

**PROPUESTA PARA EL MANEJO DE MATERIAS PRIMAS, INSUMOS Y  
LÍNEAS DE SERVICIO EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE UNA EMPRESA  
DE BEBIDAS GASEOSAS**

**JUAN CAMILO GÓMEZ SANDOVAL  
ANDRES FELIPE MARIN TRIANA**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ, D. C.  
2019**

**PROPUESTA PARA EL MANEJO DE MATERIAS PRIMAS, INSUMOS Y  
LÍNEAS DE SERVICIO EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE UNA EMPRESA  
DE BEBIDAS GASEOSAS**

**JUAN CAMILO GÓMEZ SANDOVAL  
ANDRES FELIPE MARIN TRIANA**

**Proyecto integral de grado para optar por el título de:  
INGENIERO QUÍMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ, D. C.  
2019**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado 1  
Claudio Alberto Moreno Arias

---

Firma del jurado 2  
Dany Jose Cardenas Romay

Bogotá D.C. Agosto de 2019

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente Institucional y Rector del Claustro

**Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrectora Académica y de Posgrados

**Ing. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS**

Decano Facultad de Ingenierías

**Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI**

Director Programa de Ingeniería Química

**Ing. LEONARDO de JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ**

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos expresar nuestros agradecimientos primeramente a Dios, por darnos la sabiduría, el discernimiento y la inteligencia para culminar este proyecto con satisfacción, por guiar nuestros caminos y poner ayudadores a lo largo del desarrollo del presente trabajo de grado.

A nuestros padres por el apoyo brindado durante toda nuestra vida, que con amor y educación construyeron a las personas que somos en este momento. A nuestros familiares y amigos más cercanos que nos acompañaron y estuvieron siempre presentes.

A la empresa por abrirnos las puertas, confiar en nosotros y brindarnos el apoyo técnico-económico para llevar a cabo este proyecto de grado. A los ingenieros y operarios de la empresa por apartar de su valioso tiempo para enseñarnos, guiarnos y orientarnos con su conocimiento y experiencia. Al comité de trabajo de grado por sus comentarios y apreciaciones a lo largo del desarrollo del presente trabajo. Finalmente, queremos dar mención de gratitud a todas las personas que estuvieron involucradas en esta etapa de nuestras vidas.

## CONTENIDO

	pág.
<b>RESUMEN</b>	<b>17</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>19</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>20</b>
<b>1. GENERALIDADES</b>	<b>21</b>
<b>1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA</b>	<b>21</b>
<b>1.2 NORMATIVIDAD PARA EL MANEJO DE SUSTANCIAS QUIMICAS</b>	<b>22</b>
1.2.1 Decreto 1496 de 2018	23
1.2.2 Norma Técnica Colombiana NTC4435	26
1.2.3 NFPA 704	27
<b>1.3 METODOLOGÍA: ESTRATEGIA KAIZEN</b>	<b>28</b>
1.3.1 Concepto	29
1.3.2 Pasos	29
1.3.3 Beneficios	31
<b>1.4 SERVICIOS INDUSTRIALES</b>	<b>31</b>
1.4.1 Generación de vapor	32
1.4.2 Sistema de refrigeración con Amoniaco	36
<b>2. DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MANEJO DE MATERIAS PRIMAS, INSUMOS Y LÍNEAS DE SERVICIOS</b>	<b>40</b>
<b>2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES PROCESOS DE LA EMPRESA DE BEBIDAS GASEOSAS</b>	<b>40</b>
2.1.1 Tratamiento de aguas	41
2.1.2 Preparación de jarabe simple y terminado	45
2.1.3 Lavado de envase	47
2.1.4 Elaboración, llenado y sellado de productos	52
<b>2.2 IDENTIFICACION DE SUSTANCIAS QUÍMICAS</b>	<b>56</b>
2.2.1 Parámetros de la matriz	56
2.2.2 Conclusiones de la matriz de control de sustancias y productos químicos	58
<b>2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS LÍNEAS DE SERVICIO</b>	<b>60</b>
2.3.1 Sistema de generación de vapor	60
2.3.2 Sistema de refrigeración con Amoniaco	75
<b>2.4 DIAGNOSTICO</b>	<b>79</b>
<b>3. SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS, INSUMOS Y LÍNEAS DE SERVICIO CON MAYOR IMPACTO</b>	<b>83</b>
<b>3.1 MATRIZ DE SELECCIÓN</b>	<b>83</b>
3.1.1 Criterios	84
3.1.2 Resultados	85

<b>4. PROPUESTA DE MANEJO PARA LAS MATERIAS PRIMAS, INSUMOS Y LÍNEAS DE SERVICIO SELECCIONADAS</b>	<b>88</b>
<b>4.1 OPORTUNIDADES DE MEJORA</b>	<b>88</b>
4.1.1 Carbonato de Sodio	88
4.1.2 Hidróxido de Sodio	91
4.1.3 Nitrógeno	95
4.1.4 Dióxido de Carbono	96
<b>4.2 SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR</b>	<b>97</b>
4.2.1 Identificación de la causa raíz	98
4.2.2 Simulación del proceso	98
4.2.3 Pérdidas de calor por tubería	105
4.2.4 Propuesta	112
<b>4.3 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN</b>	<b>120</b>
4.3.1 Identificación de la causa raíz	120
4.3.2 Simulación del proceso	121
4.3.3 Pérdidas de calor por tubería	124
4.3.4 Propuesta	127
<b>4.4 OPORTUNIDAD GLOBAL DE LA EMPRESA</b>	<b>131</b>
<b>4.5 PROPUESTA SELECCIONADA</b>	<b>133</b>
<b>5. ANÁLISIS FINANCIERO DE LA PROPUESTA DE MANEJO</b>	<b>134</b>
<b>5.1 DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DESCUENTO</b>	<b>134</b>
<b>5.2 FLUJO DE CAJA DE LA PROPUESTA DE GENERACIÓN DE VAPOR</b>	<b>135</b>
<b>5.3 FLUJO DE CAJA DE LA PROPUESTA DE REFRIGERACIÓN</b>	<b>138</b>
5.3.1 Amoniaco gaseoso de baja presión (succión compresor)	138
5.3.2 Amoniaco liquido de baja presión (salida valvula)	139
<b>5.4 ANÁLISIS FINANCIERO</b>	<b>141</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>142</b>
<b>7. RECOMENDACIONES</b>	<b>144</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>145</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>150</b>

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Organización de las hojas de datos de seguridad para materiales.	27
<b>Tabla 2.</b> Límites de composición del agua de alimentación.	34
<b>Tabla 3.</b> Exceso de aire recomendado.	34
<b>Tabla 4.</b> Temperatura de gases de chimenea óptima.	35
<b>Tabla 5.</b> Eficiencia mínima, típica de diferentes tipos de calderas.	35
<b>Tabla 6.</b> Caracterización del agua captada.	43
<b>Tabla 7.</b> Caracterización del agua tratada.	44
<b>Tabla 8.</b> Parámetros del agua de alimentación.	60
<b>Tabla 9.</b> Información básica de las calderas.	62
<b>Tabla 10.</b> Parámetros promedio del agua de recirculación de las calderas.	64
<b>Tabla 11.</b> Composición del gas natural.	64
<b>Tabla 12.</b> Datos extraídos de ChemicalLogic Steam Tab.	69
<b>Tabla 13.</b> Propiedades de los gases livianos, gas natural.	71
<b>Tabla 14.</b> Resultados de la contribución por componente del gas.	72
<b>Tabla 15.</b> Resultados de la relación de aire/gas y eficiencias.	74
<b>Tabla 16.</b> Propiedades del Amoniaco.	76
<b>Tabla 17.</b> Revisión según los ítems de las BPM.	80
<b>Tabla 18.</b> Parámetros de la matriz de selección.	83
<b>Tabla 19.</b> Resultados de la matriz de selección.	86
<b>Tabla 20.</b> Carbonato requerido para una concentración de 5%.	90
<b>Tabla 21.</b> Valores de conductividad para diferentes concentraciones de NaOH.	93
<b>Tabla 22.</b> Especificaciones de las corrientes de entrada.	99
<b>Tabla 23.</b> Parámetros de la tubería.	108
<b>Tabla 24.</b> Propiedades del vapor.	108
<b>Tabla 25.</b> Propiedades del aire.	109
<b>Tabla 26.</b> Resultados de la pérdida de calor (línea de vapor).	111
<b>Tabla 27.</b> Parámetros para calcular el EOA (línea de vapor).	118
<b>Tabla 28.</b> Resultados obtenidos para determinar el EOA (línea de vapor).	119
<b>Tabla 29.</b> Resultados de las pérdidas de calor (succión del compresor).	125
<b>Tabla 30.</b> Resultados de las pérdidas de calor (salida de la válvula).	126
<b>Tabla 31.</b> Parámetros para calcular el EOA (succión del compresor).	129
<b>Tabla 32.</b> Resultados obtenidos para determinar el EOA (succión del compresor).	129
<b>Tabla 33.</b> Parámetros para calcular el EOA (salida válvula).	130
<b>Tabla 34.</b> Resultados obtenidos para determinar el EOA (salida válvula).	130
<b>Tabla 35.</b> Flujo de caja de la propuesta de vapor.	136
<b>Tabla 36.</b> Flujo de caja de la propuesta de Amoniaco (succión).	138
<b>Tabla 37.</b> Flujo de caja de la propuesta de Amoniaco (válvula).	140

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Ubicación de la empresa de bebidas gaseosas.	21
<b>Figura 2.</b> Procesos de la empresa de bebidas gaseosas.	22
<b>Figura 3.</b> Clases de peligros de SGA.	24
<b>Figura 4.</b> Pictogramas del SGA.	25
<b>Figura 5.</b> Matriz de compatibilidad para sustancias químicas.	26
<b>Figura 6.</b> Esquema Diamante NFPA 704.	28
<b>Figura 7.</b> Tipo de calderas (acuotubular y pirotubular).	33
<b>Figura 8.</b> Sistema de refrigeración por compresión.	37
<b>Figura 9.</b> Sistema de refrigeración por absorción.	38
<b>Figura 10.</b> Identificación de líneas.	41
<b>Figura 11.</b> Matriz de control de sustancias y productos químicos.	59
<b>Figura 12.</b> Esquema de espina de pescado, materias primas e insumos.	88
<b>Figura 13.</b> Sistema de control automático.	93
<b>Figura 14.</b> Esquema de espina de pescado, generación de vapor.	98
<b>Figura 15.</b> Componentes empleados en la simulación.	99
<b>Figura 16.</b> Esquema de espina de pescado, sistema de refrigeración.	120

## LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
<b>Gráfico 1.</b> Rampa de temperatura en el proceso de lavado.	51
<b>Gráfico 2.</b> Consumo de gas natural en el año 2018.	62
<b>Gráfico 3.</b> Consumo de agua de calderas en el año 2018.	63
<b>Gráfico 4.</b> Relación de gas / agua.	63
<b>Gráfico 5.</b> Solubilidad del CO <sub>2</sub> en agua a 1 bar.	97
<b>Gráfico 6.</b> Análisis de sensibilidad del flujo de aire.	102
<b>Gráfico 7.</b> Análisis de sensibilidad de la temperatura de los gases de chimenea.	103
<b>Gráfico 8.</b> Análisis de sensibilidad de la temperatura del agua de alimentación.	104
<b>Gráfico 9.</b> Análisis de sensibilidad del Split de la purga.	105
<b>Gráfico 10.</b> Superficie de respuesta para la pérdida de calor de la línea de vapor.	111
<b>Gráfico 11.</b> Comportamiento de $h_i$ y $U$ , sin aislante.	112
<b>Gráfico 12.</b> Resultados obtenidos de la recomendación.	115
<b>Gráfico 13.</b> Análisis de sensibilidad de la presión de salida de la válvula.	123
<b>Gráfico 14.</b> Análisis de sensibilidad de la temperatura de salida del condensador.	124
<b>Gráfico 15.</b> Superficie de respuesta para las pérdidas de calor de la línea de succión del compresor.	126
<b>Gráfico 16.</b> Superficie de respuesta para las pérdidas de calor en la línea de Amoniaco líquido de baja.	127
<b>Gráfico 17.</b> Tiempo de recuperación, VPN y TIR (Vapor).	137
<b>Gráfico 18.</b> Tiempo de recuperación, VPN y TIR (Amoniaco - succión).	139
<b>Gráfico 19.</b> Tiempo de recuperación, VPN y TIR (Amoniaco - válvula).	141

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
<b>Ecuación 1.</b> Eficiencia de la caldera (método directo).	36
<b>Ecuación 2.</b> Relación de Aire/Gas real.	67
<b>Ecuación 3.</b> Relación Aire/Gas teórica.	68
<b>Ecuación 4.</b> % Exceso de aire.	68
<b>Ecuación 5.</b> Balance de energía general.	69
<b>Ecuación 6.</b> Energía aprovechable.	69
<b>Ecuación 7.</b> Potencia de un compresor / ventilador.	70
<b>Ecuación 8.</b> Potencia de una bomba.	70
<b>Ecuación 9.</b> P y T pseudoreducidas.	71
<b>Ecuación 10.</b> Corrección de la P y T pseudoreducida.	72
<b>Ecuación 11.</b> Correlación de Z según, Brill, J.P. y Beggs, H.D.	73
<b>Ecuación 12.</b> Temperatura de salida.	76
<b>Ecuación 13.</b> Velocidad de sedimentación.	89
<b>Ecuación 14.</b> Numero de Reynolds.	105
<b>Ecuación 15.</b> Numero de Grashof y Rayleigh.	105
<b>Ecuación 16.</b> Número de Nusselt (convección forzada interna).	106
<b>Ecuación 17.</b> Número de Nusselt (convección forzada externa).	106
<b>Ecuación 18.</b> Numero de Nusselt (convección natural externa).	107
<b>Ecuación 19.</b> Calor perdido por tubería sin aislante.	107
<b>Ecuación 20.</b> Calor perdido por tubería con aislante.	107
<b>Ecuación 21.</b> Temperatura de pared del tubo.	107
<b>Ecuación 22.</b> Costo de inversión (aislante).	116
<b>Ecuación 23.</b> Coeficiente actual del valor neto.	116
<b>Ecuación 24.</b> Costo asociado a la pérdida de calor.	117
<b>Ecuación 25.</b> Parámetros de evaluación del método.	117
<b>Ecuación 26.</b> Costo de inversión para Fibra de Vidrio.	118
<b>Ecuación 27.</b> Costo de inversión para Poliuretano.	128
<b>Ecuación 28.</b> Tasa Interna de Oportunidad (TIO).	134
<b>Ecuación 29.</b> Tasa de Descuento (TD).	134
<b>Ecuación 30.</b> Valor Presente Neto.	136
<b>Ecuación 31.</b> Tasa Interna de Retorno.	136
<b>Ecuación 32.</b> Relación Beneficio Costo.	136

## LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
<b>Diagrama 1.</b> Tratamiento de aguas.	42
<b>Diagrama 2.</b> Jarabe simple y terminado.	46
<b>Diagrama 3.</b> Lavado de envase REF-PET.	48
<b>Diagrama 4.</b> Lavado de envase de vidrio.	50
<b>Diagrama 5.</b> Elaboración, llenado y sellado de bebidas carbonatadas.	53
<b>Diagrama 6.</b> Elaboración, llenado y sellado de agua embotellada.	55
<b>Diagrama 7.</b> Sistema de generación de vapor.	61
<b>Diagrama 8.</b> Sistema de refrigeración con Amoniaco.	78
<b>Diagrama 9.</b> Comparación de flujo de proceso de lavado empleando tecnología de membranas.	92
<b>Diagrama 10.</b> Diagrama de instrumentación y control.	94
<b>Diagrama 11.</b> Proceso de generación de vapor (Aspen Plus).	100
<b>Diagrama 12.</b> Sistema de enfriamiento (Aspen Plus).	121
<b>Diagrama 13.</b> Propuesta de integración térmica y recuperación de Soda Caustica.	132

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
<b>Anexo A.</b> Mapa de amenazas de la empresa de bebidas.	151

## GLOSARIO

**ALMACENAMIENTO:** son un conjunto de actividades que ayudan a disponer de una cantidad de productos mayor al uso diario y para un tiempo superior a 24 horas, con el objetivo de abastecer las necesidades de la planta en el tiempo requerido.

**CARBOENFRIADOR:** es un equipo que consta de un preenfriador de agua, desaireador y carbonatador. En donde su principal función es enfriar la mezcla de agua y jarabe para ser carbonatada posteriormente.

**DESPERDICIO:** es todo aquello que no agrega valor al producto y por lo cual el cliente no está dispuesto a pagar por eso, se puede clasificar en sobreproducción, excesos de inventarios, sobre-procesamiento, entre otros.

**DOSIFICACIÓN:** se define como, la inyección de químicos a un proceso, siendo estos principalmente aditivos, con el fin de proporcionar propiedades que ayudan a mantener bajo control condiciones adecuadas de operación.

**EFICIENCIA:** es la relación entre la energía aprovechable o útil sobre la energía requerida para producir la útil.

**FIBRA DE VIDRIO:** es un material hecho de hebras extremadamente finas de vidrio tejidas (entrelazadas) en varias configuraciones o formas diferentes para formar una tela o malla dando lugar a un material flexible, resistente al calor, ligero, resistente a muchos productos químicos, buen aislante eléctrico y barato.

**FILTRACIÓN:** método de separación físico utilizado para separar sólidos y fluidos (líquidos o gases) mediante la interposición de un medio permeable que tiene como funcionalidad retener partículas sólidas que permite únicamente el paso de líquidos.

**INSUMOS:** son todos los elementos y/o sustancias que ayudan a proporcionar o ajustar las condiciones de un producto o proceso, también son considerados como aditivos.

**MATERIAS PRIMAS:** se definen como, todos los elementos que se incluyen en la elaboración de un producto. La materia prima es todo aquel elemento que se transforma e incorpora en un producto final.

**POLIURETANO:** es un polímero que se obtiene mediante condensación de bases hidroxílicas combinadas con diisocianatos; son utilizados como aislantes térmicos y empleados en elastómeros.

**UTILITIES:** también conocidos como líneas de servicios, son procesos auxiliares que se deben llevar a cabo para el desarrollo de un proceso, entre estos sobresalen sistemas de refrigeración, generación de vapor y generación de electricidad.

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>BPM</b>	Buenas Practicas de Manufactura
<b>DT</b>	Dureza total
<b>EOA</b>	Espesor optimo de aislamiento
<b>FDS</b>	Fichas de Seguridad
<b>g</b>	Gramos
<b>GLP</b>	Gas licuado de petróleo
<b>GN</b>	Gas natural
<b>h</b>	Hora
<b>hi</b>	Coefficiente de convección
<b>in</b>	Pulgada
<b>K</b>	Kelvin
<b>kg</b>	Kilogramos
<b>kmol</b>	Kilo-mol
<b>kPa</b>	Kilo-Pascal
<b>L</b>	Litros
<b>LHV</b>	Poder calorífico
<b>LPH</b>	Litros por hora
<b>m</b>	Metros
<b>m</b>	Metros
<b>m<sup>2</sup></b>	Metros cuadrados
<b>m<sup>3</sup></b>	Metros cúbicos
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>pH</b>	Potencial de hidrogeno
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>psig</b>	Libras sobre pulgada cuadrada (manométrica)
<b>REF-PET</b>	Refillable PET, Tereftalato de Polietileno
<b>RPM</b>	Revoluciones por minutos
<b>s</b>	Segundos
<b>SGA</b>	Sistema Globalmente Armonizado
<b>TDS</b>	Solidos totales disueltos
<b>U</b>	Coefficiente global de transferencia de calor
<b>W</b>	Watts
<b>ε</b>	Avance de reacción
<b>μ</b>	Micrómetro

## RESUMEN

Para toda empresa es fundamental realizar programas de producción más limpios enfocados en aumentar la eficiencia y disminuir los riesgos generados para los seres humanos y para el medio ambiente. Por lo tanto, el presente trabajo está enfocado en generar una propuesta para el manejo de las materias primas, insumos y líneas de servicio en la empresa de bebidas gaseosas en la ciudad de Bogotá, con el fin de controlar la dosificación y manipulación de las sustancias químicas, para disminuir los desperdicios y mejorar la seguridad industrial de la planta, así como también mejorar los procesos de generación de vapor y refrigeración con Amoniaco.

Para llevar a cabo el objetivo, inicialmente se diagnosticó la situación actual de la empresa realizando un inventario por medio de una matriz de las sustancias químicas empleadas dentro del proceso de producción, conjuntamente se construyeron diagramas de flujo para entender y reconocer la operación y necesidades de la planta identificando los puntos críticos con oportunidad de mejora. Posteriormente se evaluaron las sustancias químicas según su impacto al proceso en términos de calidad, seguridad, salud y costos, para de esta manera seleccionar las sustancias con mayor potencial de mejora de las que resultaron el Nitrógeno líquido, Carbonato de Sodio, Hidróxido de Sodio y Dióxido de Carbono.

Seguidamente, se formularon las propuestas apoyadas bibliográficamente para cada una de las sustancias químicas, encontrando para el Nitrógeno líquido la causa y solución para el desperdicio generado por la evaporación parcial del gas en su dosificación, para el Carbonato de Sodio la necesidad de una estandarización y automatización en la preparación de la solución empleada en el proceso de lavado, para el Hidróxido de Sodio la automatización para controlar la concentración de soda por medio de la implementación de instrumentación y la recuperación por medio de una unidad de filtración de membrana, por último, para el Dióxido de Carbono la disminución de la temperatura del agua a ser neutralizada en la PTAR para así mejorar la solubilidad del gas.

Finalmente, para las líneas de servicio, se determinaron las condiciones óptimas de operación con una disminución en el consumo de gas natural de 10.84 m<sup>3</sup>/h, también se determinó el espesor óptimo de aislamiento con fibra de vidrio para la línea de generación de vapor reduciendo las pérdidas en un 93.24%. Para el caso de la refrigeración por Amoniaco se determinó de la misma manera el espesor óptimo de aislamiento con poliuretano con una recuperación de calor de 89.19% y un 93.87%, para las tuberías de Amoniaco gaseoso a baja presión y de Amoniaco líquido de baja presión respectivamente.

**Palabras clave:** Manejo, Dosificación, Almacenamiento, Desperdicio, Materias Primas, Insumos, Líneas de Servicio, Bebidas Gaseosas, Eficiencia.

## ABSTRACT

Cleaner production programs focused on increasing efficiency and reducing the hazards generated for humans and the environment, are essential for any company. Therefore, the present work is focused on generating a proposal for the management of raw materials, supplies and service lines in the company of soft drinks in the city of Bogotá, in order to control the dosage and handling of chemical substances, to reduce waste and improve the industrial safety of the plant, as well as improving steam generation and ammonia refrigeration process.

To carry out the objective, the current situation of the company was initially diagnosed by carrying out an inventory through a matrix of the chemicals used in the production process, jointly constructed flow diagrams to understand and recognize the operation and needs of the plant identifying critical points with opportunity for improvement. Subsequently, chemicals were evaluated for their impact on the process in terms of quality, safety, health and costs, thus selecting the substances with the highest potential for improvement, of those resulting in Liquid Nitrogen, Sodium carbonate, Sodium hydroxide and Carbon dioxide.

Consecutively, bibliographically supported proposals were made for each of the chemicals, for liquid nitrogen finding the cause and solution for the waste generated by the partial evaporation of the gas in its dosage, for Sodium carbonate the need for standardization and automation in the preparation of the solution used in the washing process, for Sodium hydroxide automation to control the concentration of soda by means of instrumentation implementation and recovery by means of a membrane filtration unit, Finally, for Carbon Dioxide the decrease of the temperature of the water to be neutralized in the PTAR in order to improve the solubility of the gas.

Finally, for service lines, optimal operating conditions were determined with a decrease in natural gas consumption of 10.84 m<sup>3</sup>/h, optimal thickness of isolation with fibreglass for steam generation was also determined by reducing losses by 93.24%. For the case of ammonia refrigeration, the optimal thickness of isolation with polyurethane was determined in the same way, with a heat recovery of 89.19% and 93.87% for suction pipes and for the low liquid ammonia line respectively.

**Keywords:** Handling, Dosing, Storage, Waste, Raw Materials, Supplies, Service Lines, Soft Drinks, Efficiency.

## INTRODUCCIÓN

La empresa de bebidas gaseosas ubicada en la ciudad de Bogotá D.C. ha disminuido su porcentaje de producción en un 50%, por ende, es de gran importancia la disminución de costos directos y/o indirectos en la producción, para así garantizar un proceso rentable y competitivo en el mercado.

En el proceso productivo se emplean aproximadamente 200 sustancias químicas que principalmente se utilizan en el tratamiento de aguas, procesos de lavado, laboratorios y centros de monitoreo. Es por eso que es fundamental tener un buen manejo de las materias primas e insumos, debido que al implementar esto se garantiza el uso adecuado de cada químico, lo que mejora el rendimiento y ayuda a promover el sistema integrado de gestión HSEQ de la planta, el cual aumenta la calidad de los procesos, disminuye los riesgos de seguridad industrial y reduce el impacto de sus operaciones al medio ambiente. Adicionalmente por medio del consumo de estos se logra determinar indirectamente la eficacia y las buenas prácticas de manufactura (BPM) que tienen los procesos.

Por otra parte, las cargas energéticas de la planta principalmente se deben al uso de energía eléctrica en equipos y a los procesos de servicios industriales, en donde se destaca el empleo de Amoniaco como refrigerante y a la generación de vapor. Este consumo energético de la planta es elevado teniendo presente los niveles de producción, por lo tanto, se debe buscar por medio de las BPM y de correctos balances energéticos y másicos, las variables o parámetros adecuados para lograr su disminución o en caso contrario implementar nuevos controles que ayuden al aumento de la eficiencia de estos.

Con el desarrollo del proyecto se buscan aquellas variables críticas del proceso productivo las cuales ayudan al manejo de sustancias químicas, así como a la selección adecuada de las variables de operación energéticas de la planta para lograr un impacto positivo en los costos de producción. Todo esto alineándose al decreto 1496 de 2018 y a la normatividad legal vigente que rige a la planta.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una propuesta para el manejo de materias primas, insumos y líneas de servicio en el proceso productivo de una empresa de bebidas gaseosas.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Diagnosticar la situación actual del manejo de materias primas, insumos y líneas de servicios de la empresa, partiendo de la normatividad legal vigente.
2. Seleccionar las materias primas, insumos y líneas de servicio con mayor impacto en términos de calidad, seguridad, medio ambiente y costos de los procesos.
3. Formular una propuesta de manejo para las materias primas, insumos y líneas de servicio seleccionadas.
4. Realizar el análisis financiero de la propuesta de manejo presentada.

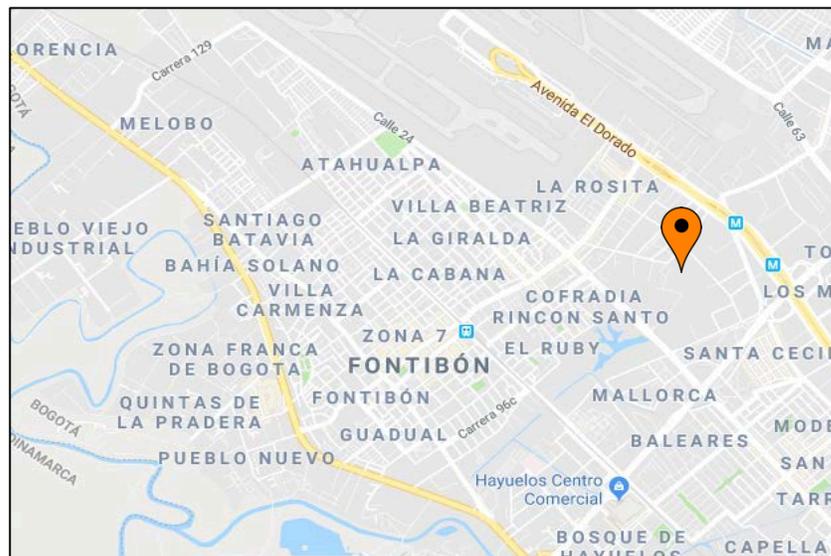
## 1. GENERALIDADES

### 1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La empresa de bebidas gaseosas tiene como razón social la elaboración, mezclado, llenado y sellado de bebidas carbonatadas, edulcoradas y saborizadas. La empresa es una de las embotelladora más grande de bebidas en el mundo, con presencia en 10 países latinoamericanos, entre ellos Colombia, en donde ha estado presente por más de una década, generando valor económico, social y ambiental a la población colombiana, con siete plantas de producción ubicadas en las principales ciudades de Colombia, como: Bogotá, Medellín, Barranquilla, Cali, entre otras, las cuales tienen como razón social satisfacer la demanda de 46.9 millones de consumidores del país con diversos productos como: carbonatados, agua embotellada, jugos, bebidas isotónicas, entre otros.<sup>1</sup>

La unidad operativa de Bogotá de la empresa de bebidas gaseosas, está ubicada en la localidad de Fontibón, su ubicación se muestra en la Figura 1.

**Figura 1.** Ubicación de la empresa de bebidas gaseosas.

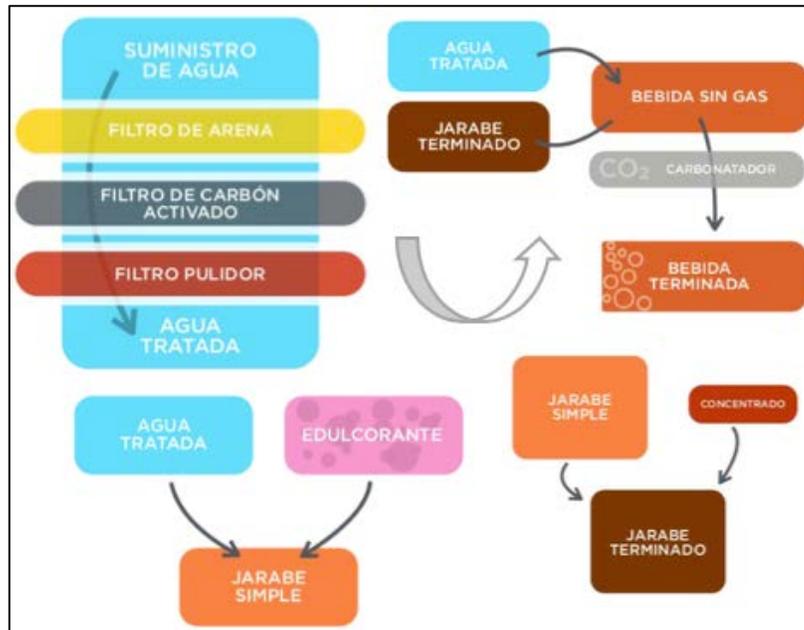


**Fuente:** PLANTA EMBOTELLADORA. [sitio web]. Google, Ubicación empresa de bebidas gaseosas. [Consulta: 15 enero 2019]. Disponible en: <https://www.google.com/maps/@4.6832632,-74.1424695,14z>.

<sup>1</sup> COCA COLA FEMSA. [sitio web]. Colombia: COCA COLA, Coca Cola FEMSA Colombia. [Consulta: 15 enero 2019]. Disponible en: <https://www.coca-colafemsa.com/presencia/presencia-colombia.html>.

La empresa de bebidas gaseosas, envasa sus productos en envases de lata, vidrio y REF-PET en diferentes presentaciones, con el fin de lograr su objetivo realiza procesos de tratamiento de agua, elaboración de jarabe simple y terminado, elaboración de bebida terminada y por último, procesos de envasado (ver Figura 2).<sup>2</sup>

**Figura 2.** Procesos de la empresa de bebidas gaseosas.



**Fuente:** COCA COLA JOURNEY. [sitio web]. España: COCA COLA, El riguroso control del agua en una fábrica de Coca-Cola. [Consulta: 15 enero 2019]. Disponible en: <https://www.cocacolaespana.es/historias/calidad-proceso-agua-en-fabrica>.

## 1.2 NORMATIVIDAD PARA EL MANEJO DE SUSTANCIAS QUIMICAS

La empresa de bebidas gaseosas está bajo diversas normas y leyes que rigen sus actividades. Por lo anterior es necesario que la propuesta de manejo para las materias primas e insumos presentada en este proyecto, esté alineada con la normatividad legal vigente que se presenta y describe a continuación.

<sup>2</sup> COCA COLA JOURNEY. [sitio web]. España: COCA COLA, El riguroso control del agua en una fábrica de Coca-Cola. [Consulta: 15 enero 2019]. Disponible en: <https://www.cocacolaespana.es/historias/calidad-proceso-agua-en-fabrica>.

**1.2.1 Decreto 1496 de 2018.** En Colombia rige el Decreto número 1496 de 2018, en el cual se adopta el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos y se dictan otras disposiciones en materia de seguridad química.

Dicho decreto tiene como objeto adoptar el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA) de las Naciones Unidas, utilizado en la clasificación y comunicación de peligros de los productos químicos que tiene como ámbito de aplicación todo el territorio nacional.

El SGA es una herramienta enfocada a la buena gestión de los productos químicos, con el fin de normalizar y armonizar la clasificación y etiquetado de productos químicos peligrosos a nivel mundial. El cual define peligros físicos, peligros para la salud y peligros para el medio ambiente con un enfoque lógico y completo. La clasificación consta de 3 pasos:

- a) La identificación de los datos que corresponden a los peligros de una sustancia química.
- b) Revisión de los datos recopilados para comprobar los peligros de la sustancia química.
- c) Decisión de clasificación de la sustancia y su grado de peligrosidad, comparando la información con los criterios de peligrosidad para la clasificación de peligro como se puede observar en la Figura 3.

**Figura 3.** Clases de peligros de SGA.

1. Peligros físicos	2. Peligros para la salud
Explosivos	Toxicidad aguda
Gases inflamables	Corrosión / irritación cutáneas
Aerosoles inflamables	Lesiones oculares graves / irritación ocular
Gases comburentes	Sensibilización respiratoria o cutánea
Gases a presión	Mutagenicidad en células germinales
Líquidos inflamables	Carcinogenicidad
Sólidos inflamables	Toxicidad para la reproducción
Sustancias o mezclas que reaccionan espontáneamente (autorreactivas)	Toxicidad sistémica específica de órganos diana - exposición única
Sustancias o mezclas que experimentan calentamiento espontáneo	Toxicidad sistémica específica de órganos diana - exposiciones repetidas
Sólidos pirofóricos	Peligro por aspiración
Explosivos insensibilizados	3. Peligros para el ambiente
Líquidos pirofóricos	Peligros para el ambiente acuático
Líquidos comburentes	Peligros para la capa de ozono
Sólidos comburentes	
Peróxidos orgánicos	
Sustancias y mezclas que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables	
Sustancias y mezclas corrosivas para los metales	

**Fuente:** UNECE. Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos. [en línea]. 6ª.ed. Nueva York y Ginebra: Naciones Unidas, 2015. [Citado el 15 de enero de 2019]. Disponible en: [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs\\_rev06/Spanish/ST-SG-AC10-30-Rev6sp.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev06/Spanish/ST-SG-AC10-30-Rev6sp.pdf). ISBN: 978-92-1-316017-6.

Por parte de las etiquetas, reúnen elementos informativos que se imprimen o pegan directamente en el recipiente del producto químico peligroso con el fin de informar a las personas que lo manipulan. En cuanto a las fichas de seguridad (FDS), son elaboradas por el fabricante y/o importador con la mayor información posible consignada utilizada como una referencia para empleadores y trabajadores. Estas dos herramientas contienen pictogramas que indican tanto la categoría de la sustancia como las clases de peligro, en la Figura 4 se presentan los pictogramas utilizados por el SGA.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> UNECE. Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos. p. 3-35. [en línea]. 6ª.ed. Nueva York y Ginebra: Naciones Unidas, 2015. [Citado el 15 de enero de 2019]. Disponible en: [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs\\_rev06/Spanish/ST-SG-AC10-30-Rev6sp.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev06/Spanish/ST-SG-AC10-30-Rev6sp.pdf). ISBN: 978-92-1-316017-6.

**Figura 4.** Pictogramas del SGA.



**Fuente:** UNECE. Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos. [en línea]. 6<sup>a</sup>.ed. Nueva York y Ginebra: Naciones Unidas, 2015. [Citado el 15 de enero de 2019]. Disponible en: [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs\\_rev06/Spanish/ST-SG-AC10-30-Rev6sp.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev06/Spanish/ST-SG-AC10-30-Rev6sp.pdf). ISBN: 978-92-1-316017-6.

Por último, el sistema requiere una sensibilización y capacitación con el fin de informar a las partes interesadas en el reconocimiento e interpretación de la información contenida en las etiquetas y FDS, todo esto por medio de un programa de formación para así garantizar una comunicación eficaz de los peligros.

**1.2.1.1 Matriz de compatibilidad y sustancias químicas.** En este documento se registra la compatibilidad que tienen entre si diferentes sustancias químicas, tomando como base su clasificación según el Sistema Globalmente Armonizado y su tipo de sustancia, para de esta manera efectuar el almacenamiento y transporte de manera segura.

Como se puede apreciar en la Figura 5, se indican por medio de colores la incompatibilidad y la distancia en la cual se pueden almacenar, donde el color rojo indica que las sustancias deben almacenarse separadas, el color amarillo que es

necesario revisar sus hojas de seguridad debido a incompatibilidades puntuales y el color verde que indica que las sustancias pueden almacenarse juntas.<sup>4</sup>

**Figura 5.** Matriz de compatibilidad para sustancias químicas.

IDENTIFICACIÓN DE PELIGRO			Líquido inflamable	Sólido comburente	Corrosivos (L)	Tóxico agudo (L)	Tóxico crónico (L)	Gons	
Líquido inflamable			Verde	Verde	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde
Sólido comburente			Verde	Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Corrosivos (L)			Amarillo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Sustancias tóxicas efecto agudo (L)			Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Sustancias tóxicas efecto crónico (L)			Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Sustancias peligrosas para el ambiente			Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Nocivo/Irritante (S)			Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Nocivo/Irritante (L)			Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
<b>Se pueden almacenar juntos</b> <b>Revisar las secciones 7 y 10 de hoja de seguridad del producto</b> <b>Almacenar en estantes separados.</b> L= Sustancias en estado Líquido      S= Sustancias en estado Sólido									

**Fuente:** SORIANO RIVERA, Karla. Matriz de compatibilidad para sustancias controladas. En: Pontificia Universidad Javeriana. [sitio web]. Bogotá, Colombia. 2015. [Consulta: 16 enero 2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.javeriana.edu.co/documents/4486808/5015604/Matriz+de+compatibilidad+para+sustancias+controladas/b2203bc4-411e-4fab-aa9d-952d391bdb5a>.

**1.2.2 Norma Técnica Colombiana NTC4435.** Esta norma tiene como objeto, la preparación de las hojas de datos de seguridad para materiales (MSDS) para sustancias químicas y materiales, usados en condiciones ocupacionales. La NTC suministra información para las hojas de datos de seguridad que considera dos usos principales de esta, el primero es como una herramienta de entrenamiento y referencia para los empleadores y trabajadores, la segunda es como recurso para procedimientos de emergencia.

En esta norma se sugieren títulos en un orden en específico para las secciones de una hoja de datos de seguridad para materiales. La secuencia estipulada es la siguiente:

<sup>4</sup> SORIANO RIVERA, Karla. Matriz de compatibilidad para sustancias controladas. En: Pontificia Universidad Javeriana. [sitio web]. Bogotá, Colombia. 2015. [Consulta: 16 enero 2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.javeriana.edu.co/documents/4486808/5015604/Matriz+de+compatibilidad+par+a+sustancias+controladas/b2203bc4-411e-4fab-aa9d-952d391bdb5a>.

**Tabla 1.** Organización de las hojas de datos de seguridad para materiales.

<b>Sección</b>	<b>Información</b>
1	Producto e información de la compañía
2	Identificación de peligros
3	Composición, información sobre los componentes
4	Medidas de primeros auxilios
5	Medidas en caso de incendio
6	Medidas en caso de vertido accidental
7	Manejo y almacenamiento
8	Controles de exposición y protección personal
9	Propiedades físicas y químicas
10	Estabilidad y reactividad
11	Información toxicológica
12	Información ecológica
13	Consideraciones de disposición
14	Información sobre transporte
15	Información reglamentaria
16	Información adicional

**Fuente:** elaboración propia.

**1.2.3 NFPA 704.** La NFPA (National Fire Protection Association) es una organización mundial que promueve y estimula el mejoramiento en la prevención y protección contra incendios, permite la clasificación de sustancias químicas de acuerdo a diferentes parámetros.

El código NFPA 704 provee información básica sobre situaciones de fuego o derrame y sus respectivas respuestas de emergencia, esta información está dirigida a los trabajadores que manejan y usan estos materiales, además de estar consignada en los empaques de los productos y áreas de almacenamiento.

La etiqueta NFPA 704 posee cuatro cuadrantes, la sección superior roja hace referencia al peligro de inflamabilidad, la sección izquierda azul al riesgo de salud, la sección derecha amarilla a la reactividad/inestabilidad y la sección inferior blanca a los peligros especiales. Para cada sección existe una clasificación numérica indicando la severidad del peligro, siendo 4 el peligro más severo y 0 la inexistencia de peligro.

**Figura 6.** Esquema Diamante NFPA 704.



**Fuente:** INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL. [sitio web]. México: AEV, Materia Química. [Consulta: 16 enero 2019]. Disponible en: [https://www.aev.cgfi.ipn.mx/Materia\\_quimica/temas/tema6/subtema3/imagenes/sub3\\_img00.png](https://www.aev.cgfi.ipn.mx/Materia_quimica/temas/tema6/subtema3/imagenes/sub3_img00.png).

Por lo anterior es relevante tener en cuenta la información de las sustancias químicas y su respectivo impacto sobre cada una de las secciones que se detallarán en la Figura 6, para de esta manera mitigar riesgos industriales contra la salud y el medio ambiente.<sup>5</sup>

### 1.3 METODOLOGÍA: ESTRATEGIA KAIZEN

El mejoramiento continuo también conocido como Kaizen es una serie de actividades organizadas para solucionar problemas o llevar a cabo la ejecución de proyectos en cualquier área de la empresa con el fin de producir valor agregado al cliente.

<sup>5</sup> BUENDÍA, Tatiana. Alternativas para el tratamiento de las sustancias químicas peligrosas en los lodos de perforación. p. 26. [en línea]. Trabajo de grado especialista en Gestión Ambiental. Fundación Universidad de América, 2016. [Consultado: 16 enero 2019]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11839/642>.

**1.3.1 Concepto.** Etimológicamente la palabra Kaizen proviene del japonés: Kai (cambio) y Zen (bien), originado por Masaaki Imai en 1991, definido como el cambio para mejorar orientado, para satisfacer tanto las necesidades como exigencias de los clientes en precio, desempeño, seguridad en la producción, impacto ambiental, entre otros.

Por lo anterior, se requiere que el uso de la herramienta de mejora continua sea un proceso continuo de análisis situacional para la toma de decisiones proactivas de forma consistente, logrando la competitividad deseada en los productos y servicios ofrecidos por las organizaciones.<sup>6</sup>

El Kaizen puede emplearse en las organizaciones como filosofía gerencial, como un elemento del TQM (gestión de calidad total) o como principio teórico de metodología y técnicas de mejora, este último utiliza técnicas como equipos de mejora, estandarización, uso de herramientas estadísticas, rediseño de procesos, nivelado de flujos, planes de acción, tecnología de información y coaching.<sup>7</sup>

**1.3.2 Pasos.** Según el artículo “Metodología dinámica para la implementación de 5’s en el área de producción de las organizaciones” realizado por Valeria Pérez Sierra y Lewis Charles Quintero Beltrán<sup>8</sup>, establecen 5 pasos para la implementación de la estrategia Kaizen por medio de las 5’s, las cuales son, seiri, seiton, seiso, seiketsu y shitsuke.

- Seiri (eliminar): la primera “s” busca clasificar y eliminar los elementos innecesarios para dejar solo lo indispensable, el objetivo es aumentar el espacio de la planta, minimizar tiempos de producción y mejorar la seguridad laboral.
- Seiton (ordenar): la segunda “s” busca organizar los recursos requeridos para el proceso productivo, el objetivo principal es de disminuir el tiempo de producción al encontrar con mayor facilidad los recursos (mejor accesibilidad).

---

<sup>6</sup> PRIETO, Jorge. Gestión estratégica organizacional. p. 10. [en línea]. 4ª. ed. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones, 2012. [Citado el 20 enero 2019]. Disponible en: <https://www.ecoediciones.com/wp-content/uploads/2017/05/Gestión-estratégica-organizacional-5ta-Edición.pdf>. ISBN 9789587714616.

<sup>7</sup> SUAREZ-BARRAZA, Manuel y MIGUEL-DÁVILA, José. Encontrando al Kaizen: Un análisis teórico de la Mejora Continua. p. 27. Pecunia [en línea]. 2008, julio-diciembre, (7). [Consultado: 20 enero 2019]. ISSN 23404272. DOI: 10.18002/pec.

