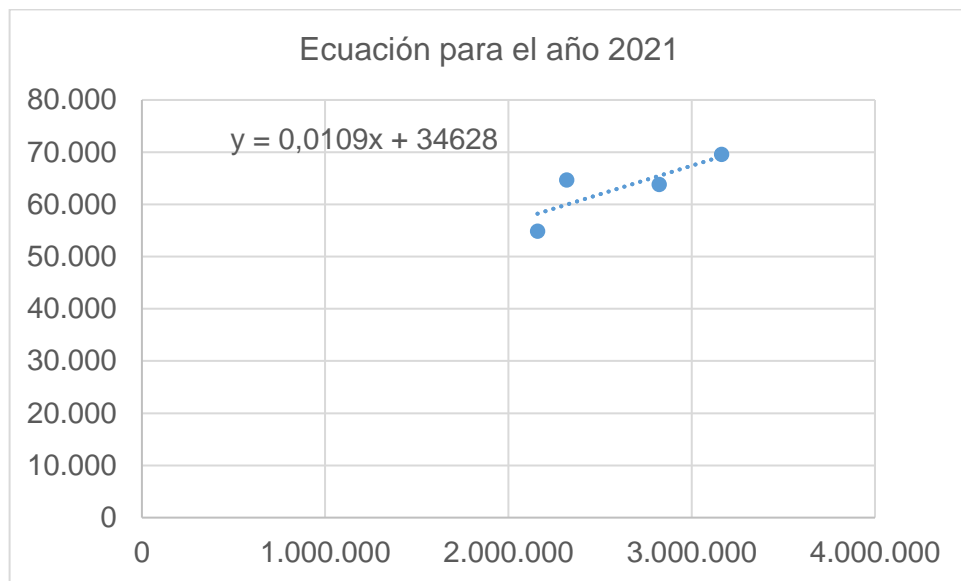


Ilustración 42. Comportamiento del gas natural y C.U. luego de la calibración – Año 2021

Ahorro generado después de las calibraciones 2021				
Fecha	Consumo base (m³)	Consumo nuevo (m³)	Ahorro mensual (m³)	Ahorro monetario
feb-21	63.778	Antes de la Calibración		
mar-21	69.564			
abr-21	54.839			
may-21	64.650			
jun-21	54.090	68.521	14.431	\$ 19.043.315
Total			14.431	\$ 19.043.315

Tabla 24. Ahorro generador por calibraciones - año 2021

Ahorro promedio generado por Calibraciones			
Fecha	Ahorro promedio mensual (m ³)	Promedio entre años (m ³)	Ahorro monetario mensual promedio
2020	7.259	10.845	\$ 14.311.366
2021	14.431		
CAPEX			\$ 9.923.194
Payback (meses)			0,70

Tabla 25. Ahorro promedio generador por calibraciones

9.3 Trampas de Vapor

Primeramente, se estima el coste de la pérdida de vapor a través del orificio de un purgador de vapor. Cuando un purgador de vapor funciona mal, el vapor, en forma de vapor, se escapa a través del orificio de salida. El vapor que se escapa es energía desperdiciada que no se puede recuperar. Al determinar la cantidad de vapor que se escapa, es posible determinar la pérdida financiera y si un programa de mantenimiento y reparación de purgadores sería beneficioso o no.

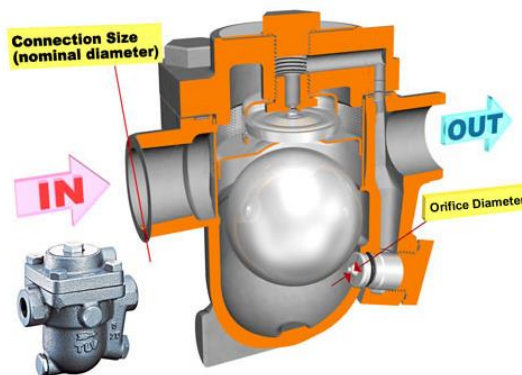


Ilustración 43. Purgador de vapor (TLV) (vapor, Vapor Flash, 2020)

La pérdida de vapor a través de un orificio puede estimarse utilizando una variante de la fórmula de Napier:

$$\dot{m}_{vapor} \left(\frac{lb}{h} \right) = 24,24 * Pa * D^2$$

Dónde: Pa: Presión absoluta, psia

D: Diámetro del orificio, pulgadas

El diámetro de un orificio es mucho más pequeño que el diámetro interior de la tubería conectada. Por ejemplo, los diámetros de orificio disponibles para las trampas de vapor son solo aprox. [1/8 de pulgada] o menos.

$$** \quad \dot{m}_{vapor} = 24.24 * (100 \text{ psi}_m + 13.14 \text{ psi}_{atm}) * \left(\frac{1}{8} \right)^2$$

$$\dot{m}_{vapor} = 42,85 \frac{lb}{h} \rightarrow 19,48 \frac{kg}{h}$$

Por otra parte, para el cálculo de las pérdidas horarias de vapor y energía se consideró que toda la planta trabaja 8400 horas al año lo cual equivale a una parada suma de dos semanas calendario. Se realiza el cálculo de energía a continuación:

Presión de la planta	7,79	barg
Entalpia de evaporación@7,79barg	2051,84	kJ/kg
Horas de trabajo	8400	Horas/año
Pérdidas de vapor	19,48	Kg/h
Eficiencia de la Caldera	90	%

Tabla 26. Información de la planta

*

**

$$\text{Energía perdida} = \frac{19,48 \frac{kg}{h} * 2051,84 \frac{kJ}{kg} * 8400 \frac{h}{año}}{0.9} = 373 \frac{GJ}{año}$$

El costo de la energía perdida por vapor en la planta se realizó nuevamente por medio del software proporcionado por Spirax Sarco:

COSTO DEL VAPOR							
Presión de Operación	7 bar						
Temp. Agua Alimentac	80 Celsius						
Eficiencia caldera	90%						
Combustible	Gas Natural						
Costo combustible	\$ 1.320 m3						
Costo del vapor	<table border="1"> <tr> <td>\$ 102.394</td> <td>Ton. vapor</td> </tr> <tr> <td>\$ 102,39</td> <td>kg vapor</td> </tr> <tr> <td>\$ 35.665,6757</td> <td>GJ</td> </tr> </table>	\$ 102.394	Ton. vapor	\$ 102,39	kg vapor	\$ 35.665,6757	GJ
\$ 102.394	Ton. vapor						
\$ 102,39	kg vapor						
\$ 35.665,6757	GJ						

Ilustración 44. Costo del vapor (Fuente: Calculadora Spirax Sarco)

Con lo cual nos arroja el siguiente costo de \$ 35.665,67 COP/GJ_{vapor}

Análisis Financiero Trampa de Vapor		
Pérdidas totales de vapor	373	GJ/año
Costo del vapor	\$ 35.665,67	GJ
Costo de pérdidas de vapor anual	\$ 13.303.297	COP
CAPEX	\$ 2.191.070	COP
Payback	2,03	Meses

Tabla 27. Análisis Financiero Trampa de Vapor

10 OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

10.1 Análisis del Vapor Flash

El vapor flash 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.

