



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN #3

DE BEBIDAS CARBONATADAS, EMBOTELLADORA DE SULA

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTADO POR:

21451016 RAFAEL ZERON FUNEZ

ASESOR: ING. HEGEL LÓPEZ

CAMPUS SAN PEDRO SULA;

NOVIEMBRE, 2018

RESUMEN

La presente tesis se enfoca en el análisis y evaluación del sistema de refrigeración de Embotelladora de Sula, presentando una propuesta de mejora para la línea de producción #3. En el primer capítulo se da una breve introducción a lo que es el proyecto de investigación, aludiendo a conceptos que el lector deberá tener claro antes de iniciar la lectura de este. En el segundo capítulo se describe el entorno y el contexto del problema. Se plantea la problemática, se establece el objetivo general y los objetivos específicos de la presente tesis, así como las preguntas de investigación relacionadas al problema en cuestión y finalmente la justificación. El tercer capítulo refiere al marco teórico describiendo inicialmente el proceso de elaboración de bebidas carbonatadas en la empresa, ya que se podrá ver cómo es afectado por un sistema de refrigeración funcional. Asimismo, se expone las generalidades y características del propio circuito de refrigeración de EMSULA, describiendo los aspectos más importantes de cada máquina y equipo. Este capítulo trata también con el mantenimiento y el control del circuito. En el cuarto capítulo se expone la metodología utilizada en la investigación, entre los cuales se encuentran las variables dependientes e independientes, el enfoque y los métodos, la población y muestra, y un cronograma mostrando las actividades realizadas durante la investigación. En el quinto capítulo se presentan los resultados obtenidos; también se presenta la propuesta de un controlador PID para el intercambiador de calor. En el sexto y séptimo capítulo se presentan las conclusiones y las recomendaciones a las que se llegaron con el estudio. Se responde el objetivo general y específicos de la tesis; y se enuncian las recomendaciones tanto para la universidad como para la empresa.

ABSTRACT

This thesis is an analysis and assessment of the cooling system of Embotelladora de Sula, presenting a proposal of improvement for production line #3. The first chapter gives a brief introduction of what the research project is about, referring to concepts that the reader must be clear with before moving on. The second chapter describes the setting and context of the problem, i.e. the case history and all relevant information are presented. It introduces the research's main issue, establishes the general and specific objectives of this thesis, as well as the research questions related to the problem at hand and finally the justification. The third chapter refers to the theoretical framework, first describing the process of bottling carbonated beverages, so the reader can understand how this process is affected by a functional cooling system. It also discloses the generalities and characteristics of EMSULA's cooling system, describing the most important aspects of each machine and equipment. This chapter also provides insight on the maintenance and control systems of the refrigeration circuit. The fourth chapter presents the methodology used in the research, which includes the dependent and independent variables, the approach and methods employed, the population and samples, and a schedule showing the activities carried out during the research. The fifth chapter introduces the results obtained from the different techniques applied in the research. It also presents the process improvement proposal for the plate heat exchanger (PHE). The sixth and seventh chapters present the conclusions and recommendations that arose from the study. They answer the general and specific objectives of the thesis and set out recommendations for the university and the company.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
	2.1 ANTECEDENTES.....	2
	2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
	2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	3
	2.4 OBJETIVOS	4
	2.4.1 Objetivo general.....	4
	2.4.2 Objetivos específicos	4
	2.5 JUSTIFICACIÓN	4
III.	MARCO TEÓRICO	6
	3.1 PROCESO DE ELABORACIÓN DE BEBIDAS EN EMBOTELLADORA DE SULA.....	6
	3.1.1 Tratamiento del agua	7
	3.1.2 Limpieza del empaque	8
	3.1.3 Preparación del jarabe	9
	3.1.4 Llenado y taponado	11
	3.2 GENERALIDADES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE EMBOTELLADORA DE SULA.....	12
	3.2.1 Características del sistema de refrigeración	13
	3.2.2 Componentes y máquinas	15
	3.2.3 Operación del sistema de refrigeración	25
	3.2.4 Control del sistema de refrigeración	25
	3.3 MANTENIMIENTO	27