<sup>8</sup> PEREZ SIERRA, Valeria y QUINTERO BELTRÁN, Lewis Charles. Metodología dinámica para la implementación de 5’s en el área de producción de las organizaciones. p. 414–415. Revista Ciencias Estratégicas [en línea]. 2017, julio–diciembre, 35 (38). [Consultado: 20 enero 2019]. ISSN: 17948347. DOI: <http://dx.doi.org/10.18566/rces.v25n38.a9>.

- Seiso (limpieza e inspección): la tercera “s” implica limpiar e inspeccionar el entorno del trabajo para identificar defectos o fallas, el objetivo es tener una buena metodología de mantenimiento predictivo.
- Seiketsu (estandarizar): la cuarta “s” busca estandarizar lo conseguido anteriormente con el objetivo de lograr que los beneficios perduren en el tiempo.
- Shitsuke (disciplina): la quinta “s” tiene como objetivo que las acciones contempladas en las anteriores fases se automaticen y se conviertan en acciones requeridas del proceso productivo.<sup>9</sup>

Según el artículo “Plan de reducción de desperdicios de materia prima para mejorar la productividad de una empresa fabricante de revestimientos” realizado por Wilmary Peña y Gaudys Mendoza<sup>10</sup> en LACCEI, Venezuela. El círculo de mejoramiento Kaizen se enmarca en (11) pasos, los cuales son:

1. Definir el problema / estado deseado: tiene como objetivo establecer los problemas presentes en el proceso.
2. Identificar áreas a mejorar: busca delimitar el problema en un área en específico con el fin de tener control sobre esta.
3. Generar ideas: tiene como objetivo generar ideas con aspectos importantes del problema planteado, estas deben ser creativas.
4. Evaluar ideas: busca sintetizar y jerarquizar las ideas generadas, para así seleccionar las más relevantes para llevar a cabo.
5. Diseñar la medición: tiene como objetivo diseñar un sistema de medición para evaluar los objetivos planteados.
6. Planear la implantación: tiene como objetivo planificar las actividades a desarrollar de forma ordenada, lógica y coherente.
7. Decidir la acción: tiene como objetivo programar las actividades consolidadas en el paso anterior, este paso se lleva a cabo por medio de un diagrama de PERT (Project Evaluation and Review Techniques).

---

<sup>9</sup> Ibid., p. 414–415.

<sup>10</sup> MENDOZA, Gaudys y PEÑA, Wilmary. Plan de reducción de desperdicios de materia prima para mejorar la productividad de una empresa fabricante de revestimientos. p. 3–4. LACCEI [en línea]. 2009, junio, 7. [Consultado: 20 enero 2019]. Disponible en: <http://www.laccei.org/LACCEI2009-Venezuela/p124.pdf>.

8. Actuar: busca la implementación de las actividades planteadas, teniendo presente los parámetros de los pasos 5, 6 y 7.
9. Nuevo estándar: tiene como objetivo establecer las características y procedimientos que permiten realizar en mejor forma una labor.
10. Medir: tiene como objetivo medir y evaluar las soluciones implementadas.
11. Analizar: busca monitorear los resultados obtenidos de los objetivos establecidos y a partir de esto tomar decisiones de ajuste, adaptación y cumplimiento.<sup>11</sup>

**1.3.3 Beneficios.** La implementación de la metodología Kaizen en las empresas permite mejorar la calidad y productividad de los procesos, una producción justo a tiempo, un aprendizaje continuo, la automatización, disciplina en el trabajo, sinergia entre colaboradores y la empresa, desarrollo de nuevos productos, entre otros. Por lo tanto, aquella compañía que implemente y mantenga esta herramienta alcanzará sus metas obteniendo resultados positivos en términos de eficiencia y competitividad.<sup>12</sup>

Los beneficios generados a raíz de la implementación de las 5s en el modelo Kaizen son:

- Eliminar los desperdicios.
- Mejorar la calidad de los procesos y de los productos.
- Reducción de tiempos de manufactura.
- Generar un beneficio económico a la compañía.

#### **1.4 SERVICIOS INDUSTRIALES**

Los servicios industriales o utilities, son procesos auxiliares del proceso productivo, pero son indispensable para el desarrollo de este, entre estos sobresalen la generación de vapor, agua de enfriamiento, sistemas de refrigeración, entre otros. A continuación, se hablará acerca de la generación de vapor y el sistema de refrigeración con Amoniaco, los cuales son desarrollados por la empresa, cuyo papel es fundamental en todo su proceso productivo.

---

<sup>11</sup> Ibid., p. 3–4.

<sup>12</sup> MENDOZA. Op. cit., p. 5.

**1.4.1 Generación de vapor.** En los procesos industriales, el vapor es empleado como principal fluido de calentamiento de las corrientes de proceso o es empleado para la producción de energía eléctrica con ayuda de una turbina. Por esto mismo la generación de vapor es crucial para el desarrollo de los procesos en la industria, en este sub-ítem se mostrará las generalidades del sistema y sus principales características.

**1.4.1.1 Funcionamiento.** Según Daniel Hincapié “Un generador de vapor, es un sistema formado por una caldera y sus accesorios, destinados a transformar un líquido en vapor, a temperatura y presión diferente a la atmosférica. Una caldera, es un recipiente metálico en el que se genera vapor a presión mediante la quema de un combustible, transformando la energía química de este en energía calórica”.<sup>13</sup>

El sistema de generación de vapor está conformado por diversos sistemas los cuales son, generalmente:

- Alimentación y tratamiento de agua: el cual garantiza las condiciones óptimas del agua para evitar el deterioro de la caldera.
- Quemadores: son los encargados de realizar la reacción química entre el combustible y el comburente (oxígeno).
- Hogar de la caldera: es el espacio en el cual se realiza la transferencia de calor principal entre los gases de combustión y el agua, para así mismo formar vapor. En este lugar se encuentran el arreglo de tubos los cuales facilitan la transferencia.
- Distribución de vapor: hace referencia a las tuberías de distribución las cuales deben estar aisladas para garantizar una baja pérdida de calor.
- Retorno de condensado: es el que se encarga de reutilizar el agua empleada en el proceso, garantizando las mejores condiciones de esta para poder ser transportada de nuevo a la caldera.<sup>14</sup>

Las calderas se clasifican de diversas formas como en la disposición de los fluidos, el tipo de combustible, la presión de trabajo, tipo de generación, entre otros. Dependiendo de la disposición de los fluidos, estas pueden ser clasificadas como piro-tubulares o acuotubular (ver Figura 7), en donde la caldera piro-tubular los gases

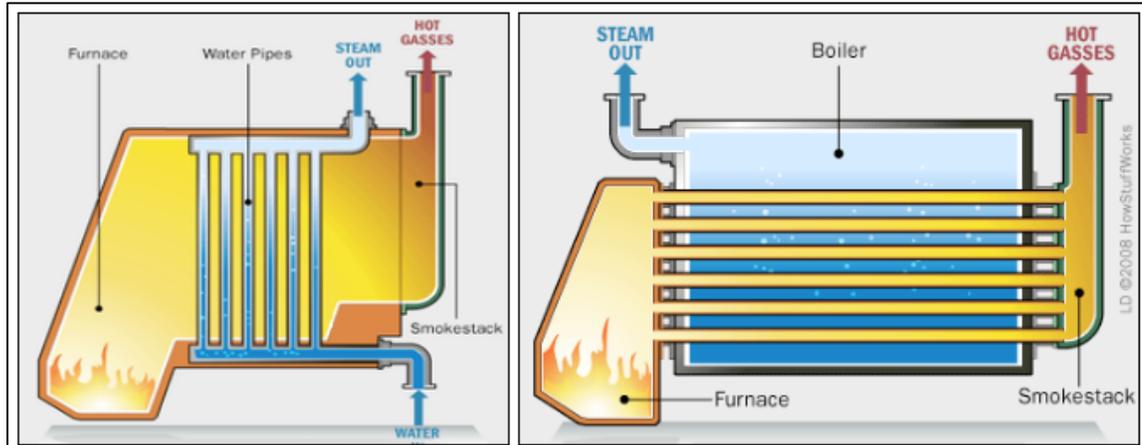
---

<sup>13</sup> HINCAPIE BAENA, Daniel. Definición de una metodología de diagnóstico en eficiencia energética aplicable a calderas convencionales de vapor. p. 42. [en línea]. Trabajo de grado de Magister en Ingeniería. Universidad Pontificia Bolivariana, 2015. [Consultado: 23 enero 2019]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/2863>.

<sup>14</sup> Ibid., p. 44-46.

de combustión pasan por el lado de los tubos mientras que la caldera acuotubular es el agua la que pasa por estos.<sup>15</sup>

**Figura 7.** Tipo de calderas (acuotubular y pirotubular).



**Fuente:** VYC INDUSTRIAL. [sitio web]. VYC, Calderas de vapor pirotubulares y acuotubular. [Consulta: 23 enero 2019]. Disponible en: <https://vycindustrial.com/calderas-de-vapor-pirotubulares-y-acuotubulares/>.

**1.4.1.2 Parámetros principales de operación.** Para obtener una eficiencia alta en este proceso, se controlan diversos parámetros como la calidad del agua de alimentación, el exceso de aire y la temperatura de chimenea.

✱ **Agua de alimentación.** Tener control del agua de alimentación asegura la reducción de pérdidas de calor por la disminución de las incrustaciones, estas son causadas principalmente por sales (cálcicas y magnésicas), también se previene la corrosión y el deterioro de la caldera puesto que en altas presiones y temperaturas la corrosión es alta si el agua presenta gran contenido de sales y de oxígeno (O<sub>2</sub>) disuelto.<sup>16</sup>

En consecuencia, el agua debe cumplir con parámetros de dureza total (DT), pH, conductividad, concentración de cloruros, entre otros. En la Tabla 2 se muestran algunos requisitos en términos de composición que debe tener el agua de alimentación.<sup>17</sup>

<sup>15</sup> Ibid., p. 47.

<sup>16</sup> Ibid., p. 53.

<sup>17</sup> PÉREZ, Amaury; TEJEDA, Yenney y GONZÁLEZ, Raúl. Evaluación de la generación de vapor de la fábrica de refrescos 23 de Agosto, en Camagüey. p. 7-11. MUTIS [en línea]. 2017, enero-junio, 7. [Consultado: 23 enero 2019]. ISSN 22561498. DOI: <https://doi.org/10.21789/22561498.1198>.

**Tabla 2.** Límites de composición del agua de alimentación.

<b>Rango de presión (psig)</b>	<b>Hierro (ppm)</b>	<b>Cobre (ppm)</b>	<b>Alcalinidad (ppm)</b>	<b>Dureza (ppm)</b>
0 - 284	0.1	0.05	350	0.3
298 - 426	0.05	0.025	300	0.3
440 - 597	0.03	0.02	250	0.2
611 - 739	0.025	0.02	200	0.2
753 - 896	0.02	0.015	150	0.1
910 - 995	0.02	0.015	100	0.05
1009 - 1493	0.01	0.01	N.E	N.E
1507 - 1990	0.01	0.01	N.E	N.E

**Fuente:** HINCAPIE BAENA, Daniel. Definición de una metodología de diagnóstico en eficiencia energética aplicable a calderas convencionales de vapor. p. 53. [en línea]. Trabajo de grado de Magister en Ingeniería. Universidad Pontificia Bolivariana, 2015. [Consultado: 23 enero 2019]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/2863>.

Para evitar la concentración de sales es aconsejable asegurar la frecuencia correcta de las purgas de la caldera y realizar el tratamiento químico o mantenimiento adecuado.

**\* Exceso de aire.** La mezcla entre aire y combustible debe considerarse en exceso, asegurando así una combustión completa, es decir que los gases de combustión son libres de monóxido de carbono, adicionalmente el exceso de aire ayuda a no incurrir en altas temperaturas en la chimenea, las cuales generan un impacto negativo en el ambiente. En la Tabla 3 se muestran los rangos óptimos del exceso de aire.<sup>18</sup>

**Tabla 3.** Exceso de aire recomendado.

<b>Combustible</b>	<b>Exceso aire (%)</b>
Gas natural	5 - 10
Propano	5 - 10
Gas de coque	5 - 10
Fuel oil	10 - 15
Carbón pulverizado	40 - 60

**Fuente:** HINCAPIE BAENA, Daniel. Definición de una metodología de diagnóstico en eficiencia energética aplicable a calderas convencionales de vapor. p. 55. [en línea]. Trabajo de grado de Magister en Ingeniería. Universidad Pontificia Bolivariana, 2015. [Consultado: 23 enero 2019]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/2863>.

<sup>18</sup> HINCAPIE BAENA. Op. cit., p. 55.

**\* Temperatura de chimenea.** La temperatura de los gases de chimenea es relevante en la eficiencia de la caldera, como heurística se tiene que estos gases deben ser 50 °C por encima de la temperatura de saturación del vapor de la caldera, posteriormente se muestran los valores óptimos de temperatura; cabe recalcar que estos pueden variar por la precipitación de ácidos, por lo cual se sugiere una temperatura mayor.<sup>19</sup>

**Tabla 4.** Valores de referencia para la temperatura de gases de chimenea óptima.

Presión (psig)	Temp. Saturación (°C)	Temp. Referencia (°C)
80	155.59	205.59
90	160.17	210.17
100	164.36	214.36
120	171.83	221.83
140	178.37	228.37
160	184.22	234.22
180	189.51	239.51
200	194.36	244.36
220	198.82	248.82
240	202.99	252.99

**Fuente:** HINCAPIE BAENA, Daniel. Definición de una metodología de diagnóstico en eficiencia energética aplicable a calderas convencionales de vapor. p. 57. [en línea]. Trabajo de grado de Magister en Ingeniería. Universidad Pontificia Bolivariana, 2015. [Consultado: 23 enero 2019]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/2863>.

**Tabla 5.** Eficiencia mínima, típica de diferentes tipos de calderas.

Tipo de caldera	Capacidad (kW)	Eficiencia (%)	Combustible
Piro-tubular	100 – 200	76	GN – GLP
		80	Gasóleo, Diésel
	200 – 8000	76	GN – GLP
		80	Gasóleo, Diésel
Acuotubular	100 – 200	74	GN – GLP
		78	Gasóleo, Diésel
	200 – 8000	76	GN – GLP
		80	Gasóleo, Diésel

**Fuente:** HINCAPIE BAENA, Daniel. Definición de una metodología de diagnóstico en eficiencia energética aplicable a calderas convencionales de vapor. p. 50. [en línea]. Trabajo de grado de Magister en Ingeniería. Universidad Pontificia Bolivariana, 2015. [Consultado: 23 enero 2019]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/2863>.

<sup>19</sup> Ibid., p. 57.

La eficiencia depende del tipo de caldera, del combustible y de la capacidad de esta (ver Tabla 5). Para determinar la eficiencia existen dos maneras, la directa o indirecta, por un lado la directa contempla la energía útil mientras que la indirecta contempla las pérdidas de energía.<sup>20</sup>

Para determinar la eficiencia se realizan balances energéticos y másicos del sistema, con el fin de calcular la energía útil (energía requerida para llevar el agua de alimentación a vapor), posteriormente se calcula la energía de entrada, que corresponde principalmente a la suministrada por el combustible y la energía adicionada ( $E_{ad}$ ), que son las potencias requeridas para comprimir el agua de alimentación y para transportar el aire al quemador (ver Ecuación 1).<sup>21</sup>

**Ecuación 1.** Eficiencia de la caldera (método directo).

$$\eta (\%) = \frac{\text{Energía útil (vapor producido)}}{\text{Energía total entrada } (E_{\text{comb}} + E_{\text{ad}})} * 100 = \frac{\dot{m}_v(h_v - h_a)}{\dot{m}_c \cdot \text{LHV} + E_{\text{ad}}} * 100$$

**Fuente:** GOLATO, Marcos, et al. Metodología de cálculo de la eficiencia térmica de generadores de vapor. p. 17-18. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán [en línea]. 2008, julio-diciembre, 85 (2). [Consultado: 23 enero 2019]. ISSN 18513018. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-30182008000200003](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-30182008000200003).

Donde  $\dot{m}_v$  es el flujo másico de vapor producido,  $h_v$  la entalpía específica del vapor producido,  $h_a$  la entalpía específica del agua de alimentación,  $\dot{m}_c$  el fluo másico del combustible quemado, LHV el poder calorífico inferior del combustible quemado y  $E_{ad}$  corresponde a los créditos de energía que son la suma de los calores sensibles del aire de combustión, el agua de alimenración y el combustible.

**1.4.2 Sistema de refrigeración con Amoniaco.** El sistema de refrigeración es empleado en la industria cuando la temperatura del agua de enfriamiento no cumple con los parámetros del proceso, actualmente en la industria existen cuatro tipos de refrigerantes, los cuales varían en su temperatura de operación. En este sub-ítem se mostrarán las generalidades del sistema de refrigeración de Amoniaco y sus principales características.

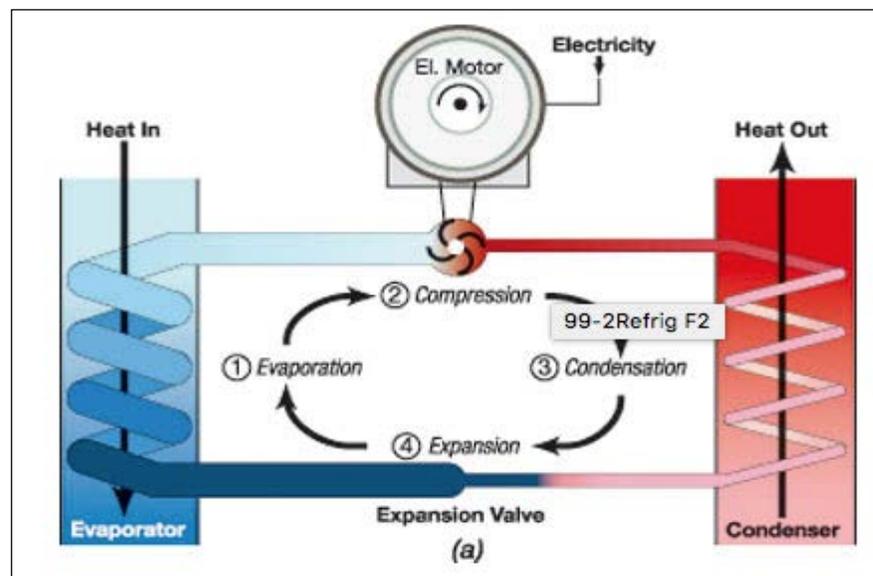
<sup>20</sup> GOLATO, Marcos, et al. Metodología de cálculo de la eficiencia térmica de generadores de vapor. p. 17-18. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán [en línea]. 2008, julio-diciembre, 85 (2). [Consultado: 23 enero 2019]. ISSN 18513018. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-30182008000200003](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-30182008000200003).

<sup>21</sup> HINCAPIE BAENA. Op. cit., p. 65.

**1.4.2.1 Funcionamiento.** El sistema de refrigeración de Amoniaco, es uno de los métodos más económicos y con mejor rendimiento de refrigeración. Esto es dado por sus propiedades termodinámicas y su facilidad de formar un sistema cerrado previniendo daños ambientales y de seguridad a causa de su alta toxicidad.<sup>22</sup>

El sistema de refrigeración por compresión emplea Amoniaco anhidro, es decir de 99% de pureza y de esta forma logra obtener temperaturas de hasta  $-70^{\circ}\text{C}$ . Este proceso se basa en un sistema cerrado de evaporación, compresión, condensación y expansión, por lo cual el sistema debe contener compresores, bombas, condensadores e intercambiadores de calor. Posteriormente se muestra el sistema cerrado del sistema.

**Figura 8.** Sistema de refrigeración por compresión.



**Fuente:** RUBIO MÁRQUEZ, Joel. Refrigeración con amoniaco. En: Mundo HVACER. [sitio web]. México. [Consulta: 26 enero 2019]. Disponible en: <https://www.mundohvacr.com.mx/2009/03/refrigeracion-con-amoniaco/>.

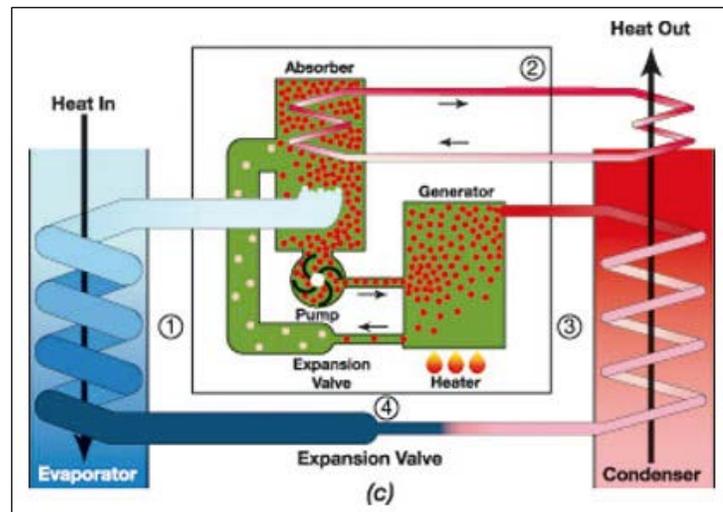
El sistema se basa en una etapa de compresión con el fin de disminuir su temperatura de condensación, para luego poder ser condensado por medio de un intercambiador de calor, el Amoniaco sale líquido del condensador y pasa a un proceso de expansión por medio de una válvula, en donde se consigue un líquido a menor presión y como la entalpia del sistema no varía, la temperatura de este

<sup>22</sup> RUBIO MÁRQUEZ, Joel. Refrigeración con amoniaco. En: Mundo HVACER. [sitio web]. México. [Consulta: 26 enero 2019]. Disponible en: <https://www.mundohvacr.com.mx/2009/03/refrigeracion-con-amoniaco/>.

disminuye, finalmente este líquido es alimentado a un intercambiador de calor, con el fin de recuperar calor de una corriente caliente y por medio de esta pasar a la fase gaseosa, en donde el ciclo se vuelve a repetir.<sup>23</sup>

Otra forma de realizar el proceso de refrigeración es por medio del sistema por absorción en el cuál se requiere un fluido refrigerante y un fluido absorbente, principalmente se usa como fluido absorbente el agua. En diferencia con el sistema de compresión esta emplea soluciones de agua y Amoniaco como se aprecia en la siguiente figura.

**Figura 9.** Sistema de refrigeración por absorción.



**Fuente:** RUBIO MÁRQUEZ, Joel. Refrigeración con amoniaco. En: Mundo HVACER. [sitio web]. México. [Consulta: 26 enero 2019]. Disponible en: <https://www.mundohvacr.com.mx/2009/03/refrigeracion-con-amoniaco/>.

**1.4.2.2 Características.** El refrigerante R-717 o Amoniaco, con su fórmula molecular  $\text{NH}_3$ , es uno de los gases más abundantes en el medio ambiente, es un gas incoloro, tóxico, irritante y sofocante en olor. Su punto de ebullición es  $-33^\circ\text{C}$  y por sus buenas propiedades termodinámicas es ampliamente usado como refrigerante en la industria en general.

<sup>23</sup> CALDERON CANDELA, José y GOMEZ DIAZ, Rafael. Análisis y estudio del sistema de refrigeración implementado en la cervecería Bavaria s.a. de Bucaramanga con el fin de proponer una mejora en el consumo energético. p. 32. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Universidad Industrial de Santander, 2010. [Consultado: 26 enero 2019]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133515.pdf>.

Dentro de las principales ventajas del Amoniacó están sus altos rendimientos termodinámicos, el no dañar la capa de ozono por lo que se considera como una sustancia química no contaminante, el olor característico para identificar fugas en el sistema de manera rápida y fácil, su bajo costo comparado con los de otros refrigeradores utilizados industrialmente.

A pesar de lo anterior, el Amoniacó es clasificado como una sustancia peligrosa y tiene como desventajas sus características de ser corrosivo, altamente tóxico debido a que en caso de inhalación o contacto puede causar congelamiento de los tejidos, al igual que quemaduras severas ya que es irritante para la piel, y posee una inflamabilidad que en cantidades y condiciones específicas puede causar peligro de explosión.<sup>24</sup>

---

<sup>24</sup> RODRIGUEZ, Manuel. Refrigeración con amoniacó: aplicaciones, funcionamiento y propiedades. [sitio web]. INESEM. [Consulta: 26 enero 2019]. Disponible en: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/refrigeracion-con-amoniaco/>.

## **2. DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL MANEJO DE MATERIAS PRIMAS, INSUMOS Y LÍNEAS DE SERVICIOS**

En el desarrollo de este capítulo se describe el reconocimiento de los procesos que se realizan actualmente en la planta de producción, todo esto con el objetivo de identificar las sustancias químicas empleadas, las variables y factores relevantes.

De igual manera se contempla el estudio para las líneas de servicio de generación de vapor y del sistema de refrigeración con Amoniaco, describiendo minuciosamente su funcionamiento, variables, parámetros, eficiencias y factores relevantes. De esta manera, con la información recolectada es posible diagnosticar el estado actual de las líneas de servicio, así como también de las materias primas e insumos por medio de una matriz de control de sustancias químicas descrita más adelante.

### **2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES PROCESOS DE LA EMPRESA DE BEBIDAS GASEOSAS**

Dentro de los principales procesos realizados en la planta de la ciudad de Bogotá se encuentran el tratamiento de agua, la preparación de jarabe simple y terminado, el lavado de envases retornables, además del llenado y sellado de diferentes productos para su posterior venta a los consumidores.

El proceso comienza con el tratamiento de agua, siendo crucial puesto que es empleada en diferentes procesos de la planta como lo es el lavado de envases, obtención de jarabe simple y terminado, producción de agua Brisa y bebidas carbonatadas, entre otros.

El siguiente de los principales procesos es la elaboración de jarabe simple y terminado, el cual en la cadena productiva tiene gran repercusión dado que su propósito es edulcorar y saborizar las bebidas dando las propiedades específicas que caracterizan a cada uno de los productos.

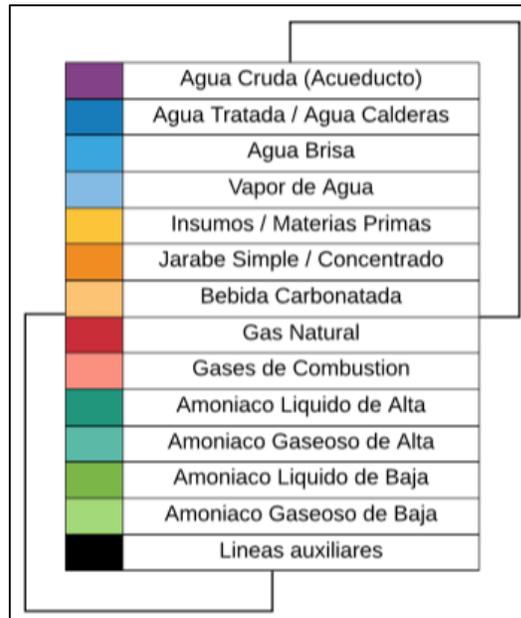
Por otra parte, los envases retornables provenientes del mercado que finalizan su etapa de distribución y consumo son reutilizados, por lo tanto, es necesario realizar un minucioso proceso de lavado para garantizar su inocuidad y asegurar que estén en óptimas condiciones.

Por último, el proceso de llenado y sellado del producto se consolida, en el cual se da la mezcla de agua y jarabe terminado, donde también se tienen en cuenta parámetros especiales de llenado como lo es la adición del Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) en la bebida.

Posteriormente estos procesos se detallarán con mayor profundidad y detalle, en donde se realizará la descripción del proceso en general, los principales equipos

empleados y, por último, los factores más relevantes. Por lo cual se construyeron los diagramas de flujo para cada una de las líneas de producción con sus respectivos equipos, materias primas, insumos y con una identificación de líneas por color según su contenido como se puede apreciar en la Figura 10.

**Figura 10.** Identificación de líneas.

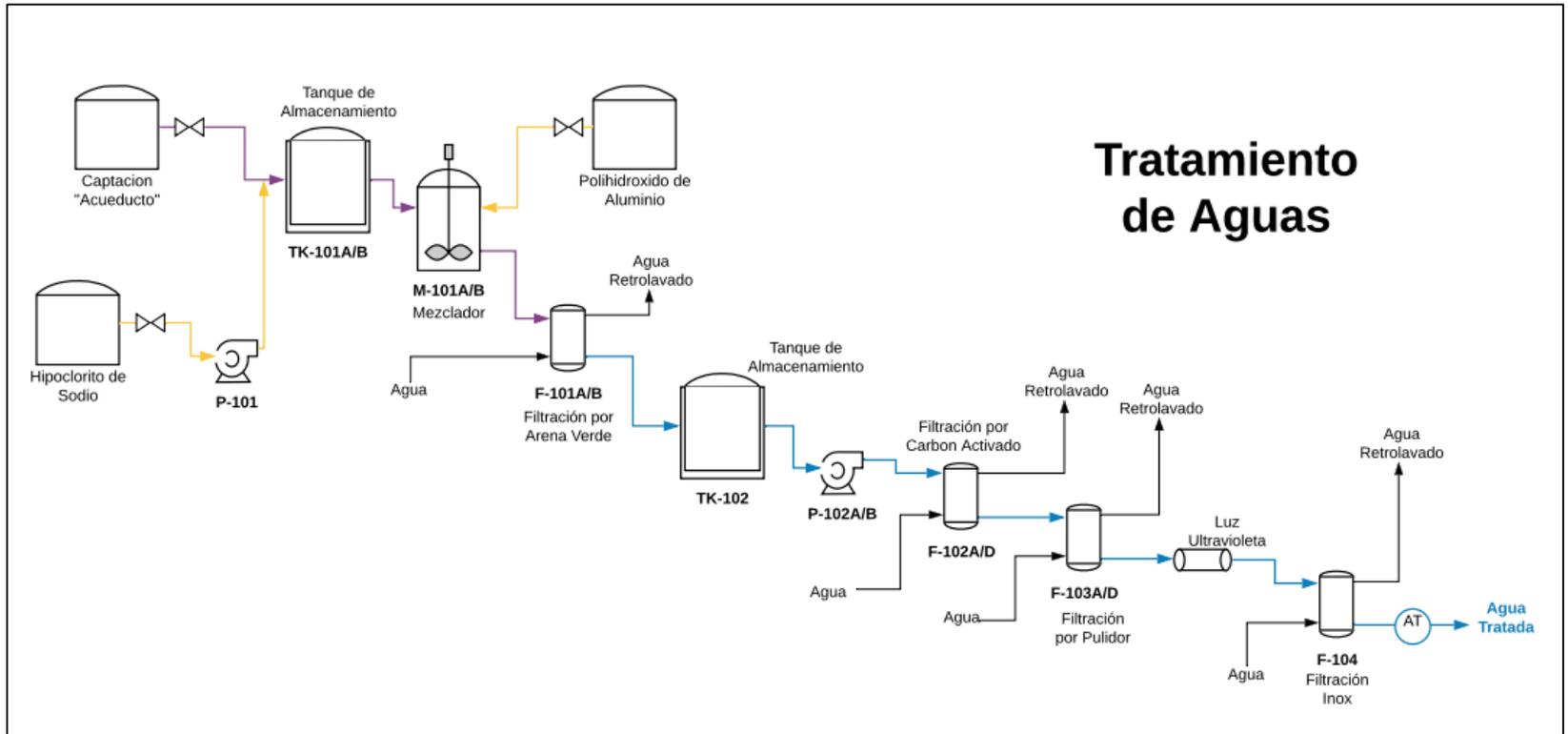


**Fuente:** elaboración propia.

**2.1.1 Tratamiento de aguas.** El proceso de tratamiento de agua es crucial para la correcta operación de la planta, su finalidad es captar el agua proveniente del acueducto y purificarla por medio de una serie de filtros para luego ser suministrada a los diferentes procesos en los que es requerida, ésta abastece el agua para la preparación de jarabe simple y terminado, lavado de envase, preparación de bebidas, entre otros.

**2.1.1.1 Descripción del proceso.** En el Diagrama 1, se muestra el proceso de tratamiento de agua, donde este comienza con la captación del sistema de acueducto de Bogotá, el caudal promedio de captación varía entre 900 a 1500 LPH. Para determinar la calidad del agua se realizan mediciones de cloro total, turbiedad, dureza, sólidos totales disueltos (TDS), entre otros, en una operación normal la turbiedad varía entre 0.5 a 1.5 NTU. La caracterización del agua captada se muestra en la Tabla 6.

Diagrama 1. Tratamiento de aguas.



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 6.** Caracterización del agua captada.

<b>Parámetro</b>	<b>Rango</b>	<b>Valor Promedio</b>
Flujo	LPM	1061
Hierro	< 0.1 ppm	0
Aluminio	< 0.2 ppm	0
Cloro total	< 250 ppm	7
Dureza total	< 100 ppm	29
pH	6.5 - 9.0	6.87
Turbiedad	< 2 NTU	0.75
TDS	< 500 ppm	81
Alcalinidad M	< 85 ppm	19

**Fuente:** elaboración propia.

Posteriormente se realiza una cloración, agregando 0.3 a 0.4 ppm hasta 1 a 3 ppm de Hipoclorito de Sodio, el cual actúa como un fuerte oxidante ayudando a la desinfección de agua, la mezcla es almacenada en dos tanques de 600 m<sup>3</sup> (TK-101A/B).

Aguas abajo de los tanques de almacenamiento, se realiza una floculación en línea, con el objetivo de aglomerar los sólidos presentes en el agua para formar floculos, se adiciona Polihidroxido de Aluminio, como floculante. Esta operación transcurre en el mezclador (M-101A/B), que en conjunto con una agitación rigurosa se logra la agrupación de los sólidos presentes y posteriormente la formación de los floculos. Para la separación de los floculos se emplea la operación unitaria de filtración (F-101A/B), para realizar este proceso se cuenta con filtros de lecho profundo de arena verde. En donde el filtrado es almacenado en un tanque (TK-102) de 600 m<sup>3</sup>. Después de la floculación y filtración se logra obtener un agua con una turbiedad de 0.1 NTU.

Después de retirar los sólidos presentes en el agua, se requiere retirar el olor, color, sabor y cloro presente, esto se logra por medio de una filtración en carbón activado (F-102A/D), con el fin de asegurar un buen filtrado y para eliminar los sólidos o partículas que pasaron en la filtración primaria, se realiza una filtración pulidora (F-103A/D) la cual tiene un tamaño de 5 mesh.

Para eliminar los microorganismos aun presentes en el agua se procede a pasar el agua por luz ultravioleta, para así desactivar de manera rápida y eficiente los microorganismos, prácticamente las bacterias, virus y protozoos sufren daño en los ácidos nucleicos (ADN y ARN). Por último, se realiza una filtración en acero inoxidable (F-104) de 100 mesh.

Para garantizar que el agua tratada cumpla con la normatividad interna, se procede a determinar el pH, sólidos totales disueltos (TDS), concentración de cloro, turbiedad, entre otros. La caracterización del agua se muestra en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Caracterización del agua tratada.

<b>Parámetro</b>	<b>Rango</b>	<b>Valor Promedio</b>
Cloro total	0.0 ppm	0.03
Dureza total	< 100 ppm	26
pH	4.9 - 9.0	6.83
Turbiedad	< 0.3 NTU	0.09
TDS	< 500ppm	66
Alcalinidad M	< 85 ppm	17

**Fuente:** elaboración propia.

**2.1.1.2 Factores relevantes del proceso.** El proceso de tratamiento de agua, debe tener bajo control 4 factores, presión, la dosificación correcta de aditivos (flujo), la agitación del mezclador (RPM) y la turbiedad del agua (NTU).

La presión garantiza la hidráulica correcta en el proceso y aporta la fuerza motriz en las operaciones de filtración, en la que por cada unidad de filtración se pierden aproximadamente 2 a 3 psi, por lo cual, para el correcto funcionamiento de los filtros, se debe garantizar una presión adecuada considerando las pérdidas que se dan en estas unidades. Por último, al presentar pérdidas de presión superiores a 5 psi en las operaciones de filtración, es un indicativo de realizar una regeneración o tratamiento al filtro.

La dosificación de aditivos, tiene influencia directa en la eficiencia del proceso, por ejemplo en la dosificación de Polihidroxido de Aluminio, se evidencia la eficiencia de la floculación, si se adiciona poca cantidad, la formación de floculos será escasa y por ende la turbiedad residual es elevada, en caso contrario al emplear alta cantidad se produce un desperdicio innecesario y también puede llevar a producir problemas operativos como que los floculos se apelmacen o se vuelvan viscosos y así mismo generar mayores pérdidas de presión en el sistema de filtración y/o taponamiento en los filtros.

Para facilitar la formación de los floculos la velocidad de agitación del mezclador (M-101A/B) es de gran ayuda, por medio de esta se logra rápidamente la aglutinación de los sólidos por el aumento de la transferencia de masa entre el agua y el floculante, como consecuencia de esto el tiempo de residencia disminuye.

Por último, la turbiedad es una característica del agua que ayuda a examinar la severidad del tratamiento, es decir que por medio de esta se evalúa la eficacia del

proceso, debido a su importancia se cuenta con un medidor al final de la línea de proceso para evidenciar el correcto funcionamiento, donde se logra aproximadamente una disminución de 88% de la turbiedad inicial.

**2.1.2 Preparación de jarabe simple y terminado.** El jarabe es la materia prima que da las características a las bebidas por lo que su finalidad es edulcorar y saborizar las diferentes referencias producidas en la planta de producción de Fontibón. El jarabe simple es una mezcla de azúcar sulfitada con agua, pasando por diferentes procesos de filtración para garantizar su inocuidad. Por otra parte, el jarabe terminado es la mezcla entre el jarabe simple, agua y las bases de concentrado específicas para cada producto.

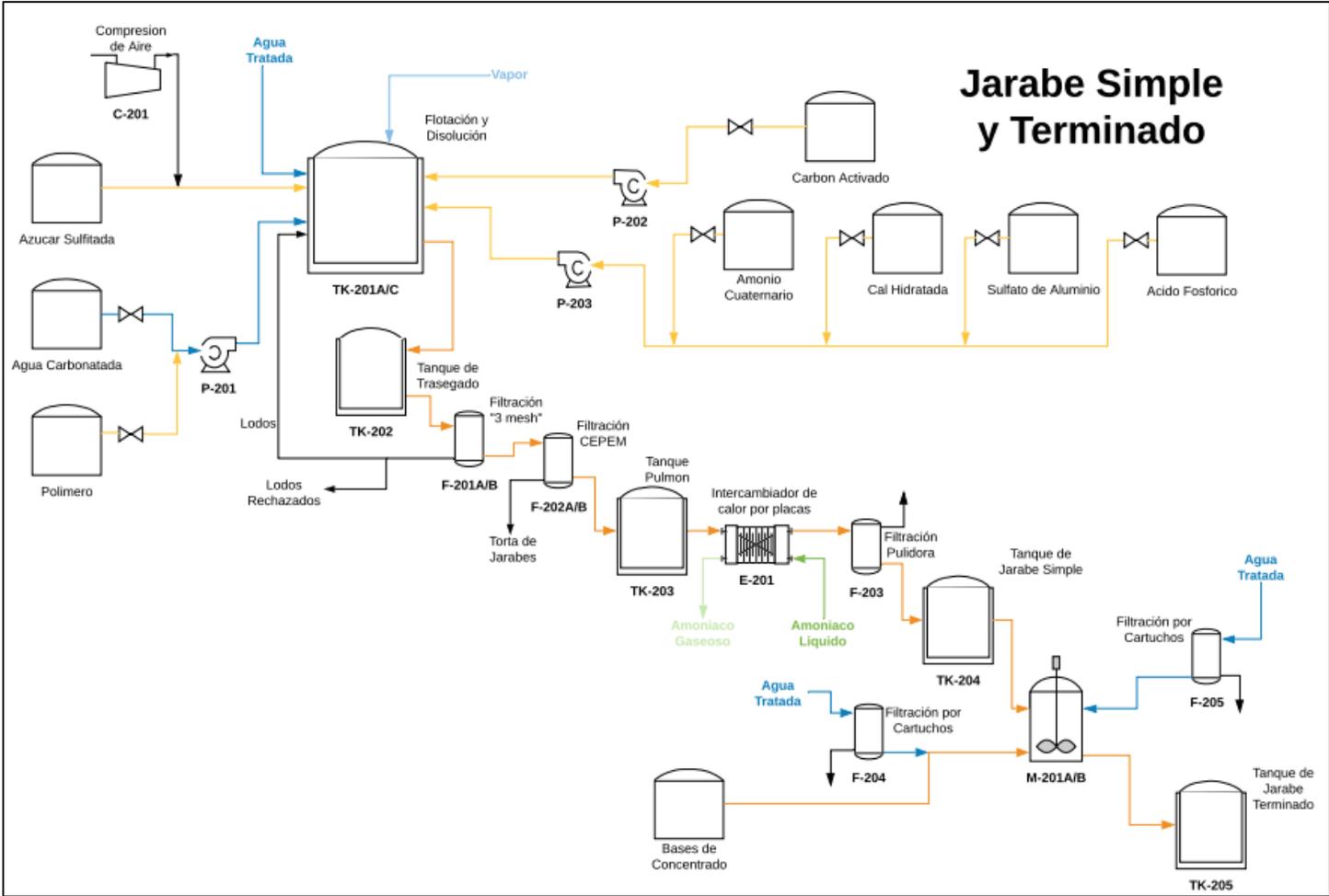
**2.1.2.1 Descripción del proceso.** La preparación de jarabe simple comienza con el paso del azúcar sulfitada con aire comprimido por una malla de 5x5 cm, asegurando el tamaño de partícula de la materia prima como se puede apreciar en el Diagrama 2.

Seguido de esto, se lleva a cabo el proceso de flotación y disolución, que tiene como objetivo obtener un jarabe sin impurezas, eliminando los sólidos suspendidos, para lo cual es necesario realizar en el tanque (TK-201A/C) una mezcla del azúcar con agua tratada, vapor, una dilución de carbón activado para retener partículas, y otra dilución de amonio cuaternario, cal hidratada, sulfato de aluminio y ácido fosfórico encargada de flocular los sólidos suspendidos.

Conjuntamente se realiza un proceso de gasificado, al agua tratada utilizando Dióxido de Carbono para obtener agua carbonatada, para que por medio del disparo del polímero F0499 se retengan todas las partículas indeseadas y así obtener un jarabe de 54 grados Brix, variable que es de suma importancia durante el proceso de producción de bebidas edulcoradas y debe cumplir con la normatividad interna de la empresa.

Posteriormente, el jarabe resultante es llevado al tanque de trasegado (TK-202) pasando por un filtro de malla 3 mesh (F-201A/B), separando los lodos, que son recirculados al proceso de flotación y disolución, del jarabe simple para ser llevado al proceso de clarificado en el cual se realiza una filtración, esta vez de tipo CEPEM (F-202A/B) de 120  $\mu$  de la cual salen como producto la torta de jarabes y el jarabe que es almacenado en el tanque pulmón (TK-203). Al finalizar este proceso se busca disminuir la turbidez y retirar los sólidos del edulcorante.

**Diagrama 2.** Jarabe simple y terminado.



**Fuente:** elaboración propia.

A continuación, el jarabe se lleva a un intercambiador de calor de placas (E-201) operado con Amoniaco líquido con flujo a contracorriente para así disminuir la temperatura del fluido. El jarabe resultante es llevado a un filtro pulidor (F-203) para retener aquellas impurezas de hasta 5  $\mu$  pasando finalmente al tanque de jarabe terminado (TK-204).

Por último, en un mezclador (M-201A/B) se agrega el jarabe simple, agua tratada y las bases de concentrado, según el producto deseado, que es pasado a un proceso de mezclado y ajuste para así dar como resultado el jarabe terminado listo para ser embotellado en las líneas de producción abastecidas desde el tanque de jarabe terminado (TK-205).

**2.1.2.2 Factores relevantes del proceso.** Uno de los factores relevantes del proceso es la temperatura, ya que el jarabe posee una alta viscosidad lo que puede ocasionar pérdidas de carga en las tuberías, por lo tanto, según la mecánica de fluidos es necesario mantener temperaturas elevadas para así garantizar un flujo interno adecuado debido a la disminución de viscosidad y por consiguiente de la fricción de este en tuberías y equipos. Además de esto es importante revisar las temperaturas del intercambiador de placas del jarabe y del Amoniaco, asegurando que el flujo de calor sea el correcto para el proceso.