Evaporación Flash Durante la Descarga de Condensado

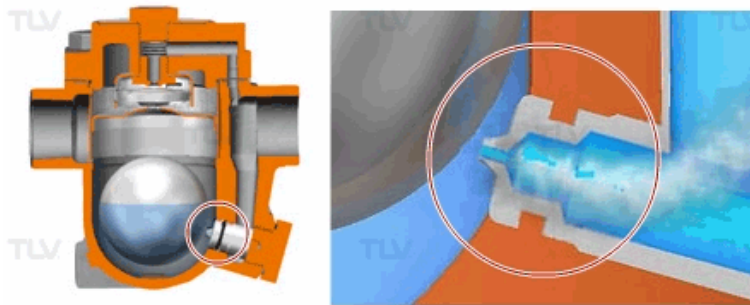


Ilustración 45. Evaporación Flash durante la descarga de condensado (vapor, Vapor Flash, 2020)

Reutilizar el vapor flash generado por un sistema de alta presión para su uso en un sistema de menor presión puede brindar ahorros de energía considerables además de mejorar el ambiente de trabajo de la planta al reducir las nubes de vapor, aumentando la eficiencia del sistema y optimizando el proceso de uso de vapor

Ejemplo de un Sistema de recuperación de Vapor Flash

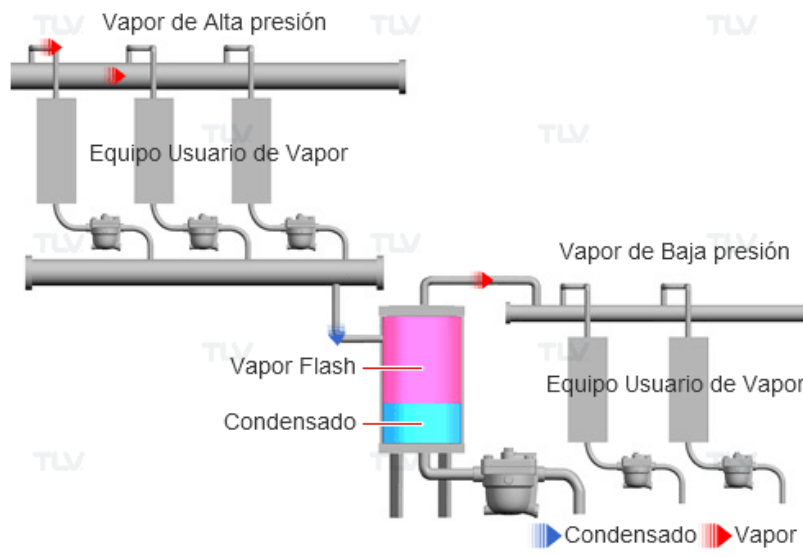


Ilustración 46. Ejemplo de un sistema de recuperación de vapor flash (vapor, Vapor Flash, 2020)

En el análisis realizado a la red de distribución de vapor, se pudo observar que en la lavadora de botellas y de botellones no se realiza la recuperación de vapor flash, por el contrario, este es botado a la atmosfera. Por lo cual se determina que es posible la implementación de una línea para la recuperación de este vapor como un punto de mejoramiento para sistema de calentamiento del agua de alimentación de las lavadoras.

Actualmente la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S. no cuenta con el sistema de calentamiento del agua de alimentación de la lavadora de botellas, la cual ingresa a las calderas a una temperatura de 30°C, por lo que el sistema propuesto de recuperación de vapor flash, aportaría al incremento de esta temperatura reduciendo el consumo de gas natural para el calentamiento de la misma y aportando ahorros para la compañía.

10.1.1 Cálculo del % de Vapor Flash generado

La proporción de vapor flash (por peso) para una presión de entrada de 10 barg [145 psig] y una presión de salida de 6 barg [87 psig] es aproximadamente de 4%.

En este se cuenta con la presión de entrada la cual tiene un valor de 6,89 barg [60 psig] y presión de salida de 0,20 barg [3 psig]. Con esto se calcula el % de vapor flash generado en nuestro sistema por medio de la calculadora brindada por TLV donde maneja las siguientes ecuaciones:

$$m_{fs} = \frac{m_c * (h_c - h_{fc})}{h_{fg}}$$

$$\% Vapor flash = 100 * \left(\frac{m_{fs}}{m_c} \right)$$

Donde:

- Carga de condensado (kg/h)
- Rango de flujo de vapor flash (kg/h)
- h_c : Entalpia específica del condensado (kJ/kg)

- h_{rc} : Entalpia específica del agua saturada (kJ/kg)
- h_{fg} : Calor latente del vapor flash (kJ/kg)

**
**

Calculadora: Vapor Flash Generado por Condensado Caliente

Inscríbese en la Revista por e-mail!

Introducir Datos Unidades

Presión del Condensado [?]	6.89	barG
Carga de Condensado [?]	792	kg/h
Presión de la Línea de Recuperación	0.2	barG

[Ocultar Opciones Avanzadas](#)

[Limpiar](#)

Resultados

Rango de Flujo de Vapor Flash	98.2257	kg/h
Relación de Vapor Flash	12.4022	%

Ilustración 47. Calculadora: Vapor Flash generado por condensado caliente (vapor, Calculadora: Vapor Flash generado por condensado caliente)

Esto quiere decir que, si el 12,4% se convierte en vapor y el 87,52% restante del flujo de masa inicial permanecerá como agua

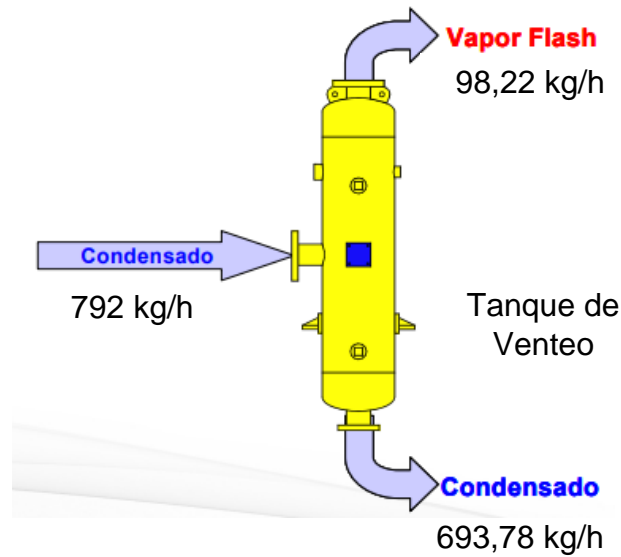


Ilustración 48. Vapor flash generado en el tanque de venteo

Ahora se determina las porciones por volumen. Partiendo de una masa de 1 kg de condensado descargado a 6,89 bar g de temperatura de saturación, la masa del vapor flash es de 0,124 kg y la masa de condensado es de 0,876 kg.