3.3.1 Definición de mantenimiento	28
3.3.2 Objetivos del mantenimiento	28
3.3.3 Tipos de mantenimiento	28
3.3.4 Plan de mantenimiento	30
3.3.5 Consecuencias de la falta de mantenimiento	31
3.3.6 Mantenimiento de sistemas de refrigeración	31
3.4 SISTEMAS DE CONTROL	32
3.4.1 Tipos de sistemas de control	33
3.5 CONTROLADOR PID.....	35
3.5.1 Acción de control proporcional (K)	36
3.5.2 Acción de control integral (Ti)	36
3.5.3 Acción de control derivativa (Td).....	36
IV. METODOLOGÍA	37
4.1 HIPÓTESIS Y VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	37
4.2 ENFOQUE Y MÉTODOS.....	37
4.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	38
4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS	39
4.5 UNIDAD DE ANÁLISIS Y RESPUESTA.....	39
4.6 CRONOGRAMA	40
V. RESULTADOS Y ANÁLISIS	41
5.1 EVALUACIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE EMSULA	41
5.2 DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL PARA EL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE LA LÍNEA #3.....	44
5.2.1 Características y estado del intercambiador de calor	44

5.2.2 Condiciones actuales de funcionamiento del intercambiador de calor	45
5.2.3 Sistema de control propuesto	46
5.3 PLANES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	53
5.3.1 Plan de compresores	54
5.3.2 Plan de condensadores	55
VI. CONCLUSIONES	58
6.1 CONCLUSIÓN GENERAL	58
6.2 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.....	58
VII. RECOMENDACIONES	59
7.1 A LA EMPRESA.....	59
7.2 A LA UNIVERSIDAD	59
BIBLIOGRAFÍA	60

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diagrama de las fases del proceso de elaboración de bebidas carbonatadas	7
Ilustración 2. Área de tratamiento de agua en Embotelladora de Sula	8
Ilustración 3. Lavadora de botellas PET de marca San Martin	9
Ilustración 4. Sala de cocción del jarabe para las bebidas carbonatadas	9
Ilustración 5. Sala de preparación del jarabe para las bebidas carbonatadas (MITECO)	10
Ilustración 6. Diagrama de las etapas del proceso de preparación del jarabe	10
Ilustración 7. Máquina de llenado y taponado de marca Krones	11
Ilustración 8. Máquina paletizadora para el empaque de los productos	12
Ilustración 9. Diagrama de un circuito de refrigeración por recirculación de líquido	13
Ilustración 10. Evaporador con placas de marca VMC	16
Ilustración 11. Compresor tipo VMC 458XL de marca Vilter	17
Ilustración 12. Condensador evaporativo tipo VC2-1160S de marca BAC	19
Ilustración 13. Diagrama de distribución de las placas de un intercambiador de calor	20
Ilustración 14. Intercambiador de calor de placas de marca Alfa Laval	21
Ilustración 15. Tanque recibidor o de alta presión de marca Nickell	22
Ilustración 16. Separador de baja presión	23
Ilustración 17. Torre de enfriamiento tipo USS 19-812 de marca EVAPCO	24
Ilustración 18. Interfaz del controlador Allen Bradley para los compresores Vilter	26
Ilustración 19. Controlador Danfoss EKC361 para los evaporadores VMC y Hansa	26
Ilustración 20. Interfaz del controlador Allen Bradley para los condensadores BAC	27
Ilustración 21. Diagrama de los pasos para la ejecución del mantenimiento correctivo	30
Ilustración 22. Esquema general de un sistema de control	33