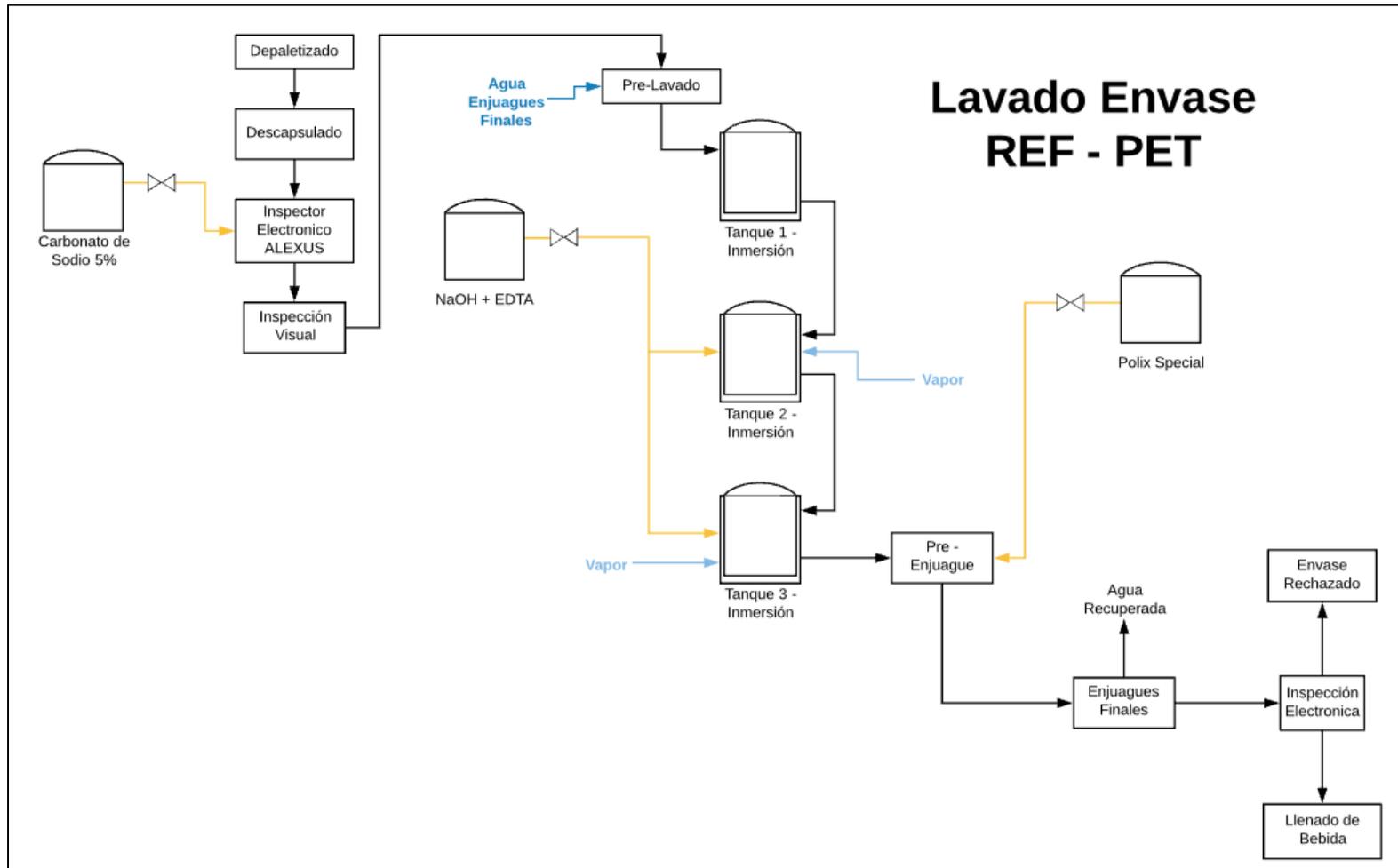
En cuanto a los filtros, se debe tener en cuenta la presión, puesto que esta es la fuerza motora que asegura que las partículas de diferentes tamaños sean retenidas.

Entre otros factores también se encuentran los grados Brix del jarabe simple (54 grados Brix) y del jarabe terminado que deben cumplir con la norma interna estipulada, además de las concentraciones de las bases de concentrado y de las diluciones utilizadas para flocular y retener los sólidos suspendidos del jarabe.

**2.1.3 Lavado de envase.** El lavado de envase es un proceso que parte del final del ciclo de distribución y comercialización del producto en el que se reciben los recipientes de vidrio o REF-PET provenientes del mercado para ser lavados y posteriormente ser llevados al proceso de llenado, es decir que es el inicio del ciclo de producción.

**2.1.3.1 Descripción.** La instrumentación y control en estas líneas, tiene un impacto significativo en los tiempos de producción y en la calidad del proceso, en donde se logra un proceso automatizado y eficaz. Como se mostrará a continuación en el lavado de envase de REF-PET y vidrio.

**Diagrama 3.** Lavado de envase REF-PET.



**Fuente:** elaboración propia.

✱ **REF-PET.** Como se puede observar en el Diagrama 3, el proceso empieza con el depaletizado y descapsulado, con el fin de preparar las botellas para entrar en la línea, para después realizar las respectivas inspecciones que garanticen el buen estado del envase.

La inspección se divide en dos pasos, el primero se basa en el inspector electrónico ALEXUS, este se encarga de separar los envases que tengan presencia de solventes o fluidos contaminantes (gasolina, lubricantes, ACPM, entre otros) en su interior, esto se logra agregando una pequeña cantidad de Carbonato de Sodio al 5%, cuyo efecto es provocar una reacción con el contaminante para así poder ser identificado aguas abajo del dosificador en el inspector ALEXUS.

El segundo paso es la inspección visual del envase, que depende del estado físico y mecánico de la botella lo que determinará si ésta será aceptada o rechazada.

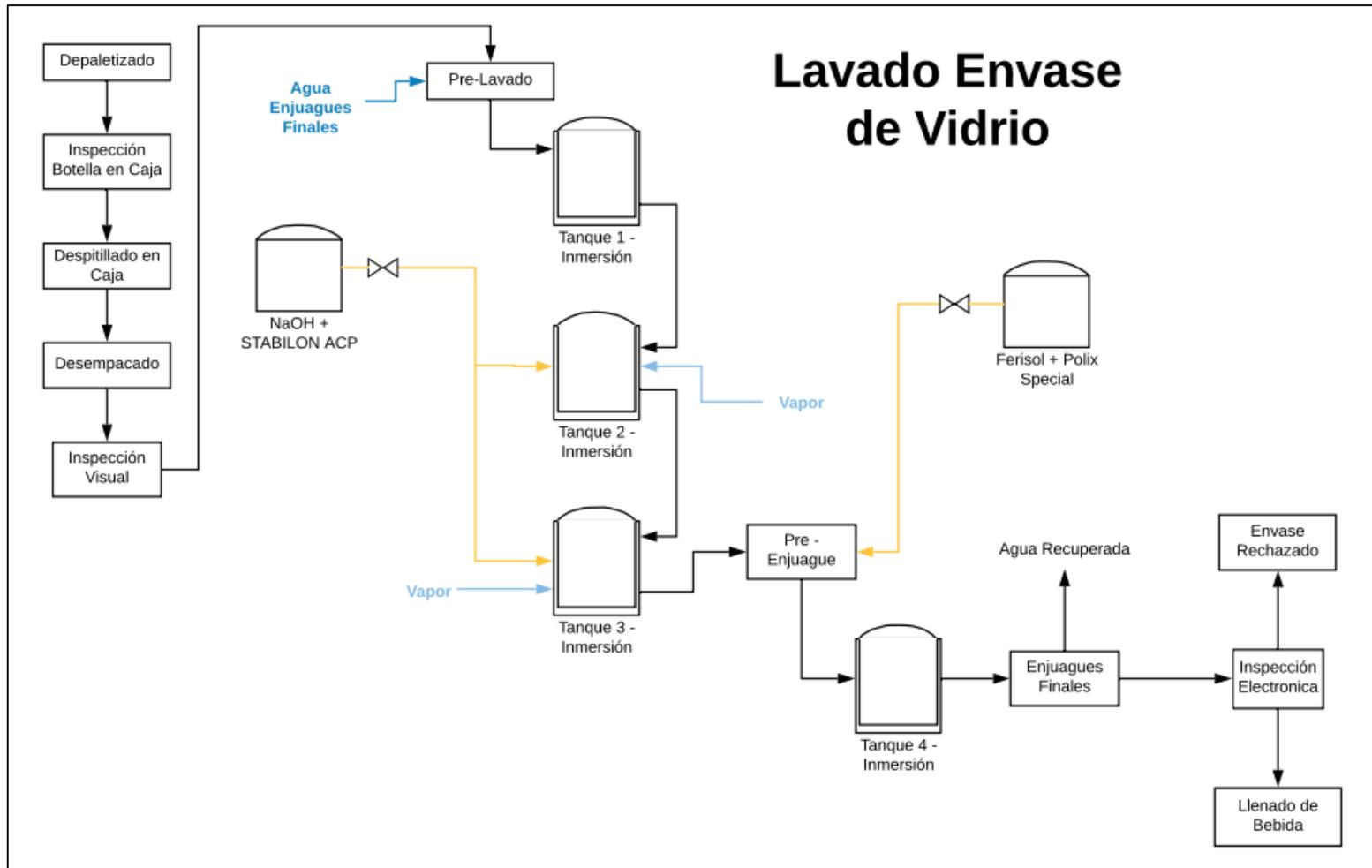
Después de seleccionar los envases aptos, se procede a realizar el proceso de lavado, en el cual el envase es sometido a un pre-lavado antes de ingresar a la lavadora, la lavadora cuenta con 3 tanques de inmersión, el primer tanque realiza un proceso de inmersión con solo agua, el segundo y tercer tanque, las inmersiones se realizan en presencia de vapor, Soda Caustica (NAOH) y EDTA. La temperatura en los tanques de inmersiones varía como se puede ver en el Gráfico 1, mostrando que la temperatura más alta del lavado se da en el tanque de inmersión 3.

Posteriormente se realizan pre-enjuagues con Polix Special y enjuagues finales para asegurar que no quede ningún rastro de detergente. Cabe recalcar que en todo el proceso de lavado se utiliza agua tratada. Finalmente, para asegurar que el envase empleado en el proceso de llenado cuente con los parámetros indicados es sometido a otra inspección electrónica.

✱ **Vidrio.** Los envases de vidrio retornables de la empresa requieren, una vez terminado su proceso de comercialización, distribución y consumo, ser llevados a un proceso de lavado para eliminar cualquier actividad microbiana y garantizar la inocuidad del producto.

Primeramente, se realiza un depaletizado, seguido de una inspección de las botellas en caja revisando su estado actual y asegurando que cumpla con las características físicas adecuadas para ser utilizadas dentro del proceso de producción. Debido a la presencia de materiales sólidos como pitillos, es requerido realizar el despitillado, con aire a presión, para así proceder a desempacar las botellas y llevar a cabo una inspección visual a cada una de ellas.

**Diagrama 4.** Lavado de envase de vidrio.

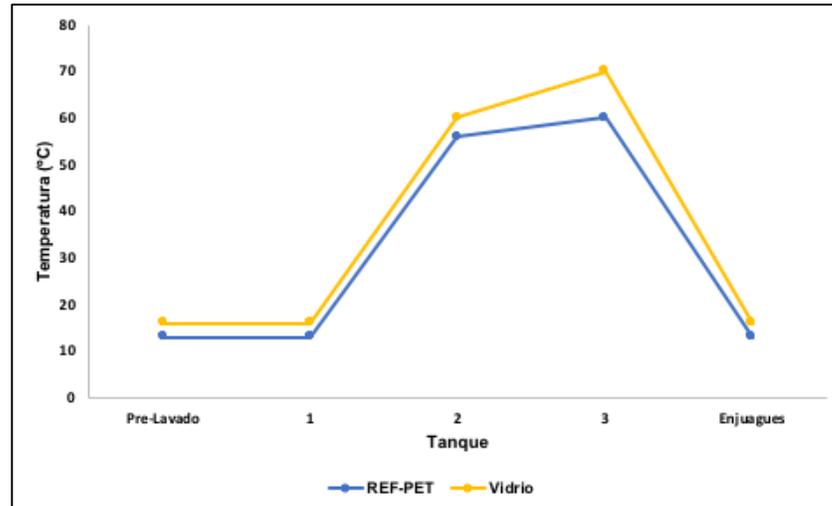


**Fuente:** elaboración propia.

Una vez terminado el proceso de inspección, los envases son conducidos a un proceso de lavado, comenzando por una etapa de pre-lavado con el agua recuperada de los enjuagues finales. Seguido a esto las botellas pasan por diferentes tanques de inmersión, la primera se realiza en presencia de agua, la segunda y tercera se efectúan en presencia de vapor, NaOH y Stabilon ACP, y finalmente antes de pasar al cuarto tanque de inmersión, en presencia de agua, se realiza otro pre-lavado, esta vez con Ferisol y Polix Special.

Por último, se realiza un enjuague final con agua para retirar las trazas de los productos químicos empleados durante el proceso de lavado. Paso seguido los envases pasan a un separador de aire y posteriormente a una inspección electrónica que tiene como resultado seleccionar los envases rechazados y los envases que se dirigen al proceso de llenado.

**Gráfico 1.** Rampa de temperatura en el proceso de lavado.



**Fuente:** elaboración propia.

**2.1.3.2 Factores relevantes del proceso.** El proceso de lavado de envase, debe tener bajo control 3 factores, la dosificación correcta de aditivos, la temperatura y el tiempo de contacto o tiempo de residencia.

La dosificación de aditivos influye en el óptimo proceso de lavado y desinfección de botellas. En este proceso se emplea como detergente una mezcla de Soda Caustica con una serie de aditivos que ayudan a mejorar la remoción de suciedad de las botellas y a la disminución de costos. Debido a esto la concentración correcta de soda y de aditivos deben ser adecuados, estos valores corresponden aproximadamente a 3.2% de Soda y 0.24% de aditivos.

La temperatura afecta la acción de la solución detergente sobre la suciedad; las temperaturas altas aceleran el proceso de lavado, pero si son demasiado altas

puede causar un secado rápido, lo cual provocara que queden residuos de la solución en la botella adicionalmente pueden afectar la integridad mecánica de la botella.

El tiempo de contacto influye en el efecto químico; mientras mayor tiempo pase la botella en contacto con la solución, mayor será el efecto de lavado, pero si el tiempo de contacto es bastante prolongado puede causar mayores desgastes en la imagen de la botella.

**2.1.4 Elaboración, llenado y sellado de productos.** El proceso de elaboración, llenado y sellado de los productos es la etapa final en la cadena de producción de la empresa. Es donde se realizan las adecuaciones finales al agua proveniente del proceso de tratamiento de agua para los productos Brisa, o en su caso la adecuación del jarabe terminado para las bebidas carbonatadas. Seguido de esto, se realiza el llenado de los envases y su respectivo sellado, siempre garantizando la inocuidad y la calidad del producto terminado.

#### **2.1.4.1 Bebidas carbonatadas**

**\* Descripción del proceso.** Como se puede evidenciar en el Diagrama 5, el proceso comienza con la mezcla entre agua y jarabe terminado, la relación de mezcla es de 5.4/1, es decir que por cada 5.4 litros de agua se adiciona un litro de jarabe terminado, el resultado de esta tiene unos grados Brix entre 10 a 11.

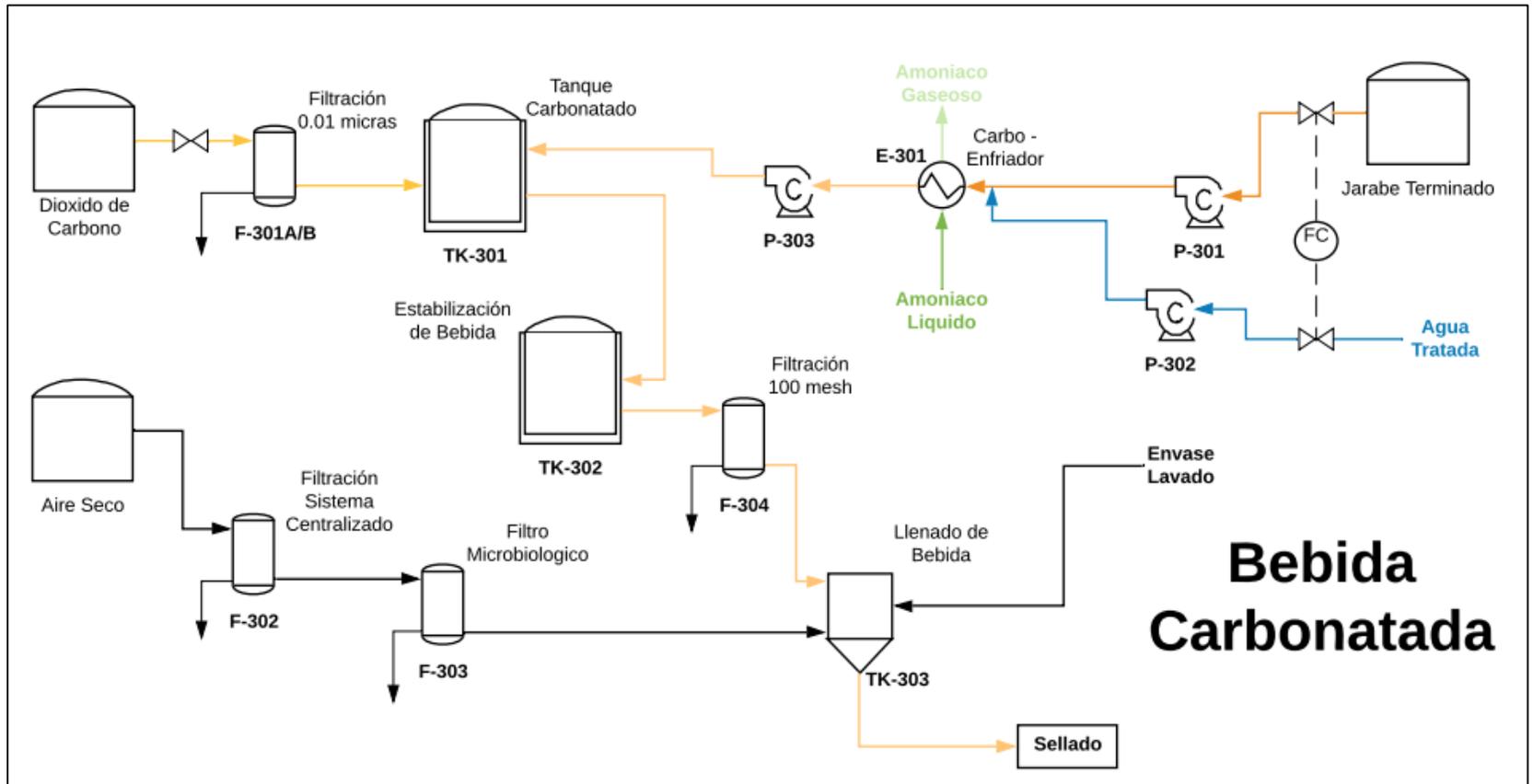
La mezcla entra al carboenfriador (E-301) para ser enfriada con Amoniaco líquido, la mezcla entra con temperatura ambiente y sale con una temperatura entre 2 a 4 °C. El Amoniaco líquido cambia de fase de líquido a gaseoso por el calor transferido.

Posteriormente la mezcla enfriada pasa al tanque de carbonatado (TK-301) en el que se adiciona Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), cabe recalcar que la baja temperatura permite la buena difusión del Dióxido de Carbono en la mezcla. Seguido de esto la mezcla pasa al tanque de estabilización (TK-302), en donde se busca obtener el equilibrio entre la fase gaseosa y la líquida.

La mezcla estabilizada pasa por un proceso de filtración (F-304) con un tamaño de malla de 100 mesh, esto con el fin de garantizar que la bebida no presente solidos o grumos, ya que estos pueden formarse en los procesos anteriores.

Finalmente, la bebida pasa al tanque de llenado (TK-303) para ser adicionada en los envases lavados anteriormente, después el envase es sellado y almacenado para ser distribuido en el mercado.

**Diagrama 5.** Elaboración, llenado y sellado de bebidas carbonatadas.



**Fuente:** elaboración propia.

✱ **Factores relevantes del proceso.** En el proceso de bebidas carbonatadas, se debe tener bajo control 3 factores, la mezcla entre agua y jarabe terminado, la temperatura y la dosificación del Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).

La relación entre agua y jarabe debe ser precisa porque a partir de esta se logra obtener un producto con las especificaciones requeridas que se muestran en las normas internas de la empresa, para lograr esta correcta relación se emplea instrumentación con estrategias de lazos de relación.

Como se mencionó anteriormente, la temperatura garantiza la difusión del Dióxido de Carbono en la mezcla de agua y jarabe terminado, por lo cual este parámetro es fijo en el proceso y dependiendo del funcionamiento del sistema de refrigeración se puede modificar el tiempo de residencia en el carboenfriador o el flujo de mezcla por este.

Por último, la dosificación de Dióxido de Carbono, debe realizarse dependiendo de la presión total del tanque de carbonatado, puesto que a partir de esta se logra estimar el gas incluido en la fase líquida. Si la adición de este es alta la presión parcial de CO<sub>2</sub> aumentará y por ende se garantizará una mayor retención de este en la fase líquida, este proceso repercute posteriormente en el llenado de la bebida.

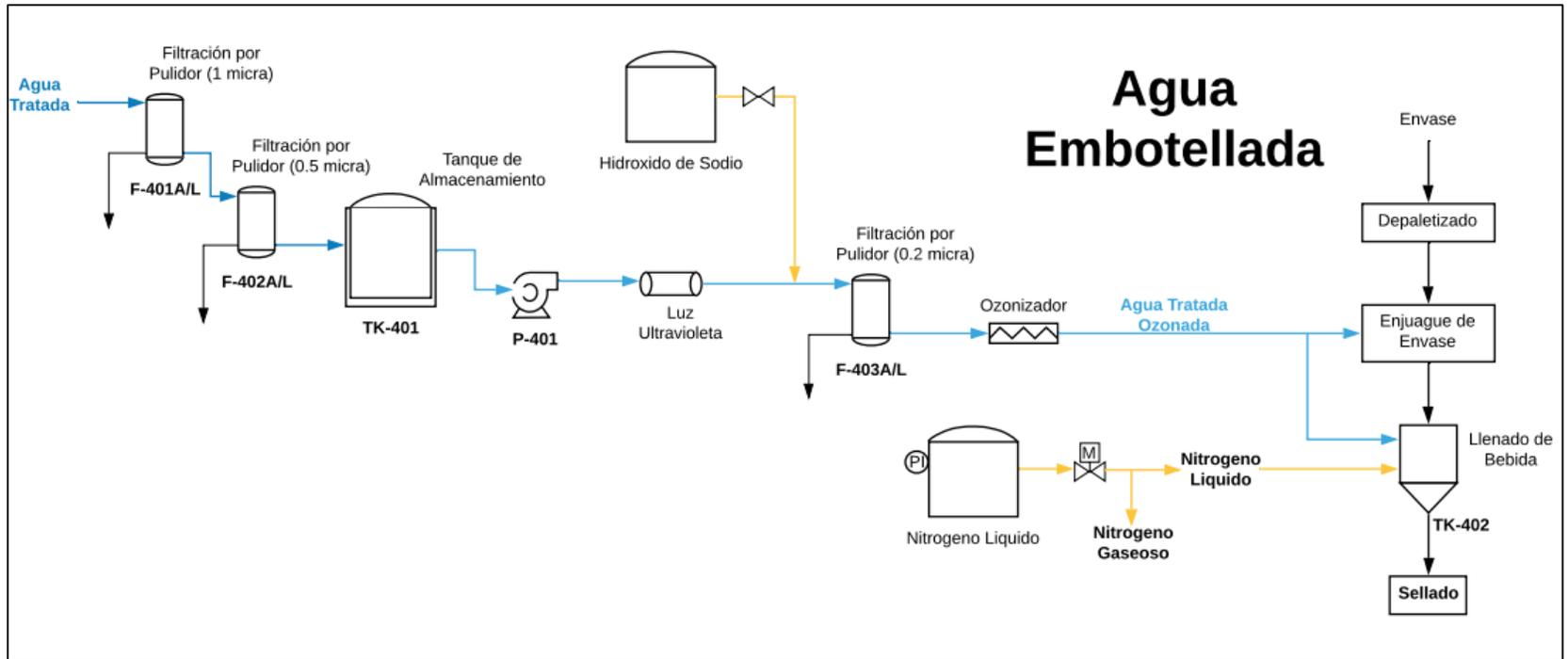
#### 2.1.4.2 Agua brisa

✱ **Descripción del proceso.** Como se indica en el Diagrama 6, para la elaboración de agua Brisa, el agua tratada pasa por una serie de filtros pulidores, empezando por filtro pulidor de 1 $\mu$  (F-401A/L) seguidamente por un filtro pulidor de 0.5 $\mu$  (F-402A/L) y llegando así al tanque de almacenamiento (TK-401).

Luego de esto, se bombea el agua del tanque a un paso por luz ultravioleta para asegurar que no exista actividad microbiana, posteriormente se agrega Hidróxido de Sodio para controlar la acidez y eliminar metales pesados, ayudando a la purificación de esta. El agua pasa por la última filtración por pulidor de 0.2 $\mu$  (F-403 A/L) y luego por un ozonizador encargado de eliminar cualquier tipo de hongos, virus, algas o parásitos que afecten su consumo, para dar como resultado el agua tratada ozonada utilizada para el enjuague del envase y su posterior llenado.

Por otra parte, los envases son depaletizados, enjuagados y llevados a la zona de llenado donde se dosifica agua junto con Nitrógeno líquido para evitar la actividad microbiana dentro del envase y garantizar su inocuidad, ese Nitrógeno líquido es suministrado por medio del equipo Nitrodose G2. Finalmente, las botellas son selladas quedando listas para su distribución y comercialización a los consumidores.

**Diagrama 6.** Elaboración, llenado y sellado de agua embotellada.



**Fuente:** elaboración propia.

✱ **Factores relevantes del proceso.** Para el proceso de producción del agua brisa se debe tener en cuenta la presión de los filtros pulidores de  $1\mu$ ,  $0.5\mu$  y  $0.2\mu$ , cumpliendo con la fuerza motora requerida para retener las partículas indeseadas que presenta el agua.

Además de esto también se busca controlar la concentración de Hidróxido de Sodio adicionado al agua, así como la dosificación y tiempo del contacto del ozono que tiene un alto poder desinfectante y oxidante, esto con el fin de mejorar la calidad e inocuidad del agua, eliminando microorganismos y olores.

Por último, el factor más relevante es la dosificación de Nitrógeno líquido, sustancia encargada de inhibir la actividad microbiana dentro de la botella. Este suministro se realiza por medio de una válvula la cual dota una cantidad específica de Nitrógeno dependiendo del volumen del envase de agua Brisa.

## **2.2 IDENTIFICACION DE SUSTANCIAS QUÍMICAS**

Según la revisión realizada de las líneas de proceso y en los diferentes laboratorios que tiene la planta se logra determinar que se tiene un inventario de 173 sustancias químicas en uso dentro del área productiva de la planta utilizadas como materias primas e insumos.

Es por esto que, para garantizar el control de la información, almacenamiento, dosificación, uso y cumplimiento de normas de cada una de las sustancias químicas utilizadas en los diferentes procesos y laboratorios de la empresa, es necesaria la construcción de una matriz de control de sustancias y productos químicos (ver Figura 11) con los parámetros que se describirán a continuación.

**2.2.1 Parámetros de la matriz.** Para cada una de las sustancias químicas se consignaron dentro de la matriz los siguientes datos:

**2.2.1.1 Descripción de la sustancia química.** Para obtener una completa descripción de las sustancias químicas, es necesario conocer el nombre comercial, estado físico y la presentación de la sustancia; esto con el fin de poder identificarlas en su lugar de uso o almacenamiento.

El nombre comercial, es definido directamente por el proveedor de la sustancia química, este parámetro es de gran importancia para lograr una identificación del producto en cualquier etapa del proceso.

El estado físico, es definido según la apariencia que tienen las sustancias a condiciones normalizadas (estándares) de presión y temperatura, en el cual se logran dividir en 3 estados, siendo estos: sólido (S), líquido (L) y gas (G).

La presentación, se define dependiendo a la cantidad de la sustancia suministrada por el proveedor y de su respectivo estado. Este dato puede estar dado de forma másica (Kg) o volumétrica (L y/o Gal), el cual es relevante para identificar el correcto almacenamiento de las sustancias y las precauciones que se deben tener.

**2.2.1.2 Revisión de la hoja de seguridad.** Es necesario verificar el cumplimiento de la norma técnica Colombia 4435, la cual tiene como objeto la preparación de las hojas de datos de seguridad para materiales (MSDS) para sustancias químicas y materiales, usados en condiciones ocupacionales, con el fin de mitigar los riesgos de cada una de las sustancias químicas.

Por lo anterior, se debe verificar que las hojas de seguridad suministradas por el proveedor estén en español, que su último año de revisión no sea mayor a 5 años y que tengan las 16 secciones estipuladas por la norma, con información del producto e identificación de la compañía, identificación de peligros, composición e ingredientes, medidas de prevención, manejo y almacenamiento, controles de exposición y protección personal, propiedades físicas y químicas, estabilidad y reactividad, información toxicológica, información ecológica, consideraciones de disposición, información sobre transporte, información reglamentaria e información adicional.

Al revisar que cada uno de los parámetros estén en la ficha de seguridad, se tiene como respuesta SI o NO. En caso de que no se cumpla con la norma técnica colombiana es necesaria una solicitud de actualización al proveedor.

Así mismo, se comprueba el cumplimiento de la normatividad legal vigente que rige a la empresa, en las que se encuentra el decreto número 1496 de 2018, que refiere a la alineación al Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos, dando los criterios para la comunicación y clasificación de los peligros, normalizando y armonizando indicadores de peligro, pictogramas y palabras de advertencia.

Según los pictogramas de peligro es posible la identificación de la clase de peligro y categoría de la sustancia química o mezcla. Determinando de esta manera los peligros físicos, para la salud y para el medio ambiente facilitando y asegurando su manipulación, uso, transporte y disposición adecuados.

Por su parte, el diamante NFPA es necesario para comunicar los peligros y riesgos asociados a una determinada sustancia, en el que por un medio de un rombo seccionado en cuatro partes es posible clasificar los peligros según el significado que tiene cada número sobre cada uno de los colores.

**2.2.1.3 Ubicación/área de uso.** La ubicación o área de uso, se tuvo en consideración por el valor que da al momento de reconocer la importancia de las sustancias químicas para el proceso productivo, pues dependiendo de su área de uso, varía su dosificación, como en el caso registrado comparando los químicos utilizados en las líneas de producción con los empleados en los diferentes laboratorios, siendo los primeros los de mayor consumo e impacto, por lo tanto, de mayor potencial para el estudio dentro del proyecto que aquellos utilizados con una frecuencia moderada y en pocas cantidades como los de los laboratorios.

**2.2.2 Conclusiones de la matriz de control de sustancias y productos químicos.** Según la información recolectada en la construcción de los diagramas de las líneas de producción y de la matriz de control de sustancias y productos químicos, fue posible la determinación de aquellas materias primas e insumos con mayor impacto dentro del proceso y con potencial de mejora, además de dar de baja aquellas que son obsoletas para el proceso o que se encuentran en contingencia.

A partir de la revisión del área de uso de las materias primas e insumos fue posible evidenciar que para las sustancias utilizadas en los laboratorios (aproximadamente 71) su impacto en términos económicos, de seguridad e inocuidad son mínimos o en algunos casos nulo por su uso en cantidades pequeñas y limitadas. Si fuera pertinente el estudio de estas sustancias sería necesario revisar la metodología de las pruebas analíticas que se realizan en estos para determinar el correcto uso de los insumos.

Teniendo presente que la industria alimenticia debe presentar una alta inocuidad en sus instalaciones se utilizan productos enfocados a la limpieza de tuberías y equipos, que están dictaminadas por las normas internas que rigen a la planta, por lo tanto, no presentan un impacto significativo en el desarrollo del proyecto. De la misma manera los productos auxiliares como tintas, solventes, adhesivos, lubricantes, entre otros, no presentan oportunidad de mejora permitiendo ser descartados.

Finalmente, las 15 sustancias químicas resultantes, son las empleadas en los procesos de producción que poseen una alta frecuencia en su uso y tienen contacto directo e indirecto con los operarios, que del mismo modo tienen un impacto considerable en términos de medio ambiente, seguridad y salud, calidad e inocuidad del producto y costos, por lo tanto, es posible disminuir de 173 a estas 15 sustancias químicas que serán estudiadas para determinar su potencial para el proyecto.

Figura 11. Matriz de control de sustancias y productos químicos.

EMPRESA DE BEBIDAS GASEOSA																										
MATRIZ DE CONTROL DE SUSTANCIAS Y PRODUCTOS QUÍMICOS																										
Version No. 1																										
Fecha:		2019		Unidad Operativa:		Bogota		Área de almacenamiento definitivo o temporal:			Planta de Bogota		Responsable:		Juan Camilo Gomez / Andres Felipe Marin Triana											
No.	Nombre comercial / Nombre del producto	Estado Físico	S, L, G	Presentación (Por ejemplo: caneca de 55 galones, envase de 5 galones, botella 1 litro, etc.)	HOJA DE SEGURIDAD			Diamante NFPA			SGA							UBICACIÓN			Comentarios / Observaciones (*)					
					Se tiene y cumple NTC 4435 (En español, 16 secciones, sección 2: Identificación de peligros, sección3: Composición)	Fabricante / Autor	Año última revisión por el proveedor	Tiene clasificación SGA? Si o No	Salud	Inflamabilidad	Inestabilidad	Riesgo Especifico	GHS01 (Sus. Explosivos)	GHS02 (Sus. Inflamables)	GHS03 (Sus. Comburentes)	GHS04 (Gas Bajo Presion)	GHS05 (Sus. Corrosivas)	GHS06 (Iritacion al Inhalar)	GHS07 (Sus. Toxicas)	GHS08 (Carcinogeno)		GHS09 (Daño M. Ambiente)	Área de Uso		No.	
1	Acete Mineral	L	-	-	SI	MERCK	2017	SI	1	1	0									X	Laboratorio Fisicoquimico			1	No	
2	Acetona	L	Botella 2,5 L	-	SI	MERCK	2017	SI	1	3	0		X							X	Laboratorio Fisicoquimico			1		
3	Ácido Acético Glacial	L	Botella 1 L	-	SI	MERCK	2017	SI	3	2	0	COR	X		X						Laboratorio Fisicoquimico			1	Contingencia	
4	Ácido Citrico	S	Envase por 1 Kg	-	SI	MERCK	2017	SI	2	1	0								X		Laboratorio Fisicoquimico			1		
5	Acido Clorhídrico 37%	L	Botella 2,5 L	-	SI	MERCK	2017	SI	3	0	1	NW						X	X		Laboratorio Fisicoquimico			1		
6	Acido Fosfórico 85% Reactivo analitico	L	Botella 1 L	-	SI	MERCK	2017	SI	3	0	1							X			Laboratorio Fisicoquimico			1	Contingencia	
7	Ácido Nítrico 65%	L	Botella 2,5 L	-	SI	MERCK	2018	SI	3	0	2	OX		X	X						Laboratorio Fisicoquimico			1	Contingencia	
8	Acido Sulfurico 95-97%	L	Botella 2,5 L	-	SI	MERCK	2017	SI	3	0	2	NW						X			Laboratorio Fisicoquimico	Osmosis	PTAR	Brisa	4	
9	Almidon	S	Envase por 250 g	-	SI	MERCK	2015	SI	1	0	1										Laboratorio Fisicoquimico			1	Contingencia	
10	Amoniaco en Solución 25%	L	Botella por 2,5L	-	SI	MERCK	2017	SI	3	1	0							X	X	X	Laboratorio Fisicoquimico			1		
11	Azul de Bromofenol	S	Envase por 25 g	-	SI	MERCK	2017	SI	0	0	0										Laboratorio Fisicoquimico			1	No	
12	Azul de Bromotimol	S	Envase por 5 g	-	SI	MERCK	2018	SI	0	0	0										Laboratorio Fisicoquimico			1	No	
13	Azul de Metileno	S	Envase por 100g	-	SI	MERCK	2017	SI	1	1	0		X		X		X				Laboratorio Fisicoquimico	Osmosis	Brisa	3	SI	
14	Palasio Hidrogenofalato	S	Envase por 500g	-	SI	MERCK	2017	SI	1	1	0										Laboratorio Fisicoquimico			1		
15	Cafeina anhidra	S	Envase por 1 Kg	-	SI	MERCK	2017	SI	2	1	0							X			Laboratorio Fisicoquimico			1		
16	Carbon Activado	S	Bolsa por 1 Kg	-	SI	MERCK	2017	SI	0	1	0										Laboratorio Fisicoquimico			1		
17	Cloroformo	L	Envase 500 mL	-	SI	MERCK	2017	SI	3	0	0							X	X		Laboratorio Fisicoquimico			1	Contingencia	
18	Cloruro de Amonio	S	Envase por 1Kg	-	SI	MERCK	2016	SI	1	0	0								X		Laboratorio Fisicoquimico			1		
19	Cloruro de Calcio	S	Envase por 500g	-	SI	MERCK	2017	SI	0	0	0							X	X		Laboratorio Fisicoquimico	PTAR		2		
20	Cloruro de Hierro III	S	Envase por 250 g	-	SI	MERCK	2017	SI	3	0	0							X	X		Laboratorio Fisicoquimico	Osmosis		2		
21	Cloruro de sodio	S	Envase por 1 Kg	-	SI	MERCK	2017	SI	0	0	0										Laboratorio Fisicoquimico			1		
22	Dioxido de carbono	G	-	-	SI	PRAXAIR	2015	SI	3	0	0			X							Laboratorio Fisicoquimico	Osmosis	PTAR	Bodega de Cilindros	4	No

Fuente: elaboración propia.

## 2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS LÍNEAS DE SERVICIO

En esta sección se describirán las principales líneas de servicio o auxiliares de la empresa, las cuales son el sistema de generación de vapor y el sistema de refrigeración con Amoniaco, en donde se mencionará sus características principales, las variables críticas y sus eficiencias.

**2.3.1 Sistema de generación de vapor.** El vapor se emplea principalmente como suministro de calor, en donde logra acondicionar corrientes de los procesos por medio del aumento de la temperatura.

**2.3.1.1 Descripción del proceso.** Como se observa en el Diagrama 7, para el proceso de generación de vapor, se emplea agua suavizada, la cual es agua tratada por los procesos de ultrafiltración (F-105A/B) y osmosis inversa (F-106A/B). Proceso en el que se retira una gran variedad de contaminantes como sales disueltas y solidos suspendidos, adicionalmente se suministran diversos productos para evitar incrustaciones y corrosión en la caldera, los cuales son a base de fosfatos y sulfitos. En la Tabla 8 se muestra la caracterización del agua de alimentación con las especificaciones que rigen a la empresa.

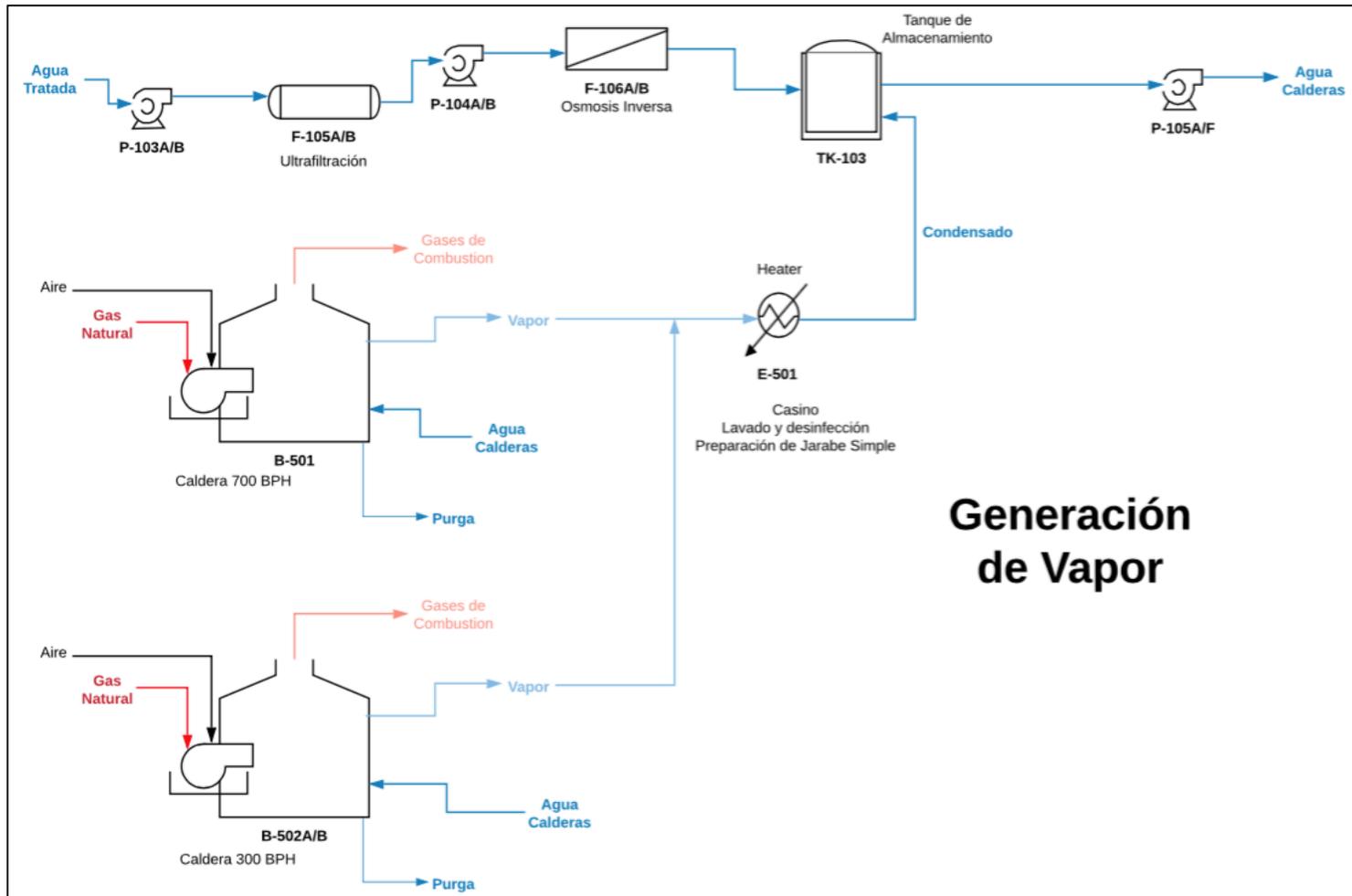
**Tabla 8.** Parámetros del agua de alimentación.

Parámetro	Dureza (ppm)	Alcalinidad Total (ppm)	pH
<b>Rango</b>	< 5	< 50	[7 - 8]
<b>1</b>	4	35	6.9
<b>2</b>	3	70	6.8
<b>3</b>	5	10	6.6
<b>Promedio</b>	4	38.3	6.8

**Fuente:** elaboración propia.

Posteriormente el agua es almacenada en el tanque (TK-103), para así mismo ser bombeada a las calderas a la presión del sistema (100 psi), cabe recalcar que, debido a las pérdidas de presión o energía, la descarga de la bomba está por encima de 10 a 20 psi de la presión del sistema. La planta cuenta con 3 calderas (B-501 y B-502A/B), cuyas especificaciones son mostradas en la Tabla 9.

**Diagrama 7.** Sistema de generación de vapor.



**Fuente:** elaboración propia.

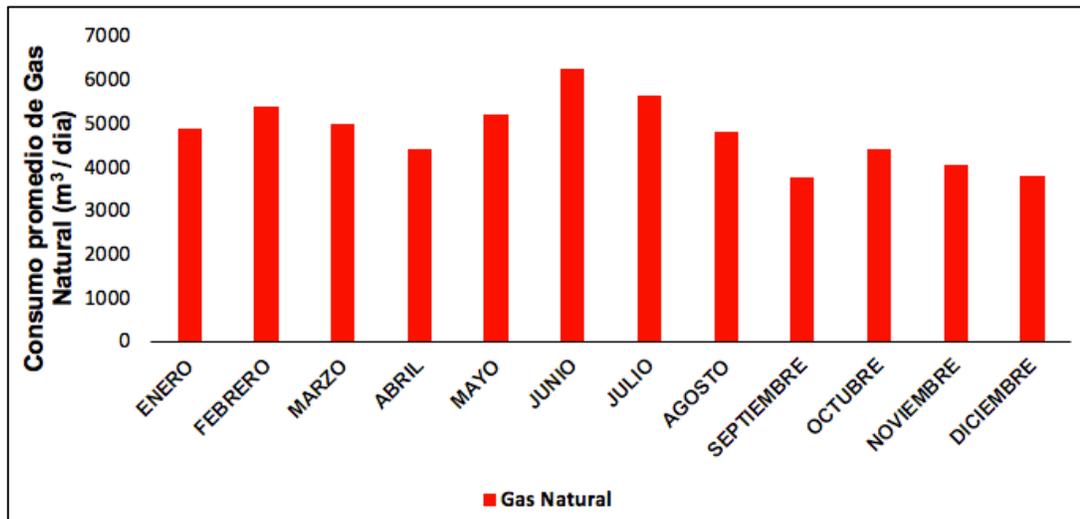
**Tabla 9.** Información básica de las calderas.