La densidad del agua saturada a 115°C, según las tablas de propiedades del agua es de 946,2875 kg/m³.

PROPIEDADES DEL AGUA

Temperatura (°C)	Densidad ρ (kg/m ³)	Calor Especifico c_p (J/kg°C)	Conductiv. térmica k (W/m°C)	Visc. dinám. $\eta \cdot 10^5$ (N.seg/m ²)	Visc. cinem. $\nu \cdot 10^6$ (m ² /seg)
0	999,9	4226	0,558	1794	1,789
20	998,2	4182	0,597	1004	1,006
40	992,3	4178	0,633	653,0	0,658
60	983,2	4181	0,658	470,0	0,478
80	971,8	4194	0,673	353,7	0,364
100	958,4	4211	0,682	281,0	0,294
140	926,1	4279	0,687	198,2	0,214
180	887,0	4413	0,678	153,5	0,173
220	840,5	4606	0,656	126,0	0,150
260	784,0	4944	0,614	107,5	0,137
300	712,5	6594	0,543	94,1	0,132

Tabla 28. Propiedades del agua (Renedo)

Entonces el volumen ocupado del agua sería igual a:

$$Volumen_{agua} = \frac{0,960282 \text{ kg}}{946,2875 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,001 \text{ m}^3$$

Para el vapor serial igual a:

De acuerdo con la calculadora: Tabla de vapor saturado por presión, de TLV, el volumen específico V_g del vapor a 6,89 bar g es igual a 0,2431 m³/kg.

*

$$Volumen_{vapor} = 0,124 \text{ kg} * 0,2431 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 0,030 \text{ m}^3$$

Esto quiere decir que el volumen total ocupado por el vapor y el condensado es:

$$0,001 \text{ m}^3_{agua} + 0,030 \text{ m}^3_{vapor} = 0,031 \text{ m}^3$$

En porcentaje (%):

$$El \text{ agua ocupa} = \frac{0,001}{0,031} = 3,22 \% \text{ del espacio de la tubería}$$

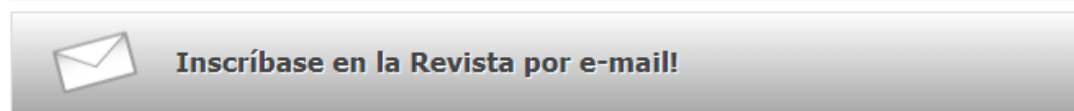
$$El \text{ vapor ocupa} = \frac{0,030}{0,031} = 96,77 \% \text{ del espacio de la tubería}$$

10.1.2 Dimensionamiento de la nueva línea de vapor

Por medio de la calculadora proporcionada por TLV: Dimensionamiento de Tubería para vapor por caída de presión. Se dimensiona la tubería a usar para el aprovechamiento de este vapor flash para el precalentamiento del agua de alimentación de las lavadoras tanto de botellas como de botellones.

Para este dimensionamiento es necesario conocer ciertos parámetros como son el grado de tubería, la presión del vapor, el rango de flujo de vapor, la máxima pérdida de presión permisible y la longitud de la tubería. Una vez se conozcan estos valores, se procese a realizar el cálculo por medio de la calculadora.

Calculadora: Dimensionamiento de Tubería para Vapor por Caída de Presión



Introducir Datos Unidades SI(bar) ▼

Grado de Tubería	ANSI Sch40 ▼	
Presión de Vapor	6.89	barG ▼
Rango de Flujo del Vapor	98.22	kg/h ▼
Máxima Pérdida de Presión Permisible	0.0689	bar ▼
Longitud de la Tubería [?]	20	m ▼

Ilustración 49. Calculadora: Dimensionamiento de Tubería para vapor por caída de presión (vapor, Calculadora: Dimensionamiento de Tubería para vapor por caída de presión)

Los resultados arrojados son los siguientes:

Tamaño de Tubería	NPS1	
Diámetro Interno Tubería	26.6446	mm ▼
Velocidad del Vapor	11.8962	m/s ▼
Caída de Presión	0.0551063	bar ▼
Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal	20	m ▼
Resultados		

Ilustración 50. Resultados calculadora: Dimensionamiento de Tubería para vapor por caída de presión

Según los resultados arrojados por la calculadora de TLV, para este flujo de vapor se requiere una tubería de 1” en acero al carbono Sch40 ya que este tipo de tubería soporta presiones de hasta 16 bares y altas temperaturas.

El valor de la inversión para este tipo de tubería de 1”, con la longitud de 20 metros sería de \$ 647.650 COP IVA incluido con los fabricantes de máquinas, “Industrias IMR” ubicada en Bucaramanga-Santander más \$ 400.000 COP por aislamiento de tubería

10.1.3 Equipo para el aprovechamiento del vapor flash

El intercambiador de vapor tubular Turflow tipo EVC (Condensadores de venteo de revaporizado) es un sistema de recuperación de energía innovador que aprovecha la energía excedente del condensado para calentar el agua de alimentación, en este caso de la lavadora de botellas.

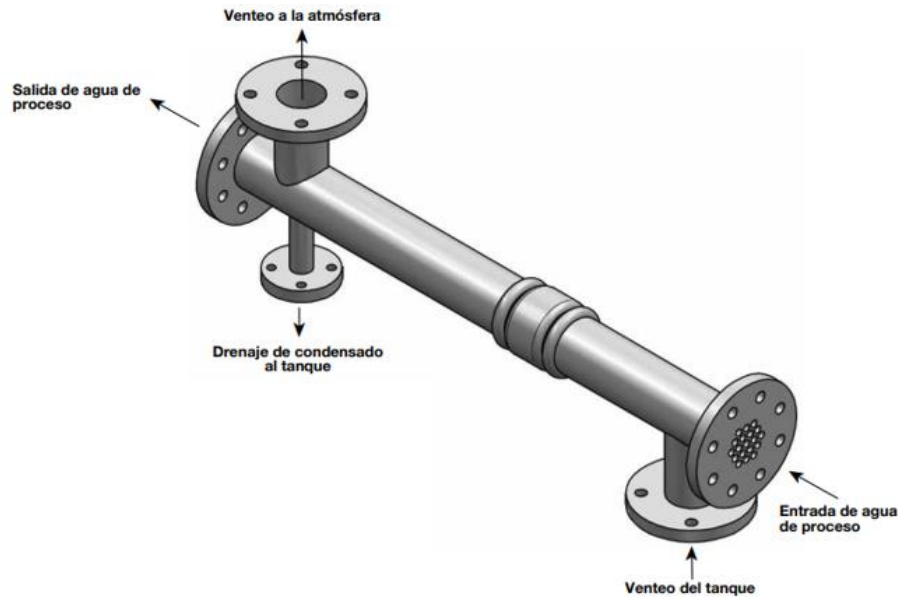


Ilustración 51. Intercambiador de calor Turb Flow tipo EVC

El condensador de venteo de revaporizado (EVC) de Spirax Sarco es una solución fiable e innovadora para el precalentamiento de agua de aportación o agua de proceso utilizando el calor residual que de otro modo se perdería a la atmósfera. Los intercambiadores de calor EVC son compactos y una solución eficiente económica de transferencia de calor en cualquier industria. El diseño único de tubo corrugado recto estimula el flujo turbulento, produciendo una transferencia de calor de alta eficiencia, mejorando la eficiencia de su sistema de vapor.