Ilustración 23. Diagrama de un sistema de control de tipo lazo abierto	34
Ilustración 24. Diagrama de un sistema de control de tipo lazo cerrado	35
Ilustración 25. Esquema básico de un controlador PID	36
Ilustración 25. Tuberías y unidades que presentan corrosión en Embotelladora de Sula	41
Ilustración 26. Unidad de almacenamiento de amoniaco sin cubrimiento aislante	42
Ilustración 27. Horas trabajadas por los compresores Vilter (marzo - septiembre 2018).....	42
Ilustración 28. Estado de suciedad en los condensadores evaporativos de marca BAC	43
Ilustración 29. Nivel de amoniaco en el tanque de almacenamiento del intercambiador de calor de la línea de producción #3	44
Ilustración 30. Intercambiador de calor de marca Alfa Laval en la línea de producción #3	45
Ilustración 31. Sensor de temperatura Pt100	47
Ilustración 32. PLC Simatic S7-1200 de marca Siemens.....	48
Ilustración 33. Bloque de programación para el controlador PID en el software Step7	49
Ilustración 34. Gráfica de comportamiento del controlador PID	50
Ilustración 35. Human Machine Interface (HMI) para el sistema de control propuesto	50
Ilustración 36. Válvula piloto M2FP03GX de marca Siemens	51
Ilustración 37. Plan de mantenimiento para los compresores de marca Vilter	54
Ilustración 38. Plan de mantenimiento para los condensadores de marca BAC	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de funcionamiento de un compresor Vilter	18
Tabla 2. Características de funcionamiento del condensador #1 de marca BAC	19
Tabla 3. Características de funcionamiento del condensador #2 de marca BAC	19
Tabla 4. Características de funcionamiento del intercambiador de calor de marca ARAX	21
Tabla 5. Características de funcionamiento del intercambiador de calor de marca Alfa Laval	21
Tabla 6. Características de funcionamiento de la torre de enfriamiento de marca EVAPCO	24
Tabla 7. Costos de los equipos del sistema de control propuesto para el intercambiador de calor de la línea de producción #3	52

GLOSARIO

- **Caída de Presión:** pérdida de presión desde un extremo a otro en una tubería de refrigeración, debido a la fricción, etc.
- **Calor:** energía transferida de un objeto a otro de acuerdo con una diferencia de temperatura.
- **Capacidad nominal de refrigeración:** este valor representa la potencia de refrigeración total (sensible más latente) que es capaz de suministrar el equipo en condiciones nominales.
- **Carbonatación:** proceso que ocurre cuando se agrega dióxido de carbono gaseoso a un líquido (jarabe) y reacciona químicamente con las moléculas de agua para formar el ácido carbónico.
- **Carga de refrigerante:** cantidad de refrigerante colocada en un sistema de refrigeración.
- **Cloración:** proceso de desinfección del agua mediante el empleo de cloro o compuestos clorados.
- **Coagulación:** proceso que permite incrementar la tendencia de las partículas de agregarse unas con otras para formar partículas más grandes y así precipitar de una manera más rápida.
- **Condensación:** proceso exotérmico que se define como el cambio de estado de vapor o gas a líquido.
- **Control realimentado:** se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia, y lo realiza tomando en cuenta esta diferencia.
- **Evaporación:** proceso que ocurre cuando la vaporización ocurre a temperatura ambiente, en cualquier temperatura y presión de forma bien lenta, predominantemente en la superficie del líquido, sin la aparición de burbujas o agitación del líquido.
- **Perturbación:** señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema.
- **PLC:** un controlador lógico programable es un computador especialmente diseñado para automatización industrial, es decir, para el control de una máquina o proceso industrial.
- **Presión:** la fuerza que actúa en una determinada porción de área.