Parámetros	Unidades	Colmesa	Distral	Power Master
Capacidad	BPH	700	300	300
Combustible	-	GN	GN	GN
Temperatura de Chimenea	°C	270	272	245
Área Transversal de Chimenea	m <sup>2</sup>	0.636	0.242	0.238
Velocidad de Promedio del Gas	m/s	10.2	12.4	9.5
Composición de los gases de combustión (base seca)				
CO <sub>2</sub>	%	6.5	6.7	6.5
O <sub>2</sub>	%	9.9	9.7	9.9
CO	%	0	0	0
N <sub>2</sub>	%	83.6	83.6	83.6

**Fuente:** elaboración propia.

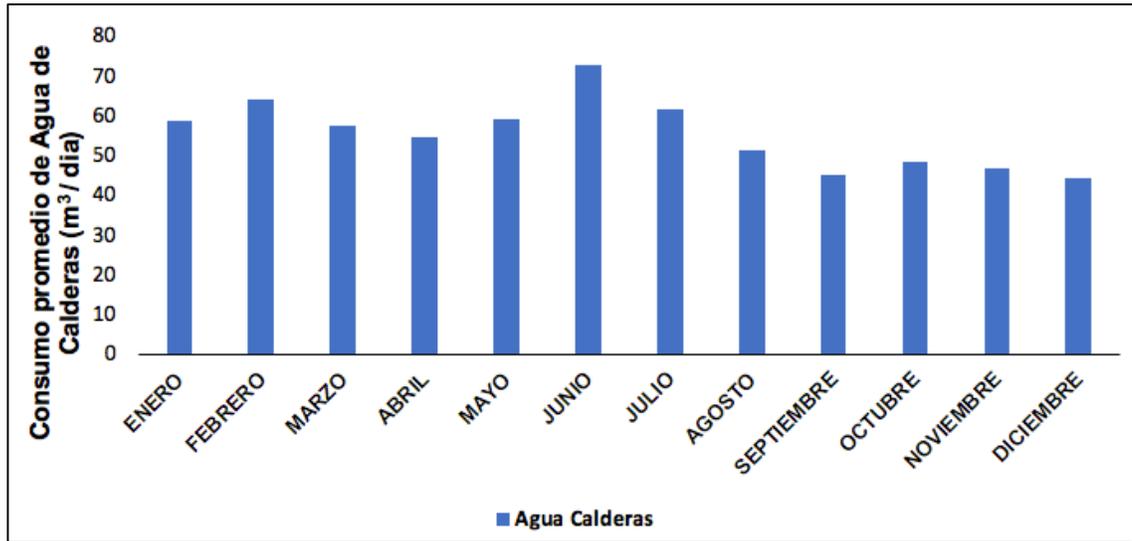
Por causa de que la operación de las calderas no es constante, el proceso se considera como batch, debido a esto no se mantiene un consumo constante de agua y gas si no que este depende directamente de la demanda del mercado. Teniendo presente lo anterior en el Gráfico 2 se muestra el consumo total de gas natural y en el Gráfico 3 de agua de calderas de 2018.

**Gráfico 2.** Consumo de gas natural en el año 2018.



**Fuente:** elaboración propia.

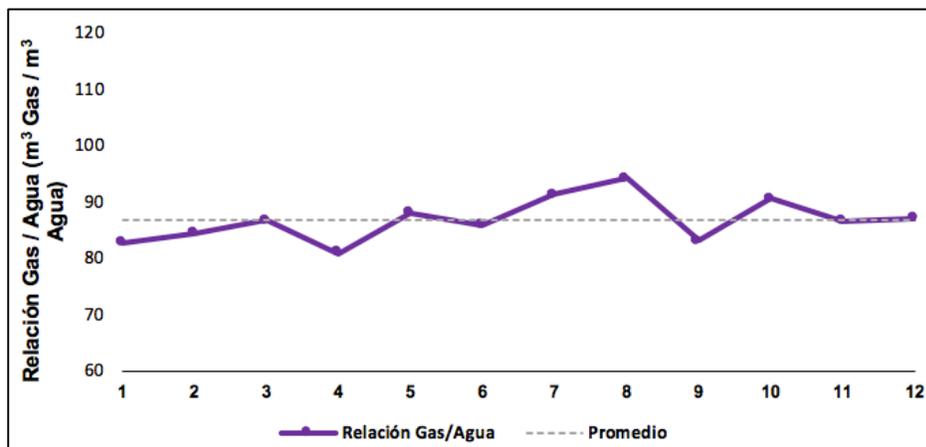
**Gráfico 3.** Consumo de agua de calderas en el año 2018.



**Fuente:** elaboración propia.

En el Gráfico 4, se muestra la relación de gas y agua, cuyo valor oscila entre 80 a 116, teniendo presente que el comportamiento no es constante se calcula el promedio de la relación cuyo valor corresponde a 86.83 m<sup>3</sup> de GN / m<sup>3</sup> de agua.

**Gráfico 4.** Relación de gas / agua.



**Fuente:** elaboración propia.

A raíz de que la caldera acumula los sólidos del agua de alimentación y del condensado retornado al tanque TK-303, el agua dentro de la caldera tiene unas características diferentes que la de alimentación, la caracterización del agua de las diferentes calderas se muestra en la Tabla 10. En donde la concentración de sulfitos y fosfatos se derivan por los aditivos empleados para controlar la corrosión e incrustaciones como se mencionó anteriormente.

**Tabla 10.** Parámetros promedio del agua de recirculación de las calderas.

<b>Agua de recirculación</b>				
<b>Parámetros</b>	<b>Parámetros ideales</b>	<b>Distral</b>	<b>Power Master</b>	<b>Colmesa</b>
<b>pH</b>	10.5 - 11.5	10.7	11.2	11.3
<b>Total Solidos Disueltos</b>	< 2500 ppm	2300	5620	5016
<b>Sulfitos como SO<sub>3</sub></b>	> 20 ppm	20.3	22.0	27.0
<b>Fosfatos como PO<sub>4</sub></b>	> 10 ppm	9.7	10.7	11.7
<b>Alcalinidad Total</b>	< 700 ppm	406.7	976.7	855.0
<b>Conductividad</b>	< 3600 MOSH/cm	3400	7766	6966

**Fuente:** elaboración propia.

Como se evidencio en la Tabla 9, todas las calderas emplean como combustible gas natural, este es suministrado por el grupo Vanti, el gas natural es proveniente del campo Cusiana principalmente, este es considerado como gas asociado y por ende su composición es rica de componentes pesados, su poder calorífico es alto debido a esto, su composición se muestra en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Composición del gas natural.

<b>Componente</b>	<b>Formula</b>	<b>% Molar</b>
Metano	<b>CH<sub>4</sub></b>	82.7687
Etano	<b>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></b>	9.9869
Propano	<b>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub></b>	3.5858
i-Butano	<b>C<sub>4</sub>H<sub>10</sub></b>	0.5327
n-Butano	<b>C<sub>4</sub>H<sub>10</sub></b>	0.5230
i-Pentano	<b>C<sub>5</sub>H<sub>12</sub></b>	0.0913
n-Pentano	<b>C<sub>5</sub>H<sub>12</sub></b>	0.0459
Hexano	<b>C<sub>6</sub>H<sub>14</sub></b>	0.0159
Monóxido de Carbono	<b>CO</b>	0
Dióxido de Carbono	<b>CO<sub>2</sub></b>	1.9213
Nitrógeno	<b>N<sub>2</sub></b>	0.5285
Oxigeno	<b>O<sub>2</sub></b>	0
Agua	<b>H<sub>2</sub>O</b>	0
Sulfuro de Hidrogeno	<b>H<sub>2</sub>S</b>	0
<b>Total</b>		<b>100</b>

**Fuente:** BARRETO, Ower. Comparación del desempeño de varias calidades de gas natural y evaluación de viabilidad para el uso de biogás como combustible para vehículos que operan con GNCV. p. 26. [en línea]. Trabajo de grado de Magister en Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia, 2017. [Consultado: 19 febrero 2019]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/57715/1/79880091.2017.pdf>.

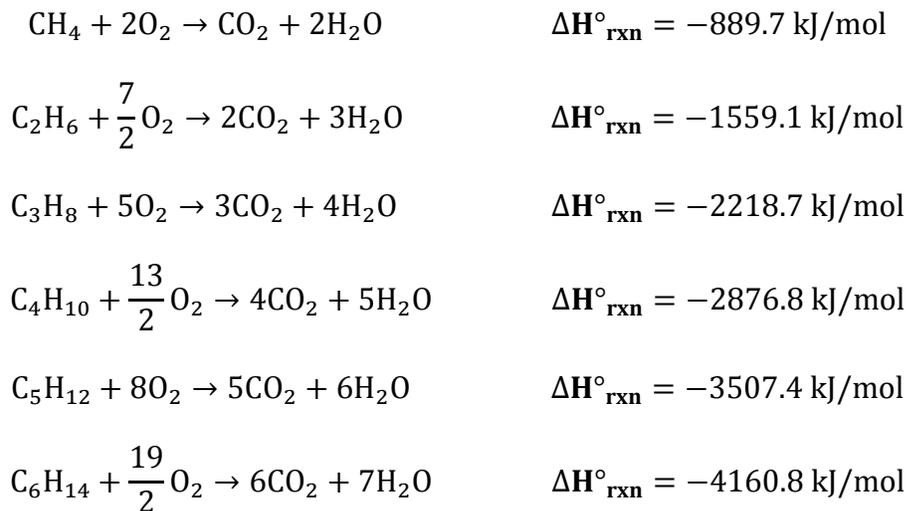
El vapor producido, es consumido principalmente en el casino, en el proceso de lavado y en el proceso de jarabe simple. El funcionamiento normal del sistema corresponde a solo el empleo de la caldera Colmesa en una producción normal, cuando hay alta demanda de vapor se requiere emplear dos calderas. Por lo cual pocas veces el funcionamiento de las 3 calderas al tiempo ocurre.

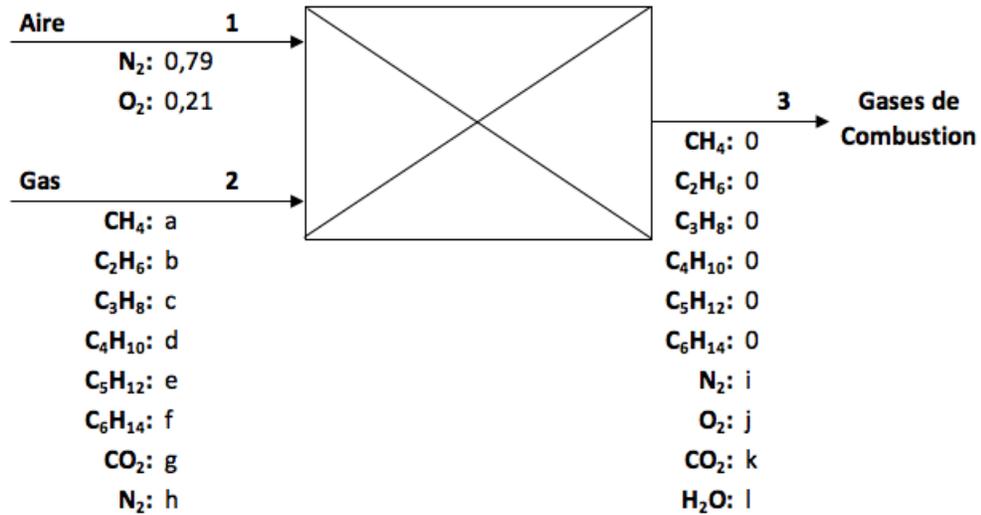
La eficiencia de las calderas depende de varios factores, como lo son: la calidad de agua, el exceso de aire, la temperatura de chimenea, la frecuencia de la purga, el tipo de combustible, entre otros.

A partir del porcentaje de oxígeno de los gases de chimenea y por medio de balances de masa se calcula la relación aire/gas real y teórica y el exceso de aire, posteriormente por medio de balances de energía se calcula la eficiencia promedio del sistema de generación teniendo presente la relación promedio de gas/agua que se muestra en el Gráfico 4.

**\* Cálculos sistema de generación de vapor.** A continuación se muestran los cálculos representativos del sistema de generación de vapor, los cuales ayudan a determinar las condiciones de este en comparación con los valores mostrados en la teoría.

Debido que la combustión se da con exceso de aire, se garantiza que todo el combustible sea convertido en dióxido de carbono y agua, es decir que prevalece la combustión completa del combustible. Teniendo presente la composición del gas natural (Tabla 11), se plantean las siguientes reacciones.





**a, b, c, d, e, f, g, h:** fracción molar en la corriente de gas (ver Diagrama).

**i, j, k, l:** fracción molar en la corriente de gases de combustión (ver Diagrama).

**J:** fracción molar en base seca de O<sub>2</sub>.

**ñ:** flujo molar de las corrientes.

### Balances molares

$$(1) \text{CH}_4 \rightarrow 0 = a\dot{n}_2 - \varepsilon_1$$

$$(2) \text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow 0 = b\dot{n}_2 - \varepsilon_2$$

$$(3) \text{C}_3\text{H}_8 \rightarrow 0 = c\dot{n}_2 - \varepsilon_3$$

$$(4) \text{C}_4\text{H}_{10} \rightarrow 0 = d\dot{n}_2 - \varepsilon_4$$

$$(5) \text{C}_5\text{H}_{12} \rightarrow 0 = e\dot{n}_2 - \varepsilon_5$$

$$(6) \text{C}_6\text{H}_{14} \rightarrow 0 = f\dot{n}_2 - \varepsilon_6$$

$$(7) \text{N}_2 \rightarrow i\dot{n}_3 = \dot{n}_1 \cdot 0,79 + h\dot{n}_2$$

$$(8) \text{O}_2 \rightarrow j\dot{n}_3 = \dot{n}_1 \cdot 0,21 - 2\varepsilon_1 - \frac{7}{2}\varepsilon_2 - 5\varepsilon_3 - \frac{13}{2}\varepsilon_4 - 8\varepsilon_5 - \frac{19}{2}\varepsilon_6$$

$$(9) \text{CO}_2 \rightarrow k\dot{n}_3 = g\dot{n}_2 + \varepsilon_1 + 2\varepsilon_2 + 3\varepsilon_3 + 4\varepsilon_4 + 5\varepsilon_5 + 6\varepsilon_6$$

$$(10) \text{H}_2\text{O} \rightarrow l\dot{n}_3 = 2\varepsilon_1 + 3\varepsilon_2 + 4\varepsilon_3 + 5\varepsilon_4 + 6\varepsilon_5 + 7\varepsilon_6$$

**Determinación de la relación molar Aire – Gas:** empleando y reemplazando los balances molares (1 - 6) en los balances 8, 9 y 10 se obtiene.

$$\text{O}_2 \rightarrow j\dot{n}_3 = \dot{n}_1 \cdot 0,21 - \dot{n}_2 \left( 2a + \frac{7}{2}b + 5c + \frac{13}{2}d + 8e + \frac{19}{2}f \right)$$

$$\text{CO}_2 \rightarrow k\dot{n}_3 = \dot{n}_2(a + 2b + 3c + 4d + 5e + 6f + g)$$

$$\text{H}_2\text{O} \rightarrow l\dot{n}_3 = \dot{n}_2(2a + 3b + 4c + 5d + 6e + 7f)$$

Donde,

$$\text{Base Seca de O}_2 \rightarrow J = \frac{j}{i + j + k}$$

$$\dot{n}_3(i + j + k) = \dot{n}_1 - \dot{n}_2 \left( a + \frac{3}{2}b + 2c + \frac{5}{2}d + 3e + \frac{7}{2}f - g - h \right)$$

$$Y = a + \frac{3}{2}b + 2c + \frac{5}{2}d + 3e + \frac{7}{2}f - g - h$$

$$j\dot{n}_3 = \dot{n}_1 \cdot 0.21 - \dot{n}_2 \left( 2a + \frac{7}{2}b + 5c + \frac{13}{2}d + 8e + \frac{19}{2}f \right)$$

$$Z = 2a + \frac{7}{2}b + 5c + \frac{13}{2}d + 8e + \frac{19}{2}f$$

$$J = \frac{\dot{n}_1 \cdot 0.21 - Z\dot{n}_2}{\dot{n}_1 - Y\dot{n}_2}$$

**Ecuación 2.** Relación de Aire/Gas real.

$\text{Relación de Aire/Gas} \rightarrow \frac{\dot{n}_1}{\dot{n}_2} = \frac{YJ - Z}{J - 0.21}$
---

**Fuente:** elaboración propia.

Teniendo presente la composición del gas natural en la Tabla 11 y la composición del oxígeno en base seca en los gases de chimenea se procede a calcular la relación de Aire/Gas de cada caldera. Posteriormente se muestra un cálculo representativo y los resultados se muestran en la Tabla 15.

$$Y = 0.827687 + \frac{3}{2} \cdot 0.099869 + 2 \cdot 0.035858 + \frac{5}{2} \cdot 0.010557 + 3 \cdot 0.001372 + \frac{7}{2} \cdot 0.000159 - 0.019213 - 0.005285 = 1.0558$$

$$Z = 2 \cdot 0.827687 + \frac{7}{2} \cdot 0.099869 + 5 \cdot 0.035858 + \frac{13}{2} \cdot 0.010557 + 8 \cdot 0.001372 + \frac{19}{2} \cdot 0.000159 = 2.2653$$

$$\text{Colmesa} \rightarrow \frac{\dot{n}_1}{\dot{n}_2} = \frac{1.0558 \cdot 0.099 - 2.2653}{0.099 - 0.21} = \mathbf{19.4666}$$

**Determinación de la relación molar Aire – Gas teórico:** empleando el balance molar del oxígeno (O<sub>2</sub>), y los balances 1 – 6, se determina la siguiente relación.

$$O_2 \rightarrow 0 = \dot{n}_1 \cdot 0.21 - 2\varepsilon_1 - \frac{7}{2}\varepsilon_2 - 5\varepsilon_3 - \frac{13}{2}\varepsilon_4 - 8\varepsilon_5 - \frac{19}{2}\varepsilon_6$$

$$O_2 \rightarrow 0 = \dot{n}_1 \cdot 0.21 - \dot{n}_2 \left( 2a + \frac{7}{2}b + 5c + \frac{13}{2}d + 8e + \frac{19}{2}f \right)$$

**Ecuación 3.** Relación Aire/Gas teórica.

$\text{Aire/Gas Teórico} \rightarrow \frac{\dot{n}_1}{\dot{n}_2} = \frac{2a + \frac{7}{2}b + 5c + \frac{13}{2}d + 8e + \frac{19}{2}f}{0.21} = \frac{Z}{0.21}$
---

**Fuente:** elaboración propia.

$$\text{Aire/Gas Teórico} \rightarrow \frac{\dot{n}_1}{\dot{n}_2} = \frac{2.2653}{0.21} = \mathbf{10.7871}$$

**Determinación del % Exceso de aire:** a partir de los anteriores cálculos se emplea la siguiente ecuación para su determinación.

**Ecuación 4.** % Exceso de aire.

$\% \text{ Exceso de Aire} = \frac{\dot{n}_1/\dot{n}_2^{\text{Real}} - \dot{n}_1/\dot{n}_2^{\text{Teorico}}}{\dot{n}_1/\dot{n}_2^{\text{Teorico}}} * 100$
---

**Fuente:** elaboración propia.

$$\text{Colmesa} \rightarrow \% \text{ Exceso de Aire} = \frac{19.4666 - 10.7871}{10.7871} * 100 = \mathbf{80.46\%}$$

**Eficiencia promedio de las calderas:** la ecuación de la eficiencia se representa en la Ecuación 1, en donde el calor aprovechable consta del calor adquirido por el agua, para calcular estos calores, se realiza un balance de energía.

**Ecuación 5.** Balance de energía general.

$$W_s + Q = \left[ \dot{m} \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right) \right]_{\text{Salida}} - \left[ \dot{m} \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right) \right]_{\text{Entrada}}$$

**Fuente:** elaboración propia.

De la formula anterior se asume que la energía cinética y potencial son despreciables y que el trabajo de la caldera es cero. Por lo cual el calor se puede calcular de la siguiente manera.

**Ecuación 6.** Energía aprovechable.

$$Q = \dot{m} (h_{\text{Salida}} - h_{\text{Entrada}})$$

**Fuente:** elaboración propia.

Para determinar las entalpias de entrada y salida se emplea el software ChemicalLogic Steam Tab Companion (ver Tabla 12), pero antes se procede a calcular la potencia del ventilador de aire y de la bomba empleando las ecuaciones que se muestran a continuación.

$$560 \text{ Torr} \left( \frac{101.325 \text{ kPa}}{760 \text{ Tor}} \right) = 74.6605 \text{ kPa}$$

$$100 \text{ psi} \left( \frac{101.325 \text{ kPa}}{14.7 \text{ psia}} \right) = 689.2857 \text{ kPa}$$

$$P_a = 74.6605 + 689.2857 = 763.9462 \text{ kPa}$$

**Tabla 12.** Datos extraídos de ChemicalLogic Steam Tab.

T (°C)	v (m <sup>3</sup> /kg)	P (kPa)	h (kJ/kg)	Fase
15	0.00100091	74.6605	63.0513	Subcooled
15.0622	0.0010006	763.9462	63.9712	Subcooled
168.504	0.00111238	763.9462	712.537	L. Saturated
168.504	0.251089	763.9462	2766.41	V. Saturated
178.504	0.258525	763.9462	2791.35	Superheated

**Fuente:** elaboración propia

**Ecuación 7.** Potencia de un compresor / ventilador.

$$w = \frac{kRT_1}{(k-1)\eta} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

**Fuente:** CENGEL, Yunus y BOLES Michael. Termodinámica. 8 ed. Mexico: McGraw-Hill. 2012. p. 367.

**Ecuación 8.** Potencia de una bomba.

$$\dot{W} = \dot{m} (h_{\text{Salida}} - h_{\text{Entrada}}) = \frac{\dot{m} \vartheta (P_2 - P_1)}{\eta}$$

**Fuente:** CENGEL, Yunus y BOLES Michael. Termodinámica. 8 ed. Mexico: McGraw-Hill. 2012. p. 363.

$$1 \text{ psi} \left( \frac{101.325 \text{ kPa}}{14.7 \text{ psia}} \right) = 6.8929 \text{ kPa}$$

$$P_a = 74.6605 + 6.8929 = 81.5534 \text{ kPa}$$

$$w = \frac{1.4 \cdot 8.314 \cdot 288.15}{(1.4 - 1) 0.75} \left[ \left( \frac{81.5534}{74.6605} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} - 1 \right] = 285.6617 \text{ kJ/kmol}$$

$$w = \frac{0.00100091 (763.9462 - 74.6605)}{0.75} = 0.9199 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{\text{salida}} = 0.9199 + 63.0513 = 63.9712 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Calor Sensible Liquido: } q_1 = 712.537 - 63.9712 = 648.5658 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{Calor Latente: } q_2 = 2766.41 - 712.537 = 2053.873 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{Calor Sensible Vapor: } q_3 = 2766.41 - 2791.35 = 24.94 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{Calor Total: } q = 648.5658 + 2053.873 + 24.94 = 2727.3788 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

El calor suministrado se relaciona al poder calorífico del combustible empleado (gas natural), debido a que se cuenta con la composición se calcula posteriormente el poder calorífico, peso molecular y la densidad del gas a condiciones estándar (P=14.7 psia y T=60°F). Por medio de las siguientes formulas.

$$\bar{p} = \sum_{i=1}^n p_i y_i \quad \rho = \frac{PM}{RTz}$$

En donde para determinar las propiedades se emplean los datos suministrados en la siguiente tabla.

**Tabla 13.** Propiedades de los gases livianos, gas natural.

Componente	Formula	Tr (R)	Pr (psia)	LHV (kJ/mol)	M (kg/kmol)
Metano	<b>CH<sub>4</sub></b>	343.37	667.8	802.699	16.04
Etano	<b>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></b>	550.09	707.8	1428.87	30.07
Propano	<b>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub></b>	666.01	616.3	2043.4	44.1
i-Butano	<b>C<sub>4</sub>H<sub>10</sub></b>	734.98	529.1	2648.47	58.12
n-Butano	<b>C<sub>4</sub>H<sub>10</sub></b>	765.65	550.7	2657.69	58.12
i-Pentano	<b>C<sub>5</sub>H<sub>12</sub></b>	829.1	490.4	3265.13	72.15
n-Pentano	<b>C<sub>5</sub>H<sub>12</sub></b>	845.7	488.6	3271.99	72.15
Hexano	<b>C<sub>6</sub>H<sub>14</sub></b>	913.7	436.9	3887.23	86.18
D. Carbono	<b>CO<sub>2</sub></b>	547.9	1071	0	44.01
Nitrógeno	<b>N<sub>2</sub></b>	227.6	493	0	28.01

**Fuente:** BÁNZER, Carlos. Correlaciones Numéricas P.V.T. Maracaibo: Universidad del Zulia. Instituto de Investigaciones Petrolera. 1996. p. 11.

Para la determinación del factor de compresibilidad (z), se procede a calcular la presión y temperatura pseudoreducidas, T<sub>sr</sub> y P<sub>sr</sub>, cuyas ecuaciones se muestran en las ecuaciones 9, 10 y 11. En la Tabla 14, se muestran los resultados parciales.

**Ecuación 9.** P y T pseudoreducidas.

$$T_{sr} = \frac{T}{T_{scM}} \quad P_{sr} = \frac{P}{P_{scM}}$$

**Fuente:** BÁNZER, Carlos. Correlaciones Numéricas P.V.T. Maracaibo: Universidad del Zulia. Instituto de Investigaciones Petrolera. 1996. p. 14.

**Tabla 14.** Resultados de la contribución por componente del gas.

Componente	Formula	% Mol	Tr (R)	Pr (psia)	LHV (kJ/mol)	M (kg/kmol)
Metano	CH <sub>4</sub>	82.7687	284.20	552.73	664.3835	13.28
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	9.9869	54.94	70.69	142.6998	3.00
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	3.5858	23.88	22.10	73.2722	1.58
i-Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.5327	3.92	2.82	14.1084	0.31
n-Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.523	4.00	2.88	13.8997	0.30
i-Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.0913	0.76	0.45	2.9811	0.07
n-Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.0459	0.39	0.22	1.5018	0.03
Hexano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0.0159	0.15	0.07	0.6181	0.01
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	1.9213	10.53	20.58	0	0.85
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0.5285	1.20	2.61	0	0.15
<b>Total</b>		100	383.96	675.14	913.4647	19.58

**Fuente:** elaboración propia.

$$\text{LHV} = 913.4647 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$M = 19.58 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

**Ecuación 10.** Corrección de la P y T pseudoreducida.

$$T_{scM} = \sum_{i=1}^n y_i T_{ci} - E$$

$$P_{scM} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i P_{ci} \cdot T_{scM}}{\sum_{i=1}^n y_i T_{ci} + y_{H_2S} (1 - y_{H_2S}) E}$$

$$E = 120 [(y_{CO_2} + y_{H_2S})^{0.9} - (y_{CO_2} + y_{H_2S})^{1.6}] + 15 (y_{H_2S}^{0.5} - y_{H_2S}^4)$$

**Fuente:** BÁNZER, Carlos. Correlaciones Numéricas P.V.T. Maracaibo: Universidad del Zulia. Instituto de Investigaciones Petrolera. 1996. p. 17.

$$E = 120 [(0.019213 + 0)^{0.9} - (0.019213 + 0)^{1.6}] + 15 (0^{0.5} - 0^4) = 3.21$$

$$T_{scM} = 383.96 - 3.21 = 380.75 \text{ R}$$

$$P_{scM} = \frac{675.14 \cdot 380.75}{383.96 + 0(1 - 0) 3.21} = 669.50 \text{ psia}$$

$$T_{sr} = \frac{520}{380.75} = \mathbf{1.3657} \quad P_{sr} = \frac{14.7}{669.50} = \mathbf{0.0220}$$

**Ecuación 11.** Correlación de Z según, Brill, J.P. y Beggs, H.D.

$$z = A + \frac{1 - A}{e^B} + C P_{sr}^D$$

$$A = 1.39 (T_{sr} - 0.92)^{0.5} - 0.36 T_{sr} - 0.1$$

$$B = (0.62 - 0.23 T_{sr})P_{sr} + \left[ \frac{0.066}{T_{sr} - 0.86} - 0.037 \right] P_{sr}^2 + \frac{0.32}{10^{9(T_{sr}-1)}} P_{sr}^6$$

$$C = 0.132 - 0.32 \log(T_{sr})$$

$$D = 10^{0.3106 - 0.49 T_{sr} + 0.1824 T_{sr}^2}$$

**Fuente:** BÁNZER, Carlos. Correlaciones Numéricas P.V.T. Maracaibo: Universidad del Zulia. Instituto de Investigaciones Petrolera. 1996. p. 20.

$$A = 1.39 (1.3657 - 0.92)^{0.5} - 0.36 \cdot 1.3657 - 0.1 = 0.3363$$

$$B = (0.62 - 0.23 \cdot 1.3657)0.022 + \left[ \frac{0.066}{0.5057} - 0.037 \right] 0.022^2 + \frac{0.32}{10^{9(0.3657)}} 0.022^6$$

$$= 0.0068$$

$$C = 0.132 - 0.32 \log(1.3657) = 0.0887$$

$$D = 10^{0.3106 - 0.49 \cdot 1.3657 + 0.1824 \cdot 1.3657^2} = 0.9585$$

$$z = 0.3363 + \frac{1 - 0.3363}{e^{0.0068}} + 0.0887 \cdot 0.022^{0.9585} = \mathbf{0.9978}$$

$$\rho = \frac{101.325 \cdot 19.58}{8.314 \cdot 288.71 \cdot 0.9978} = \mathbf{0.8284 \frac{kg}{m^3}}$$

A partir de la relación del consumo de agua y gas se calcula la eficiencia promedio de las calderas

$$86.83 \text{ m}^3_{\text{gas}}/\text{dia} \left( \frac{0.8284 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} \right) \left( \frac{1 \text{ kmol}}{19.58 \text{ kg}} \right) = 3.6736 \text{ kmol}/\text{dia}$$

$$1 \text{ m}^3_{\text{agua}}/\text{dia} \left( \frac{999.09 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} \right) = 999.09 \text{ kg}/\text{dia}$$

$$\eta = \frac{999.09 \cdot 2727.3788}{3.6736 \cdot 913464.7 + 999.09 \cdot 0.9199 + 285.6617 \cdot 71.5125} * 100 = 80.69\%$$

Como se puede apreciar, la eficiencia corresponde a 80.69%, adicionalmente por medio del simulador de procesos Aspen Plus (ver Capítulo 4), se calcula la eficiencia de cada caldera teniendo presente como especificaciones, la composición de oxígeno en los gases de combustión y la temperatura de chimenea, los resultados de los balances de masa y de las eficiencias de las calderas se muestran en la Tabla 15.

**Tabla 15.** Resultados de la relación de aire/gas y eficiencias.

<b>Caldera</b>	<b>Colmesa</b>	<b>Distral</b>	<b>Power Master</b>
<b>% O<sub>2</sub> (base seca)</b>	9.9	9.7	9.9
<b>n<sub>1</sub>/n<sub>2</sub> (real)</b>	19.4666	19.1407	19.4666
<b>% Exceso</b>	80.46	77.44	80.46
<b>% Eficiencia</b>	81.35	81.47	83.08
<b>I.G Másico</b>	13.35	13.37	13.63

**Fuente:** elaboración propia.

**2.3.1.2 Factores relevantes del proceso.** En el sistema de generación de vapor existen 5 factores relevantes, los cuales son la calidad del agua, exceso de aire, presión de descarga de la bomba, la frecuencia de la purga y la temperatura de chimenea.

La calidad del agua y la frecuencia de purga repercuten en la operación de la caldera y en las relaciones de agua y combustible, esto se debe a la formación de incrustaciones en el área de transferencia de la caldera, provocando así más consumo de combustible para producir cierta cantidad de vapor, para tener control de esto se debe emplear aditivos químicos para la disminución de los agentes formadores de incrustaciones y de corrosión.

El exceso de aire es un factor que garantiza obtener una combustión completa del combustible, para así evitar la formación de monóxido de carbono (CO) y poder obtener toda la energía química del combustible.

La temperatura de chimenea, tiene un impacto ambiental debido que contribuye al calentamiento global y además de esto tiene un impacto en la eficiencia del proceso en donde valores altos de temperatura, es un indicativo de que no se está aprovechando bien el calor brindado por la combustión.

Finalmente, la presión de salida de la bomba debe estar por encima de las especificaciones del vapor, esto se da porque durante el proceso de generación y

su transporte a los consumidores se generan pérdidas de presión lo cual podría tener un impacto negativo en los procesos que se abastecen de este.

**2.3.2 Sistema de refrigeración con Amoniaco.** Este se encarga del enfriamiento de las líneas de procesos, en el que se puede rescatar principalmente el jarabe simple y las bebidas carbonatadas. Cabe mencionar que por medio de este sistema de enfriamiento se logra obtener una buena difusión del Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) en el agua.

**2.3.2.1 Descripción del proceso.** Como se muestra en el Diagrama 8, el sistema refrigerante es considerado como un anillo cerrado, el cual consta de un sistema de alta presión (150 psi) y un sistema de baja (45 psi). El ciclo está compuesto por una etapa de compresión, condensación, expansión y evaporación.

La etapa de compresión, es compuesta por 6 compresores (C-601A/B, C-602A/D), cuya presión de succión es de 47.5 psi (sistema de baja) y es descargado hasta una presión de 150 psi (sistema de alta), la relación de compresión de los compresores es aproximadamente de 2.77.

La condensación del gas de alta, se da por medio de una torre de refrigeración (E-601), en la cual la temperatura de salida del Amoniaco esta en promedio a un valor de 27 a 29 °C. Posteriormente del proceso de condensación el gas llega a un tanque de alta (TK-601), este tiene como fin separar el líquido y el gas de la corriente, es decir que la condensación en el proceso anterior no es completa si no parcial. El gas separado es recirculado al gas de salida de los compresores.

Posteriormente del tanque de alta el gas pasa por una válvula de expansión (V-601), que actúa por medio de la disminución de la presión de 150 psi a 47.5 psi. Lo que se busca es disminuir la temperatura del gas por medio del efecto Joule-Thomson.

Luego de obtener una mezcla de líquido y vapor a una presión de 47.5 psi y una temperatura de aproximadamente de -1.8 °C, se pasa esta mezcla a los carboenfriadores (E-602A/F) con el fin de enfriar la mezcla de agua y jarabe terminado a una temperatura aproximadamente de 2 a 4 °C.

El Amoniaco se evapora y es llevado al tanque de baja presión (TK-602) debido a problemas de arrastre de líquidos en el gas, los líquidos son enviados al tanque (TK-603) en donde se recirculan al tanque de alta por medio de instrumentación. Es importante retirar los líquidos ya que la presencia de líquidos en los compresores puede ocasionar graves problemas operativos.

Teniendo presente lo anterior, se calcula la eficiencia o rendimiento del sistema de refrigeración, contemplando como energía suministrada la potencia del compresor y la energía que retira el condensador, la energía aprovechada corresponde a la energía en los carboenfriadores, la que el refrigerante retira de la corriente caliente.

✱ **Eficiencia del sistema de Amoniaco.** Para calcular el rendimiento del sistema de Amoniaco se calcula la energía referida al compresor, al condensador y al evaporador.

La energía del compresor se calcula por medio de la Ecuación 7, posteriormente se muestra el cálculo correspondiente.

$$47.5 \text{ psi} \left( \frac{101.325 \text{ kPa}}{14.7 \text{ psia}} \right) = 327.4107 \text{ kPa} \quad 150 \text{ psi} \left( \frac{101.325 \text{ kPa}}{14.7 \text{ psia}} \right) = 1033.9286 \text{ kPa}$$

$$P_1 = 327.4107 + 74.6605 = 402.0712 \text{ kPa} \quad P_2 = 1033.9286 + 74.6605 = 1108.5891$$

$$T_1 = 10 + 273.15 = 283.15 \text{ K}$$

$$w = \frac{1.304 \cdot 8.314 \cdot 283.15}{(1.304 - 1) \cdot 0.75} \left[ \left( \frac{1108.5891}{402.0712} \right)^{\frac{1.304-1}{1.304}} - 1 \right] = 3591.2781 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$$

$$3591.2781 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \left( \frac{1 \text{ kmol}}{17.031 \text{ kg}} \right) = \mathbf{210.8671 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

**Ecuación 12.** Temperatura de salida.

$$T_2 = \frac{w(k-1)}{kR} + T_1$$

**Fuente:** elaboración propia.

$$T_2 = \frac{3591.2781 (1.304 - 1)}{1.304 \cdot 8.314} + 283.15 = 383.85 \text{ K}$$

**Tabla 16.** Propiedades del Amoniaco.

T (°C)	P (kPa)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )		hfg (kJ/kg)	Calor específico (J/kg K)	
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor
-5	354.9	645.4	2.886	1280	4589	2601
-1.84	402.0712	641.1060	3.2472	1268.6334	4606.6813	2645.8347
0	429.6	638.6	3.458	1262	4617	2672
25	1003	602.8	7.809	1166	4784	3120
28.22	1108.5891	597.9068	8.6112	1151.8356	4812.3288	3192.1096
30	1167	595.2	9.055	1144	4828	3232

**Fuente:** elaboración propia.

Posteriormente el gas es enfriado y sometido a un proceso de condensación, y consecutivamente a un proceso de evaporación. Por tal razón se emplea la información mostrada en la Tabla 16, la cual nos suministra las propiedades termodinámicas del sistema. Para calcular el calor retirado del gas de alta presión en el condensador, se emplean los siguientes cálculos.

$$\text{Calor Sensible Vapor: } q_1 = \frac{3192.1096}{1000} * (383.85 - 301.37) = 263.2852 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{Calor Latente: } q_2 = 1151.8356 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{Calor Total: } q = 263.2852 + 1151.8356 = \mathbf{1415.1208} \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Posteriormente para el evaporador se tiene presente que para obtener las condiciones del enfriamiento se emplea una válvula de expansión, por ello este proceso considera el efecto de Joule Thomson. Debido a esto antes del caculo se determina la calidad de la mezcla.

$$x = \frac{h_M - h_f}{h_{fg}}$$

$$x = \frac{314.12 - 172.31}{1268.6334} = 0.1118$$

$$\text{Calor Latente: } q_1 = 1268.6334 * (1 - 0.1118) = 1126.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

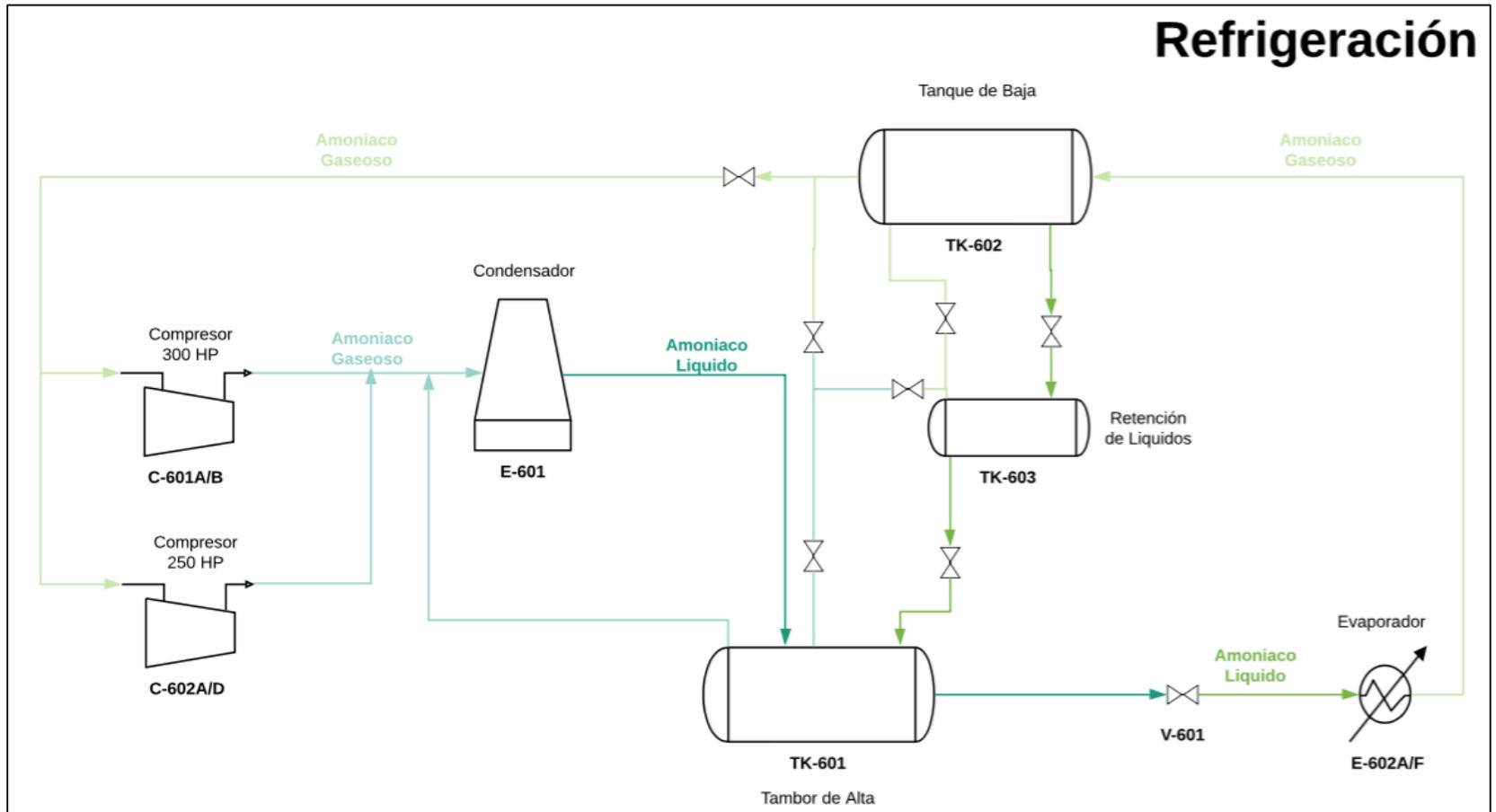
$$\text{Calor Sensible Vapor: } q_2 = \frac{2645.8347}{1000} * (10 + 1.84) = 31.3267 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{Calor Total: } q = 1126.8 + 31.3267 = \mathbf{1158.1267} \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Finalmente, para determinar la eficiencia se emplea la Ecuación 1, teniendo presente que la energía útil hace referencia al calor del evaporador y la energía requerida o de entrada total, a la potencia del compresor y el calor del condensador, como se aprecia a continuación.

$$\eta = \frac{1158.1267}{1415.1208 + 210.8671} * 100 = \mathbf{71.23\%}$$

Diagrama 8. Sistema de refrigeración con Amoniaco.



Fuente: elaboración propia.

Se logra determinar que el sistema tiene una eficiencia de 71.23%, adicionalmente por medio del simulador de procesos Aspen Plus (ver Capítulo 4), se calcula la eficiencia del sistema de refrigeración teniendo presente como especificaciones la temperatura de salida del carboenfriador, en el que se obtuvo una eficiencia del sistema de 72.76%.

**2.3.2.2 Factores relevantes del proceso.** Los factores relevantes en el sistema de refrigeración con Amoniaco son principalmente controles en la presión, temperatura y el nivel de líquido en el tambor de baja.

La presión y temperatura se relacionan mutuamente, pues a partir de estos dos se logra determinar el estado termodinámico del Amoniaco y a través de este se puede estimar la eficiencia o los requerimientos en la operación del sistema.

Garantizar la presión de descarga de los compresores (C-601A/B, C-602A/D) ayuda a obtener las temperaturas requeridas de condensación. Si la presión fuera menor, posiblemente el flujo de calor que retira el condensador no sería lo suficiente para condensar el gas. La presión de salida de la válvula (V-601) determina la calidad de la muestra y por ende también el calor que la corriente puede retirar de la corriente caliente.

Por último, el líquido retenido en el tambor de baja (TK-602), puede presentar problemas operativos puesto que, al tener un alto nivel, puede ocasionar el arrastre de líquidos a la succión del compresor. Para evitar esto es requerido que la instrumentación implementada funcione correctamente para así mismo poder suministrar este líquido retenido al tanque de alta.

## **2.4 DIAGNOSTICO**

Teniendo presente la información recolectada, consignada anteriormente y lo visto en campo, se observó que los lugares de almacenamiento de sustancias químicas cumplen con lo indicado en la resolución 2674 del 2013 del Ministerio de Salud y Protección Social (ver Anexo A). Del mismo modo se cumple con el rotulado y etiquetado de las sustancias químicas además de poner en práctica la matriz de compatibilidad explicada en el capítulo anterior, garantizando el almacenamiento y transporte de manera segura.

En el decreto 3075 de 1997, referido a las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) para alimentos, se tiene en cuenta diferentes ítems explicados en la Tabla 17, encontrando que se da cumplimiento a cada uno de ellos.