Su construcción estándar es enteramente en acero inoxidable y los tubos en AISI 316. No tiene juntas (a excepción de las conexiones de las tuberías) y no hay componentes pintados. Se suministra listo para instalar.

Condiciones límite

TMA	Temperatura máxima admisible	Camisa	300°C	
		Tubos	200°C	
PMA	Presión máxima admisible	Camisa	-10°C a +200°C	12 bar r
			200°C a 300°C	6 bar r
		Tubos	-10°C a +300°C	12 bar r

Ilustración 52. Condiciones límite del intercambiador de calor Turb Flow tipo EVC

Características	Beneficios
Amigable con el medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> - Reduce los costes del vapor, las facturas de los servicios públicos y las emisiones de CO2 - Reduce o elimina por completo las antiestéticas columnas de vapor flash.
Bajos costes de adquisición	<ul style="list-style-type: none"> - Ahorros de combustible - Componentes de alta calidad y bajo mantenimiento

Tabla 29. Características y beneficios del EVC (Fuente: Spirax Sarco)

Con los precios de energía de hoy y la necesidad de reducir emisiones, el sistema de vapor/condensado de una planta no puede permitirse ventear el revaporizado a la atmósfera. Un sistema típico incluirá un receptor de condensado que permite que el revaporizado se descargue a la atmósfera como lo es en el caso de la planta de Gaseosas Hipinto S.A.

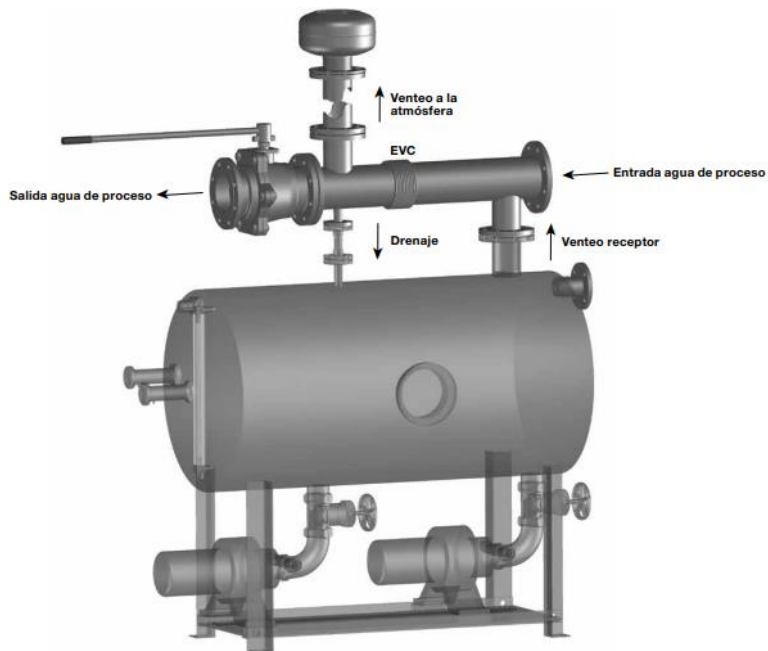


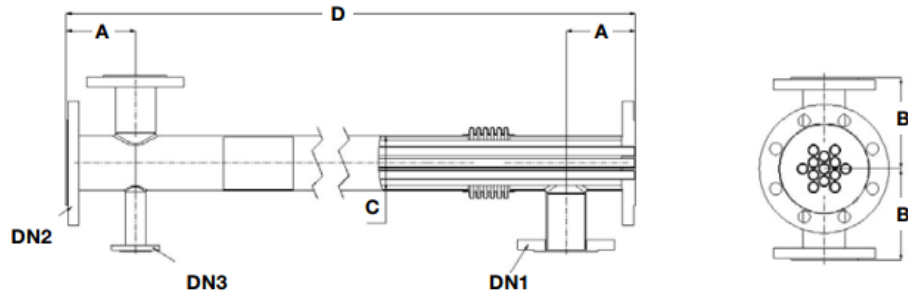
Ilustración 53. Sistema con implementación de EVC (Fuente: Spirax Sarco)

Modelos disponibles:

Intercambiador de calor	Caudal de vapor (kg/h)	Potencia (kW)	Caudal agua (kg/h) 50 a 70°C*	Entrada máx. de vapor 15 m/s	Conexión condensado	Conexión camisa
EVC 1½" - 1F	30	18,7	804	DN32	DN15	DN40
EVC 2" - 1F	50	31,3	1350	DN40	DN15	DN50
EVC 3" - 1F	75	46,9	2020	DN65	DN15	DN80
EVC 3" - 1F	100	62,5	2690	DN65	DN15	DN80
EVC 4" - 1F	200	125,0	5370	DN80	DN25	DN100
EVC 6" - 1F	300	187,5	8060	DN100	DN25	DN150
EVC 10" - 1F	500	312,5	13400	DN150	DN40	DN250
EVC 10" - 1F	750	468,7	20100	DN150	DN40	DN250

Ilustración 54. Modelos disponibles de intercambiadores tipo EVC (Fuente: Spirax Sarco)

Dimensiones/ peso (aproximados) en mm y kg



Modelo	DN1	DN2	DN3	A	B	C	D	Peso
EVC 1½" - 1F	32	40	15	94	140	48,3	1000	18
EVC 2" - 1F	40	50	15	90	140	60,3	1000	19
EVC 3" - 1F	65	80	15	110	160	88,9	1000	30
EVC 4" - 1F	80	100	25	125	180	114,3	1000	37
EVC 6" - 1F	100	150	25	140	220	168,3	1000	62
EVC 10" - 1F	150	250	40	180	280	273,0	1000	190