- **Presión de condensación:** presión dentro de un condensador, a la cual el vapor de refrigerante cede su calor latente de evaporación y se vuelve líquido.
- **Presión de succión:** en un sistema de refrigeración, se llama así a la presión a la entrada del compresor.
- **Pruebas de estanqueidad:** también llamados ensayos de fugas; son pruebas que permiten saber si funcionando correctamente el sistema o superficie en el que se realizan.
- **Línea de Succión:** tubo o tubería la cual transporta el refrigerante en estado de vapor, desde el evaporador a la entrada del compresor
- **Mezclador:** máquina en la cual ocurre la mezcla del dióxido de carbono con el jarabe terminado en proporciones previamente establecidas.
- **Sedimentación:** proceso que se realiza para retirar la materia sólida fina, orgánica o no, de las aguas residuales.
- **Set point:** es el valor deseado de la variable de un proceso, es decir, la consigna.
- **Sistema:** es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado.
- **Pasteurización:** consiste en el tratamiento del calor de un producto para matar todas las bacterias patógenas y reducir la actividad enzimática. El objetivo es hacer que los productos sean seguros para el consumo y que tengan una vida útil más prolongada.
- **Temperatura:** escala usada para medir la intensidad del calor y es el indicador que determina la dirección en que se moverá la energía de calor.
- **Temperatura de bulbo húmedo:** temperatura de equilibrio de evaporación del agua dentro del aire, cuando el calor latente de vaporización es suministrado por el calor sensible del aire.
- **Temperaturas de bulbo seco:** temperatura medida por un termómetro ordinario (término usado solamente para distinguir del término de temperatura de bulbo húmedo).
- **Válvula:** accesorio utilizado para controlar el paso de un fluido.
- **Vaporización:** proceso mediante el cual una sustancia cambia de estado líquido a gaseoso.

I. INTRODUCCIÓN

Las bebidas carbonatadas surgieron como resultado de experimentos en los que se trató de producir aguas efervescentes similares a las de las fuentes naturales. Posteriormente se les añadió saborizantes y fue en ese punto donde nació lo que hoy se conoce como refrescos.

En la industria de las gaseosas, la refrigeración es un factor indispensable y crítico para la correcta elaboración de estos productos. Su función consiste en facilitar la carbonatación de la bebida para lo cual se utilizan componentes normales de un sistema de refrigeración, es decir, se cuenta con un condensador, un compresor y un evaporador.

Actualmente, los procesos industriales requieren profesionales competentes, capaces de proponer soluciones eficientes a los procesos bajo su cargo. Los fundamentos teóricos adquiridos durante la etapa académica constituyen una herramienta vital para el desarrollo de la industria. García Moreno (1999) afirma: "La automatización de los procesos industriales constituye uno de los objetivos más importantes de las empresas en la siempre incesante tarea de la búsqueda de la competitividad" (p.1).

En el presente informe se busca analizar y evaluar el sistema de refrigeración de Embotelladora de Sula presentando las generalidades del sistema, así como sus características y los equipos utilizados (compresores, condensadores, entre otros). Se menciona de igual manera las capacidades de los equipos que constituyen el sistema de refrigeración de acuerdo con los parámetros de presión y temperatura bajo los cuales operan estos equipos.

Además, se habla sobre aspectos importantes del control de las máquinas del sistema de refrigeración y su respectivo mantenimiento. Se da una breve introducción a lo que son los sistemas de control y los controladores PID. Finalmente, se pretende plantear una propuesta para mejorar el actual sistema de enfriamiento para la línea de producción #3 de bebidas carbonatadas, línea que en este momento es la que más problemas presenta.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 ANTECEDENTES

Embotelladora de Sula S.A es una sociedad anónima consagrada a la elaboración, embotellado y comercialización de refrescos y gaseosas, procurando aplicar las técnicas más actualizadas y los estándares de calidad requeridos. Esta empresa se dedica a la fabricación de bebidas carbonatadas como Pepsi, Mirinda, 7Up y Link; bebidas no carbonatadas tales como Quanty y Enjoy; y bebidas energizantes como Adrenaline. Los refrescos vienen en diversas presentaciones de envase y tamaño, siendo las botellas plásticas de 1 y 1.5 litros las más producidas.

En este momento, la empresa cuenta con siete líneas de producción con especificaciones diferentes, utilizándose cada una para productos distintos dependiendo de las necesidades y la demanda del mercado. Además, se están realizando las tareas y los preparativos necesarios para el montaje de una nueva línea de producción.