**Tabla 17.** Revisión según los ítems de las BPM.

<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cumplimiento</b>
Localización y diseño de la edificación e instalaciones	Garantizar que las operaciones se realicen higiénicamente en todo el ciclo productivo teniendo presente que la localización debe ser un lugar aislado evitando riesgos potenciales de contaminación y que la construcción impida la entrada de polvo, lluvia o suciedades al proceso productivo para que no sea refugio de plagas y animales domésticos.	SI
Abastecimiento de agua	El agua empleada en el proceso debe ser de calidad potable para el consumo humano y cumplir con la reglamentación del ministerio de salud.	SI
Disposición de residuos líquidos y sólidos	Se dispone de sistemas sanitarios para la recolección y tratamiento de aguas residuales y se dispone de manera oportuna la disposición de sólidos para evitar malos olores y refugio de plagas.	SI
Instalaciones sanitarias	Se dispone de instalaciones en cantidad suficiente tales como servicios sanitarios y vestideros independientes para hombres y mujeres dotados para facilitar la higiene del personal.	SI
Condición, instalación y funcionamiento de los equipos y utensilios	Todos ellos deben estar diseñados, contruidos y mantenidos de manera que se evite la contaminación del alimento.	SI
Estado de salud, practicas higiénicas y médicas de protección	El personal manipulador de alimentos debe estar en condiciones adecuadas para el ingreso a la planta y debe realizar las prácticas higiénicas y contar con las medidas de protección requeridas.	SI

**Tabla 17.** (Continuación).

Educación y capacitación	Todos los trabajadores deben tener formación en materia de educación sanitaria y deben estar capacitados para llevar a cabo las tareas que se les asignen.	SI
Requisitos higiénicos de fabricación y envases	Se debe tener presente las condiciones de producción como la temperatura y el envase debe estar en condiciones óptimas para estar en contacto con el alimento y cumplir con las reglamentaciones del ministerio de salud.	SI
Control de calidad	Se basa en regular que los alimentos producidos sean seguros para la salud de los consumidores previniendo que no tengan sustancias dañinas.	SI

**Fuente:** elaboración propia.

A partir de la matriz de sustancias y productos químicos se pudo evidenciar que las fichas técnicas para algunas materias primas e insumos no se encontraban en la planta, no cumplían con las 16 secciones estipuladas en la NTC 4435 así como con el Sistema Globalmente Armonizado o no se encontraban vigentes, presentando más de 4 años de antigüedad.

Se evidencia que hay falencia en la identificación de los equipos, por la falta de implementación de tags lo cual dificulta las revisiones de estos, provocando que en casos de emergencia se demore más su control por falta de información. Por otra parte, la identificación de tuberías también presenta deficiencias y de la misma manera se identifica un mal manejo de la información técnica en los equipos, presentando problemas al momento de consultar principios básicos de operación y mantenimiento.

En el caso de la instrumentación de las líneas de producción de la planta, se encuentran carencias a la hora de la medición de algunas de las variables como la presión, temperatura y flujos lo que impiden el correcto seguimiento en el proceso. Esta falencia se encuentra principalmente en las líneas auxiliares donde falta instrumentación y la que está presente carece de un plan de mantenimiento y calibración (metrología).

En cuanto al sistema de generación de vapor, como se muestra en la Tabla 10, la calidad del agua que está dentro de la caldera tiene una alta concentración de sólidos, lo cual disminuye el coeficiente global de transferencia de calor por la formación de incrustaciones sobre la pared de los tubos, por esto se requiere utilizar mayor combustible para generar un flujo deseado de vapor. La concentración de

estos sólidos se debe a los altos ciclos que tiene la caldera y a la falta de purga que tiene como finalidad, retirar impurezas e incrustaciones. Adicionalmente, a partir de los cálculos realizados en el sistema de generación de vapor, se aprecia que el exceso de aire comparado a la teoría presenta valores elevados, superando lo recomendado. A partir de lo anterior se genera una disminución en la eficiencia de la caldera.

Además, el sistema presenta problemas en la distribución del vapor ocasionando pérdidas de calor por convección y radiación, las cuales se dan en el transporte en tuberías sin aislamiento. Adicionalmente estas líneas generan repercusiones en términos de seguridad hacia los operarios que están cerca de estas.

El combustible empleado en las calderas, es el adecuado por su alto poder calorífico y su generación mínima de huella de carbono, por ende, su impacto ambiental es mínimo; con el empleo de este se puede asegurar una temperatura de chimenea adecuada que corresponde a 50 °C por encima de la temperatura de saturación del vapor.

Por otro lado, para el sistema de refrigeración por Amoniaco, se encontró que a raíz de que la planta ha sido afectada por la disminución de producción, la carga de los compresores no está adecuada con las necesidades reales de esta, lo que conlleva a mayor consumo de energía por parte de estos equipos. Así mismo se presentan pérdidas de energía en la tubería lo que hace que la eficiencia esté en un valor por debajo de lo recomendado teóricamente (73%).

Conjuntamente, a pesar de que el sistema de refrigeración es un circuito cerrado, se presentan fugas de Amoniaco que se mezcla con agua, causado por excesos de presión en el sistema, los cuales son controlados por una válvula de seguridad, el agua amoniacal resultante no se tiene contemplada y se desecha sin aprovechar el valor comercial que tiene.

Sin embargo, el sistema de seguridad de las líneas de refrigeración por Amoniaco de la planta está adecuado para mitigar cualquier fuga que se presente, debido a que son perjudiciales para la salud del personal y por ende este debe ser evacuado rápidamente de la zona afectada con la ayuda de planes de contingencia ya establecidos. Adicionalmente, se realizan mediciones del espesor de tuberías y tanques para garantizar los espesores recomendados los cuales están por encima de lo recomendado con un valor aproximadamente de 8.6 mm, lo cual garantiza que no se presenten fugas de Amoniaco a la atmósfera por el desgaste generado por corrosión y que la tubería soporte la presión del sistema.

### 3. SELECCIÓN DE MATERIAS PRIMAS, INSUMOS Y LÍNEAS DE SERVICIO CON MAYOR IMPACTO

Luego de realizar el diagnóstico de los procesos de la planta de producción, por medio del reconocimiento del proceso, operaciones unitarias de los procesos y sustancias químicas empleadas, se procede a evaluar el potencial de las 15 sustancias químicas escogidas por su relevancia dentro de los diferentes procesos, determinando su impacto en términos de calidad e inocuidad, seguridad y salud, medio ambiente y desperdicio por medio de una matriz de selección, dando como resultado aquellas materias primas e insumos con oportunidades de mejora.

#### 3.1 MATRIZ DE SELECCIÓN

Para poder determinar aquellas sustancias químicas con potencial dentro del proyecto y con oportunidades de mejora, es necesaria la construcción de la matriz de selección teniendo en cuenta diferentes criterios cruciales para la planta como lo son la calidad e inocuidad, seguridad y salud, medio ambiente y desperdicio.

Por lo anterior y para tener resultados cuantitativos y medibles, es necesario dar un valor numérico a cada uno de los parámetros, siendo el desperdicio el de mayor importancia con un 40% en peso, puesto que tiene mayor repercusión al momento de determinar la oportunidad de mejora ya que los desperdicios son el objetivo número uno a mitigar dentro del proyecto, por otra parte la calidad e inocuidad, seguridad y salud, así como el medio ambiente, tienen de manera equitativa un 20% en peso de importancia dentro de la determinación del potencial de la sustancia química.

Como se puede observar en la Tabla 18, por medio de un rango de selección de 4 niveles se calcula el valor de cada uno de los parámetros para las materias primas e insumos según las características o dosificación dentro del proceso de producción. Finalmente, al determinar los valores de los 4 parámetros para todas las sustancias químicas es posible seleccionar las que tengan mayor potencial y oportunidad de mejora, siendo estas las de mayor calificación obtenida.

**Tabla 18.** Parámetros de la matriz de selección.

Parámetro	Desperdicio (%)	Calidad e Inocuidad	Seguridad y Salud	Medio ambiente
Peso	0.4	0.2	0.2	0.2
<b>Rango de Selección</b>				
0	< 2	Mínima	No tiene Efectos	Sin Impacto
1	2 – 5	Aceptable	Efectos Nocivos	Largo
2	5 – 10	Moderada	Cancerígeno	Mediano
3	> 10	Considerable	Tóxico	Corto

**Fuente.** elaboración propia.

**3.1.1 Criterios.** Los criterios de la matriz de selección son los siguientes:

**3.1.1.1 Desperdicio.** Es el parámetro con mayor repercusión a causa de su potencial al momento de determinar si tiene una oportunidad de mejora. Una sustancia química con desperdicio indica un mal manejo en su dosificación, instrumentación, preparación o uso en la de producción, lo que genera una gran capacidad para ser estudiada y mejorada con el fin de mitigar el impacto económico generado por la sustancia química, adicionalmente disminuir el desperdicio contribuye a disminuir los otros criterios contemplados. Es por lo dicho anteriormente que el desperdicio tiene un peso del 40% en el porcentaje de importancia de la matriz de selección.

Este desperdicio es calculado por medio de la diferencia entre el consumo teórico de las listas de materiales y el consumo real presentado en la línea de producción. Los valores dados están clasificados en 0 para sustancias con un desperdicio menor al 2%, 1 para sustancias con desperdicios entre 2 y 5%, 2 para desperdicios entre el 5 y 10%, y por último 3 para sustancias con desperdicios mayores al 10%.

**3.1.1.2 Calidad e inocuidad.** Ciertas sustancias químicas son empleadas para dar propiedades específicas a las bebidas y entran en contacto directamente con el producto terminado, es por esto que es necesario evaluar la calidad e inocuidad de las sustancias químicas. Es así como tiene un peso de 20% dentro de la importancia de la matriz de selección.

Los valores están determinados según su afectación en la calidad del producto, es por esto que una calificación de 0 es para aquellas sustancias con afectación mínima, 1 para las sustancias con afectación aceptable, 2 para las sustancias con afectación moderada y 3 para las sustancias que afectan considerablemente la calidad e inocuidad del producto.

**3.1.1.3 Seguridad y salud.** Teniendo en referencia la normatividad legal vigente que rige a la empresa como el decreto 1496 de 2018, entre otros, es necesario velar por la seguridad de las personas que tengan contacto periódico u ocasional con las sustancias químicas del proceso de elaboración de bebidas. Es por esto que a la seguridad y salud se le da un peso del 20% dentro de la importancia de la matriz de selección.

Los valores para su calificación están dados según los datos consignados en las fichas técnicas entregadas por el proveedor y por el diamante NFPA. Por lo tanto, se da una calificación de 0 a las sustancias que no tienen efectos para la seguridad y salud, 1 para efectos nocivos, 2 para cancerígeno y 3 para tóxico.

**3.1.1.4 Medio ambiente.** Debido al compromiso social y ambiental de la empresa se debe tener en cuenta el impacto al medio ambiente de cada una de las materias primas e insumos, evitando así multas y velando por el bienestar de la comunidad.

Su trascendencia es determinada por la información consignada en la ficha de seguridad, por los pictogramas del sistema globalmente armonizado y por el diamante NFPA. Por lo anterior el impacto al medio ambiente tiene un 20% dentro de la importancia de la matriz de selección.

Su calificación está dada por 4 niveles, donde el valor de 0 es para aquellas sustancias sin impacto al medio ambiente, 1 para impactos a largo plazo, 2 para impactos a mediano plazo y 3 para impactos a corto plazo.

**3.1.2 Resultados.** A partir de la construcción de la matriz de sustancias potenciales o matriz de selección y de consignar los valores de los criterios para cada una de las materias primas e insumos, consignados en la Tabla 19 presentada a continuación.

Tabla 19. Resultados de la matriz de selección.

		EMPRESA DE BEBIDAS GASEOSA																	
		MATRIZ DE SELECCIÓN																	
		Versión No.1																	
		Planta de Bogota							Juan Camilo Gomez / Andres Felipe Marin Triana										
No.	Nombre comercial / Nombre del producto	Diamante NFPA				SGA								IMPACTO EN EL PROCESO					
		Salud	Inflamabilidad	Inestabilidad	Riesgo Especifico	GHS01 (Sus. Explosivos)	GHS02 (Sus. Inflamables)	GHS03 (Sus. Comburentes)	GHS04 (Gas Bajo Presion)	GHS05 (Sus. Corrosivos)	GHS06 (Irritacion al Inhalar)	GHS07 (Sus. Toxicas)	GHS08 (Cancerigeno)	GHS09 (Daño M. Ambiente)	Calidad e Inocuidad	Seguridad y Salud	Medio ambiente	Desperdicio	Total
16	CARBON ACTIVADO	0	1	0			X								1	0	1	0	0,4
22	DIOXIDO DE CARBONO	3	0	0					X						2	3	1	2	2
80	NITROGENO LIQUIDO	3	0	0					X						2	3	1	3	2,4
82	ACIDO FOSFORICO	3	0	0						X					1	3	2	0	1,2
85	POLIX SPECIAL	3	0	0						X					2	3	2	0	1,4
86	FERISOL RINSE	3	0	0						X					2	3	2	0	1,4
90	CARBONATO DE SODIO	2	0	0							X				2	2	1	2	1,8
92	STABILON ACP	2	0	0						X					2	2	1	1	1,4
93	AMONIO CUATERNARIO	1	0	0							X				1	1	3	1	1,4
98	HIDROXIDO DE SODIO	3	0	1	NW					X					2	3	2	2	2,2
128	CAL HIDRATADA TIPO E	3	0	1						X	X	X			0	3	1	0	0,8
131	POLIMERO FO499	1	0	0							X				0	1	1	0	0,4
135	SULFATO DE ALUMINIO B	1	0	0						X			X		0	1	2	1	1
173	HIPOCLORITO DE SODIO	3	0	1	OX					X					0	3	1	0	0,8
174	POLIHIDROXIDO DE ALUMINIO	1	0	0							X				0	1	1	1	0,8

Fuente: elaboración propia.

Fue posible el reconocimiento de aquellas con capacidad para desarrollar una oportunidad de mejora en su control, seleccionando aquellas sustancias con un valor en su impacto total por encima del promedio. Por lo anterior se pudieron identificar 4 sustancias potenciales a efectuar la propuesta de mejora que son las siguientes: Hidróxido de Sodio, Carbonato de Sodio, Nitrógeno líquido y Dióxido de Carbono.

El Hidróxido de Sodio o Soda Caustica, se utiliza como desinfectante de las líneas de producción, como regulador de pH en los procesos de tratamiento de agua, pero principalmente se emplea en el lavado de envase como detergente, en donde se emplean soluciones de 3.2% aproximadamente.

El Carbonato de Sodio, se emplea para ayudar al inspector ALEXUS, en donde por medio de una solución de 5% se logra la formación de espuma o turbiedad en los envases que contienen solventes, y por medio de esto se puede rechazar envases defectuosos.

El Nitrógeno, se usa principalmente en el sellado de la línea de agua embotellada, en donde este se emplea para desplazar el oxígeno existente de la botella con el fin de evitar la oxidación del producto y adicionalmente dar rigidez a la botella.

El Dióxido de Carbono, se emplea tanto como materia prima y como insumo, como materia prima se utiliza en la elaboración de bebidas carbonatadas y como insumo se usa en la planta de tratamiento de agua residual PTAR.

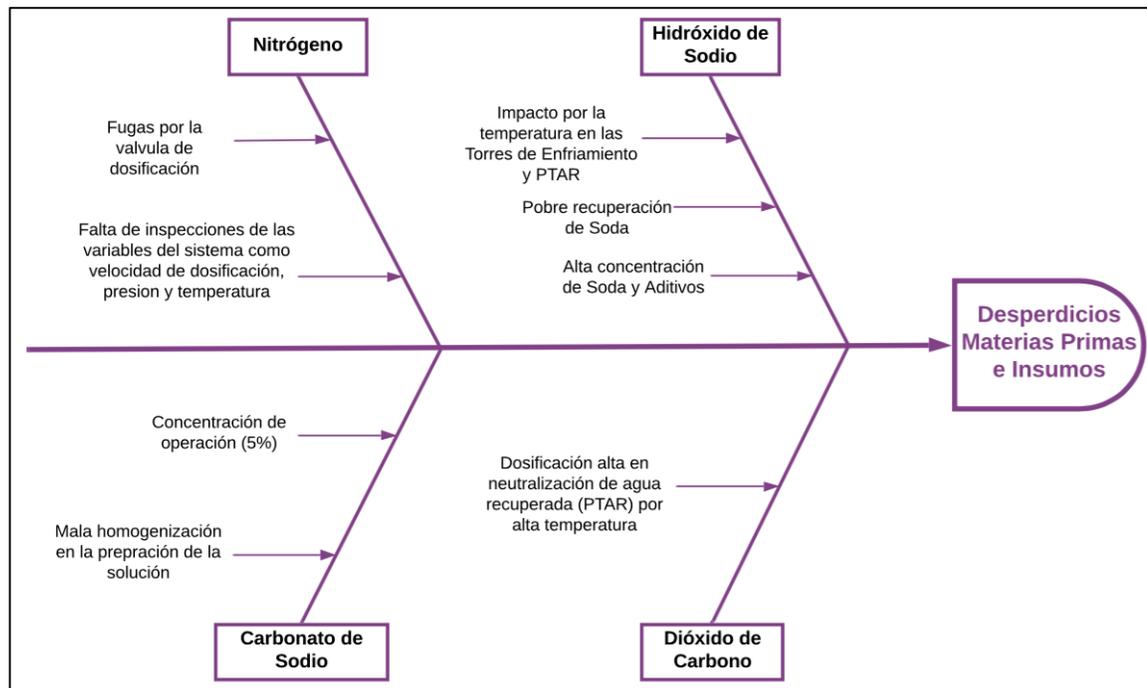
Finalmente, y siguiendo la metodología Kaizen, se identifican las áreas potenciales de mejora, una de ellas es la línea de lavado de envase en la que se utiliza Soda Caustica y Carbonato de Sodio. Teniendo presente las otras dos sustancias químicas seleccionadas, las áreas con potencial son la línea de sellado de agua embotellada para el Nitrógeno Líquido y la planta de tratamiento de agua residual PTAR para el Dióxido de carbono.

## 4. PROPUESTA DE MANEJO PARA LAS MATERIAS PRIMAS, INSUMOS Y LÍNEAS DE SERVICIO SELECCIONADAS

### 4.1 OPORTUNIDADES DE MEJORA

Para poder determinar las oportunidades de mejora de cada una de las sustancias químicas, además de conocer las causas de los desperdicios que están generando, es necesaria la construcción del esquema de espina de pescado (ver Figura 12), para identificar cada uno de los problemas presentados por las materias primas e insumos y de esta manera generar soluciones concretas a cada uno de ellos.

**Figura 12.** Esquema de espina de pescado, materias primas e insumos.



**Fuente:** elaboración propia.

Siguiendo con la metodología planteada y luego de obtener las causas raíz, es posible identificar las acciones para controlar los desperdicios y consolidar las oportunidades de mejora para los procesos en los cuales se presentan estas falencias. Estas soluciones se explican una a una a continuación:

**4.1.1 Carbonato de Sodio.** El Carbonato de Sodio cuya fórmula química es  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , es utilizado en el proceso de lavado. Esta solución es empleada para garantizar la inocuidad de los envases, generando una reacción con los contaminantes contenidos por las botellas para determinar si son aptas para ser reutilizadas.

En el proceso de producción se emplea Carbonato de Sodio en una concentración del 5% con agua como disolvente, solución preparada en un tanque con agitador para su posterior dosificación a los envases retornables. Para determinar la causa real del problema fue necesario estudiar las condiciones de operación del proceso de lavado con  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  como lo son la sedimentación generada por la falta de agitación y la concentración en el tanque.

En primera instancia se analizó la sedimentación, en la cual se determinó, a partir de la caracterización del Carbonato de Sodio suministrada por parte del proveedor, el tamaño de partícula promedio, así como las impurezas insolubles que corresponden a 25 g por cada 50 kg de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

Teniendo presente que la sedimentación es de caída libre, se emplea la siguiente ecuación. En donde por el diámetro de partícula se asume en primera medida que prevalece el régimen laminar.

**Ecuación 13.** Velocidad de sedimentación.

$$V_s = \left( \frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} \cdot \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \cdot d \right)^{1/2} \quad C_D = \frac{24 \vartheta}{V_s \cdot d}$$

**Fuente:** PÉREZ FARRÁS, Luis. Teoría de la Sedimentación. p. 10. En: Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. [sitio web]. Argentina, 2005. [Citado el 13 de abril de 2019]. Archivo PDF. Disponible en: [http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos\\_teoria\\_sedimentacion.pdf](http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_teoria_sedimentacion.pdf).

A partir de la caracterización por medio del proveedor se determina que el diámetro de partícula es de 0.074mm y su densidad corresponde a 2500 kg/m<sup>3</sup>, por lo cual se puede determinar la velocidad de sedimentación y realizar las iteraciones requeridas para determinar dicho valor. A continuación, se muestra un cálculo representativo, asumiendo un  $C_D$  de 24 o un  $Re$  de 1.

$$V_s = \left( \frac{4}{3} \cdot \frac{9.81}{24} \cdot \frac{2500 - 999.09}{999.09} \cdot 0.000074 \right)^{1/2} = 7.7838 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$C_D = \frac{24 \cdot 1.1621 \times 10^{-6}}{7.7838 \times 10^{-3} \cdot 0.000074} = 48.4210$$

Realizando diversas iteraciones se logra determinar que la velocidad de sedimentación corresponde a 13.82 m/s y un tiempo de sedimentación de 5 minutos aproximadamente, que al ser casi mínimo se descarta como causa raíz de los desperdicios del Carbonato de Sodio. Del mismo modo, por causa de la alta solubilidad del Carbonato de Sodio y la baja concentración en la solución, no presenta problemas en este aspecto. A pesar de esto, para asegurar la

homogenización de la mezcla es necesario realizar una agitación de manera estandarizada, con una frecuencia de 6 horas, este tiempo es dado por sus características como viscosidad y densidad.<sup>25</sup>

Por otra parte, se logra identificar que el principal inconveniente reside en la concentración de la solución de Carbonato de Sodio y agua, puesto que actualmente no se prepara de manera estandarizada, generando así desperdicios y una mala operación del proceso. Para poder reducir los efectos de este problema se requiere preparar la solución con la cantidad exacta de Carbonato para diferentes volúmenes según sea su requerimiento en la línea de producción, como se muestra en la Tabla 20. Conjuntamente se especifica la altura para encontrar la concentración deseada en el tanque de 1278 L y 1.1m de diámetro, en donde por medio de un volumen requerido se puede determinar la altura de agua y la masa de carbonato requerida para preparar la solución.

Finalmente, para garantizar la concentración del 5% de Carbonato de Sodio se emplea una medición de la densidad obteniendo un valor de 1049 kg/m<sup>3</sup>, que puede ser comparado con la operación diaria, este valor puede oscilar en un 1%, para de esta manera asegurar la correcta dosificación del producto químico y su uso en el proceso de lavado.

**Tabla 20.** Carbonato requerido para una concentración de 5%.

Masa de Carbonato (kg)	Volumen de agua (m <sup>3</sup> )	Longitud (m)
5	0.1	0.11
10	0.2	0.21
15	0.3	0.32
20	0.4	0.42
25	0.5	0.53
30	0.6	0.63
35	0.7	0.74
40	0.8	0.84
45	0.9	0.95
50	1	1.05

**Fuente:** elaboración propia.

<sup>25</sup> CASTILLO URIBE, Vladimir. Diseño y cálculo de un agitador de fluidos. p. 5-12. En: Universidad del Bío-Bío. [sitio web]. Chile, 2013. [Citado el 13 de abril de 2019]. Archivo PDF. Disponible en: [http://repopib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo\\_Uribe\\_Vladimir.pdf](http://repopib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo_Uribe_Vladimir.pdf).

**4.1.2 Hidróxido de Sodio.** La Soda Caustica o Hidróxido de Sodio, es un compuesto químico de fórmula NaOH que forma una solución fuertemente alcalina cuando se mezcla con diversos disolventes como el agua, esta fuerte alcalinidad le permite comportarse como un agente limpiador obteniendo altas propiedades germicidas siendo así el componente principal para el proceso de limpieza de botellas.

Tiene una gran ventaja económica sobre otros limpiadores pero entre sus limitaciones se encuentran la necesidad de recurrir a un aditivo para alcanzar una efectividad alta y lograr que el lavado logre los requerimientos del proceso, así como su difícil remoción debido a las malas propiedades de enjuagado, la formación de espuma a altas presiones y la formación de jabón al mezclarse con ciertos compuestos, aumento del desgaste de las botellas a temperaturas y presiones específicas y una baja mojabilidad.<sup>26</sup>

Haciendo énfasis en disminuir el consumo y disminuir el desperdicio de Hidróxido de Sodio, así como de agua en el proceso de lavado de envases, se encontró la oportunidad de implementar la tecnología de membranas en la que se busca emplear un proceso de ultrafiltración en la cual se puede obtener, por un lado, el agua permeada y por el otro una corriente concentrada con las impurezas de la operación de lavado.

De esta manera es posible realizar un reacondicionamiento del agua realizando un permeado, permitiendo su recirculación al proceso. Por otra parte la corriente concentrada es procesada por medio de una unidad de recuperación de soda para obtener soda limpia con potencial de uso y la disposición de impurezas en forma de lodos.<sup>27</sup>

En el siguiente diagrama de flujo se compara el proceso de lavado de envase actual con el proceso de lavado empleando tecnología de membranas:

---

<sup>26</sup> PADRÓN CASTRO, Omar David. Estudio para la optimización del proceso de lavado de botellas mediante evaluación de aditivos de soda caustica. p. 9-20. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad Simón Bolívar, 2008. [Consultado: 10 abril 2019]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/379209544/000146894>.

<sup>27</sup> RESTREPO GALLEGOS, Mauricio. Producción más limpia en la industria alimentaria. p. 97. Producción + Limpia [en línea]. 2006, enero-junio, 1 (1). [Consultado: 10 abril 2019]. Disponible en: [http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/217/1/PL\\_V1\\_N1\\_87\\_PL\\_INDUSTRIA\\_ALIMENTARIA.pdf](http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/217/1/PL_V1_N1_87_PL_INDUSTRIA_ALIMENTARIA.pdf)

**Diagrama 9.** Comparación de flujo de proceso de lavado empleando tecnología de membranas.



**Fuente:** RESTREPO GALLEGO, Mauricio. Producción más limpia en la industria alimentaria. p. 97. Producción + Limpia [en línea]. 2006, enero-junio, 1 (1). [Consultado: 10 abril 2019]. Disponible en: [http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/217/1/PL\\_V1\\_N1\\_87\\_PL\\_INDUSTRIA\\_ALIMENTARIA.pdf](http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/217/1/PL_V1_N1_87_PL_INDUSTRIA_ALIMENTARIA.pdf)

Además, la concentración de soda varía en función de la temperatura en los diferentes ciclos de la lavadora como se estudió anteriormente dentro del diagnóstico, en donde se caracterizaron las condiciones de operación del proceso de lavado. La concentración de soda es de 3.2% mientras que la del aditivo Stabilon ACP es de 0.24%. Entre mayor sea la concentración de aditivo empleado menor será la concentración de Soda Caustica en el proceso de lavado, por lo tanto, se podría determinar la concentración ideal de estas dos sustancias químicas en función de costos y rendimiento. Es por lo anterior que se debe garantizar la concentración de Soda Caustica del mismo modo que sus aditivos.

Por último, para disminuir las desviaciones en el consumo de Soda Caustica se propone un sistema automático de control para el proceso de lavado, identificando las variables respuesta que son el porcentaje de concentración de soda, la temperatura, flujo de agua y niveles máximos de solución para cada tanque.

La base de este proceso radica en el porcentaje de Hidróxido de Sodio en la solución, por lo tanto, es la variable a controlar en el sistema. Para este caso se optó por relacionar la concentración con la conductividad para que la variable pueda ser medida y controlada. Teniendo en cuenta los valores de la Tabla 21 y por medio de sensores, es posible determinar el error y variabilidad que presenta el sistema, para así permitir que el controlador elimine las variaciones del proceso de lavado.

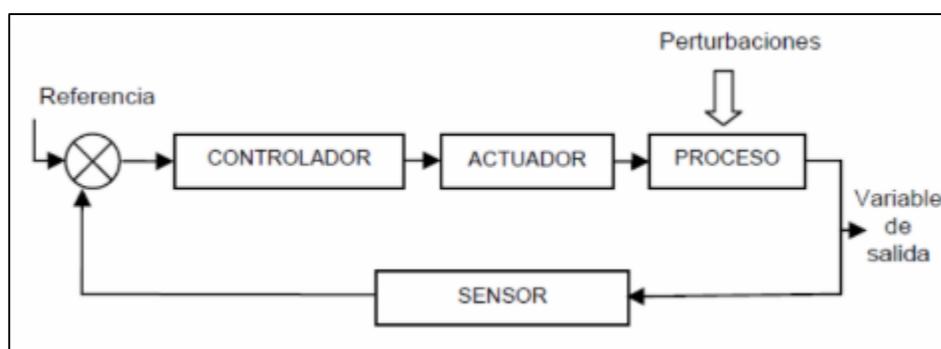
**Tabla 21.** Valores de conductividad para diferentes concentraciones de NaOH.

Solución	Concentración NaOH (%m/v)	Conductividad ( $\mu\text{S}$ )
1	5	547.1
2	3.5	221.7
3	3	191.9
4	2.5	167.3
5	2	140.7
6	1.5	110.8
7	1	76.7
8	0.5	43.3
9	1	8.19

**Fuente:** MACERO, Yaneska. Propuesta de un sistema de control automatizado de agua y soda caustica agregados a los tanques de una lavadora de botellas de vidrio retornable de una planta productora de refresco. p. 82. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad de Oriente, 2011. [Consultado: 10 abril 2019]. Disponible en: <https://dokumen.tips/documents/tesis-lavado-de-botellas.html>.

Para eliminar estas perturbaciones del sistema es necesario implementar un sistema de control automático, manipulando las variables de flujo de agua y soda de alimentación haciendo uso de válvulas de control, siguiendo la figura mostrada a continuación:

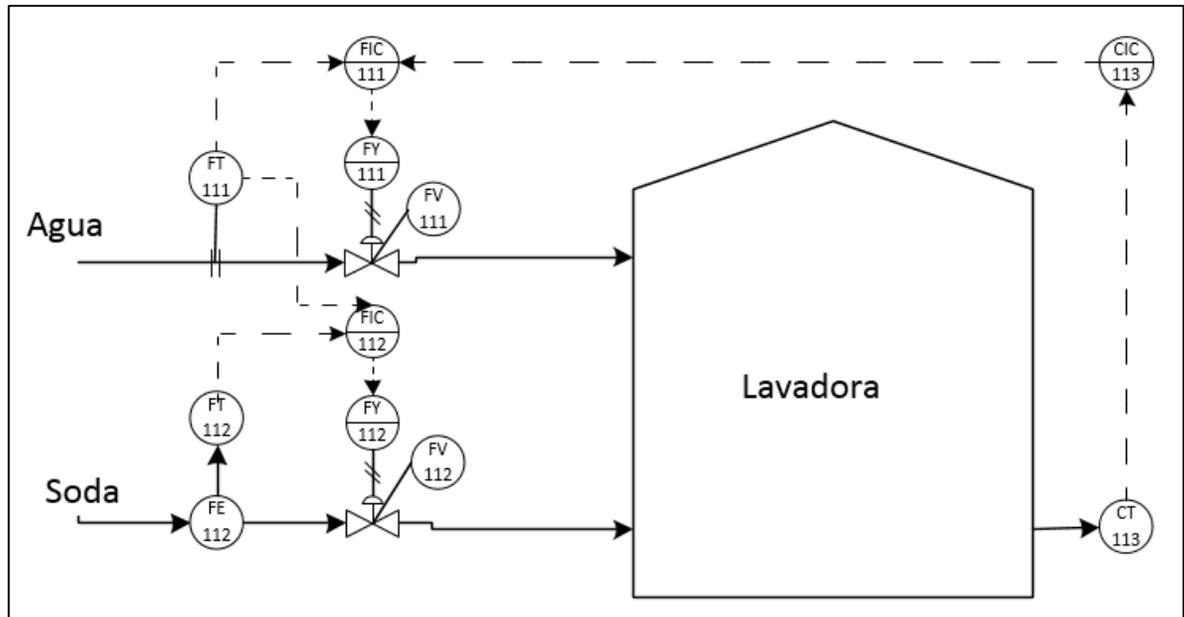
**Figura 13.** Sistema de control automático.



**Fuente:** MACERO, Yaneska. Propuesta de un sistema de control automatizado de agua y soda caustica agregados a los tanques de una lavadora de botellas de vidrio retornable de una planta productora de refresco. [en línea]. p. 83. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad de Oriente, 2011. [Consultado: 10 abril 2019]. Disponible en: <https://dokumen.tips/documents/tesis-lavado-de-botellas.html>.

Para llevar a cabo este proceso, es necesario tener medidores de flujo para la entrada de agua de tipo placa orificio con placa concéntrica, mientras que para la alimentación de soda se recomienda un flujometro magnético. En cuanto a la conductividad, se requieren sensores capaces de medir rangos de conductividad baja y tengan la capacidad de trabajar con sólidos suspendidos. Por último, los elementos finales son válvulas que actúan por medio de los reguladores.<sup>28</sup>

**Diagrama 10.** Diagrama de instrumentación y control.



**Fuente:** elaboración propia.

De esta manera es posible disminuir los desperdicios presentados en el sistema de lavado con Hidróxido de Sodio, que representa costos significativos para el proceso de producción. De igual manera, mejora las condiciones de operación y permite el control de las variables del proceso, generando una producción más limpia.

<sup>28</sup> MACERO, Yaneska. Propuesta de un sistema de control automatizado de agua y soda caustica agregados a los tanques de una lavadora de botellas de vidrio retornable de una planta productora de refresco. [en línea]. p. 80. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad de Oriente, 2011. [Consultado: 10 abril 2019]. Disponible en: <https://dokumen.tips/documents/tesis-lavado-de-botellas.html>.

**4.1.3 Nitrógeno.** El Nitrógeno es un gas incoloro, inodoro e inerte, este no reacciona con alimentos y es empleado en el proceso de producción y embotellamiento de bebidas para mantener estabilidad en el empaque. Este gas actúa como amortiguador en el espacio gaseoso entre el envase y el producto, evitando el crecimiento microbiano y conservando las propiedades organolépticas del producto para permitir un mayor tiempo de almacenamiento.<sup>29</sup>

A partir del manual de operación de la máquina dosificadora de Nitrógeno de referencia Nitrodose G2, fabricado por la compañía Vacuum Barrier Systems, fue posible la identificación de los motivos por los cuales el equipo presenta variaciones en el consumo de Nitrógeno además de fallas técnicas. Los desperdicios presentados se presentan por los siguientes motivos.

El primero es la contaminación de la válvula, que genera fugas por la válvula de dosificación. Este inconveniente es provocado por contaminación con hielo o producto en el área de salida del dosificador de nitrógeno. Para mitigar este inconveniente es necesario llevar a cabo el procedimiento de calentamiento/purga del equipo indicado en el manual de operación.

Conjuntamente, la boquilla presenta en algunas ocasiones hielo o escarcha en la salida del equipo, así como fugas indeseadas. Para controlar este problema es necesario realizar revisiones periódicamente a la boquilla asegurando que el sello esté bien colocado y el dispositivo esté apretado. Es fundamental para evitar problemas en el dosificador, generar un plan de mantenimiento preventivo para así evitar que se congele y que su operación pueda ser controlada, para de esta forma erradicar las variaciones en el consumo de Nitrógeno que se presentan actualmente.

Por último, la falta de instrumentación es causa principal de este problema. Debido a que este sistema de dosificación debe trabajar en presiones y temperaturas específicas. En el caso del tanque de Nitrógeno no se tiene un manómetro para controlar la presión generando desperdicios y el congelamiento de las tuberías. La presión de alimentación del gas recomendada debe estar entre 50 y 100 psig (3.4 y 6.9 bar), entre menor sea la presión la cantidad de Nitrógeno suministrada será menor, se debe garantizar el punto ideal en el cual no se presente una liberación de Nitrógeno al ambiente causado por operar a altas presiones.

---

<sup>29</sup> BARRERA, Jenny y HERNANDEZ, Víctor. Estrategias para la utilización de nitrógeno en proceso de embotellado de bebidas no carbonatadas con el fin de reducir la contaminación ambiental. p. 44. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero. Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, 2011. [Consultado: 19 abril 2019]. Disponible en: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/740>.

**4.1.4 Dióxido de Carbono.** El CO<sub>2</sub> es utilizado para dar características especiales a las bebidas carbonatadas, así como también permitir una mayor conservación, actuando como antioxidante y potenciando su sabor y aroma. Por otra parte, el Dióxido de Carbono es también utilizado como neutralizante de agua en la planta de tratamiento de agua residual del agua con soda resultante del proceso de lavado.

Sus propiedades como neutralizante se dan gracias a que forma ácido carbónico en presencia de agua, lo que permite neutralizar corrientes alcalinas, siendo más efectivo que neutralizantes como ácidos minerales. Dentro de sus ventajas se encuentra el límite de pH, el cual no permite que se produzca una sobreacidificación, por otra parte, a pH altos, actúa de forma rápida y eficaz, además de esto no eleva la salinidad del agua, no produce corrosión y mejora las condiciones de seguridad eliminando riesgos de operación.

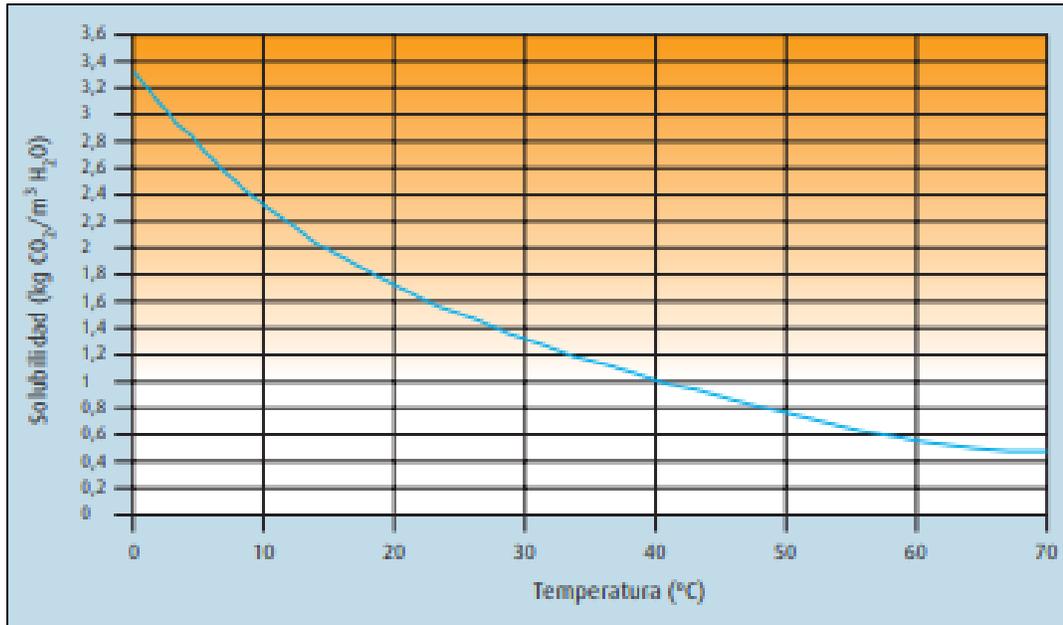
La absorción del gas depende de las propiedades del Dióxido de Carbono y del agua efluente del proceso de lavado. Cuanto más soluble es el gas, se necesitan menos energía y menor dosificación de CO<sub>2</sub> para lograr la neutralización deseada. Como se aprecia en la Gráfico 5, la solubilidad del Dióxido de Carbono en agua varía en función de la temperatura, esta es inversamente proporcional a la temperatura, es decir que a mayores temperaturas se requiere una mayor dosificación de gas.<sup>30</sup>

Por lo anterior, la temperatura es una variable de control fundamental para mitigar los desperdicios que se están presentando para el Dióxido de Carbono. La mejor manera para llevarlo a cabo, es por medio del control de la solución de Soda Caustica que sale del ciclo de lavado, la cual llega a la planta de tratamiento de agua con una temperatura que varía entre 25°C a 40°C, debido que por la alta demanda de la torre de enfriamiento, esta no puede ser enfriada en su totalidad. Cabe recalcar que el agua sale del ciclo de lavado, con una temperatura que varía entre los 60°C y 70°C, pero es disminuida en la torre de enfriamiento.

---

<sup>30</sup> SOLVOCARB. [sitio web]. Grupo Linde, Lo importante es el medio ambiente, SOLVOCARB con CO<sub>2</sub>. [Consulta: 30 abril 2019]. Disponible en: [https://www.abellolinde.es/es/images/SOLVOCARB%20-%20Neutraliza%20los%20efluentes%20alcalinos%2C%20reminaliza%20las%20aguas%2011501-0605\\_tcm316-60219.pdf](https://www.abellolinde.es/es/images/SOLVOCARB%20-%20Neutraliza%20los%20efluentes%20alcalinos%2C%20reminaliza%20las%20aguas%2011501-0605_tcm316-60219.pdf).

**Gráfico 5.** Solubilidad del CO<sub>2</sub> en agua a 1 bar.



**Fuente:** SOLVOCARB. [sitio web]. Grupo Linde, Lo importante es el medio ambiente, SOLVOCARB con CO<sub>2</sub>. [Consulta: 30 abril 2019]. Disponible en: [https://www.abellolinde.es/es/images/SOLVOCARB%20-%20Neutraliza%20los%20efluentes%20alcalinos%2C%20reminaliza%20las%20aguas%2011501-0605\\_tcm316-60219.pdf](https://www.abellolinde.es/es/images/SOLVOCARB%20-%20Neutraliza%20los%20efluentes%20alcalinos%2C%20reminaliza%20las%20aguas%2011501-0605_tcm316-60219.pdf).

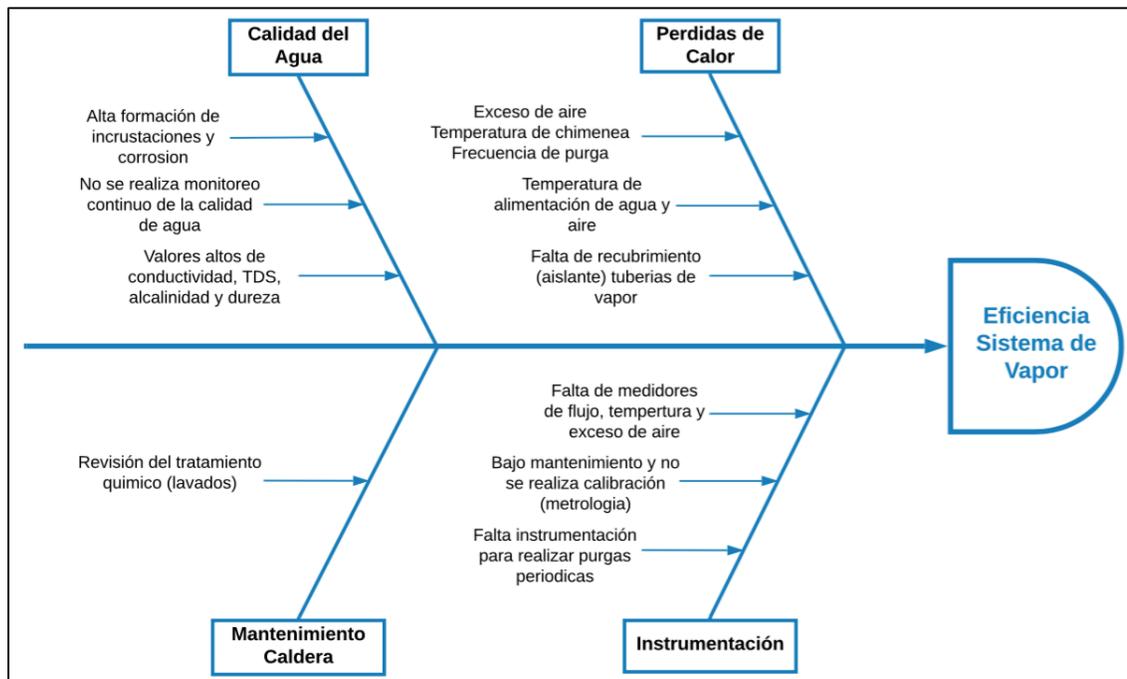
Esta magnitud física no solo debe ser constante, sino también debe disminuirse para así mejorar la solubilidad del gas, lo que genera menor dosificación de CO<sub>2</sub>, reduciendo costos de producción y garantizando la estabilidad del proceso, debido que la variación en la dosificación del Dióxido de Carbono se genera por la alta temperatura de la corriente, puede corregirse esta contingencia con una integración térmica, en donde se aprovechará el calor entre las aguas de desagüe de la lavadora con el agua de alimentación para la generación de vapor que se plantea más adelante.