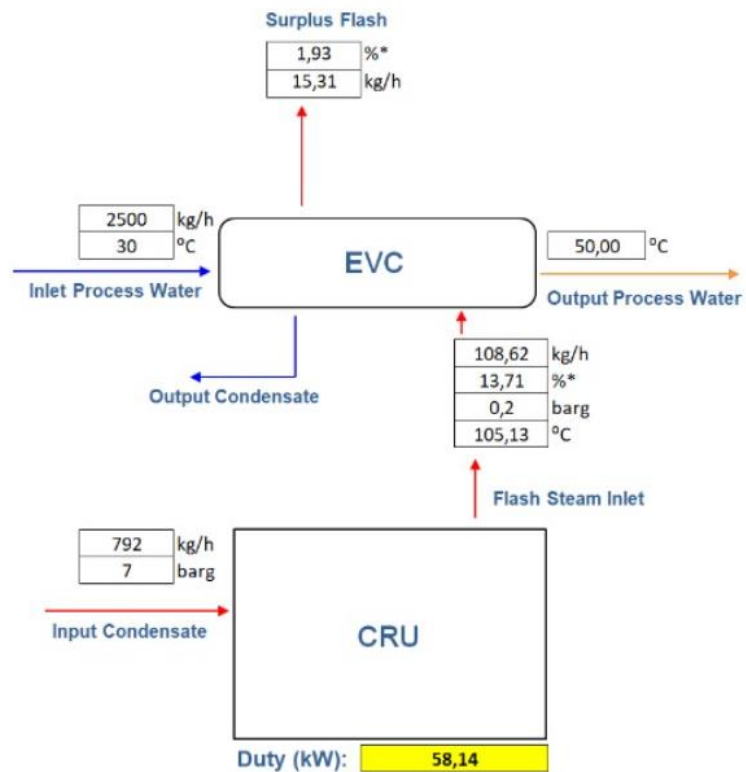
Ilustración 55. Dimensión peso del EVC (Fuente: Spirax Sarco)

Normalmente el retorno de inversión de estos equipos es inferior a los 12 meses pero depende de las horas de operación del equipo, este intercambiador puede ser instalado de manera horizontal o vertical.

Por medio de un software manejado por Spirax Sarco, se introducen las condiciones iniciales de la planta con el fin de poder obtener los resultados generados por el EVC en el transcurso de un año.

Values (Inputs)

Plant steam pressure	7	barg
Flash steam pressure	0,2	barg
Condensate flow rate	792	kg/h
Process water flow rate	2500	kg/h
Inlet Process Water Temperature	30	°C
Maximum process water outlet temp	50	°C
Price of energy	37810	COP\$/GJ
Price of water	2400	COP\$/m3
Operation time	4500	h/a



Results (Outputs)		
Flash steam generated	108,62	kg/h
	13,71	%*
Flash steam saved	93,31	kg/h
	11,78	%*
Enthalpy of evaporation	2243,05	kJ/kg
ΔT in the process water	20,00	°
Energy savings from flash steam	26.708.511,38	COP\$/year
Water savings	755.814,63	COP\$/year
Saving, when water is heated by x°C Energy is taken from condensed flash steam	996.873,26	COP\$/year
Total savings	28.461.199,27	COP\$/year

Ilustración 56. Estimación de ahorros obtenidos por un EVC (Fuente: Spirax Sarco)

Según el flujo de vapor que se está generando en la lavadora de botellas, se recomienda un EVC de 3" para un máximo aprovechamiento del vapor flash, el cual podría aumentar la temperatura del agua de alimentación de la lavadora hasta 20°C, generando ahorros de vapor y por consiguiente de gas natural además de aumentar la eficiencia del sistema de vapor

El ahorro generado por este EVC, como los cálculos lo indican es de \$ 28.461.199 COP/año, y la adquisición del equipo, en paquete completo el cual incluye el EVC, una bomba, sistemas de trampeo esta aproximadamente en \$ 80'000.000 de pesos.

10.1.4 Ajuste de la combustión

Como se mostró anteriormente, el ajuste de la combustión en las calderas puede generar ahorros mensuales promedio de 11.000 m³, lo equivale monetariamente a \$14.000.000 de pesos, con una inversión de \$9.923.194 pesos, generando ahorros de combustible, aumentando la eficiencia de la combustión y del sistema de vapor en general

10.1.5 Cambio de trampa de vapor

Al tener la trampa de vapor en fallo, se estaban generando unas pérdidas de vapor de 31,08 GJ/mes, por lo que la caldera debía generar más vapor y así mismo consumir más gas natural para compensar estas pérdidas y mantener la presión en las líneas. El costo de por estas pérdidas es de \$1.108.489 COP/mes y la inversión requerida por la compra de una nueva trampa es de \$2.191.070 COP, por lo que es factible para la empresa mantener en óptimas condiciones sus trampas de vapor y así evitar desperdicios de este.

10.1.6 Separadores de gotas en otros equipos.

Según el análisis financiero realizado en la propuesta de implementación de separador de humedad, este equipo podría llegar a generar ahorros de hasta \$41.240.000 COP/año con una inversión por la compra del equipo de \$12.949.123 COP, lo que resulta provechoso para la empresa la adquisición de estos equipos en los procesos que más requieran vapor.

10.2 Ahorro de Gas Natural por implementación de mejoras

Para conocer los metros cúbicos ahorrados anualmente que generarían la implementación de estas mejoras, es necesario proyectar los ahorros a un año y calcular su valor presente neto mes a mes.

Por ejemplo, el ahorro generado por la implementación de la mejora de la trampa de vapor evitaría pérdidas de vapor por un valor de \$1.108.489 COP/mes y por medio de la fórmula de valor presente neto se calcula los ahorros mes a mes a lo largo de un año.

$$VPN_i = \frac{ValorFinal}{(1 + k)^{número\ de\ mes}}$$

Dónde:

Valor final = \$1.108.489 COP/mes

k= Tasa de interés efectiva mensual – 0,95%

Los resultados fueron los siguientes

Cambio de trampas de vapor											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
\$ 1.098.175	\$ 1.087.841	\$ 1.077.604	\$ 1.067.463	\$ 1.057.417	\$ 1.047.466	\$ 1.037.609	\$ 1.027.845	\$ 1.018.172	\$ 1.008.590	\$ 999.099	\$ 989.697

Tabla 30. Valor presente neto de ahorros generados por la trampa de vapor

Esto quiere decir que el ahorro anual de por la trampa de vapor será de \$ 12.516.978 COP.