Como cualquier otra empresa, Embotelladora de Sula empezó desde los niveles de producción más bajos y ha ido escalando hasta convertirse en la compañía transnacional que es hoy en día. La demanda del mercado por los productos que produce Embotelladora de Sula ha encaminado a la compra de nueva maquinaria, con el propósito de crear nuevas líneas de producción para abastecer el mercado nacional y centroamericano. Sin embargo, esta demanda de producto presenta un problema en lo que es el espacio disponible para las nuevas líneas de producción y su respectiva organización. De igual manera, esto puede provocar una sobrecarga en el sistema de refrigeración al querer abastecer más líneas de las aceptadas.

El mantenimiento actual de la empresa se basa en el tipo preventivo y correctivo. A pesar de que existe un plan de mantenimiento preventivo, resulta difícil en muchas ocasiones aplicarlo ya que esto involucraría un paro parcial o general de la producción, una acción no tan factible en una empresa con una alta demanda de producto.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Una de las últimas etapas en el proceso de elaboración de bebidas carbonatadas es propiamente la carbonatación, que consiste en añadir dióxido de carbono al jarabe para crear el efecto efervescente, característico de estas bebidas. Con el objetivo de realizar dicha acción, se utiliza un refrigerante, en este caso amoniaco (R717), para disminuir la temperatura del jarabe ya que este debe encontrarse a una temperatura entre 3 y 7 grados Celsius.

El amoniaco debe recorrer una serie de máquinas y procesos antes de llegar al intercambiador de calor, que es donde efectúa la tarea de enfriar el jarabe. Para obtener el nivel de dióxido de carbono requerido en cada sabor se debe mantener al jarabe a una temperatura constante y controlada. Una leve variación de la temperatura fijada implica una diferencia en las especificaciones del producto, y en consecuencia una menor calidad que la deseada.

Actualmente, en Embotelladora de Sula se está teniendo una dificultad significativa ya que en múltiples ocasiones el sistema de refrigeración suele no rendir, es decir, no cumple su función principal ya sea por problemas de tuberías o por problemas propiamente de las máquinas u otros equipos. Esto en torno hace que el producto no cumpla con las exigencias establecidas.

Se pretende enfocar la atención solamente al sistema de refrigeración en la línea de producción tres, que es el lugar donde se presentan más problemas al momento de la carbonatación.

2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Las preguntas de investigación que a continuación se detallan sirven de orientación y guía para la evaluación y solución del problema de investigación:

¿Qué métodos o técnicas se pueden implementar para optimizar el sistema de refrigeración de la línea de producción número tres?

¿En qué estado se encuentran los componentes y máquinas que conforman el sistema de refrigeración?

¿Cómo se puede evitar el deterioro de las máquinas y la incidencia de fallas que ocasionan paros en las líneas de producción?

2.4 OBJETIVOS

Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2010) afirman: “Los objetivos de investigación señalan a lo que se aspira en la investigación y deben expresarse con claridad, pues son las guías del estudio” (p.37).

2.4.1 OBJETIVO GENERAL

Presentar una propuesta de mejora para el sistema de refrigeración de la línea de producción número tres en el plantel de Embotelladora de Sula.

2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar el estado de los componentes del sistema de refrigeración en general de EMSULA.
2. Diseñar un sistema de control para el intercambiador de calor de la línea de producción número tres.
3. Elaborar un plan de mantenimiento para los compresores Vilter y para los condensadores BAC.

2.5 JUSTIFICACIÓN

Una carbonatación adecuada es vital para crear la efervescencia perfecta en las bebidas. Para lograr este efecto es imperativo tener una refrigeración funcional. De lo contrario se tiene un producto que no cumple con los mínimos estándares de calidad. Esto a su vez se traduce en una pérdida de tiempo, factor primordial en una industria donde se debe suplir infatigablemente la demanda de los consumidores. Asimismo, esto conlleva a una pérdida financiera o de dinero, otro aspecto importante en el mundo contemporáneo.