## 4.2 SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR

A partir del diagnóstico realizado en el Capítulo 2, se logra identificar las falencias que presenta el sistema y las que repercuten directamente en la eficiencia del sistema de vapor. Según la metodología Kaizen, la identificación del problema es clave para la generación de ideas, por lo cual se emplea el esquema de espina de pescado para dicho fin.

**4.2.1 Identificación de la causa raíz.** En la Figura 14, se evidencia que los problemas asociados a la eficiencia del sistema de vapor corresponden a la calidad del agua, al bajo mantenimiento de la caldera, a la instrumentación y a las pérdidas de calor del sistema. Los más destacados son los altos parámetros en el agua de recirculación, los parámetros de operación y la falta de instrumentación y metrología, en los cuales se evidencia la falta de seguimiento y supervisión del sistema.

**Figura 14.** Esquema de espina de pescado, generación de vapor.



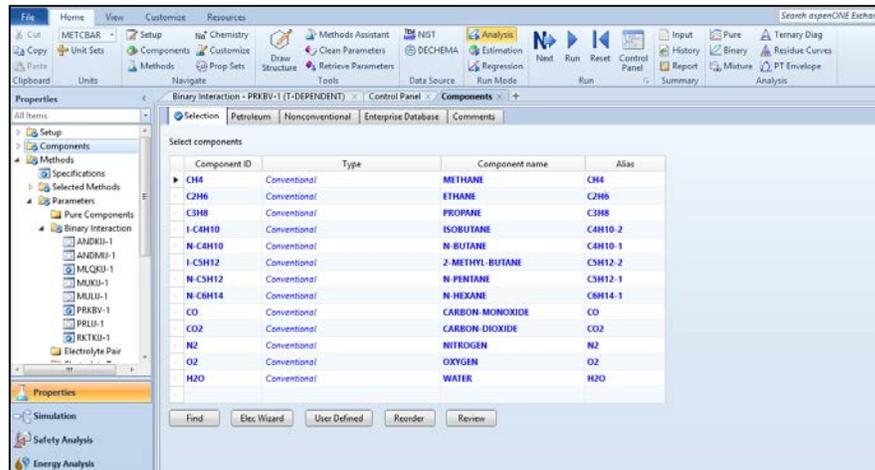
**Fuente:** elaboración propia.

**4.2.2 Simulación del proceso.** La simulación y modelación de las calderas permiten obtener valores de eficiencias más reales y también evidenciar como se afecta esta con los parámetros de operación como lo son el exceso de aire, la temperatura de chimenea y el porcentaje de purga, los cuales ayudaran a la identificación del problema y posteriormente al planteamiento de la propuesta para el mejoramiento en el sistema.

Cabe recalcar que los parametros asignados en la simulación corresponden a los datos conseguidos en el diagnostico del sistema, como lo son la composición del gas, relaciones de flujos molares y masicos, temperaturas, presiones, entre otros.

**4.2.2.1 Desarrollo.** La simulación se desarrolla en el simulador Aspen Plus, donde se cargan los componentes que se ilustran en la Figura 15 y se ingresa el modelo termodinámico de Peng Robinson, este modelo es el recomendado según la metodología de selección de los métodos de propiedades físicas de Carlson, al tener los parámetros de interacción disponibles y una presión menor a 10 bares.<sup>31</sup>

**Figura 15.** Componentes empleados en la simulación.



**Fuente:** Simulador Aspen Plus.

Posteriormente se construye el diagrama de flujo que se ilustra en la Diagrama 11, como datos de entrada se establece las corrientes de aire, gas natural (GN) y agua, los cuales se muestran en la Tabla 22.

**Tabla 22.** Especificaciones de las corrientes de entrada.

Corriente	GN	AIRE	AGUA
<b>T (°C)</b>	15	15	15
<b>P (bar)</b>	1.09125	0.746605	0.746605
<b>Flujo (kmol/h)</b>	3.6736	71.5125	55.505
<b>Composición molar</b>	(ver Tabla 11) O <sub>2</sub> : 0.21 N <sub>2</sub> : 0.79 H <sub>2</sub> O: 1		

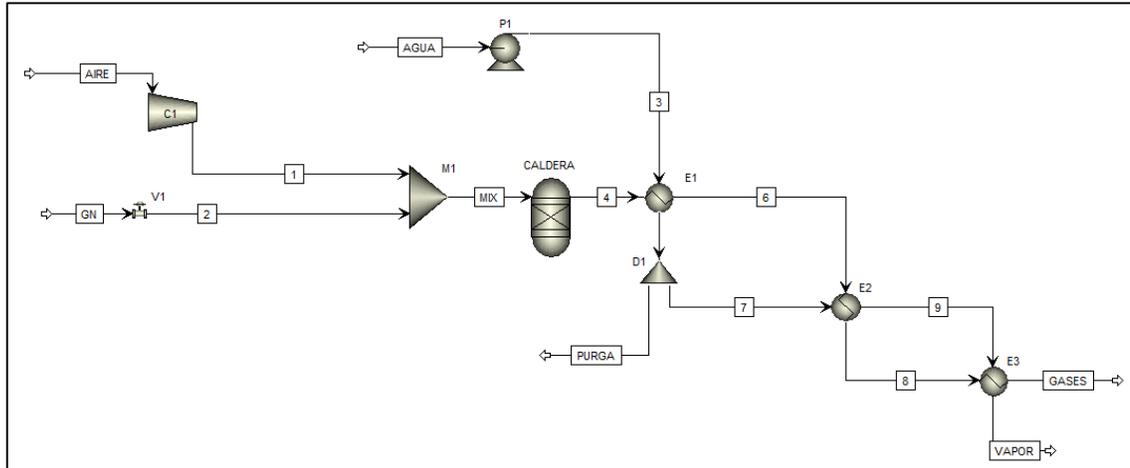
**Fuente:** elaboración propia.

Los flujos de estas corrientes se determinan por medio de los balances de masa mostrados en el Capítulo 2, cabe recalcar que el flujo de aire varía para la simulación de cada caldera según su relación aire/gas, los cuales se muestran en la Tabla 15;

<sup>31</sup> CARISON, Eric. Don't gamble with physical properties for simulations. p. 36-38. Aspen Technology, Inc. [en línea]. 1996, Octubre. [Consultado: 4 mayo 2019]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/2fd4/2d66fb3a658a01d7bcd4c025a72c6f5e88.pdf>.

el flujo de aire que se muestra en la Tabla 22 corresponde a la caldera de Colmesa cuya relación aire/gas es de 19.4666.

**Diagrama 11.** Proceso de generación de vapor (Aspen Plus).



**Fuente:** Simulador Aspen Plus.

El compresor “C1”, se configura con una eficiencia de 0.75 y con una presión de descarga de 81.5333 kPa, la válvula “V1” tiene una presión de salida igual que la descarga del compresor. El reactor de Gibbs “Caldera” es adiabático y no cuenta con pérdidas de presión. La bomba “P1” se configura con un diferencial de presión de 150 psi y con una eficiencia de 0.75. Posteriormente para la configuración de los intercambiadores de calor se configuran con una caída de presión igual para los 3, en el lado caliente la caída de presión es de 2.29093 kPa y la caída de presión del lado frío es de 34.4643 kPa, adicionalmente se configura para los intercambiadores de calor “E1 y E2” la fracción de vapor de 0 y 1, es decir como líquido saturado y como vapor saturado, en el intercambiador “E3” se aumenta la temperatura del vapor 10 °C de su temperatura de saturación. Finalmente se configura el divisor “D1” con la fracción de la purga, la cual es de 0.05.

Después de obtener la convergencia con los datos de entrada iniciales se procede a configurar dos especificaciones de diseño, en la primera se busca conseguir la concentración de oxígeno correcta a la salida del reactor de Gibbs, variando el flujo de aire; mientras que la segunda especificación busca ajustar la temperatura de la corriente gases, variando el flujo de agua inicial. Los objetivos o valores requeridos para ambas especificaciones se muestran en la Tabla 9.<sup>32</sup>

<sup>32</sup> GIL, Dario, et al. Process Analysis and Simulation in Chemical Engineering. p. 45 - 47. Switzerland: Springer, 2016.

**4.2.2.2 Interpretación de las variables de la simulación.** A partir de la simulación realizada en el ítem anterior, se construyen varios análisis de sensibilidad, con el fin de visualizar el comportamiento de las variables críticas del sistema las cuales son: el flujo de aire al quemador de la caldera, temperatura de los gases de combustión en la chimenea, la temperatura del agua de alimentación y por último el split o flujo de la purga en la caldera.<sup>33</sup>

En el Gráfico 6, se muestra el comportamiento que tiene la eficiencia respecto el flujo de aire que entra al quemador, adicionalmente en el izquierdo la respuesta que presenta el flujo de agua para lograr alcanzar la especificación de diseño, la cual corresponde a la temperatura de chimenea, es decir que el análisis de sensibilidad se llevó acabo manteniendo constante el porcentaje de purga y la temperatura de chimenea.

La eficiencia aumenta en la caldera al presentar un menor flujo de aire, esto es debido a que el calor liberado por la combustión del combustible no es gastado para el calentamiento del exceso de aire si no, se aprovecha más para la conversión de agua sub-enfriada en vapor sobrecalentado y por tal motivo el flujo de agua aumenta, es decir que el calor que se reduce al calentar el aire es el aprovechado en convertir más agua en vapor. Cabe recalcar que el exceso de aire es un parámetro que garantiza una buena combustión y por ende un menor impacto en la huella de carbono en la atmosfera, es decir, que siempre se debe emplear un exceso de aire que garantice una buena combustión, pero tratando de que se pierda el mínimo calor sensible por el calentamiento de este.

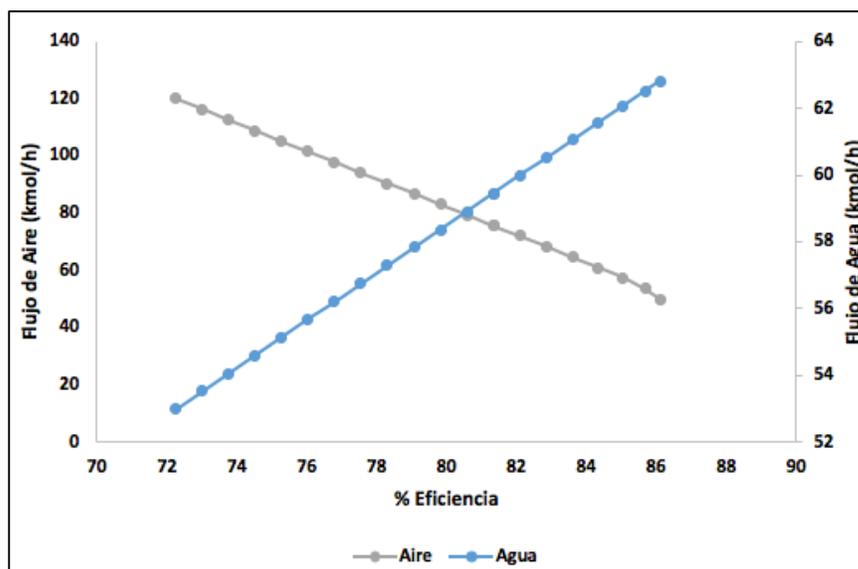
De la misma manera al emplear un flujo de aire teórico o cercano a este valor, la combustión no es completa haciendo que la eficiencia disminuya, puesto que todo el combustible no es convertido en Dióxido de Carbono CO<sub>2</sub>, produciéndose de la misma manera monóxido de carbono CO, perdiendo así calor por la energía liberada de la combustión parcial o por la formación de CO, sin mencionar el impacto negativo que trae está en el ambiente (liberación de partículas explosivas y toxicas), además se puede formar depósitos al interior de la caldera (hollín) lo que perjudica la transferencia de calor.

Finalmente, se puede mencionar que el comportamiento del flujo de aire respecto a la eficiencia, es lineal e indirectamente proporcional, por lo que si se desea aumentar la eficiencia del sistema se debe que disminuir el flujo de aire, teniendo presente que el rango adecuado está por encima del flujo teórico de aire.

---

<sup>33</sup> Ibid., p. 38 - 43.

**Gráfico 6.** Análisis de sensibilidad del flujo de aire.



**Fuente:** elaboración propia.

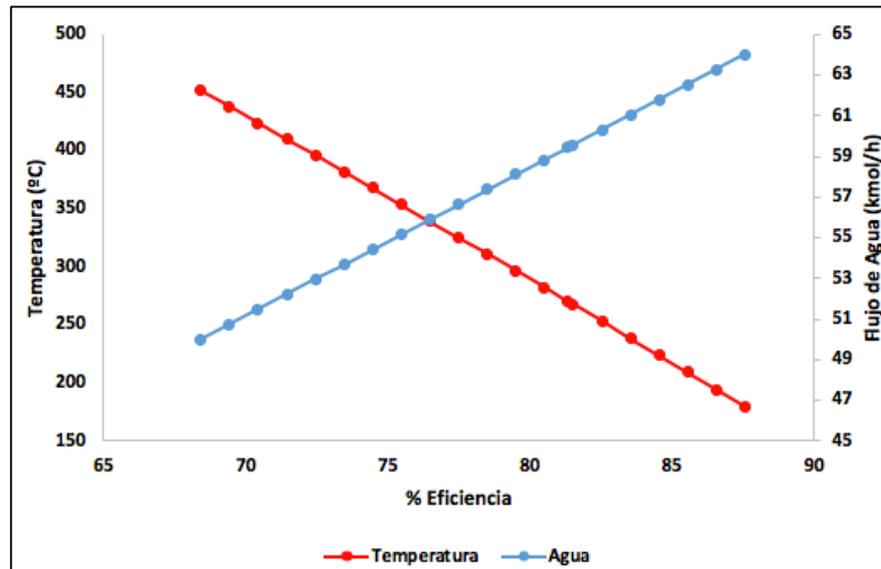
En el Gráfico 7, se aprecia el impacto que tiene la temperatura de chimenea con la eficiencia del sistema y adicionalmente en el eje izquierdo se muestra la respuesta que presenta el flujo de agua para lograr obtener la temperatura indicada, este análisis de sensibilidad se lleva a cabo con el porcentaje de purga y el flujo de aire constantes.

La temperatura de chimenea se relaciona con el calor directo que no se aprovecha en la transferencia de calor, un alto valor de temperatura indica que el flujo de agua o el nivel de agua que está en la caldera está por debajo del adecuado, lo cual traduce que no se está aprovechando bien la energía del combustible, por ende la eficiencia de la caldera disminuye con el aumento de la temperatura de los gases de chimenea, por otra parte las temperaturas altas tienen un impacto ambiental considerable, puesto que favorecen al calentamiento global.

Una temperatura baja puede producir que los gases de combustión no puedan subir y distribuirse en la atmósfera si no quedan concentrados cerca de la zona de liberación al ambiente, lo que puede producir daños en la salud de las personas, adicionalmente se puede producir la precipitación de agua o ácidos en la chimenea lo que conlleva a problemas de corrosión.

Finalmente se puede concluir que el comportamiento de la temperatura respecto a la eficiencia es lineal e indirectamente proporcional, como el flujo de aire, en donde para aumentar la eficiencia se debe reducir la temperatura de chimenea.

**Gráfico 7.** Análisis de sensibilidad de la temperatura de los gases de chimenea.



**Fuente:** elaboración propia.

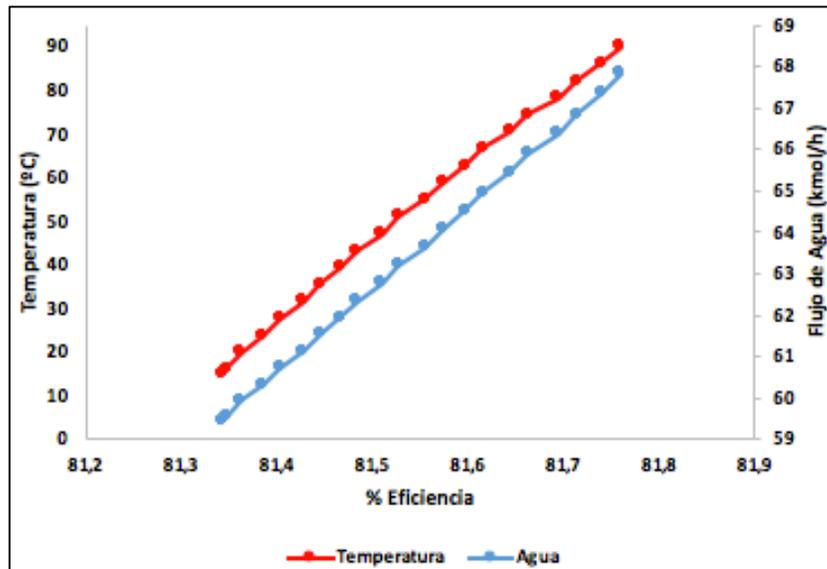
En el Gráfico 8, se evalúa el impacto que tiene la temperatura del agua de alimentación en la eficiencia de la caldera, con el fin de cumplir con las especificaciones de diseño el análisis de sensibilidad mantiene constante la temperatura de chimenea, el porcentaje de purga y el flujo de aire.

Para interpretar este parámetro se debe tener en consideración que la caldera se asume como 3 intercambiadores de calor, el primero lleva el agua sub-enfriada a saturada, por lo cual al calentar anteriormente el agua de alimentación disminuye el consumo energético de este intercambiador, en consecuencia, se puede producir mayor cantidad de vapor aprovechando la energía que se ahorra el combustible en aportar energía sensible al agua de alimentación.

La temperatura del agua tiene un impacto positivo en la eficiencia de la caldera, pero puede presentar un comportamiento negativo debido a que esta al acercarse a su punto de saturación puede provocar cavitación en la bomba, en consecuencia, la máxima temperatura teórica de alimentación esta referenciada a la temperatura de saturación o para evitar este problema el calentamiento del agua de alimentación debe ocurrir aguas debajo de la salida de la bomba.

Finalmente se evidencia que el comportamiento entre la temperatura del agua de alimentación y la eficiencia de la caldera tienen un comportamiento lineal y directamente proporcional, es decir que entre mayor es la temperatura del agua mayor es la eficiencia de la caldera.

**Gráfico 8.** Análisis de sensibilidad de la temperatura del agua de alimentación.



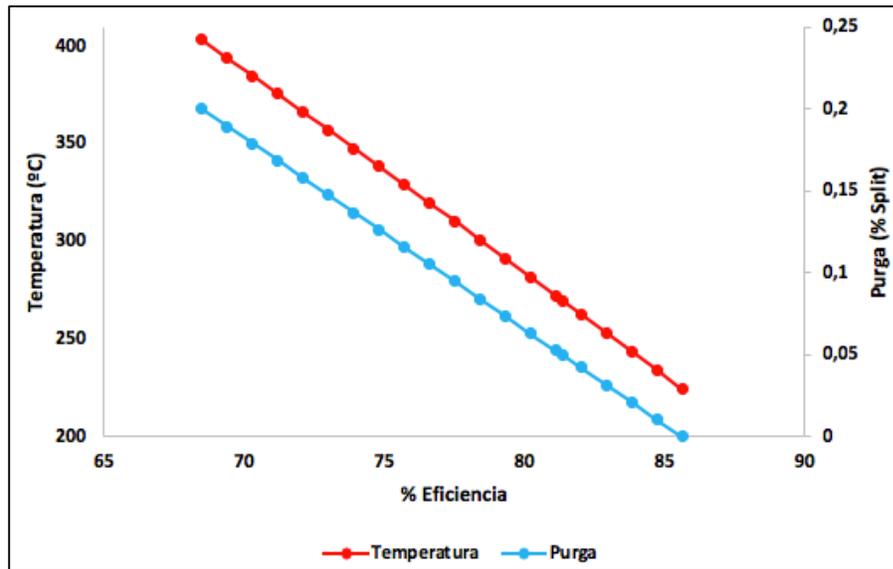
**Fuente:** elaboración propia.

Por último, en el Gráfico 9, se muestra el comportamiento que presenta la purga respecto la eficiencia, para lograr dicho análisis se mantiene constante el flujo de agua y de aire.

La purga es un parámetro que ayuda a la limpieza de la caldera, en la cual un alto flujo de purga garantiza que el coeficiente global de transferencia de calor no se afecte por incrustaciones, pero el flujo que se pierde en la caldera no es aprovechado, se pierde energía porque el agua de purga es principalmente agua saturada, por lo cual el calor sensible que aporta el combustible para calentar el agua es perdido en la purga. En caso contrario si la purga no se hace constante, la caldera aumentaría su eficiencia teóricamente como se muestra en el gráfico, pero como se explicó anteriormente, debido a las incrustaciones en la caldera la transferencia de calor se dificulta y se requerirá consumir mayor combustible para poder producir un flujo constante de vapor.

Finalmente, el comportamiento de la purga respecto la eficiencia, tiene un comportamiento lineal e inversamente proporcional, es decir que entre mayor es el flujo de la purga, la eficiencia del sistema disminuye.

**Gráfico 9.** Análisis de sensibilidad del Split de la purga.



**Fuente:** elaboración propia.

**4.2.3 Pérdidas de calor por tubería.** Las pérdidas de calor por tubería del sistema de generación de vapor, son consecuentes por la falta de recubrimiento de la tubería con aislante, en donde la energía es pérdida por convección y radiación con el ambiente.

Para calcular las pérdidas de calor, es requerido calcular los coeficientes internos y externos de convección, con el fin de identificar el tipo de flujo se calcula el número de Reynolds o el número de Rayleigh cuando la convección es natural.

**Ecuación 14.** Numero de Reynolds.

$$Re = \frac{\rho D v}{\mu}$$

**Fuente:** CENGEL, Yunus. Transferencia de Calor y Masa. 3 ed. Mexico: McGraw-Hill. 2007. p. 413.

**Ecuación 15.** Numero de Grashof y Rayleigh.

$$Gr = \frac{9.81 \cdot \beta \cdot (T_s - T_{\infty 2}) \cdot D^3}{\vartheta^2}$$

$$Ra = Gr \cdot Pr$$

**Fuente:** CENGEL, Yunus. Transferencia de Calor y Masa. 3 ed. Mexico: McGraw-Hill. 2007. p. 510.

Posteriormente se calcula el número de Nusselt, con el fin de calcular posteriormente el coeficiente de convección, empleando las siguientes ecuaciones teniendo presente si la convección es forzada interna, forzada externa o natural externa; la ecuación de convección externa dependerá de la selección entre la forzada o natural la cual se calcula con la relación de  $Ra/Re^2$ .

Para la convección forzada interna se emplea la Ecuación 16, la cual corresponde a la correlación de Petukhov-Kirillov, esta se elige debido que tiene en cuenta los efectos de la rugosidad de la tubería y además los números de Reynolds (Re) y Prandtl (Pr) empleados están entre el rango de aplicación, finalmente esta correlación permite disminuir la incertidumbre y por lo cual da mejor exactitud para calcular las pérdidas de calor.

**Ecuación 16.** Número de Nusselt (convección forzada interna).

$$f = (1.58 \cdot \ln(Re) - 3.28)^{-2}$$

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{2}\right) \cdot Re \cdot Pr}{1.07 + 12.7 \cdot \left(\frac{f}{2}\right)^{1/2} \cdot (Pr^{2/3} - 1)} = \frac{hD}{K}$$

**Fuente:** HONGTAN LIU, Sadik Kakag. Heat Exchangers: selection, rating and thermal desing. 2 ed. United States of America: CRC Press LLC. 2002. p. 96.

Para determinar el número de Nusselt de la convección externa, se emplea la correlación de Churchill y Bernstein, la cual considera una convección forzada (Ecuación 17) y para la convección natural se emplea la Ecuación 18. Ambas ecuaciones son bastantes completas debido que tienen en cuenta los efectos del número de Reynolds (Re) o Rayleigh (Ra) y Prandtl (Pr), lo cual permite reducir el error y dar mas confiabilidad en los resultados obtenidos.

**Ecuación 17.** Número de Nusselt (convección forzada externa).

$$Nu = 0.3 + \frac{0.62Re^{0.5}Pr^{1/3}}{(1 + (0.4/Pr)^{2/3})^{1/4}} \left(1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{5/8}\right)^{4/5} = \frac{hD}{K}$$

**Fuente:** CENGEL, Yunus. Transferencia de Calor y Masa. 3 ed. Mexico: McGraw-Hill. 2007. p. 413.

**Ecuación 18.** Numero de Nusselt (convección natural externa).

$$Nu = \left( 0.6 + \frac{0.387Ra^{1/6}}{(1 + (0.559/Pr)^{9/16})^{8/27}} \right)^2 = \frac{hD}{K}$$

**Fuente:** CENGEL, Yunus. Transferencia de Calor y Masa. 3 ed. Mexico: McGraw-Hill. 2007. p. 511.

Para calcular las pérdidas de calor en la tubería, se emplea la Ecuación 19, y cuando la tubería es recubierta con un aislante se emplea la Ecuación 20, en ambas ecuaciones se puede apreciar que los términos del divisor son referentes a las resistencias térmicas presentes y en el denominador el diferencial de temperaturas representa la fuerza motriz de la transferencia de calor.

**Ecuación 19.** Calor perdido por tubería sin aislante.

$$\frac{Q}{L} = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})2\pi}{\frac{1}{h_i r_i} + \frac{\ln(r_e/r_i)}{K} + \frac{1}{h_e r_e}}$$

**Fuente:** elaboración propia.

**Ecuación 20.** Calor perdido por tubería con aislante.

$$\frac{Q}{L} = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})2\pi}{\frac{1}{h_i r_i} + \frac{\ln(r_e/r_i)}{K} + \frac{\ln(r_e + e/r_e)}{K_a} + \frac{1}{h_e(r_e + e)}}$$

**Fuente:** elaboración propia.

Con el fin de determinar la temperatura en la superficie de la tubería, se emplea Ecuación 21, la cual nos ayudara a determinar por medio de iteraciones la temperatura promedio del aire, en la cual se tiene que evaluar las propiedades de este.

**Ecuación 21.** Temperatura de pared del tubo.

$$T_s = T_{\infty 1} + \frac{Q}{2\pi L h_e (r_e + e)}$$

**Fuente:** elaboración propia.

Teniendo presente que se emplea en las líneas estudiadas el mismo tipo de tubería, se consolida la siguiente tabla, en donde se muestran los principales parámetros de la tubería.

**Tabla 23.** Parámetros de la tubería.

<b>Tubería</b>	<b>Acero</b>	
<b>Di (in)/(m)</b>	3	0.0762
<b>Do (in)/(m)</b>	3.5	0.0889
<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	0.004560367	
<b>K (W/m<sup>0</sup>C)</b>	45	
<b>E</b>	0.2	

**Fuente:** elaboración propia.

A raíz de que el flujo de vapor no es constante, se plantea realizar los cálculos teniendo presente el flujo mínimo y máximo de agua, mostrado en la Gráfico 3. Los flujos corresponden entre 0.5109 y 0.8441 kg/s, con la finalidad del estudio se emplearon flujos desde 0.4 a 1 kg/s.

Para realizar los cálculos se procede a obtener las propiedades del vapor a las condiciones promedio entre la salida de la caldera y la temperatura de salida al proceso, P=763.9462kPa y T=178°C.

**Tabla 24.** Propiedades del vapor.

<b>T (°C)</b>	<b>ρ (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cp (kJ/kg°C)</b>	<b>η x10<sup>-5</sup> (Pa s)</b>	<b>v x10<sup>-6</sup> (m2/seg)</b>	<b>K (W/m<sup>0</sup>C)</b>	<b>Pr</b>
170	3.965	2.435	1.469	3.705	0.03455	1.035
178	3.879	2.3854	1.503	3.8806	0.03493	1.0196
190	3.75	2.311	1.55	4.144	0.03551	0.996

**Fuente:** elaboración propia.

A partir de los flujos máxicos contemplados, se calcula el coeficiente convectivo interno como se muestra a continuación.

$$v = \frac{m}{A \rho} = \frac{0.4}{0.004560367 \cdot 3.879} = 22.6121 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{3.879 \cdot 0.0762 \cdot 22.6121}{1.503 \times 10^{-5}} = 444689.2878$$

$$f = (1.58 \cdot \ln(444689.2878) - 3.28)^{-2} = 0.00334$$

$$Nu = \frac{\left(\frac{0.00334}{2}\right) \cdot 444689.2878 \cdot 1.0196}{1.07 + 12.7 \cdot \left(\frac{0.00334}{2}\right)^{1/2} \cdot (1.0196^{2/3} - 1)} = 703.2087$$

$$h_i = \frac{703.2087 \cdot 0.03493}{0.0762} = 322.3501 \frac{W}{m^2K}$$

Para calcular el coeficiente convectivo externo, se debe determinar si prevalece la convección externa forzada por la velocidad del aire o si prevalece la convección natural externa. En donde por medio de un anemómetro, se determino que la velocidad del aire promedio corresponde a 0.8 m/s.

**Tabla 25.** Propiedades del aire.

T (°C)	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Cp (kJ/kg°C)	$\eta \times 10^{-5}$ (Pa s)	$\nu \times 10^{-5}$ (m <sup>2</sup> /seg)	K (W/m°C)	Pr
90	0.9718	1008	2.14	2.20	0.03024	0.7132
94.25	0.9608	1008.4249	2.1569	2.2456	0.03054	0.7123
100	0.9458	1009	2.18	2.31	0.03095	0.7111

**Fuente:** elaboración propia.

$$Gr = \frac{9.81 \cdot \frac{1}{94.25 + 273.15} \cdot (173.5 - 15) \cdot 0.0889^3}{(2.2456 \times 10^{-5})^2} = 5914604.327$$

$$Ra = 5914604.327 \cdot 0.7123 = 4212972.662$$

$$Re = \frac{0.9608 \cdot 0.0889 \cdot 0.8}{2.1569 \times 10^{-5}} = 3168.0697$$

Selección:

$$\frac{Ra}{Re^2} < 1 \text{ "Conveccion Forzada"}$$

$$\frac{4212972.662}{3168.0697^2} = 0.42 < 1 \text{ "Forzada"}$$

Se debe tener presente que cuando la convección es natural, se debe tener en cuenta las pérdidas de calor por radiación.

$$Nu = 0.3 + \frac{0.62 \cdot 3168.0697^{0.5} \cdot 0.7123^{1/3}}{(1 + (0.4/0.7123)^{2/3})^{1/4}} \left(1 + \left(\frac{3168.0697}{282000}\right)^{5/8}\right)^{4/5} = 29.0029$$

$$h_i = \frac{29.0029 \cdot 0.03054}{0.0889} = 9.9634 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Posteriormente de obtener los coeficientes convectivos se procede a calcular el calor perdido.

$$\frac{Q}{L} = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})2\pi}{\frac{1}{h_i r_i} + \frac{\text{Ln}(r_e/r_i)}{K} + \frac{\text{Ln}(r_e + e/r_e)}{K_a} + \frac{1}{h_e(r_e + e)}}$$

$$\frac{Q}{L} = \frac{(179 - 15)2\pi}{\frac{2}{322.3501 \cdot 0.0762} + \frac{\text{Ln}(0.0889/0.0762)}{45} + \frac{2}{9.9634 \cdot 0.0889}} = 439.8278 \text{ W/m}$$

Para determinar el calor con aislante, se repite el procedimiento agregando la resistencia que se genera al agregar el aislante. A partir de los diferentes flujos masicos evaluados se determina las pérdidas de calor promedio, las cuales son de 445.48 W/m.

Teniendo presente que en el manual de entrenamiento de la UOP y en la empresa Malvar Ingeniería, se aconseja el aislante de fibra de vidrio para el recubrimiento de las tuberías que prestan el servicio de vapor, debido a que soportan altas temperaturas y son resistentes ante la presencia de hongos y emisión de olores; adicionalmente su conductividad es aproximadamente de 0.03 W/m K.<sup>34</sup>

Con el fin de evidenciar el comportamiento de las pérdidas de calor respecto el flujo de vapor (1440 – 3600 kg/h) y el espesor de aislante (0 – 3 in), se construye una superficie de respuesta a través de los resultados obtenidos en la Tabla 26, la cual se muestra en el Gráfico 10.

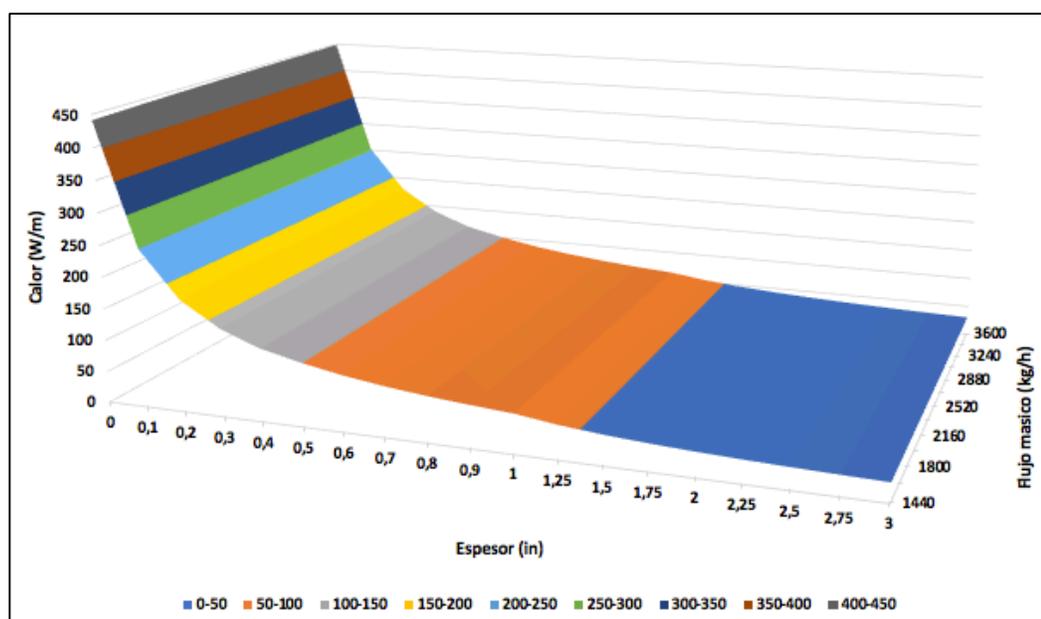
<sup>34</sup> MALVAR INGENIERIA. [sitio web]. Bogota: MALVAR Ingeniería, Aislamiento en Fibra de Vidrio. [Consulta: 10 mayo 2019]. Disponible en: [http://www.malvaringenieria.com/fibra\\_vidrio.html](http://www.malvaringenieria.com/fibra_vidrio.html).

**Tabla 26.** Resultados de la pérdida de calor (línea de vapor).

m / e	0	0.5	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3
1440	439.70	100.30	61.86	53.00	46.82	42.24	38.71	35.90	33.60	31.69	30.06
1620	441.10	100.38	61.89	53.02	46.83	42.25	38.72	35.91	33.61	31.69	30.07
1800	442.26	100.44	61.91	53.04	46.84	42.26	38.73	35.91	33.62	31.70	30.08
1980	443.23	100.48	61.93	53.05	46.86	42.27	38.74	35.92	33.62	31.70	30.08
2160	444.05	100.53	61.94	53.06	46.86	42.28	38.74	35.93	33.63	31.71	30.08
2340	444.76	100.56	61.96	53.07	46.87	42.29	38.75	35.93	33.63	31.71	30.09
2520	445.38	100.60	61.97	53.08	46.88	42.29	38.75	35.94	33.63	31.72	30.09
2700	445.93	100.62	61.98	53.09	46.89	42.30	38.76	35.94	33.64	31.72	30.09
2880	446.42	100.65	61.99	53.10	46.89	42.30	38.76	35.94	33.64	31.72	30.09
3060	446.85	100.67	62.00	53.10	46.90	42.30	38.76	35.94	33.64	31.72	30.10
3240	447.24	100.69	62.01	53.11	46.90	42.31	38.77	35.95	33.64	31.72	30.10
3420	447.60	100.71	62.01	53.11	46.90	42.31	38.77	35.95	33.65	31.73	30.10
3600	447.92	100.72	62.02	53.12	46.91	42.31	38.77	35.95	33.65	31.73	30.10

Fuente: elaboración propia.

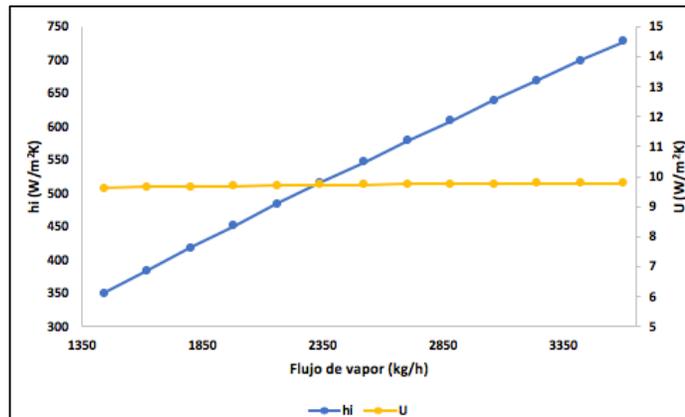
**Gráfico 10.** Superficie de respuesta para la pérdida de calor de la línea de vapor.



Fuente: elaboración propia.

A partir del Gráfico anterior, se concluye que la variación del flujo de vapor no influye en la pérdida de calor. Este comportamiento es dado puesto que el coeficiente convectivo del vapor ( $h_i$ ) incrementa, pero no perturba de manera significativa al coeficiente global de transferencia ( $U$ ), todo esto en consecuencia de que la resistencia predominante ante la transferencia de calor está determinada por el coeficiente de convección exterior (ver Gráfico 11).

**Gráfico 11.** Comportamiento de  $h_i$  y  $U$ , sin aislante.



**Fuente:** elaboración propia.

La pérdida de calor es sensible ante el espesor de aislante, lo cual se explica por medio de la resistencia térmica que presenta este y el impacto que este tiene en el coeficiente global de convección. Como se observa en el Gráfico 10, el espesor se convierte en un parámetro de diseño indispensable, en el cual la reducción de calor perdido se disminuye considerablemente con un pequeño espesor (aprox. 0.5 in), se puede asumir que el comportamiento de la pérdida de calor respecto al espesor es exponencial, y por ende a pesar del espesor del aislante el calor nunca puede disminuir a un valor de 0 W/m.

**4.2.4 Propuesta.** Luego del estudio del funcionamiento del sistema de generación de vapor y de la identificación de las diferentes variables críticas junto con su comportamiento y efecto sobre la eficiencia del sistema, se pudo determinar los parámetros de operación a manipular. Del mismo modo, también se pudo detallar las pérdidas de calor presentadas en las tuberías, dichas pérdidas pueden ser controladas por medio del espesor económico de aislamiento, análisis que se presentará a continuación. Todo esto con el objetivo de aumentar la eficiencia de la caldera y disminuir los costos de operación para la generación de vapor que requiere la planta.

**4.2.4.1 Variables de operación.** A partir de la tesis de maestría en sistemas energéticos “Definición de una metodología de diagnóstico en eficiencia energética aplicable a calderas convencionales de vapor” realizada por Daniel Hincapié Baena<sup>35</sup>, del artículo “Evaluación de la generación de vapor de la fábrica de refrescos 23 de Agosto, en Camagüey” realizada por Amaury Pérez<sup>36</sup> y otros colaboradores y el artículo técnico “Análisis de la eficiencia en calderas” realizado por Arnulfo Oelker Behn. Se logró establecer los parámetros más adecuados de operación, en los que se consideró el exceso de aire, la temperatura de chimenea, porcentaje de purga y la temperatura de alimentación del agua de alimentación.<sup>37</sup>

El exceso de aire, como se ha mencionado anteriormente tiene un impacto significativo en la calidad de combustión que se presenta y en la eficiencia de la caldera, este parámetro varía principalmente dependiendo del tipo de combustible y del tipo de quemador que se utilice. Teniendo presente que se emplea como combustible gas natural y el quemador es de tiro forzado, se debe emplear un exceso de aire entre 10 y 15 %. Teniendo presente las formulas mostradas en el Capítulo 2, se determina que la fracción de oxígeno (O<sub>2</sub>) para un exceso de aire de 15% en base seca en los gases de combustión deberá corresponder a 2.56%.

Para lograr este objetivo se recomienda ajustar la presión del combustible, la potencia del impulsor de aire y la posición del quemador. Con el fin de tener control y seguimiento de esta variable se puede realizar mediciones de O<sub>2</sub> o CO<sub>2</sub>, de los gases de chimenea o productos de la combustión.

La temperatura de chimenea, es el parámetro más sensible en la eficiencia de la caldera, se asume que para gas natural las pérdidas de esta clase están alrededor del 18%. Según la literatura la temperatura de chimenea debe estar por encima 50 °C de la temperatura de saturación del agua, teniendo esto presente la temperatura de chimenea adecuada corresponde aproximadamente a 220 °C, para asegurar que no se precipiten gases ácidos y que no se forme una atmosfera contaminante en los alrededores de la chimenea, la temperatura se pone como parámetro a 230 °C. Para controlar esta variable se debe ajustar el flujo de agua o combustible en la caldera o quemador, según corresponda, adicionalmente el lazo de control debe contemplar un lazo cerrado (feedback), donde su sensor corresponde un medidor de temperatura de chimenea, el cual retroalimentara el comparador con el set point.

El porcentaje de purga, afecta la cantidad de agua/vapor, lo que conlleva a la reducción de la eficiencia, para definir este parámetro se debe contemplar el tratamiento de agua y el mecanismo de purgas (continuas o intermitentes). Cuando

---

<sup>35</sup> HINCAPIE BAENA. Op. cit., p. 55.

<sup>36</sup> PEREZ, Amaury. Op. cit., p. 7–11.

<sup>37</sup> OELKER BEHN, Arnulfo. Análisis de la eficiencia en calderas. p. 1-12. Santiago, Chile: Thermal Engineering LTDA, 2015.

el sistema es continuo se emplea lazos de control los cuales tienen medición sobre alguna característica del agua, lo que garantiza unas óptimas condiciones del agua y por ende una bajo índice de incrustaciones. Cuando las purgas son intermitentes o purgas manuales, se debe contar con operadores capacitados para mantener adecuados los parámetros del agua de caldera.

Como se evidencia en la Tabla 10, los parámetros del agua de recirculación de la caldera son altos, por ende, es aconsejable la instalación de sistemas de purga continua (lazos de control) o emplear una purga intermitente constante; como al emplear un sistema de purga, la eficiencia de la caldera disminuye se puede considerar incorporar sistemas recuperadores de calor. Se estima que un adecuado tratamiento de agua y un buen manejo de la purga se ahorran cerca de 1% de combustible.

Finalmente, la temperatura de alimentación del agua, se evalúa en sistemas recuperadores de calor, en donde para enfriar el condensado, recuperar calor de la purga o aprovechar una corriente caliente de la planta, se calienta la corriente de alimentación utilizando un intercambiador de calor (principalmente tubos y coraza) y así mismo aumentar la eficiencia. Debido a las condiciones de la planta se recomienda evaluar esta posibilidad para emplear como corriente caliente el agua que sale de las lavadoras las cuales están impactando las torres de enfriamiento y posteriormente la neutralización con Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) en PTAR.

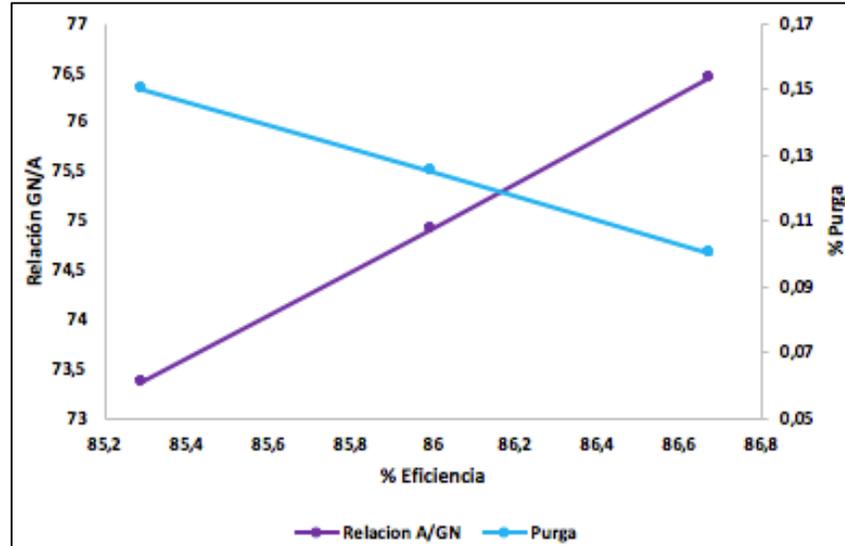
Con el fin de evaluar las mejoras en el sistema de generación de vapor, se procede a calcular la eficiencia por medio del simulador Aspen Plus, en el cual se toma como escenario base la simulación explicada anteriormente. Se modifica específicamente el flujo de aire, el porcentaje de purga y la temperatura de chimenea de la simulación, debido a que estas variables pueden ser manipuladas y corregidas en planta fácilmente, la implementación del sistema recuperador de calor no se estudia porque se requiere un estudio de ingeniería básica para determinar la viabilidad de la recomendación.