Para conocer el ahorro de gas natural se utiliza la siguiente formula:

$$Ahorro_{Gas\ Natural} = \frac{Ahorro\ de\ la\ mejora}{Precio_{gas\ natural\ promedio}}$$

Dónde:

Ahorro de la mejora = \$ 12.516.978 COP/año

Precio de gas natural promedio = 1319,63 COP/m3

Los ahorros de gas natural generados por cada mejora se muestran en la siguiente tabla:

	Ahorro [m ³ /año]	Inversión [COP]
Nueva línea con EVC	18.066	\$ 81.047.650
Ajuste de la combustión	41.712	\$ 29.769.582
Cambio de trampa de vapor	9.483	\$ 2.191.070
Separador de humedad	31.243	\$ 12.949.123

Tabla 31. Metros cúbicos ahorrados e inversión por mejora

Con la siguiente ecuación se procede a calcular el aumento del indicador por cada una de las mejoras por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta_{\text{indicador}} = \frac{\text{Cajas Unitarias}}{m^3_{\text{consumidos}} - m^3_{\text{ahorrados por mejora}}} - \text{Indicador}_{\text{actual}}$$

Dónde:

Cajas Unitarias = 33.858.552

$m^3_{\text{consumidos}} = 653.640 \text{ m}^3/\text{año}$

$m^3_{\text{ahorrados por mejora}} =$

	Ahorro [$\text{m}^3/\text{año}$]
Nueva línea con EVC	18.066
Ajuste de la combustión	41.712
Cambio de trampa de vapor	9.483
Separador de humedad	31.243

Indicador actual = 51,8 C.U./ m^3

Los resultados fueron los siguientes:

Mejora	Δ indicador
Cambio trampa de vapor	0,76
Separador de humedad	2,60
Calibración de las Calderas	3,53
Nueva línea con EVC	1,47

Tabla 32. Aumento del indicador por mejora

10.3 Problema de Optimización

Lo primero a tener en cuenta para el problema de optimización es la confiabilidad que tenía cada mejora, ya que este factor de confiabilidad influye en el valor de la inversión.

Las trampas de vapor y el separador de humedad cuentan con una confiabilidad de operación del 0,7 ya que según MasterSI el 30% de estos equipos presentan fallas por falta de mantenimiento. En cuanto a la calibración de las calderas, los analizadores de gases tienen una incertidumbre aproximada del 0,1 por lo cual el factor de confiabilidad para esta mejora es del 0,9 y por último la implementación de

la línea con el EVC cuenta con un factor de confiabilidad de 1 por lo cual los nuevos valores de las mejoras y el costo por m³ por mejora, sería:

	Inversión [COP]
Nueva línea con EVC	\$ 81.047.650
Ajuste de la combustión	\$ 33.077.313
Cambio de trampa de vapor	\$ 3.130.100
Separador de humedad	\$ 18.498.748

Tabla 33. Inversión ajustada debido a factores de confiabilidad

Teniendo los valores ajustados de inversión y los aumentos del indicador por mejora, se procede a sacar el gráfico con su respectiva ecuación de optimización.

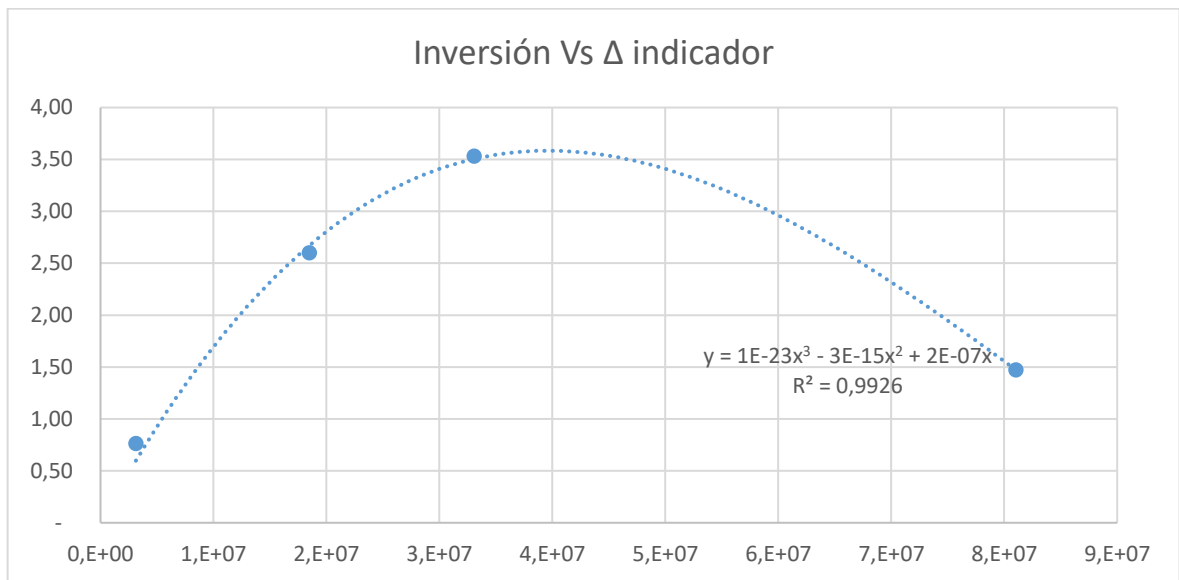


Ilustración 57. Inversión Vs Δ indicador

Función para maximizar el indicador de planta:

$$\Delta_{indicador} = 1 \times 10^{-23} * (\sum Inversión_i)^3 - 3 \times 10^{-15} * (\sum Inversión_i)^2 + 2 \times 10^{-7} * (\sum Inversión_i)$$

Siendo:

$$Inversión_i = C.U.A_i * m_i^3$$

Dónde:

C.U.A.i = Costo Unitario Ahorrado por mejora, los cuales tienen los siguientes

	C.U.A [COP]
Cambio de trampa de vapor	\$ 330
Implementación separador	\$ 592
Ajuste de la combustión	\$ 793
Nueva línea con EVC	\$ 4.486

m^3_i = metros cúbicos ahorrados por mejora

Sujeto a:

Inversión total \leq 90.000.000 COP

$m^3_i \geq 0$

Para poder analizar diferentes situaciones, se propusieron 7 escenarios en los cuales se varió la tasa de interés efectiva mensual y la confiabilidad de las mejoras, se incrementó el número de trampas de vapor y separadores de humedad.

Con el fin de obtener los resultados de la optimización, se usó el Solver de Excel la cual es una herramienta que ajusta los valores de las celdas de variables de decisión para que cumplan con los límites de las celdas de restricción y den el resultado deseado en la celda objetivo. En resumidas cuentas, se usa el Solver para determinar el valor máximo o mínimo de una celda cambiando otras celdas.