El área de automatización industrial es una de las partes más prominentes en las empresas de producción; su correcta implementación permite mejorar la eficiencia de los procesos, lo que conlleva a incrementar la rentabilidad, mejorar la calidad de los productos fabricados, disminuir los tiempos que dura un proceso, y optimizar el uso de los recursos materiales y de mano de obra

Este proyecto de investigación busca mejorar la forma en la que trabaja el presente sistema de refrigeración de la línea de producción #3 en Embotelladora de Sula, mediante el estudio y análisis

del proceso de enfriamiento como tal. Se pretende evaluar la necesidad de tomar una decisión en lo que concierne el mantenimiento preventivo. Igualmente se intentará enfocarse en una de las causas que llevan a un bajo rendimiento de dicho sistema y posteriormente se planteará una solución que satisfaga las necesidades del plantel, así como la seguridad de los productos, el equipo y el personal de operación.

III. MARCO TEÓRICO

El marco teórico de la presente tesis está dividido en cinco partes, cada una igualmente importante para comprender de mejor manera el contexto del problema y los resultados obtenidos en el capítulo cinco. La primera parte trata sobre el proceso de fabricación de bebidas carbonatadas ya que al estudiar dicho proceso se podrá observar qué papel juega la refrigeración. La segunda parte habla de las generalidades del sistema de refrigeración, exponiendo las distintas maquinas involucradas y su funcionamiento. En la tercera parte, se presenta lo que es el mantenimiento así como los objetivos, clasificación y su aplicación en la refrigeración. Las partes cuatro y cinco tratan sobre los sistemas de control y los controladores PID, respectivamente.

3.1 PROCESO DE ELABORACIÓN DE BEBIDAS EN EMBOTELLADORA DE SULA

Una planta embotelladora de bebidas está siempre a la vanguardia de nuevas tecnologías y se organiza de tal manera que se tenga una producción económica y eficiente. La instalación sigue la metodología de la producción en masa o en cadena.

Una bebida carbonatada, comúnmente conocida como refresco o gaseosa, es una bebida saborizada, efervescente y sin contenido de alcohol. Para la elaboración de estas bebidas, se requiere un conjunto de materias primas tales como agua, azúcar, dióxido de carbono y otros compuestos químicos. Una vez estén reunidos todos estos materiales, se iniciará el proceso de producción.

Resulta imperativo describir en qué consiste el proceso de elaboración de las gaseosas ya que se podrá observar la manera en la que un buen sistema de refrigeración afecta el desarrollo de todo el proceso.

Llevar a cabo todas las fases del proceso de fabricación de bebidas de manera sistemática y ordenada es de suma importancia ya que esto afecta de manera directa la calidad final del producto.

En la Ilustración 1, se puede apreciar las distintas fases del proceso de elaboración de bebidas carbonatadas y su respectivo orden.

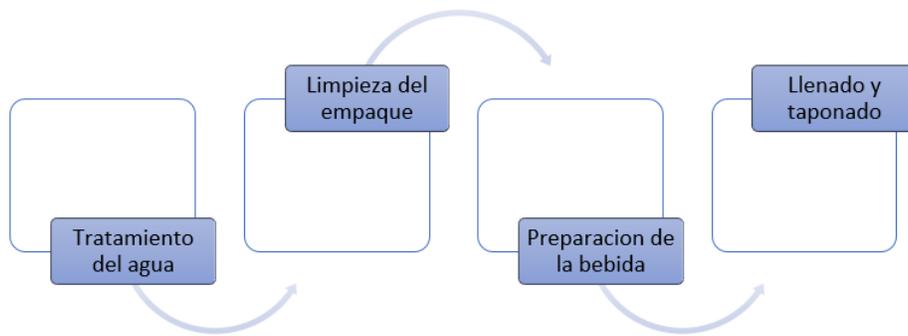


Ilustración 1. Diagrama de las fases del proceso de elaboración de bebidas carbonatadas

3.1.1 TRATAMIENTO DEL AGUA

El agua es una de las materias primas más usadas actualmente en la industria de alimentos y bebidas. Sin embargo, el agua del abastecimiento público contiene en la mayoría de los casos minerales o contaminantes que la vuelven inadecuada para la industria alimenticia.