De la simulación realizada, se determina que la relación molar de aire y gas natural es de 12.0339, para los escenarios evaluados. Posteriormente para evidenciar cómo se comporta el sistema en diferentes escenarios se estudió cuando se varía el porcentaje de purga entre 1% y 1.5%, como se observa en el Gráfico 12.

Como se ha mencionado el porcentaje de purga disminuye la eficiencia del sistema, pero garantiza que exista una buena calidad de agua en el interior de la caldera y por ende se previene la formación de incrustaciones, lo cual conlleva a una buena transferencia de calor entre los gases de combustión y el agua. Analizando este comportamiento por medio del balance de masa se recomendaría que se debe incrementar el flujo de agua en la misma proporción que la purga, pero analizando el problema mediante un balance de energía, se evidencia que se pierde energía por medio del calor sensible en la corriente de purga por ende el agua que se debe

reponer en la corriente de alimentación disminuye lo que conlleva a tener una disminución lineal en la eficiencia.

**Gráfico 12.** Resultados obtenidos de la recomendación.



**Fuente:** elaboración propia.

Finalmente, a partir del análisis de sensibilidad del Gráfico 12, se propone el escenario de 12.5% de purga, en el que se obtendría una eficiencia de 85.9964%, una relación volumétrica de gas natural y agua de 74.9077 y un índice de generación de 14.08; esto produce un impacto positivo en el sistema de generación de vapor, debido a su incremento en la eficiencia e índice de generación lo que conlleva a la reducción de consumo de gas natural.

**4.2.4.2 Aislamiento.** Para determinar el espesor óptimo económico de aislamiento, se emplea la metodología que se desarrolla en el artículo “Procedure for the selection of maximum pipe thickness for efficient thermal insulation in piping with steam trace” de Amauris Gilbert Hernández y otros colaboradores. La metodología consiste en calcular los costos de inversión y de ahorro que se generan en cada espesor de aislante evaluado, con el fin de encontrar una igualdad entre estos dos valores a lo que corresponderá al espesor óptimo.<sup>38</sup>

Según la Guía técnica: Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos, el costo de inversión se puede determinar o aproximar aplicando la Ecuación 22, en el cual la función depende del radio nominal de la

<sup>38</sup> HERNÁNDEZ, Amauris, et al. Procedure for the selection of maximum pipe thickness for efficient thermal insulation in piping with steam trace. p. 21-37. Revista Minería y Geología [en línea]. 2016, abril-junio, 32 (2). [Consultado 19 mayo 2019]. ISSN 19938012. Disponible en: <http://www.redalyc.org/jatsRepo/2235/223545820009/html/index.html>.

tubería ( $r_i$ ), el espesor de aislante ( $e$ ) y dos parámetros adicionales  $B$  y  $A$ , que corresponden a la cantidad de material utilizado (función del perímetro total) y otro función del costo de instalación (independiente del espesor).<sup>39</sup>

**Ecuación 22.** Costo de inversión (aislante).

$$CI \left( \frac{\$}{m} \right) = (2\pi(r_i + e))(B \cdot e + A)$$

**Fuente:** IDEA. Guía técnica: Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos. p. 26. [en línea]. Madrid: Eficiencia y ahorro energético, 2007. [Citado el 19 de mayo de 2019]. Disponible en: [https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Gu%C3%ADAs%20técnicas/Guia\\_Disen%C3%ADo\\_Aislamiento.pdf](https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Gu%C3%ADAs%20técnicas/Guia_Disen%C3%ADo_Aislamiento.pdf). ISBN 978-84-96680-08-1.

Para poder calcular el costo asociado a la pérdida de calor representativo en el presente se emplea el coeficiente actual del valor neto “ $t$ ”, el cual se determina con la Ecuación 23, en el que “ $i$ ” corresponde a la tasa de inflación, “ $d$ ” al DTF y “ $n$ ” es el periodo de vida útil de la instalación.<sup>40</sup>

**Ecuación 23.** Coeficiente actual del valor neto.

$$t = \frac{1 + 0.01 \cdot i}{1 + 0.01 \cdot d} \qquad VAN = \frac{t^n - 1}{t - 1}$$

**Fuente:** IDEA. Guía técnica: Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos. p. 26. [En línea]. Madrid: Eficiencia y ahorro energético, 2007. [Citado el 19 de mayo de 2019]. Disponible en: [https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Gu%C3%ADAs%20técnicas/Guia\\_Disen%C3%ADo\\_Aislamiento.pdf](https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Gu%C3%ADAs%20técnicas/Guia_Disen%C3%ADo_Aislamiento.pdf). ISBN 978-84-96680-08-1.

En la Ecuación 24, se muestra la fórmula para determinar el costo asociado a la pérdida de calor, el cual depende del coeficiente actual de valor neto (VAN), el flujo de calor ( $Q$ ), el costo asociado a la energía representativa del sistema ( $E$ ) y el factor  $Z$ , el cual corresponde a las horas de operación de la línea durante un año.<sup>41</sup>

<sup>39</sup> IDEA. Guía técnica: Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos. p. 26. [en línea]. Madrid: Eficiencia y ahorro energético, 2007. [Citado el 19 de mayo de 2019]. Disponible en: [https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Gu%C3%ADAs%20técnicas/Guia\\_Disen%C3%ADo\\_Aislamiento.pdf](https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Gu%C3%ADAs%20técnicas/Guia_Disen%C3%ADo_Aislamiento.pdf). ISBN 978-84-96680-08-1.

<sup>40</sup> Ibid., p. 25.

<sup>41</sup> HERNÁNDEZ. Op. cit., p. 29.

**Ecuación 24.** Costo asociado a la pérdida de calor.

$$CF \left( \frac{\$}{m} \right) = Q \cdot Z \cdot VAN \cdot E$$

**Fuente:** HERNÁNDEZ, Amauris, et al. Procedure for the selection of maximum pipe thickness for efficient thermal insulation in piping with steam trace. p. 21-37. Revista Minería y Geología [en línea]. 2016, abril–junio, 32 (2). [Consultado 19 mayo 2019]. ISSN 19938012. Disponible en: <http://www.redalyc.org/jatsRepo/2235/223545820009/html/index.html>.

Finalmente para seleccionar el espesor óptimo económico se emplea la Ecuación 25, en donde se debe emplear diversas iteraciones variando el espesor del aislante, el resultado se seleccionara cuando los valores del ahorro e incremento sean iguales o cuando la diferencia entre ellos sea cero o cercana.<sup>42</sup>

**Ecuación 25.** Parámetros de evaluación del método.

$$\begin{aligned} \text{Ahorro} &= CF_{i+1} - CF_i \\ \text{Incremento} &= CI_{i+1} - CI_i \\ \text{Diferencia} &= \text{Ahorro} - \text{Incremento} \end{aligned}$$

**Fuente:** elaboración propia.

En donde  $CF_i$  es el costo asociado a la pérdida de calor con un valor inicial y  $CF_{i+1}$  es el costo asociado a la pérdida de calor para el dato de la siguiente iteración. Conjuntamente  $CI_i$  corresponde al costo de inversión del aislante con un valor inicial mientras que  $CI_{i+1}$  es el costo de inversión del aislante para la siguiente iteración.

Teniendo presente que la instalación del aislante tiene un estimado de vida útil de 10 años y según las cifras del Banco de la Republica, el IPC tiene un valor promedio de 3.18% y el DTF de 5.7%. A partir de los datos anteriores se calcula el VAN, como se muestra a continuación.

$$t = \frac{1 + 0.01 \cdot 3.18}{1 + 0.01 \cdot 5.7} = 0.9762 \qquad VAN = \frac{0.9762^{10} - 1}{0.9762 - 1} = 8.9942$$

A partir de los valores suministrados por la empresa Malvar Ingeniería, los cuales corresponden al costo de inversión por metro para una tubería comercial de 3 in. Se estima la función del costo de inversión, la cual se muestra a continuación.

---

<sup>42</sup> Ibid., p. 30.

**Ecuación 26.** Costo de inversión para Fibra de Vidrio.

$$CI \left( \frac{\$}{m} \right) = (2\pi(1.5 + e))(-100.0403 \cdot e + 5020.2016)$$

**Fuente:** elaboración propia.

Empleando la Ecuación 18 y los parámetros mostrados en la Tabla 23 y la Tabla 27 se calcula el costo asociado a las pérdidas de calor (CF). El costo de la energía es calculado a partir del costo del gas natural y su poder calorífico. Los coeficientes convectivos de transferencia de calor, son valores promedio de los escenarios estudiados.

**Tabla 27.** Parámetros para calcular el EOA (línea de vapor).

Parámetros	
T1 (°C)	179
T2 (°C)	15
K (W/m K)	0.03
hi (W/m <sup>2</sup> K)	544.3272
he (W/m <sup>2</sup> K)	9.4596
Z (h/año)	8000
E (\$/Wh)	5.8036x10 <sup>-2</sup>

**Fuente:** elaboración propia.

A continuación, se realiza un cálculo representativo para calcular los parámetros: energía, costo asociado a la pérdida de calor y el costo de inversión cuando el espesor del aislante es de 1 in. Posteriormente en la Tabla 28, se muestran los resultados obtenidos y el rango en el que se encuentra el espesor óptimo de aislamiento (EOA).

$$R_1 = \frac{1}{544.3272 \cdot 0.0381} = 0.04822 \text{ } ^\circ\text{C m/W}$$

$$R_2 = \frac{\text{Ln}\left(\frac{0.04445}{0.0381}\right)}{45} = 3.4256 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C m/W}$$

$$R_3 = \frac{\text{Ln}\left(\frac{0.04445 + 0.0254}{0.04445}\right)}{0.03} = 15.0662 \text{ } ^\circ\text{C m/W}$$

$$R_4 = \frac{1}{9.4596(0.04445 + 0.0254)} = 1.5134 \text{ } ^\circ\text{C m/W}$$

$$R_T = 16.6312 \text{ } ^\circ\text{C m/W}$$

$$\frac{Q}{L} = \frac{(179 - 15)2\pi}{16.6312} = 61.96 \text{ W/m}$$

$$CF = 61.96 \cdot 8000 \cdot 5.8036 \times 10^{-2} \cdot 8.9942 = 258685.94 \text{ \$/m}$$

$$CI = (2\pi(1.5 + 1))(-100.0403 \cdot 1 + 5020.2016) = 77285.71 \text{ \$/m}$$

**Tabla 28.** Resultados obtenidos para determinar el EOA (línea de vapor).

Espesor (in)	Energía (W/m)	CF (\$/m)	Ahorro	CI (\$/m)	Incremento	Diferencia
1	61.96	258685.94	-	77285.71	-	-
1.2	54.61	228009.91	30676.03	83129.14	5843.43	24.83
1.4	49.15	205204.33	22805.58	88922.29	5793.14	17.01
1.6	44.92	187553.98	17650.35	94665.14	5742.86	11.91
1.8	41.55	173466.37	14087.61	100357.71	5692.57	8.40
2	38.79	161945.45	11520.92	106000.00	5642.29	5.88
2.2	36.49	152336.07	9609.38	111592.00	5592.00	4.02
2.4	34.54	144189.48	8146.58	117133.71	5541.71	2.60
2.6	32.86	137187.89	7001.59	122625.14	5491.43	1.51
2.8	31.40	131099.84	6088.05	128066.29	5441.14	0.65
3	30.12	125752.71	5347.12	133457.14	5390.86	-0.04
3.2	28.98	121015.12	4737.59	138797.71	5340.57	-0.60
3.4	27.97	116785.23	4229.89	144088.00	5290.29	-1.06
3.6	27.06	112982.91	3802.32	149328.00	5240.00	-1.44
3.8	26.24	109544.18	3438.73	154517.71	5189.71	-1.75
4	25.49	106417.36	3126.82	159657.14	5139.43	-2.01

**Fuente:** elaboración propia.

En conclusión, se puede determinar que el espesor óptimo para el recubrimiento de la línea de vapor corresponde a un valor entre el espesor de 2.8 a 3 in, puesto que en estos valores es donde la diferencia entre el ahorro y el incremento son lo más cercanos a cero, punto mínimo del costo total que indica un equilibrio entre los costos asociados a la pérdida de calor y a la inversión para el aislante. Debido a que en el mercado es más comercial el espesor de 3 in, se selecciona dicho valor,

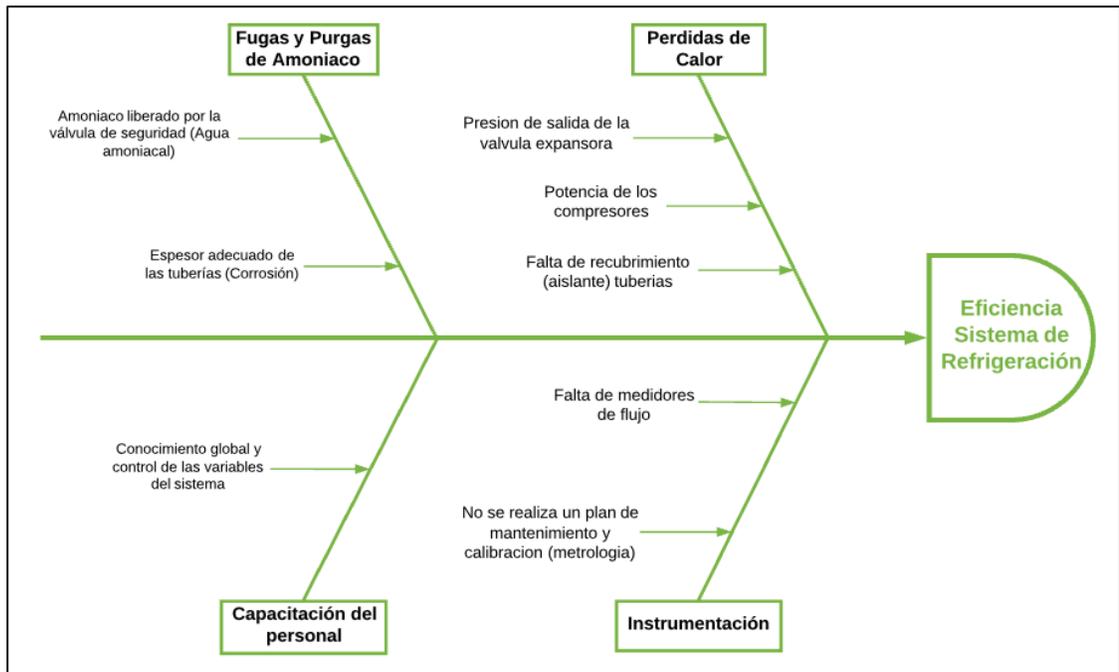
en este se presenta una pérdida de calor de 30.12 W/m, es decir que la pérdida de calor se reduce un 93.24% lo que corresponde a 415.36 W/m.

### 4.3 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

A partir del diagnóstico realizado en el Capítulo 2, se logra identificar las falencias que presenta el sistema y las oportunidades de mejora que existen. Según la metodología Kaizen, la identificación del problema es clave para la generación de ideas, por lo cual se emplea el esquema de espina de pescado para dicho fin, como se hizo anteriormente.

**4.3.1 Identificación de la causa raíz.** En la Figura 16, se evidencia que los problemas asociados a la eficiencia del sistema de refrigeración corresponden a fugas y purgas del sistema, capacitación del personal, instrumentación y pérdidas de calor en el sistema. A partir del esquema se identifica grandes oportunidades de mejora en el sistema, desde la identificación, compresión y manipulación de los parámetros operativos, el estudio de la implementación de recubrimiento en la tubería y el aprovechamiento del agua amoniacal en el proceso.

**Figura 16.** Esquema de espina de pescado, sistema de refrigeración.



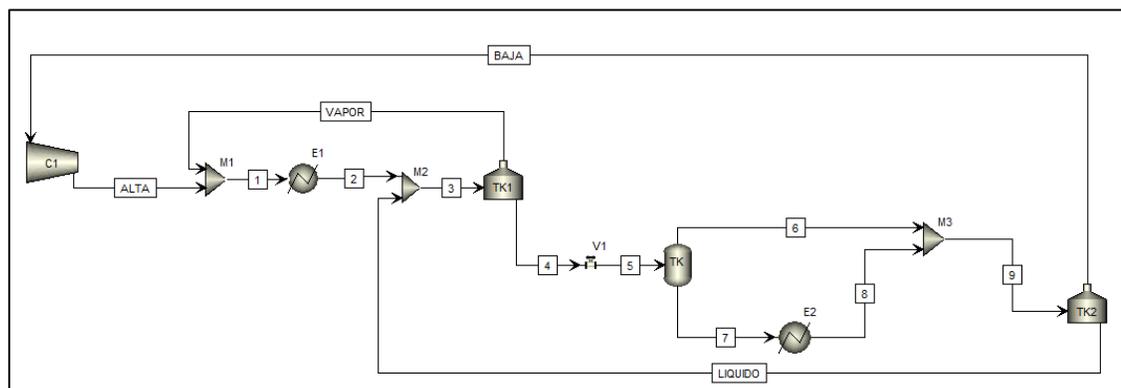
**Fuente:** elaboración propia.

**4.3.2 Simulación del proceso.** La simulación y modelación del sistema de refrigeración permiten obtener la eficiencia del sistema actual y también evidenciar como se afecta esta con los parámetros de operación como lo son la temperatura del líquido de alta y la presión de salida de la válvula expansiva. Cabe recalcar que los parámetros asignados en la simulación corresponden a los datos conseguidos en el diagnostico del sistema de refrigeración por Amoniaco.

**4.3.2.1 Desarrollo.** La simulación se desarrolla en el simulador Aspen Plus, en el que se cargan los componentes: ammonia ( $\text{NH}_3$ ) y water ( $\text{H}_2\text{O}$ ), se elige como paquete termodinámico REFPROP, que es ideal para refrigerantes por la amplia capacidad de la base de datos que posee para este tipo de componentes.<sup>43</sup>

Posteriormente se construye el esquema mostrado en el Diagrama 12, teniendo presente que las recirculaciones no deben ser aun conectadas, si no se deben instalar corrientes independientes. Para lograr la convergencia de la simulación, se deben realizar iteraciones para obtener los datos de entrada de las recirculaciones. Por esta razón la simulación se realiza en dos partes.<sup>44</sup>

**Diagrama 12.** Sistema de enfriamiento (Aspen Plus).



**Fuente:** Simulador Aspen Plus.

La primera parte tiene como datos de entrada la corriente “baja”, la cual corresponde a vapor de Amoniaco de baja presión, se especifica con los siguientes parámetros: presión (402.071 kPa), temperatura (10 °C), flujo másico (1 kg/h) y una composición molar de Amoniaco de 0.9999 y de agua  $1 \times 10^{-4}$ .

El compresor “C1” se especifica como isotrópico con una eficiencia de 0.75 y una presión de salida de 1108.59 kPa, después se especifica el enfriador “E1” con una fracción de vapor de 0.01 a la salida de este y se asume que no presenta pérdidas de presión, luego se instala un separador flash “TK1” el cual es adiabático y no

<sup>43</sup> CARISON. Op. cit., p. 36–38.

<sup>44</sup> GIL. Op. cit., p. 10–20.

presenta caídas de presión. Después se corre la simulación y a partir de los resultados obtenidos se monta un mezclador “M1” y la corriente de reciclo en donde se ingresan los resultados obtenidos de la corriente de vapor, luego de obtener una convergencia se realiza al menos 2 iteraciones más para cerrar el reciclo, el cual se logra eliminando la corriente de entrada y conectando en el mezclador “M1” la corriente de vapor.

En la segunda parte, se instala la válvula “V1”, la cual se especifica con la presión de salida la cual corresponde a 402.071 kPa, luego se instala un separador flash “TK”, este es un tanque adiabático y sin caídas de presión. El intercambiador “E2” se configura con una temperatura de salida de 10.7 °C y sin caídas de presión.

Posteriormente se instala un mezclador “M3” en el cual se conecta la corriente gaseosa del separador flash “TK” y la salida del intercambiador “E2”, finalmente se conecta un tanque flash “TK2”. Adicionalmente para lograr obtener en la corriente 9 una temperatura de 10 °C se establece una especificación de diseño en la cual se hace variar la temperatura de salida del intercambiador “E2”.

Después de correr la simulación se procede a realizar las iteraciones para poder cerrar las recirculaciones de las corrientes tituladas como: baja y líquido.

**4.3.2.2 Interpretación de los parámetros críticos.** A partir de la simulación realizada en el ítem anterior, se construyen dos análisis de sensibilidad<sup>45</sup>, con el fin de visualizar el comportamiento de las variables críticas del sistema las cuales son: la presión de salida del compresor, la presión de salida de la válvula de expansión y la temperatura de salida del condensador o torre de enfriamiento.

En primer lugar, la presión de salida de compresión es de gran impacto en el sistema, debido a que un desajuste de esta puede afectar el sistema en su totalidad. Por medio de la compresión, se logra alcanzar los puntos de condensación establecidos en el condensador y posteriormente alcanzar las propiedades termodinámicas (entalpía) adecuadas en el carboenfriador, en conclusión, esta variable se debe considerar como un parámetro fijo en el sistema y por ende su control y seguimiento se debe asegurar con medidores.

En el Gráfico 13, se aprecia el impacto que tiene la presión de salida de la válvula de expansión, en el que a mayor presión de salida la eficiencia del sistema aumenta, como se puede observar en el eje derecho del gráfico, en el lado izquierdo se observa la variable que se modifica directamente con la presión de salida la cual corresponde a la fracción de vapor, cuyo valor disminuye a mayor presión de salida.

---

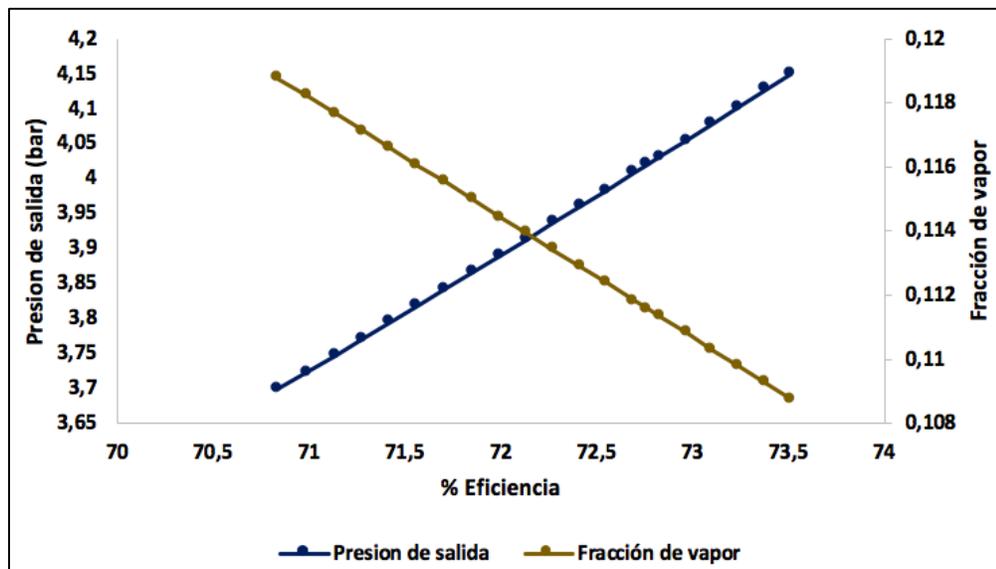
<sup>45</sup> Ibid., p. 38–43.

La presión de salida se puede relacionar también con el diferencial de presión de la válvula, al presentar menor caída de presión en la válvula la calidad de la mezcla disminuye debido a que la entalpia del líquido saturado será mayor a presiones más altas, cabe aclarar que la entalpia del Amoniaco a la salida de la válvula permanecerá constante y como para definir termodinámicamente una corriente se requieren dos propiedades, la presión de salida definirá directamente el estado de la corriente y al ser mayor la entalpia del líquido saturado a presiones más altas, significa que fracción de vapor disminuirá.

La limitante de dicha variable surge en el intercambiador de calor, en el que al aumentar la presión la temperatura de la corriente aumentara, lo que determina que la media logarítmica de temperaturas disminuye y por ende se requiere una mayor área del intercambiador o un mayor flujo de Amoniaco para satisfacer la demanda energética, como el área del intercambiador es un parámetro fijo el flujo de Amoniaco debe ser la variable de respuesta ante dicha variable.

Finalmente se puede concluir que el comportamiento de la presión de salida respecto la eficiencia es lineal y directamente proporcional, por ende, para aumentar la eficiencia se debe aumentar la presión de salida de la válvula o disminuir el diferencial de presión.

**Gráfico 13.** Análisis de sensibilidad de la presión de salida de la válvula.



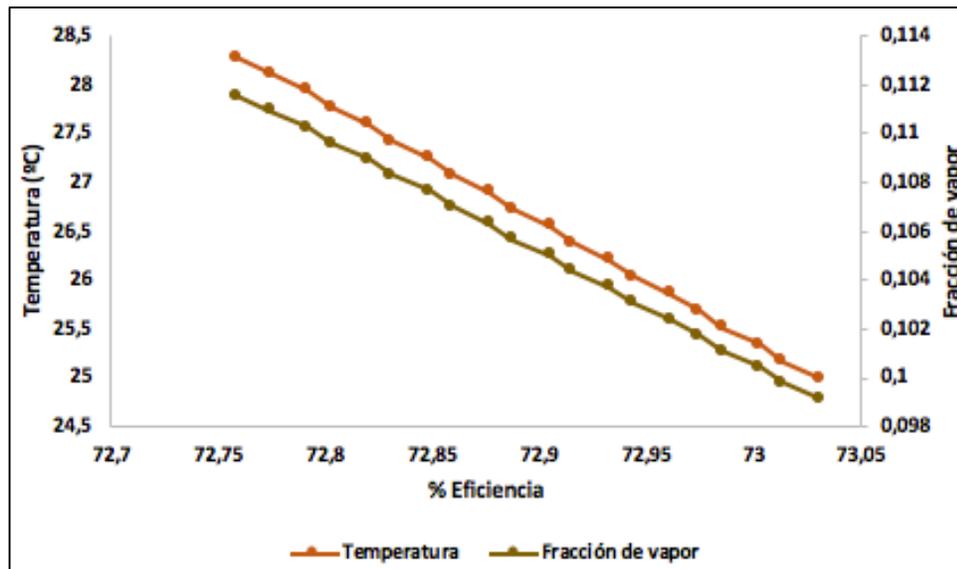
**Fuente:** elaboración propia.

En el Gráfico 14, se muestra el comportamiento de la temperatura de salida del condensador con la eficiencia, y como en el Gráfico 13, la variable directa que se afecta es la fracción de vapor.

Se evidencia que a menor temperatura la eficiencia del sistema aumenta, este suceso es similar que en el anterior caso, solo que en este análisis de sensibilidad se afecta directamente la entalpia de entrada de la válvula, cuya corriente es especificada con las propiedades termodinámicas de la presión y la temperatura, en donde la presión es un parámetro fijo y en dicho análisis la temperatura varia ocasionando que la entalpia del Amoniaco disminuya debido a que se retira calor de la corriente, y como se mencionó anteriormente la entalpia de entrada a la válvula es la misma que la de salida por el efecto Joule Thompson.

Finalmente se puede concluir que el comportamiento de la temperatura respecto la eficiencia es lineal e indirectamente proporcional, por lo tanto, para aumentar la eficiencia se debe disminuir la temperatura de salida del condensador.

**Gráfico 14.** Análisis de sensibilidad de la temperatura de salida del condensador.



Fuente: elaboración propia.

**4.3.3 Pérdidas de calor por tubería.** Las pérdidas de calor por tubería del sistema de refrigeración son estudiadas a partir de dos líneas, la línea 1, que corresponde a la tubería que se emplea para succionar el gas de baja presión hacia los compresores y la línea 2, que corresponde al Amoniaco líquido de baja presión que sale de la válvula de expansión. Estas pérdidas son causadas por la falta de recubrimiento de la tubería con aislante, ocasionado por los mecanismos de convección y radiación con el ambiente principalmente.

Para calcular las pérdidas de calor en las líneas de Amoniaco, se repite el procedimiento empleado en la línea de vapor, empleando las propiedades del Amoniaco y las de aire a la temperatura promedio entre la temperatura de superficie

de la tubería y la ambiental. En donde se logro determinar que aproximadamente las pérdidas de calor para la línea 1, son de 13.56 W/m y de la línea 2 de 47.04 W/m.

Teniendo presente que en el manual de entrenamiento de la UOP y en la información brindada por la empresa Malvar Ingeniería, se aconseja el aislante de poliuretano para procesos fríos, que se caracteriza por su baja conductividad térmica y su gran resistencia a la absorción de agua, lo que conlleva a ofrecer una alta eficiencia en el aislamiento térmico con gran durabilidad. Su conductividad térmica se puede estimar a 0.023 W/m K.<sup>46</sup>

Con el fin de evidenciar el comportamiento de las pérdidas de calor en la línea 1 y 2, respecto el flujo de Amoniaco (100 – 3600 kg/h) y el espesor de aislante (0 – 3 in), se construye dos superficies de respuesta a través de los resultados obtenidos en la Tabla 29 y 30, los cuales se muestran en el Gráfico 15, para la línea 1 y el Gráfico 16, para la línea 2.

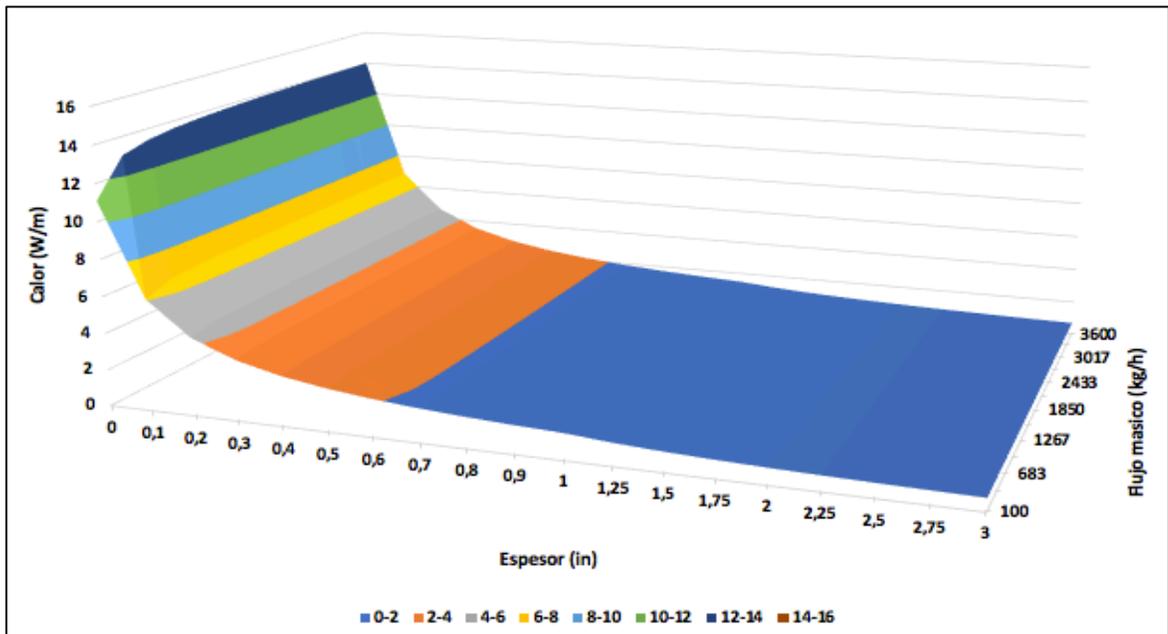
**Tabla 29.** Resultados de las pérdidas de calor (succión del compresor).

m / e	0	0.5	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3
<b>100</b>	10.63	2.31	1.42	1.22	1.07	0.97	0.89	0.82	0.77	0.73	0.69
<b>392</b>	12.74	2.40	1.45	1.24	1.09	0.98	0.90	0.84	0.78	0.74	0.70
<b>683</b>	13.24	2.41	1.46	1.24	1.10	0.99	0.90	0.84	0.78	0.74	0.70
<b>975</b>	13.47	2.42	1.46	1.25	1.10	0.99	0.90	0.84	0.78	0.74	0.70
<b>1267</b>	13.61	2.42	1.46	1.25	1.10	0.99	0.91	0.84	0.78	0.74	0.70
<b>1558</b>	13.71	2.43	1.46	1.25	1.10	0.99	0.91	0.84	0.78	0.74	0.70
<b>1850</b>	13.77	2.43	1.46	1.25	1.10	0.99	0.91	0.84	0.79	0.74	0.70
<b>2142</b>	13.83	2.43	1.46	1.25	1.10	0.99	0.91	0.84	0.79	0.74	0.70
<b>2433</b>	13.87	2.43	1.47	1.25	1.10	0.99	0.91	0.84	0.79	0.74	0.70
<b>2725</b>	13.90	2.43	1.47	1.25	1.10	0.99	0.91	0.84	0.79	0.74	0.70
<b>3017</b>	13.92	2.43	1.47	1.25	1.10	0.99	0.91	0.84	0.79	0.74	0.70
<b>3308</b>	13.95	2.44	1.47	1.25	1.10	0.99	0.91	0.84	0.79	0.74	0.70
<b>3600</b>	13.97	2.44	1.47	1.25	1.10	0.99	0.91	0.84	0.79	0.74	0.70

**Fuente:** elaboración propia.

<sup>46</sup> MALVAR INGENIERIA. [sitio web]. Bogota: MALVAR Ingeniería, Aislamiento en Cañuela en Poliuretano. [Consulta: 24 mayo 2019]. Disponible en: <http://www.malvaringenieria.com/poliuretano.html>.

**Gráfico 15.** Superficie de respuesta para las pérdidas de calor de la línea de succión del compresor.



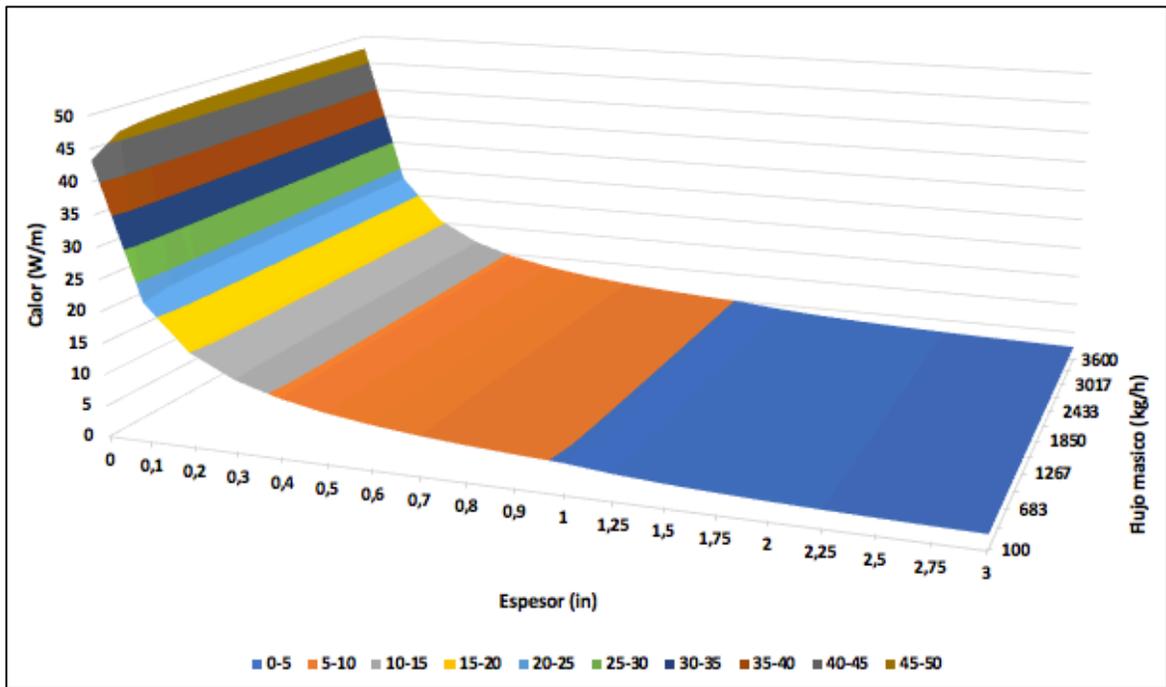
**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 30.** Resultados de las pérdidas de calor (salida de la válvula).

m / e	0	0.5	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3
100	43.81	8.09	4.89	4.18	3.68	3.32	3.04	2.81	2.63	2.48	2.35
392	46.35	8.17	4.92	4.20	3.70	3.33	3.05	2.82	2.64	2.49	2.36
683	46.90	8.19	4.93	4.20	3.70	3.33	3.05	2.82	2.64	2.49	2.36
975	47.15	8.20	4.93	4.21	3.70	3.33	3.05	2.83	2.64	2.49	2.36
1267	47.31	8.20	4.93	4.21	3.70	3.33	3.05	2.83	2.64	2.49	2.36
1558	47.41	8.20	4.94	4.21	3.70	3.34	3.05	2.83	2.64	2.49	2.36
1850	47.48	8.21	4.94	4.21	3.71	3.34	3.05	2.83	2.64	2.49	2.36
2142	47.54	8.21	4.94	4.21	3.71	3.34	3.05	2.83	2.64	2.49	2.36
2433	47.58	8.21	4.94	4.21	3.71	3.34	3.05	2.83	2.64	2.49	2.36
2725	47.61	8.21	4.94	4.21	3.71	3.34	3.05	2.83	2.64	2.49	2.36
3017	47.64	8.21	4.94	4.21	3.71	3.34	3.05	2.83	2.64	2.49	2.36
3308	47.67	8.21	4.94	4.21	3.71	3.34	3.05	2.83	2.64	2.49	2.36
3600	47.69	8.21	4.94	4.21	3.71	3.34	3.05	2.83	2.64	2.49	2.36

**Fuente:** elaboración propia.

**Gráfico 16.** Superficie de respuesta para las pérdidas de calor en la línea de Amoniaco líquido de baja.



**Fuente:** elaboración propia.

Como se puede observar, el calor perdido presenta una variación notable respecto al flujo, esto es debido a que cuando el flujo de Amoniaco es bajo el número de Reynolds baja, acercándose a la zona de transición y por ende el coeficiente de convección interno reduce significativamente su valor. Adicionalmente se evidencia que el comportamiento de la pérdida de calor respecto al espesor es exponencial, y por ende a pesar del espesor del aislante el calor nunca puede disminuir a un valor de 0 W/m, practicante después de un espesor de 0.6 y 1 in, la pendiente respecto las pérdidas de calor y el espesor se vuelve insignificante en cada paso.

**4.3.4 Propuesta.** Una vez terminado el estudio al sistema de refrigeración fue posible determinar el impacto de las variables de operación y de las pérdidas de calor que se presentan en las tuberías del sistema. Siguiendo la metodología empleada para la generación de vapor, se plantearon las propuestas para la refrigeración con Amoniaco que se presentaran a continuación, con el fin de mejorar la eficiencia, estabilidad en la operación del sistema y disminuir costos de producción de la planta.

**4.3.4.1 Variables de operación.** Se puede concluir que los parámetros críticos del sistema son difíciles de manipular ya que directamente afectan todo el sistema de refrigeración puesto que al ser un sistema ciclo se puede ocasionar problemas en cascada y por ende las variables no se pueden manipular para lograr un aumento en la eficiencia del sistema. Adicionalmente modificar una variable del proceso impactaría en el diseño de los equipos como son en las áreas de transferencia de calor o en el coeficiente Cv de las válvulas.

Debido a esto para mejorar la eficiencia del sistema, se aconseja a realizar el seguimiento al sistema, en especial el sistema de compresor, debido que una perturbación en este generara un impacto directo al sistema.

**4.3.4.2 Aislamiento.** Para calcular el espesor óptimo de aislamiento se emplea la metodología explicada en la sección de vapor, teniendo presente que los costos energéticos se asocian al de energía eléctrica, en vista de que la energía suministrada en el sistema se debe principalmente a la energía gastada en la compresión del gas, y también que para el costo de inversión se emplea la siguiente formula, la cual corresponde al aislamiento con poliuretano para una tubería comercial de 3 in.

**Ecuación 27.** Costo de inversión para Poliuretano.

$$CI \left( \frac{\$}{m} \right) = (2\pi(1.5 + e))(-321.3414 \cdot e + 3484.7354)$$

**Fuente:** elaboración propia.

Adicionalmente para el cálculo del costo asociado a la pérdida de calor, se emplea el mismo valor del coeficiente actual del valor neto (VAN), calculado en la sección de vapor, el cual corresponde a un valor de 8.9942.

**\* Línea de succión del compresor.** Para el desarrollo de la metodología se emplean los datos mostrados en la Tabla 31, en el que el precio de la energía se calcula a partir de la eficiencia del sistema y el costo por kWh del tarifario de Codensa.

En la Tabla 32, se muestra los resultados obtenidos, en donde el espesor económico de aislante corresponde a un valor de 1in, obteniendo un valor para las pérdidas de calor de 1.47 W/m, es decir que la reducción de calor corresponde a 12.09 W/m o a 89.16%. Para este espesor se requiere una inversión de \$ 49'690 por metro.

**Tabla 31.** Parámetros para calcular el EOA (succión del compresor).

Parámetros	
T1 (°C)	15
T2 (°C)	10
K (W/m K)	0.023
hi (W/m <sup>2</sup> K)	417.1638
he (W/m <sup>2</sup> K)	8.3108
Z (h/año)	8000
E (\$/Wh)	0.1636

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 32.** Resultados obtenidos para determinar el EOA (succión del compresor).

Esesor (in)	Energía (W/m)	CF (\$/m)	Ahorro	CI (\$/m)	Incremento	Diferencia
0.5	2.40	28221.57	-	41771.43	-	-
0.6	2.11	24810.13	3411.44	43436.00	1664.57	1.75
0.7	1.89	22229.65	2580.48	45060.19	1624.19	0.96
0.8	1.72	20208.09	2021.57	46644.00	1583.81	0.44
0.9	1.58	18580.53	1627.56	48187.43	1543.43	0.08
1	1.47	17241.19	1339.33	49690.48	1503.05	-0.16
1.1	1.37	16119.11	1122.09	51153.14	1462.67	-0.34
1.2	1.29	15164.86	954.25	52575.43	1422.29	-0.47
1.3	1.22	14343.00	821.86	53957.33	1381.90	-0.56
1.4	1.16	13627.42	715.58	55298.86	1341.52	-0.63
1.5	1.10	12998.47	628.95	56600.00	1301.14	-0.67

Fuente: elaboración propia.

\* **Línea de Amoniaco líquido de baja.** Para calcular el espesor económico de aislante se utilizan los valores mostrados en la Tabla 33.

**Tabla 33.** Parámetros para calcular el EOA (salida válvula).

Parámetros	
T1 (°C)	15
T2 (°C)	-1.814
K (W/m K)	0.023
hi (W/m <sup>2</sup> K)	1077.5384
he (W/m <sup>2</sup> K)	8.3337
Z (h/año)	8000
E (\$/Wh)	0.1636

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 34, se muestra los resultados obtenidos, en donde el espesor económico de aislante corresponde a un valor de 2.2 in, punto en el que se presenta el equilibrio de los costos, obteniendo un valor para las pérdidas de calor de 2.88 W/m, es decir que la reducción de calor corresponde a 44.16 W/m o a 93.88%. Para este espesor se requiere una inversión de \$ 64'577 por metro.

**Tabla 34.** Resultados obtenidos para determinar el EOA (salida válvula).

Espesor (in)	Energía (W/m)	CF (\$/m)	Ahorro	CI (\$/m)	Incremento	Diferencia
1.5	3.72	43776.78	-	56600.00	-	-
1.6	3.56	41896.73	1880.05	57860.76	1260.76	0.62
1.7	3.42	40218.62	1678.11	59081.14	1220.38	0.46
1.8	3.29	38710.99	1507.63	60261.14	1180.00	0.33
1.9	3.17	37348.63	1362.36	61400.76	1139.62	0.22
2	3.07	36111.08	1237.55	62500.00	1099.24	0.14
2.1	2.97	34981.57	1129.51	63558.86	1058.86	0.07
2.2	2.88	33946.22	1035.35	64577.33	1018.48	0.02
2.3	2.80	32993.45	952.77	65555.43	978.10	-0.03
2.4	2.73	32113.50	879.95	66493.14	937.71	-0.06
2.5	2.66	31298.12	815.38	67390.48	897.33	-0.08
2.6	2.60	30540.25	757.87	68247.43	856.95	-0.10
2.7	2.54	29833.84	706.41	69064.00	816.57	-0.11
2.8	2.48	29173.67	660.17	69840.19	776.19	-0.12

Fuente: elaboración propia.

**4.3.4.3 Aprovechamiento de agua amoniacal.** El sistema de generación de vapor presenta una válvula de seguridad que actúa automáticamente para aliviar la presión en exceso respecto al valor de referencia. Al abrirse ésta válvula libera Amoniacado que se mezcla con agua generando una solución de hidróxido de amonio que es desechado, desaprovechando las diferentes propiedades y usos que tiene esta agua amoniacal.