RESULTADOS

Se plantean diferentes escenarios con el fin de identificar las mejores opciones de inversión para la implementación de mejoras, siendo:

- Inversión 1: Cambio de trampa de vapor
- Inversión 2: Implementación de separador de humedad
- Inversión 3: Calibración de calderas
- Inversión 4: Implementación de nueva línea con EVC
- C.U.A.: Costo unitario ahorrado
- m^3 finales: metros cúbicos ahorrados finalmente por mejora
- m^3 iniciales: metros cúbicos ahorrados sin estar sujetos a restricciones

Escenario 1: Este es el escenario inicial, para el cual se tuvo en cuenta a los siguientes datos

- Tasa de interés efectiva mensual : 0,95%
- Factor de confiabilidad: 0,7 Trampas y separador, 0,9 para calibración calderas

Escenario 1 - Tasa Interes Efectiva mensual 0,95%									
Inversion1	\$ 3.015.817	C.U.A.1	\$ 330	m3 finales 1	9136	m3 iniciales 1	9483	Dif.1	346
Inversion2	\$ 14.507.131	C.U.A.2	\$ 592	m3 finales 2	24501	m3 iniciales 2	31243	Dif.2	6741
Inversion3	\$ 20.315.124	C.U.A.3	\$ 793	m3 finales 3	25618	m3 iniciales 3	41712	Dif.3	16094
Inversion4	\$ 4.426.900	C.U.A.4	\$ 4.486	m3 finales 4	987	m3 iniciales 4	18066	Dif.4	17079
Inversion total	\$								42.264.972
max Δ Ind									3,8

Ilustración 58. Primer escenario de optimización

Para este escenario se evidencia que la mejor opción para invertir sería la 1, ya que es la mejora que tiene menor diferencia, seguida de la inversión 2 y siendo la inversión 4 la menos viable para implementar.

Escenario 2:

- Tasa de interés efectiva mensual 1,05%
- Factor de confiabilidad: 0,7 Trampas y separador, 0,9 para calibración calderas

Escenario 2 - Tasa Interes Efectiva mensual 1,05%									
Inversion1	\$ 3.015.817	C.U.A.1	\$ 332	m3 finales 1	9079	m3 iniciales 1	9423	Dif.1	344
Inversion2	\$ 14.507.131	C.U.A.2	\$ 596	m3 finales 2	24347	m3 iniciales 2	31046	Dif.2	6699
Inversion3	\$ 20.315.124	C.U.A.3	\$ 794	m3 finales 3	25579	m3 iniciales 3	41648	Dif.3	16069
Inversion4	\$ 4.426.901	C.U.A.4	\$ 4.486	m3 finales 4	987	m3 iniciales 4	18066	Dif.4	17079
Inversion total	\$								42.264.973
max Δ Ind									3,8

Ilustración 59. Segundo escenario de optimización

En este escenario se siguen manteniendo la factibilidad de las inversiones como en el escenario anterior.

Escenario 3:

- Tasa de interés efectiva mensual 1,25%
- Factor de confiabilidad: 0,7 Trampas y separador, 0,9 para calibración calderas

Escenario 3 -Tasa Interes Efectiva mensual 1,25%									
Inversion1	\$ 3.015.817	C.U.A.1	\$ 336	m3 finales 1	8965	m3 iniciales 1	9305	Dif.1	340
Inversion2	\$ 14.507.131	C.U.A.2	\$ 603	m3 finales 2	24042	m3 iniciales 2	30658	Dif.2	6615
Inversion3	\$ 20.315.124	C.U.A.3	\$ 797	m3 finales 3	25501	m3 iniciales 3	41521	Dif.3	16020
Inversion4	\$ 4.426.901	C.U.A.4	\$ 4.486	m3 finales 4	987	m3 iniciales 4	18066	Dif.4	17079
Inversion total	\$							42.264.973	
max Δ Ind								3,8	

Ilustración 60. Tercer escenario de optimización

Se puede evidenciar que a medida que la tasa de interés efectiva mensual tomar un valor más grande, la diferencia entre los metros cúbicos iniciales y finales se hace menos significativa pero se mantiene la viabilidad de las inversiones.

Escenario 4:

- En este escenario se aumentó el número de trampas de vapor a implementar.
- Tasa de interés efectiva mensual: 0,95%
- Factor de confiabilidad: 0,7 Trampas y separador, 0,9 para calibración calderas

Escenario 4 - Implementando 2 Trampas de vapor									
Inversion1	\$ 5.778.725	C.U.A.1	\$ 330	m3 finales 1	17507	m3 iniciales 1	18965	Dif.1	1459
Inversion2	\$ 14.294.553	C.U.A.2	\$ 592	m3 finales 2	24142	m3 iniciales 2	31243	Dif.2	7101
Inversion3	\$ 19.635.461	C.U.A.3	\$ 793	m3 finales 3	24761	m3 iniciales 3	41712	Dif.3	16951
Inversion4	\$ 2.556.235	C.U.A.4	\$ 4.486	m3 finales 4	570	m3 iniciales 4	18066	Dif.4	17496
Inversion total	\$							42.264.973	
max Δ Ind								3,8	

Ilustración 61. Cuarto escenario de optimización

Según los resultados obtenidos por el Solver de Excel, se evidencia que aunque la diferencia aumente, la mejor opción maximizar el indicador siguen siendo las trampas de vapor.

Escenario 5:

- Aumentó el número de trampas de vapor y separadores de humedad a implementar.
- Tasa de interés efectiva mensual: 0,95%
- Factor de confiabilidad: 0,7 Trampas y separador, 0,9 para calibración calderas

Escenario 5 - Implementando 2 Trampas de vapor y 2 Separadores de humedad									
Inversion1	\$ 5.726.571	C.U.A.1	\$ 330	m3 finales 1	17349	m3 iniciales 1	18965	Dif.1	1617
Inversion2	\$ 18.359.020	C.U.A.2	\$ 592	m3 finales 2	31007	m3 iniciales 2	62485	Dif.2	31479
Inversion3	\$ 18.179.382	C.U.A.3	\$ 793	m3 finales 3	22925	m3 iniciales 3	41712	Dif.3	18787
Inversion4	\$ -	C.U.A.4	\$ 4.486	m3 finales 4	0	m3 iniciales 4	18066	Dif.4	18066
Inversion total	\$								42.264.973
max Δ Ind									3,8

Ilustración 62. Quinto escenario de optimización

Al aumentar las trampas de vapor y los separadores de humedad, se logra evidenciar que la viabilidad de las trampas se mantiene pero los separadores de humedad junto a la implementación del EVC son las opciones menos viables, incluso en este caso se recomienda no invertir en el EVC

Escenario 6:

- Factor de confiabilidad para trampa de vapor y separador: 0,6
- Tasa de interés efectiva mensual: 0,95%

Escenario 6 - Factor confiabilidad (0,6 Trampa y separador)									
Inversion1	\$ 3.469.005	C.U.A.1	\$ 385	m3 finales 1	9008	m3 iniciales 1	9483	Dif.1	475
Inversion2	\$ 15.780.755	C.U.A.2	\$ 691	m3 finales 2	22845	m3 iniciales 2	31243	Dif.2	8398
Inversion3	\$ 18.666.594	C.U.A.3	\$ 793	m3 finales 3	23540	m3 iniciales 3	41712	Dif.3	18173
Inversion4	\$ 4.348.619	C.U.A.4	\$ 4.486	m3 finales 4	969	m3 iniciales 4	18066	Dif.4	17096
Inversion total	\$								42.264.973
max Δ Ind									3,8

Ilustración 63. Sexto escenario de optimización

Al disminuir el factor de confiabilidad tanto en la trampa de vapor como en el separador de humedad, la opción menos viable para invertir sería la calibración de las calderas mientras que las trampas de vapor siguen siendo la opción más viable para maximizar el indicador