Rodríguez González (2013) afirma que el producto final depende de la calidad del agua utilizada; realizando para ello un control microbiológico y fisicoquímico exhaustivo a fin de evitar cualquier contaminante.

Para la preparación de las bebidas es indispensable que el agua cumpla con una serie de características y propiedades, por ejemplo, que sea incolora e inodora; que su alcalinidad se mantenga en un cierto rango; y que la cantidad de sólidos totales sea menor a un valor específico.

Con el objetivo de purificar el agua procedente del abastecimiento público, es necesario embarcarse en un tratamiento con distintas técnicas. En las primeras etapas del proceso se utilizan filtros de arena o discos de papel para eliminar minerales y otros contaminantes; posteriormente se emplean procedimientos tales como la coagulación, la cloración y la sedimentación.

Mantener un cierto grado de calidad es una tarea esencial en cada una de las etapas de producción, tales como limpieza general, lavado de los envases, cocción del jarabe, evaporación y en algunos casos la pasteurización del producto.

En la Ilustración 2, se muestra el área en Embotelladora de Sula donde es tratada el agua.



Ilustración 2. Área de tratamiento de agua en Embotelladora de Sula

3.1.2 LIMPIEZA DEL EMPAQUE

El lavado y la esterilización de los envases es una acción obligatoria para cumplir con los estándares internacionales de higiene y para garantizar la salud de los compradores y consumidores.

En general, para todos los tipos de empaques se utiliza una solución alcalina caliente. Esta solución se compone esencialmente de soda caustica y carbonato de sodio, entre otros. Cabe mencionar que la soda caustica es el principal ingrediente debido a que posee un poder germicida alto.

Las botellas de vidrio requieren un lavado de cuatro etapas con diversas soluciones. Esta tarea se realiza con compuestos como soda caustica, agua caliente y agua potable. Por su parte, las botellas de plástico y las latas no requieren tanto cuidado, no obstante, siempre atraviesan una respectiva etapa de lavado. En la Ilustración 3, se muestra una de las lavadoras de botellas utilizadas en Embotelladora de Sula.

Después del lavado y la esterilización, los envases salen de la lavadora por un orificio mecánico y se dirigen a la banda transportadora, encontrándose listos para la siguiente fase: el llenado.



Ilustración 3. Lavadora de botellas PET de marca San Martin

3.1.3 PREPARACIÓN DEL JARABE

En una planta de fabricación de refrescos, se destina un área separada a la elaboración del jarabe. Embotelladora de Sula cuenta con dos salas distintas: una de cocción y una llamada MITECO que es donde se concluye la preparación del jarabe. Ver Ilustración 4 e Ilustración 5.

Ambas salas están equipadas con tanques mezcladores y de almacenamiento, y se sitúan en el segundo piso para que el jarabe pueda transportarse mediante gravedad a su próximo destino.



Ilustración 4. Sala de cocción del jarabe para las bebidas carbonatadas



Ilustración 5. Sala de preparación del jarabe para las bebidas carbonatadas (MITECO)

El primer paso de la preparación del producto tiene lugar en la sala de cocción y consiste en mezclar el agua tratada con una cantidad determinada de azúcar y vapor para obtener el llamado jarabe simple.

Luego se combinan bajo extrema cautela una serie de compuestos químicos, como ser ácido cítrico y diversos colorantes, resultando en una materia prima homogénea que se le conoce en la industria como concentrado. Después se mezcla el concentrado con el jarabe simple y se añade una cantidad específica de agua para producir el jarabe terminado. Seguidamente se efectúa la carbonatación, proceso que le suministra la efervescencia a la bebida.

A continuación, se presenta la Ilustración 6, donde se resume en un diagrama sencillo los pasos del proceso de fabricación del jarabe.