Es necesario realizar una titulación acidimétrica para poder hallar la concentración exacta del agua amoniacal producida por las fugas del sistema de refrigeración. Por lo general, el hidróxido de amonio se encuentra en concentraciones de hasta un 30% y es utilizado en productos de limpieza, fertilizantes, textiles, tintes para cabello, entre otros. Su uso se ve influenciado por la concentración que presenta la solución.

Dado el caso que la solución sea en concentraciones menores al 10% es recomendable utilizar el  $\text{NH}_4\text{OH}$  como agente microbiano en el tratamiento de aguas residuales o como producto de limpieza, ideal para limpiar vidrios, porcelanas y superficies de acero inoxidable. Esto con el objetivo de aprovechar dentro de la planta, el valor agregado de esta sustancia química que se está desperdiciando.

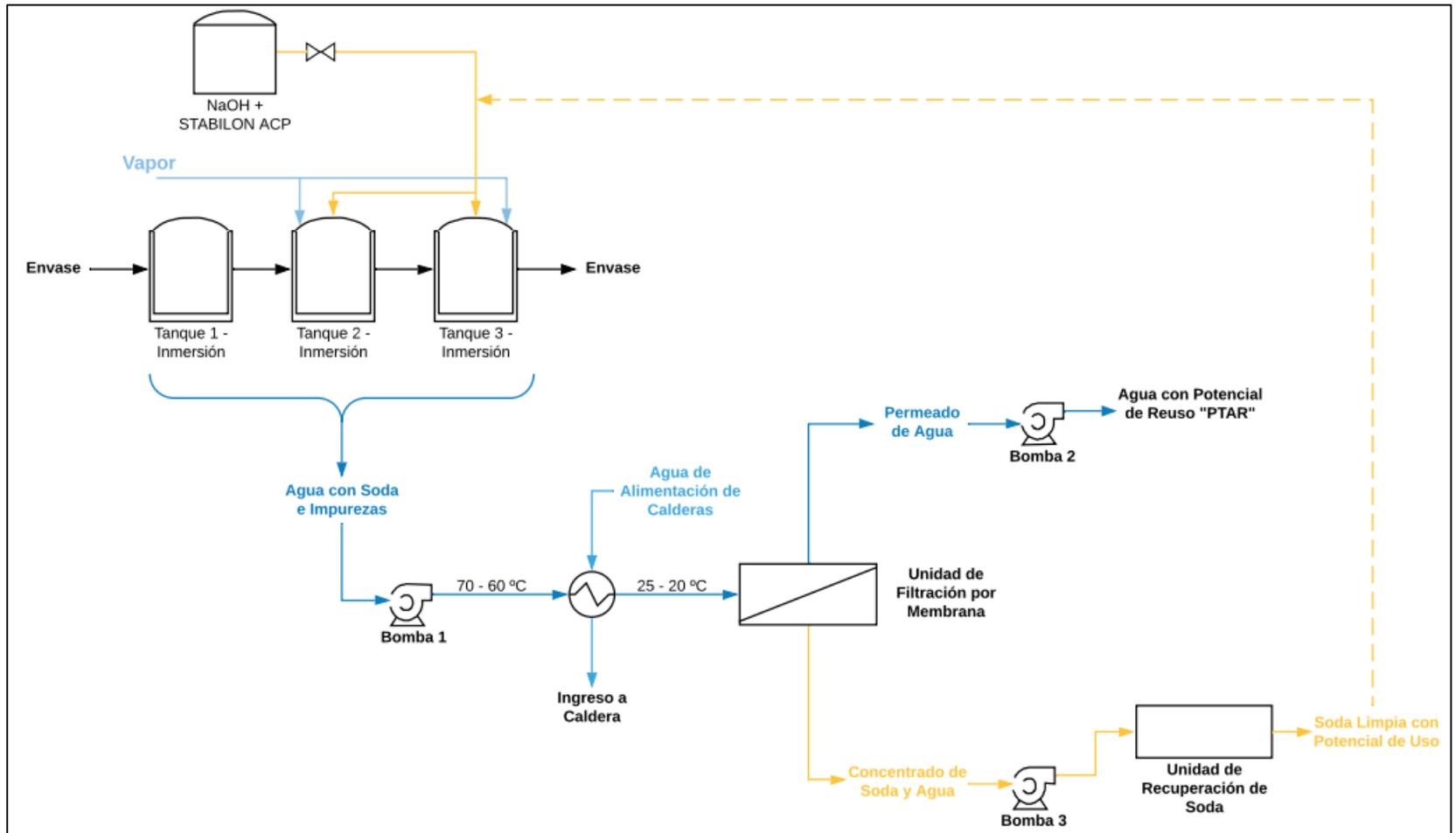
#### **4.4 OPORTUNIDAD GLOBAL DE LA EMPRESA**

A partir del estudio de los desperdicios de las materias primas e insumos y de las condiciones de operación de las líneas de servicio, se encontró una oportunidad para desarrollar una integración térmica entre diferentes corrientes para mejorar el proceso por medio de la recuperación máxima de energía.

Esta integración térmica, que se puede apreciar en el Diagrama 13 presentado a continuación, consiste en emplear un intercambiador de calor por el cual fluyan en contracorriente la solución de agua con soda e impurezas, que es el efluente del proceso de lavado de envases retornables, con el agua de alimentación de las calderas. De este modo se vería beneficiada la eficiencia de la caldera, el proceso de recuperación de soda y el consumo de Dióxido de Carbono para la neutralización de la solución de agua con hidróxido de sodio.

Al disminuir la temperatura del agua con soda e impurezas se reduce el consumo de  $\text{CO}_2$ , lo que mejora la solubilidad del gas, puesto que esta propiedad es inversamente proporcional a la temperatura de la solución. Por otra parte, al calentar el agua de alimentación de las calderas la eficiencia del sistema de generación de vapor incrementaría, como se pudo evidenciar en los análisis de sensibilidad realizados, en los que se aprecia que la temperatura del agua de alimentación es proporcional a la eficiencia de la caldera.

**Diagrama 13.** Propuesta de integración térmica y recuperación de Soda Caustica.



Fuente: elaboración propia.

#### 4.5 PROPUESTA SELECCIONADA

A partir del desarrollo de cada oportunidad encontrada de las materias primas, insumos y líneas de servicio seleccionadas en el Capítulo 3, se determinó que aquellas con mayor oportunidad son las propuestas generadas para líneas de servicio, debido a que estas presentan un impacto considerable en el proceso productivo de la empresa, ya que su ineficiencia afecta al proceso en general generando costos altos y desperdicios.

Adicionalmente se tiene presente que para la implementación de estas no se requiere un tiempo largo de ejecución por lo cual las propuestas seleccionadas son para realizar en tiempo corto.

La propuesta seleccionada consiste en implementar las variables de operación para el sistema de generación de vapor, las cuales consisten en emplear un exceso de aire de 15%, un porcentaje de purga de 12.5 y una temperatura de chimenea de 230 °C, en donde se consigue al modificar estos parámetros un aumento de la eficiencia a un valor de 85.9964% y un índice de generación de 14.08.

Posteriormente empleando la metodología mostrada por Amauris Hernández, del espesor económico de aislamiento, se selecciona emplear el recubrimiento de tres líneas, las cuales son: línea de vapor, línea de succión del compresor de gas de baja de Amoniaco y la línea de Amoniaco líquido de baja.

La línea de vapor se estudió con un recubrimiento con fibra de vidrio, con un espesor de 3 in generando así una reducción de pérdidas de calor de 93.24% lo que corresponde a 415.36 W/m, las líneas de Amoniaco se estudió con el recubrimiento de poliuretano, para la línea de succión de baja presión de amoniaco se empleara un espesor de 1 in generando una reducción de 89.16% es decir de 12.09 W/m y finalmente para la línea de Amoniaco líquido de baja presión se emplea un espesor de 2.2 in en el cual se reduce 93.88% lo que corresponde a 44.16 W/m.

## 5. ANÁLISIS FINANCIERO DE LA PROPUESTA DE MANEJO

A partir de la propuesta presentada en el capítulo anterior se realiza el análisis financiero para determinar la viabilidad de la propuesta, empleando los indicadores financieros del valor presente neto (VPN), tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficio costo (B/C).

### 5.1 DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DESCUENTO

Para la determinación de la tasa de descuento se emplea el índice de precios al consumidor (IPC) y el depósito a término fijo (DTF), para el IPC se emplea el proyectado por el DANE, el cual corresponde a un valor de 3.18%. El DTF se calcula como el promedio de los datos del último año que brinda el Banco de la República de Colombia, cuyo valor es de 5.7%. Adicionalmente se emplea como tasa interna (TI) un valor de 4.44%.

Posteriormente se calcula la tasa interna de oportunidad, la cual se calcula con la siguiente ecuación.

**Ecuación 28.** Tasa Interna de Oportunidad (TIO).

$$TIO = (1 + DTF) (1 + TI) - 1$$

**Fuente:** elaboración propia.

$$TIO = (1 + 0.057) (1 + 0.0444) - 1 = 0.1039$$

$$TIO = 10.39\%$$

Debido a que no se contempla una financiación por alguna entidad bancaria el costo medio ponderado de capital (WACC) es igual a la TIO, por tal motivo se emplea la siguiente ecuación para calcular la tasa de descuento.

**Ecuación 29.** Tasa de Descuento (TD).

$$TD = (1 + TIO) (1 + IPC) - 1$$

**Fuente:** elaboración propia.

$$TD = (1 + 0.1039) (1 + 0.0318) - 1 = 0.139$$

$$TD = 13.9\%$$

## 5.2 FLUJO DE CAJA DE LA PROPUESTA DE GENERACIÓN DE VAPOR

Los parámetros que se requieren para realizar el flujo de caja es el tiempo de vida útil de la instalación (10 años), la energía ahorrada (415.36 W/m) y el costo de inversión para el aislante de 3 in de fibra de vidrio calculado en el capítulo 4 (\$133,457 por metro).

La energía ahorrada, se obtienen a partir de la diferencia entre la energía pérdida sin aislante y con aislante de 3 in (ver Tabla 28).

$$\text{Energía Ahorrada} = 445.48 - 30.12 = 415.36 \text{ W/m}$$

Teniendo presente que para el desarrollo del flujo de caja se sobreestima un 20% el costo de inversión, el cual da un valor de \$160,149 por metro. Adicionalmente se estima que para el mantenimiento del recubrimiento corresponde a la décima parte de la inversión cada año. Para calcular el costo asociado al ahorro, se emplea la energía recuperada, el factor de operatividad ( $Z=8000$  horas) y el costo de la energía, se debe tener presente que se asume que el costo de energía asociado aumenta cada año debido a la inflación (3.18 %). En la Tabla 35 se muestra el flujo de caja.

$$\text{Costo de Inversión} = 1.2 \cdot \$133,457 = \$160,149 \text{ por metro}$$

$$\text{Mantenimiento} = \frac{\$160,149}{10} = \$16,015 \text{ por metro}$$

$$\text{Ahorro (1}^{\text{er}} \text{ año)} = 415.36 \cdot 8000 \cdot 5.8036 \times 10^{-2} = \$192,850 \text{ por metro}$$

$$\text{Costo (2}^{\text{do}} \text{ año)} = 5.8036 \times 10^{-2} \cdot (1 + 3.18\%) = 0.05988 \text{ \$/Wh}$$

$$\text{Ahorro (2}^{\text{do}} \text{ año)} = 415.36 \cdot 8000 \cdot 0.05988 = \$198,982 \text{ por metro}$$

$$\text{F. Neto (1}^{\text{er}} \text{ año)} = \$192,850 - \$16,015 = \$176,835 \text{ por metro}$$

$$VP_1 = \frac{\$176,835}{(1 + 0.139)^1} = \$155,248$$

Con el fin de calcular los indicadores económicos VPN, TIR y B/C, se emplean las ecuaciones 30, 31 y 32, posteriormente para evidenciar el comportamiento que presenta el proyecto durante los 10 años se construyó el Gráfico 17, en donde se muestra el valor presente acumulado contra el periodo de duración del proyecto, permitiendo visualizar de esta grafica el valor presente neto (VPN) y el tiempo de recuperación, posteriormente se grafica el valor presente neto (VPN) con respecto

a diferentes tasas de descuento (TD), de esta grafica se observa el comportamiento de la tasa interna de retorno (TIR).

**Tabla 35.** Flujo de caja de la propuesta de vapor.

Flujo de Caja						
Periodo	0	1	2	3	4	5
<b>Inversión</b>	-\$ 160,149	-	-	-	-	-
<b>Mantenimiento</b>	-	\$ 16,015	\$ 16,015	\$ 16,015	\$ 16,015	\$ 16,015
<b>Ahorro</b>	-	\$ 192,850	\$ 198,982	\$ 205,310	\$ 211,839	\$ 218,575
<b>Flujo Neto</b>	-\$ 160,149	\$ 176,835	\$ 182,967	\$ 189,295	\$ 195,824	\$ 202,560
<b>VP</b>	-\$ 160,149	\$ 155,248	\$ 141,024	\$ 128,092	\$ 116,335	\$ 105,648

6	7	8	9	10
-	-	-	-	-
\$ 16,015	\$ 16,015	\$ 16,015	\$ 16,015	\$ 16,015
\$ 225,526	\$ 232,698	\$ 240,097	\$ 247,732	\$ 255,610
\$ 209,511	\$ 216,683	\$ 224,082	\$ 231,717	\$ 239,595
\$ 95,935	\$ 87,108	\$ 79,087	\$ 71,799	\$ 65,178

**Fuente:** elaboración propia.

**Ecuación 30.** Valor Presente Neto.

$$VPN = Inversión + \sum_{j=1}^{10} \frac{F. Neto}{(1 + 0.139)^j}$$

**Fuente:** elaboración propia.

**Ecuación 31.** Tasa Interna de Retorno.

$$TIR \rightarrow Inversión + \sum_{j=1}^{10} \frac{F. Neto}{(1 + TIR)^j} = 0$$

**Fuente:** elaboración propia.

**Ecuación 32.** Relación Beneficio Costo.

$$B/C = \frac{\sum_{j=1}^{10} \frac{F. Neto}{(1 + 0.139)^j}}{Inversión}$$

**Fuente:** elaboración propia.

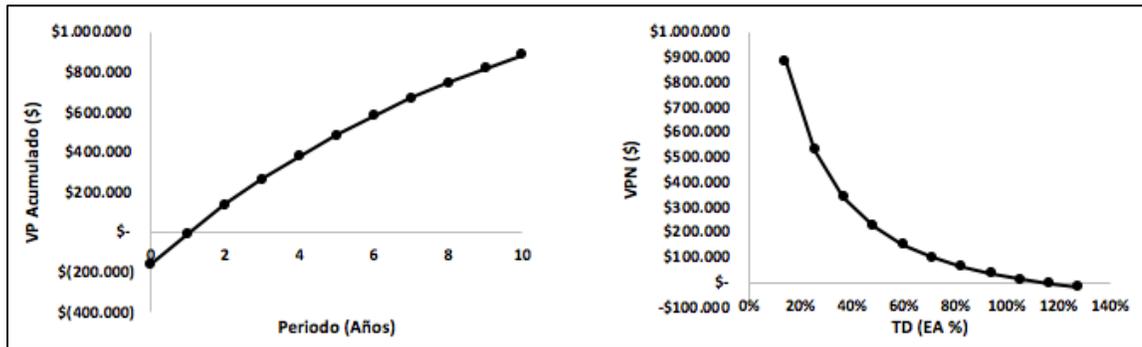
A continuación se muestran los cálculos pertinentes para calcular los indicadores económicos, teniendo presente que la TIR, se calcula por medio de iteraciones.

$$\text{VPN} = -\$ 160,149 + \$ 1,045,455 = \$ 885,306 \text{ por metro}$$

$$\text{TIR} = 113.80\%$$

$$\frac{B}{C} = \frac{\$ 1,045,455}{\$ 160,149} = 6.53$$

**Gráfico 17.** Tiempo de recuperación, VPN y TIR (Vapor).



**Fuente:** elaboración propia.

El VPN de la propuesta corresponde a \$885,306 por metro, el tiempo de recuperación es de aproximadamente 1 año, la TIR da un valor de 113.8% y finalmente el B/C es de 6.53. Teniendo presente lo anterior el proyecto es viable y presenta un gran margen de ganancias respecto a la inversión que se requiere hacer.

Posteriormente teniendo en cuenta el aumento de la eficiencia y el índice de generación de vapor se calcula una disminución de consumo de gas natural de 10.84 m<sup>3</sup>/h con un consumo de vapor de 2309 kg/h o de agua de alimentación de 55.48 m<sup>3</sup>/día. Debido a la reducción de combustible se puede considerar un ahorro de gas natural de \$54,054,310 por año, como se muestra en los siguientes cálculos.

$$IG = \frac{\dot{m}_{\text{vapor}}}{\dot{m}_{\text{Gas Natural}}}$$

$$\dot{m}_{\text{Gas Natural}} = \frac{\dot{m}_{\text{vapor}}}{IG}$$

$$\dot{m}_{\text{GN (Actual)}} = \frac{2309}{13.35} = 172.96 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{GN (Propuesta)}} = \frac{2309}{14.08} = 163.99 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{\text{Gas Natural (Ahorrada)}} = 172.96 - 163.99 = 8.97 \text{ kg/h}$$

$$8.97 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \left( \frac{1 \text{ m}^3}{0.8284 \text{ kg}} \right) = 10.84 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\text{Ahorro G. N} = 10.84 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \cdot 8000 \left( \frac{\text{h}}{\text{año}} \right) \cdot 623.32 \left( \frac{\$}{\text{m}^3} \right) = \$ 54,054,310 \text{ por año}$$

### 5.3 FLUJO DE CAJA DE LA PROPUESTA DE REFRIGERACIÓN

Los parámetros que se requieren para realizar los flujos de caja para las dos líneas estudiadas, son el tiempo de vida útil de la instalación (10 años), la energía ahorrada y el costo de inversión; empleando la misma metodología ya mencionada.

#### 5.3.1 Amoniaco gaseoso de baja presión (succión compresor)

A continuación, se muestran algunos cálculos representativos para la construcción del flujo de caja, teniendo presente las mismas premisas que en la línea de vapor, pero empleando el costo de energía asociado a energía eléctrica.

$$\text{Energía Ahorrada} = 13.56 - 1.47 = 12.09 \text{ W/m}$$

$$\text{Costo de Inversión} = 1.2 \cdot \$49,690 = \$59,629 \text{ por metro}$$

$$\text{Mantenimiento} = \frac{\$59,629}{10} = \$5,963 \text{ por metro}$$

$$\text{Ahorro (1}^{\text{er}} \text{ año)} = 12.09 \cdot 8000 \cdot 0.16356 = \$15,825 \text{ por metro}$$

$$\text{F. Neto (1}^{\text{er}} \text{ año)} = \$15,825 - \$5,963 = \$9,862 \text{ por metro}$$

$$VP_1 = \frac{\$ 9,862}{(1 + 0.139)^1} = \$8,658$$

**Tabla 36.** Flujo de caja de la propuesta de Amoniaco (succión).

Periodo	Flujo de Caja					
	0	1	2	3	4	5
<b>Inversión</b>	-\$ 59,629	-	-	-	-	-
<b>Mantenimiento</b>	-	\$ 5,963	\$ 5,963	\$ 5,963	\$ 5,963	\$ 5,963
<b>Ahorro</b>	-	\$ 15,825	\$ 16,328	\$ 16,847	\$ 17,383	\$ 17,936
<b>Flujo Neto</b>	-\$ 59,629	\$ 9,862	\$ 10,365	\$ 10,884	\$ 11,420	\$ 11,973
<b>VP</b>	-\$ 59,629	\$ 8,658	\$ 7,989	\$ 7,365	\$ 6,784	\$ 6,245

6	7	8	9	10
-	-	-	-	-
\$ 5,963	\$ 5,963	\$ 5,963	\$ 5,963	\$ 5,963
\$ 18,506	\$ 19,094	\$ 19,702	\$ 20,328	\$ 20,975
\$ 12,543	\$ 13,132	\$ 13,739	\$ 14,365	\$ 15,012
\$ 5,744	\$ 5,279	\$ 4,849	\$ 4,451	\$ 4,084

**Fuente:** elaboración propia.

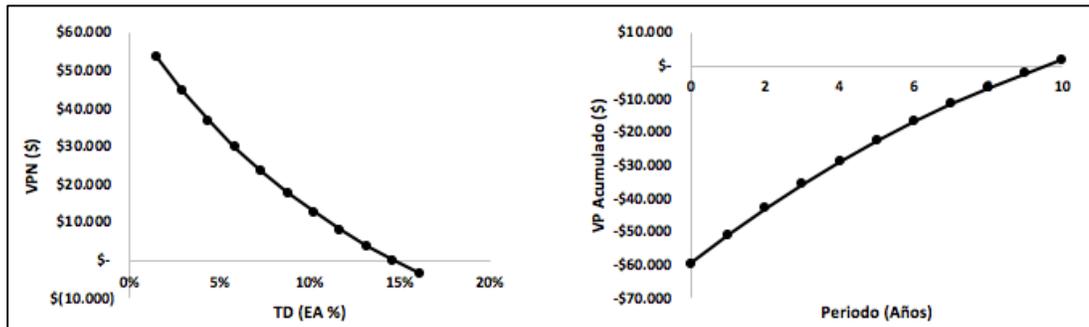
De la misma manera que en la línea de vapor, se emplean las ecuaciones 30, 31 y 32, para calcular los indicadores económicos, mostrados a continuación.

$$\text{VPN} = -\$ 59,629 + \$ 61,449 = \$ \mathbf{1,820 \text{ por metro}}$$

$$\text{TIR} = \mathbf{14.62\%}$$

$$\frac{B}{C} = \frac{\$ 61,449}{\$ 59,629} = \mathbf{1.03}$$

**Gráfico 18.** Tiempo de recuperación, VPN y TIR (Amoniaco - succión).



**Fuente:** elaboración propia.

El VPN de la propuesta corresponde a \$1,820 por metro, el tiempo de recuperación es de aproximadamente 9 años, la TIR da un valor de 14.62% y finalmente el B/C es de 1.03. Teniendo presente lo anterior el proyecto es viable pero no dejara un gran margen de ganancias, pero tendrá un impacto positivo en la eficiencia del sistema de refrigeración, debido que se asegura que no se caliente la corriente de succión del compresor, por lo cual se ahorra energía en el condensador.

### 5.3.2 Amoniaco liquido de baja presión (salida valvula)

De la misma manera que en la línea de amoniaco gaseoso de baja presión, se realiza el flujo de caja, con el objetivo de calcular los indicadores económicos lo que

ayuda a visualizar la rentabilidad de la propuesta y su comportamiento a través del tiempo.

$$\text{Energía Ahorrada} = 47.04 - 2.89 = 44.15 \text{ W/m}$$

$$\text{Costo de Inversión} = 1.2 \cdot \$64,577 = \$77,493 \text{ por metro}$$

$$\text{Mantenimiento} = \frac{\$77,493}{10} = \$7,749 \text{ por metro}$$

$$\text{Ahorro (1}^{\text{er}} \text{ año)} = 44.15 \cdot 8000 \cdot 0.16356 = \$57,771 \text{ por metro}$$

$$\text{F. Neto (1}^{\text{er}} \text{ año)} = \$57,771 - \$7,749 = \$50,022 \text{ por metro}$$

$$VP_1 = \frac{\$50,022}{(1 + 0.139)^1} = \$43,916$$

**Tabla 37.** Flujo de caja de la propuesta de Amoniaco (válvula).

Flujo de Caja						
Periodo	0	1	2	3	4	5
<b>Inversión</b>	-\$ 77,493	-	-	-	-	-
<b>Mantenimiento</b>	-	\$ 7,749	\$ 7,749	\$ 7,749	\$ 7,749	\$ 7,749
<b>Ahorro</b>	-	\$ 57,771	\$ 59,608	\$ 61,504	\$ 63,460	\$ 65,478
<b>Flujo Neto</b>	-\$ 77,493	\$ 50,022	\$ 51,859	\$ 53,754	\$ 55,710	\$ 57,728
<b>VP</b>	-\$ 77,493	\$ 43,916	\$ 39,971	\$ 36,375	\$ 33,097	\$ 30,109

6	7	8	9	10
-	-	-	-	-
\$ 7,749	\$ 7,749	\$ 7,749	\$ 7,749	\$ 7,749
\$ 67,560	\$ 69,708	\$ 71,925	\$ 74,212	\$ 76,572
\$ 59,811	\$ 61,959	\$ 64,176	\$ 66,463	\$ 68,823
\$ 27,388	\$ 24,908	\$ 22,650	\$ 20,594	\$ 18,722

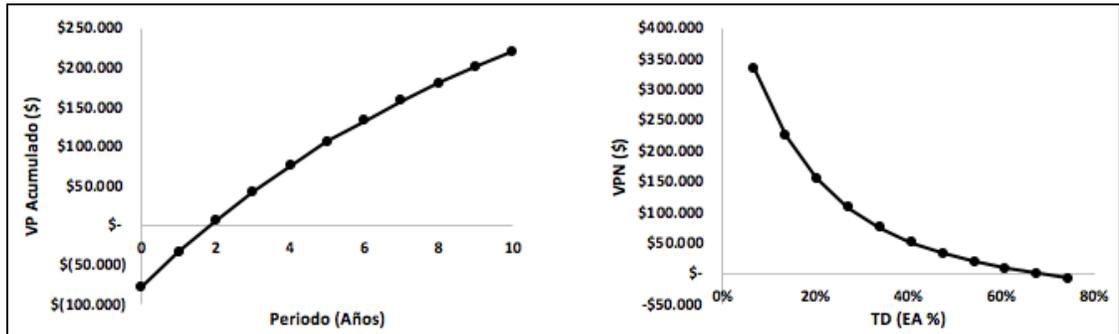
**Fuente:** elaboración propia.

$$VPN = -\$77,493 + \$297,731 = \$220,238 \text{ por metro}$$

$$TIR = 67.67\%$$

$$\frac{B}{C} = \frac{\$297,731}{\$77,493} = 3.84$$

**Gráfico 19.** Tiempo de recuperación, VPN y TIR (Amoniaco - válvula).



**Fuente:** elaboración propia.

El VPN de la propuesta corresponde a \$220,238 por metro, el tiempo de recuperación es de aproximadamente 2 años, la TIR da un valor de 67.67% y finalmente el B/C es de 3.84. Teniendo presente lo anterior el proyecto es viable y deja un amplio margen de ganancias con respecto la inversión.

#### 5.4 ANÁLISIS FINANCIERO

A partir de los indicadores económicos calculados para las 3 líneas estudiadas, se logra comprobar que el recubrimiento con aislante para cada una de ellas es viable, en donde para la línea de vapor se plantea el recubrimiento con fibra de vidrio, para las líneas de Amoniaco con poliuretano.

A pesar de que los tres VPN fueron positivos, en donde se presenta mejor ganancia es en la línea de vapor (\$885,306), posteriormente en la línea de Amoniaco liquido de baja presión (\$220,238) y finalmente la línea de Amoniaco gaseoso de baja presión (\$1,820).

Adicionalmente a partir de la TIR, se puede apreciar la estabilidad que presenta el proyecto en donde para la línea de vapor (113.8%) y de Amoniaco liquido de baja presión (67.67%), se presenta un buen margen de rentabilidad de 99.9% y 53.77% respectivamente.

Por lo anterior la implementación de la propuesta beneficiara económicamente y técnicamente a la empresa de bebidas, el beneficio económico se da por medio del ahorro de energía eléctrica y química (gas natural), mientras que el beneficio técnico es debido a que por medio del aislante se logra obtener mejoras en términos de HSEQ en la planta y sobre todo en mantener o estabilizar las condiciones de operación del sistema de generación de vapor y del sistema de refrigeración por Amoniaco.

## 6. CONCLUSIONES

- De acuerdo con el diagnóstico realizado sobre la situación actual en cuanto al manejo de las materias primas, insumos y líneas de servicio, se reconocieron 173 sustancias químicas utilizadas en los diferentes procesos de producción gracias a los diagramas de flujo y a la construcción de la matriz de sustancias y productos químicos; de las cuales se pudo identificar un total de 15 sustancias, para realizar el caso de estudio y determinar su potencial de mejora, siendo posible al tener en consideración su área de uso, cantidad empleada y su impacto dentro del proceso de producción. Adicionalmente se identificaron oportunidades para las líneas de servicio de generación de vapor y refrigeración por Amoniaco para así mejorar su eficiencia y disminuir su consumo energético.
- A partir de la matriz de selección se identificaron las materias primas e insumos, con mayor impacto en términos de calidad, seguridad, medio ambiente y costos de los procesos. Es así como se pudo seleccionar el Nitrógeno líquido, Carbonato de Sodio, Hidróxido de Sodio y Dióxido de Carbono como aquellas sustancias químicas con potencial para realizar una propuesta de mejora, identificando sus oportunidades de mejora y los impactos que presenta cada sustancia en el área o áreas de uso.
- Se formularon las propuestas de mejora para cada una de las sustancias químicas seleccionadas. En el caso del Nitrógeno líquido se identificó la solución al problema de evaporación parcial del gas en su dosificación, para el Carbonato de Sodio la necesidad de una estandarización y automatización en la preparación de la solución, en cuanto el Hidróxido de Sodio una automatización para controlar la concentración de la solución por medio de la implementación de instrumentación así como también un sistema de recuperación de soda y agua por medio de una unidad de filtración de membrana, por último, para el Dióxido de Carbono la oportunidad de plantear una integración térmica para mejorar su solubilidad en el proceso de neutralización que se lleva a cabo en la PTAR. Por otra parte, para la generación de vapor se encontraron las condiciones adecuadas de operación referentes al agua de alimentación y al exceso de aire que representan una disminución de 10.84 m<sup>3</sup>/h de gas natural, el espesor óptimo para un aislante de fibra de vidrio reduciendo en un 93.24% las pérdidas de calor, de la misma manera se realiza para el sistema de refrigeración en donde se propone implementar un aislante de poliuretano con un porcentaje de recuperación de 89.19% para las tuberías de succión y un 93.87% para la línea de Amoniaco líquido de baja presión.
- Se encuentra una oportunidad de mejora que incorpora a las materias primas e insumos y las líneas de servicio seleccionadas empleando una integración térmica entre diferentes corrientes, con el fin de mejorar el proceso por medio de la recuperación máxima de energía. Propuesta que consiste en un intercambiador de calor por el cual fluyan en contracorriente, el agua de

alimentación de la caldera y el agua con soda e impurezas, para de esta manera incrementar la eficiencia de la caldera, elevando la temperatura de entrada del agua de alimentación, y por otra parte disminuir el consumo de Dióxido de Carbono en el proceso de neutralización de la solución de agua con hidróxido de sodio, al aumentar la solubilidad del gas, disminuyendo su temperatura.

- La propuesta de manejo presentada, que se fundamenta en las pérdidas de calor generadas en las líneas de servicio, dan favorables con VPN de \$885,317, \$1,820 y \$220,238, para las líneas de vapor, gas de baja presión y líquido de baja presión respectivamente, teniendo presente que dichos valores corresponden por metro de tubería recubierta. Adicionalmente por los cambios en las variables de la generación de vapor se logra reducir el consumo de gas natural que conlleva a un ahorro de \$54,054,310 por año.

## 7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar las propuestas presentadas para las diferentes materias primas, insumos y las líneas de servicio evaluadas en este proyecto, generando así beneficios a la empresa eliminando los desperdicios y mejorando la eficiencia de los procesos.
- Se recomienda continuar empleando y actualizando la matriz de control de sustancias y productos químicos, fichas técnicas y hojas de seguridad, para garantizar el control, almacenamiento y uso de las materias primas e insumos de la planta de producción con el fin de cumplir con la normatividad legal vigente, que junto a un sistema de gestión HSEQ de salud, seguridad, medio ambiente y calidad, se pueda mejorar y automatizar el proceso de producción.
- Se recomienda llevar a cabo un análisis de ingeniería básica para la propuesta presentada sobre la integración de calor entre la solución de soda efluente del sistema de lavado con el agua de alimentación de la caldera, de esta manera poder determinar el tipo de intercambiador de calor, tamaño, flujos, cargas energéticas, entre otros factores importantes para su correcto funcionamiento.
- Se recomienda realizar un análisis financiero exhaustivo determinando la longitud exacta de las tuberías para de esta manera obtener la energía ahorrada y el costo de inversión totales.
- Se recomienda efectuar una amplia investigación y un diseño en detalle sobre el uso de una unidad de filtración por membrana para recuperar la solución de soda a la salida de la máquina lavadora de botellas. A pesar de que es una tecnología que requiere una alta inversión, se pueden reducir costos significativos ocasionados por los consumos de agua y soda además de disminuir el impacto ambiental al reducir los niveles de contaminación por vertimientos.
- Se recomienda hacer un seguimiento periódico a la calidad del agua de calderas debido a su repercusión dentro de la eficiencia del proceso de generación de vapor en las calderas. Se deben verificar la dureza, alcalinidad y pH cada dos días.
- Se recomienda emplear metrología de la instrumentación que posee cada uno de los equipos empleados en el proceso de producción para asegurar el correcto manejo de las variables de control.

## BIBLIOGRAFÍA

BÁNZER, Carlos. Correlaciones Numéricas P.V.T. Maracaibo: Universidad del Zulia. Instituto de Investigaciones Petrolera. 1996. p. 11-21.

BARRERA, Jenny y HERNANDEZ, Víctor. Estrategias para la utilización de nitrógeno en proceso de embotellado de bebidas no carbonatadas con el fin de reducir la contaminación ambiental. p. 40-64. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero. Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, 2011. [Consultado: 19 abril 2019]. Disponible en: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/740>.

BARRETO, Ower. Comparación del desempeño de varias calidades de gas natural y evaluación de viabilidad para el uso de biogás como combustible para vehículos que operan con GNCV. p. 22-39. [en línea]. Trabajo de grado de Magister en Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia, 2017. [Consultado: 19 febrero 2019]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/57715/1/79880091.2017.pdf>.

BUENDÍA, Tatiana. Alternativas para el tratamiento de las sustancias químicas peligrosas en los lodos de perforación. p. 29-39. [en línea]. Trabajo de grado especialista en Gestión Ambiental. Fundación Universidad de América, 2016. [Consultado: 16 enero 2019]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11839/642>.

CALDERON CANDELA, José y GOMEZ DIAZ, Rafael. Análisis y estudio del sistema de refrigeración implementado en la cervecería Bavaria s.a. de Bucaramanga con el fin de proponer una mejora en el consumo energético. p. 31-40. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Universidad Industrial de Santander, 2010. [Consultado: 26 enero 2019]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133515.pdf>.

CARISON, Eric. Don't gamble with physical properties for simulations. p. 35-38. Aspen Technology, Inc. [en línea]. 1996, Octubre. [Consultado: 4 mayo 2019]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/2fd4/2d66fb3a658a01d7bcd4c4c025a72c6f5e88.pdf>.

CASTILLO URIBE, Vladimir. Diseño y cálculo de un agitador de fluidos. p. 5-12. En: Universidad del Bío-Bío. [sitio web]. Chile, 2013. [Citado el 13 de abril de 2019]. Archivo PDF. Disponible en: [http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo\\_Uribe\\_Vladimir.pdf](http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/412/1/Castillo_Uribe_Vladimir.pdf).

CENGEL, Yunus. Transferencia de Calor y Masa. 3 ed. Mexico: McGraw-Hill. 2007. p. 413-511.

CENGEL, Yunus y BOLES Michael. Termodinámica. 8 ed. Mexico: McGraw-Hill. 2012. p. 331-400.

COCA COLA FEMSA. [sitio web]. Colombia: COCA COLA, Coca Cola FEMSA Colombia. [Consulta: 15 enero 2019]. Disponible en: <https://www.coca-colafemsa.com/presencia/presencia-colombia.html>.

COCA COLA JOURNEY. [sitio web]. España: COCA COLA, El riguroso control del agua en una fábrica de Coca-Cola. [Consulta: 15 enero 2019]. Disponible en: <https://www.cocacolaespana.es/historias/calidad-proceso-agua-en-fabrica>.

GIL, Darío, et al. Process Analysis and Simulation in Chemical Engineering. p. 10 - 67. Switzerland: Springer, 2016.

GOLATO, Marcos, et al. Metodología de cálculo de la eficiencia térmica de generadores de vapor. p. 17-30. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán [en línea]. 2008, julio-diciembre, 85 (2). [Consultado: 23 enero 2019]. ISSN 18513018. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-30182008000200003](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-30182008000200003).

HERNÁNDEZ, Amauris, et al. Procedure for the selection of maximum pipe thickness for efficient thermal insulation in piping with steam trace. p. 21-37. Revista Minería y Geología [en línea]. 2016, abril-junio, 32 (2). [Consultado 19 mayo 2019]. ISSN 19938012. Disponible en: <http://www.redalyc.org/jatsRepo/2235/223545820009/html/index.html>.

HINCAPIE BAENA, Daniel. Definición de una metodología de diagnóstico en eficiencia energética aplicable a calderas convencionales de vapor. p. 20-68. [en línea]. Trabajo de grado de Magister en Ingeniería. Universidad Pontificia Bolivariana, 2015. [Consultado: 23 enero 2019]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/2863>.

HONGTAN LIU, Sadik Kakag. Heat Exchangers: selection, rating and thermal desing. 2 ed. United States of America: CRC Press LLC. 2002. p. 90-99.

IDEA. Guía técnica: Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos. p. 9-29. [en línea]. Madrid: Eficiencia y ahorro energético, 2007. [Citado el 19 de mayo de 2019]. Disponible en: [https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Gu%C3%ADas%20técnicas/Guia\\_Diseno\\_Aislamiento.pdf](https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Gu%C3%ADas%20técnicas/Guia_Diseno_Aislamiento.pdf). ISBN 978-84-96680-08-1.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.

MACERO, Yaneska. Propuesta de un sistema de control automatizado de agua y soda caustica agregados a los tanques de una lavadora de botellas de vidrio retornable de una planta productora de refresco. p. 71-93. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad de Oriente, 2011. [Consultado: 10 abril 2019]. Disponible en: <https://dokumen.tips/documents/tesis-lavado-de-botellas.html>.

MALVAR INGENIERIA. [sitio web]. Bogotá: MALVAR Ingeniería, Aislamiento en Cañuela en Poliuretano. [Consulta: 24 mayo 2019]. Disponible en: <http://www.malvaringenieria.com/poluiuretano.html>.

\_\_\_\_\_. [sitio web]. Bogotá: MALVAR Ingeniería, Aislamiento en Fibra de Vidrio. [Consulta: 10 mayo 2019]. Disponible en: [http://www.malvaringenieria.com/fibra\\_vidrio.html](http://www.malvaringenieria.com/fibra_vidrio.html).

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL. [sitio web]. México: AEV, Materia Química. [Consulta: 16 enero 2019]. Disponible en: [https://www.aev.cgfie.ipn.mx/Materia\\_quimica/temas/tema6/subtema3/images/sub\\_3\\_img00.png](https://www.aev.cgfie.ipn.mx/Materia_quimica/temas/tema6/subtema3/images/sub_3_img00.png).

MENDOZA, Gaudys y PEÑA, Wilmary. Plan de reducción de desperdicios de materia prima para mejorar la productividad de una empresa fabricante de revestimientos. p. 1–11. LACCEI [en línea]. 2009, junio, 7. [Consultado: 20 enero 2019]. Disponible en: <http://www.laccei.org/LACCEI2009-Venezuela/p124.pdf>.

OELKER BEHN, Arnulfo. Análisis de la eficiencia en calderas. p. 1-12. Santiago, Chile: Thermal Engineering LTDA, 2015.

PADRÓN CASTRO, Omar David. Estudio para la optimización del proceso de lavado de botellas mediante evaluación de aditivos de soda caustica. p. 9-20. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Universidad Simón Bolívar, 2008. [Consultado: 10 abril 2019]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/379209544/000146894>.

PÉREZ FARRÁS, Luis. Teoría de la Sedimentación. p. 9-13. En: Instituto de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. [sitio web]. Argentina, 2005. [Citado el 13 de abril de 2019]. Archivo PDF. Disponible en: [http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos\\_teorias\\_sedimentacion.pdf](http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_teorias_sedimentacion.pdf).

PEREZ SIERRA, Valeria y QUINTERO BELTRÁN, Lewis Charles. Metodología dinámica para la implementación de 5's en el área de producción de las organizaciones. p. 412–417. Revista Ciencias Estratégicas [en línea]. 2017, julio–diciembre, 35 (38). [Consultado: 20 enero 2019]. ISSN: 17948347. DOI: <http://dx.doi.org/10.18566/rces.v25n38.a9>.

PÉREZ, Amaury; TEJEDA, Yenney y GONZÁLEZ, Raúl. Evaluación de la generación de vapor de la fábrica de refrescos 23 de Agosto, en Camagüey. p. 7-19. MUTIS [en línea]. 2017, enero-junio, 7. [Consultado: 23 enero 2019]. ISSN 22561498. DOI: <https://doi.org/10.21789/22561498.1198>.

PLANTA EMBOTELLADORA. [sitio web]. Google, Ubicación empresa de bebidas gaseosas. [Consulta: 15 enero 2019]. Disponible en: <https://www.google.com/maps/@4.6832632,-74.1424695,14z>.

PRIETO, Jorge. Gestión estratégica organizacional. p. 10-19. [en línea]. 4ª.ed. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones, 2012. [Citado el 20 enero 2019]. Disponible en: <https://www.ecoediciones.com/wp-content/uploads/2017/05/Gestión-estratégica-organizacional-5ta-Edición.pdf>. ISBN 9789587714616.

RESTREPO GALLEGRO, Mauricio. Producción más limpia en la industria alimentaria. p. 95-98. Producción + Limpia [en línea]. 2006, enero-junio, 1 (1). [Consultado: 10 abril 2019]. Disponible en: [http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/217/1/PL\\_V1\\_N1\\_87\\_PL\\_INDUSTRIA\\_ALIMENTARIA.pdf](http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/217/1/PL_V1_N1_87_PL_INDUSTRIA_ALIMENTARIA.pdf).

RODRIGUEZ, Manuel. Refrigeración con amoníaco: aplicaciones, funcionamiento y propiedades. [sitio web]. INESEM. [Consulta: 26 enero 2019]. Disponible en: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/refrigeracion-con-amoniaco/>.

RUBIO MÁRQUEZ, Joel. Refrigeración con amoníaco. En: Mundo HVACER. [sitio web]. México. [Consulta: 26 enero 2019]. Disponible en: <https://www.mundohvacr.com.mx/2009/03/refrigeracion-con-amoniaco/>.

SOLVOCARB. [sitio web]. Grupo Linde, Lo importante es el medio ambiente, SOLVOCARB con CO<sub>2</sub>. [Consulta: 30 abril 2019]. Disponible en: [https://www.abellolinde.es/es/images/SOLVOCARB%20-%20Neutraliza%20los%20efluentes%20alcalinos%2C%20reminaliza%20las%20aguas%2011501-0605\\_tcm316-60219.pdf](https://www.abellolinde.es/es/images/SOLVOCARB%20-%20Neutraliza%20los%20efluentes%20alcalinos%2C%20reminaliza%20las%20aguas%2011501-0605_tcm316-60219.pdf).

SORIANO RIVERA, Karla. Matriz de compatibilidad para sustancias controladas. En: Pontificia Universidad Javeriana. [sitio web]. Bogotá, Colombia. 2015. [Consulta: 16 enero 2019]. Archivo PDF. Disponible en: <https://www.javeriana.edu.co/documents/4486808/5015604/Matriz+de+compatibilidad+para+sustancias+controladas/b2203bc4-411e-4fab-aa9d-952d391bdb5a>.

SUAREZ-BARRAZA, Manuel y MIGUEL-DÁVILA, José. Encontrando al Kaizen: Un análisis teórico de la Mejora Continua. p. 25-28. Pecvnía [en línea]. 2008, julio-diciembre, (7). [Consultado: 20 enero 2019]. ISSN 23404272. DOI: 10.18002/pec.

UNECE. Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos. p. 3-35. [en línea]. 6ª.ed. Nueva York y Ginebra: Naciones Unidas, 2015. [Citado el 15 de enero de 2019]. Disponible en: [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs\\_rev06/Spanish/S T-SG-AC10-30-Rev6sp.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev06/Spanish/S T-SG-AC10-30-Rev6sp.pdf). ISBN: 978-92-1-316017-6.

VYC INDUSTRIAL. [sitio web]. VYC, Calderas de vapor piro tubulares y acuotubular. [Consulta: 23 enero 2019]. Disponible en: <https://vycindustrial.com/calderas-de-vapor-pirotubulares-y-acuotubulares/>.

# **ANEXOS**

## ANEXO A. MAPA DE AMENAZAS DE LA EMPRESA DE BEBIDAS