Escenario 7:

- Factor de confiabilidad para trampa de vapor y separador: 0,6
- Factor de confiabilidad para calibración de calderas: 0,8
- Tasa de interés efectiva mensual: 0,95%

Escenario 7 - Factor confiabilidad (0,6 Trampa y separador - 0,8 Calibraciones)									
Inversion1	\$ 3.488.009	C.U.A.1	\$ 385	m3 finales 1	9057	m3 iniciales 1	9483	Dif.1	425
Inversion2	\$ 15.861.627	C.U.A.2	\$ 691	m3 finales 2	22962	m3 iniciales 2	31243	Dif.2	8281
Inversion3	\$ 20.205.971	C.U.A.3	\$ 892	m3 finales 3	22650	m3 iniciales 3	41712	Dif.3	19063
Inversion4	\$ 2.709.366	C.U.A.4	\$ 4.486	m3 finales 4	604	m3 iniciales 4	18066	Dif.4	17462
Inversion total	\$							42.264.973	
max Δ Ind								3,8	

Ilustración 64. Séptimo escenario de optimización

Se observa que al disminuir el factor de confiabilidad de la caldera, esta opción se vuelve la menos viable, o la que más diferencia representa con respecto a los metros cúbicos, siendo la que menos aporte le da al indicador.

El resultado general de estos escenarios se resume en el máximo delta del indicador y la inversión total en cada uno de ellos, los cuales son datos que se mantienen en cada uno de ellos.

CONCLUSIÓN GENERAL

Se logró el objetivo el cual se basaba en proponer soluciones de mejora para la planta de gaseosas Hipinto S.A.S. con el fin de disminuir el consumo de gas natural en las calderas y así mismo buscar la optimización del indicador de gas natural de la planta.

En cuanto a las propuesta de mejora para disminuir el consumo de gas natural, se plantearon cuatro (4) posibles mejoras las cuales fueron la corrección de la trampa de vapor en fallo, implementación de un separador de humedad para la lavadora de botellas, el mantenimiento preventivo y correctivo de las calderas y su ajuste en la combustión, por ultimo pero no menos importante, la implementación de una nueva línea con el fin de aprovechar el vapor flash para el calentamiento del agua de alimentación de la lavadora mediante un intercambiador de vapor tubular Turflow tipo EVC.

Mediante la función encontrada para maximizar el indicador, se plantearon varios escenarios sujetos a restricciones con el fin de conocer cuál sería máximo indicador alcanzado por estas cuatro propuesta de mejora y cuál sería la inversión necesaria

para alcanzarlo y en todos los escenarios planteados se llegó a los mismos resultados de indicador e inversión, tomando valores de 3,8 y \$ 42.264.973 COP respectivamente.

CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

- Se realizó el diagnóstico del funcionamiento del sistema de generación y distribución de vapor y se pudo observar mediante el análisis de combustión de las calderas que están trabajando óptimamente con una eficiencia >90% por lo cual la ineficiencia del sistema se encuentra en la red de vapor y los elementos que la componen, debido al desperdicio del vapor por una trampa de vapor en fallo, el incorrecto purgado de la red de vapor y el condensado que se forma a lo largo de la línea por lo cual es de suma importancia mantener en buen estado los componentes de la red de vapor ya que análisis financiero demostró que una trampa de vapor en fallo puede generar pérdidas de \$ 13.303.297 COP anuales.
- Mediante la hoja de cálculo de Excel se planteó el gráfico la ecuación de optimización con el fin de maximizar el indicador de planta con las cuatro (4) propuestas de mejora, las cuales están sujetas a diferentes restricciones y mediante el Solver de Excel se obtuvo que el máximo indicador alcanzado es de 3,8 con una inversión máxima de \$ 42.264.973 COP en todos los escenarios.
- Según los resultados de los escenarios, la opción más viable para maximizar el indicador de planta es mantener las trampas de vapor operando correctamente y cambiarlas en caso de ser necesario, seguido de la implementación de un separador de humedad y finalmente mantener las calderas operando correctamente mediante su ajuste en la combustión al menos dos (2) veces por año.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrera Pigdollers, C. (s.f.). *Aspectos Básicos de Diseño y Cálculo de Redes de Vapor*.
- Bautista, E. V. (2017). *Aumento de la Eficiencia Energética en las Calderas mediante la Recirculación de Condensados en la Industria Gloria Colombia Planta Cogua (Cundinamarca)*. Bogotá D.C.: Universidad Santo Tomás.
- BBVA. (s.f.). *¿Qué es la eficiencia energética y cómo se calcula?* Obtenido de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-eficiencia-energetica-y-como-se-calcula/>
- Eficiencia Energética Industrial en Colombia. (2018). *Manual de Optimización de Sistemas de Vapor Industrial*.
- Gaitán, N. A. (2011). *Estudio y Diseño del Mejoramiento de la Red de Distribución de Vapor en el Hospital Nacional Pedro Bethancourt, Antigua Guatemala*. Guatemala.
- Galvez, B. A. (2014). *Análisis, Diagnóstico y Propuesta de Mejora de los Principales Componentes Operacionales que Afectan la Eficiencia de la Caldera Piro-tubular del Laboratorio de Vapor de la Universidad Autónoma de Occidente*. Santiago de Cali.
- industria, T. p. (2021). *Impacto de los fallos en trampas de vapor en plantas de procesos*. Obtenido de <https://tecnologiaparalaindustria.com/impacto-de-los-fallos-en-trampas-de-vapor-en-plantas-de-procesos/>
- López, C. A. (2011). *Optimización del Sistema de Vapor del Plantel de Refinería, RECOPE S.A., MOÍNLIMÓN*. Cartago: 2.
- M.Sc, C. A. (2021). *Análisis de combustión, eficiencia y observaciones y propuestas de mejora en el desempeño energético del consumo de gas natural en la planta de Gaseosas Hipinto S.A.S*.
- Renedo, C. J. (s.f.). *Propiedades del agua saturada (líquido-vapor)*.
- Restrepo, Á. H., Burbano, J. C., & Salgado, Á. A. (2005). *CARACTERIZACIÓN Y POSIBILIDADES DE AHORRO ENERGÉTICO EN GENERACIÓN DE VAPOR - ESTUDIO DE CASO*. Pereira.
- Rizo, C. A. (2008). *Optimización del Sistema de Generación de Vapor de la Empresa Incauca S.A.* Santiago de Cali.
- UPME. (2018). *Manual de optimización de sistemas de vapor industrial*.
- vapor, T. C. (2020). *Vapor Flash*.
- vapor, T. C. (s.f.). *Calculadora: Dimensionamiento de Tubería para vapor por caída de presión*.

vapor, T. C. (s.f.). *Calculadora: Vapor
Flash generado por condensado
caliente.*