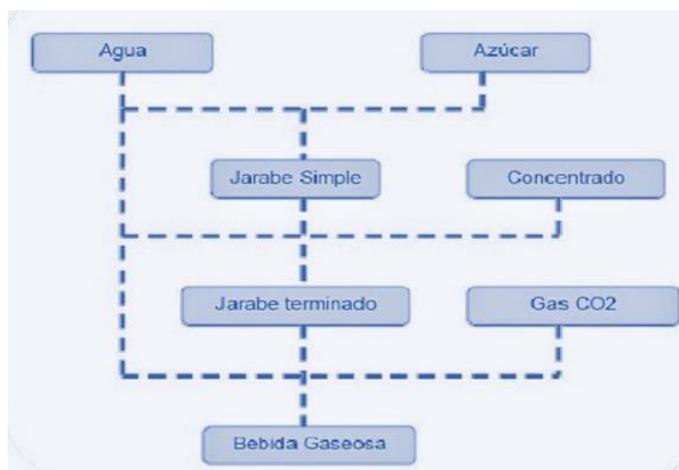


Ilustración 6. Diagrama de las etapas del proceso de preparación del jarabe

3.1.4 LLENADO Y TAPONADO

El producto puede ser envasado en botellas de vidrio, de plástico o en latas. Por lo tanto, cuando ya se ha seleccionado el envase y el tamaño, el recipiente pasa por la maquina llenadora donde se le introduce la cantidad exacta de refresco.

Posteriormente se colocan las tapas o se cierran herméticamente los envases utilizados. Se comprueba mediante sensores que la cantidad de producto en cada envase es correcta. Cabe mencionar que, si el envase no cumple con el nivel mínimo de producto, el inspector lo rechaza.

A continuación, se presenta la Ilustración 7, en la cual se muestra una maquina Krones para el llenado y tapado de bebidas carbonatadas.



Ilustración 7. Máquina de llenado y taponado de marca Krones

Finalmente se codifican los envases con una serie de dígitos que describen aspectos como el encargado de producción, el número de línea por la cual pasó el envase, la ubicación, la fecha y la hora del llenado. Se etiqueta el producto e inmediatamente se dirige mediante la banda transportadora a la plataforma acumuladora o se dirige a una paletizadora automática, que acondiciona el producto individual en paquetes para salir al mercado. Ver Ilustración 8.



Ilustración 8. Máquina paletizadora para el empaque de los productos

3.2 GENERALIDADES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE EMBOTELLADORA DE SULA

Rodríguez González (2013) define la refrigeración como la ciencia que trata con los procesos de disminución y mantenimiento de la temperatura de un espacio o material a una temperatura inferior con respecto a la del ambiente.

En estos sistemas, un refrigerante es utilizado en la transmisión de calor, proceso en el que absorbe calor a altas temperaturas, cediéndolo después a una temperatura mucho más baja (Aroca Lastra & Mayoral Esteban, 2015).

Con respecto a los refrigerantes que se utilizan en las plantas de bebidas, se puede trabajar con cualquier tipo, sin embargo, el más utilizado actualmente en esta industria es el amoníaco. Este gas incoloro cuenta con excelentes propiedades termodinámicas que lo hacen ideal para ser empleado en grandes instalaciones, debido a que posee un mayor poder calorífico.

Para describir las generalidades del sistema de refrigeración de EMSULA se va a tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Características del sistema de refrigeración
- Componentes y máquinas
- Operación del sistema de refrigeración

- Control del sistema de refrigeración

3.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

El sistema de refrigeración de Embotelladora de Sula está centralizado y se basa en un cuarto de compresores y distintos consumidores en las líneas de producción. La capacidad nominal de refrigeración es de más de 5,000 kW.

Es un sistema de refrigeración por recirculación de líquido, llamado también sistema inundado. Sanz del Castillo & Sanz del Castillo (2014) explican que, en los circuitos de refrigeración con sistemas inundados, el evaporador siempre está lleno de una mezcla de vapor y líquido cuando está en funcionamiento. La mezcla de vapor y líquido no evaporado va a un depósito, en el cual el líquido cae a la parte inferior donde se vuelve a enviar al evaporador, y por la parte superior el compresor aspira el vapor.

A continuación, se presenta la Ilustración 9, donde se puede apreciar la forma en la que trabajan estos circuitos de refrigeración por recirculación de líquido o sistemas inundados.

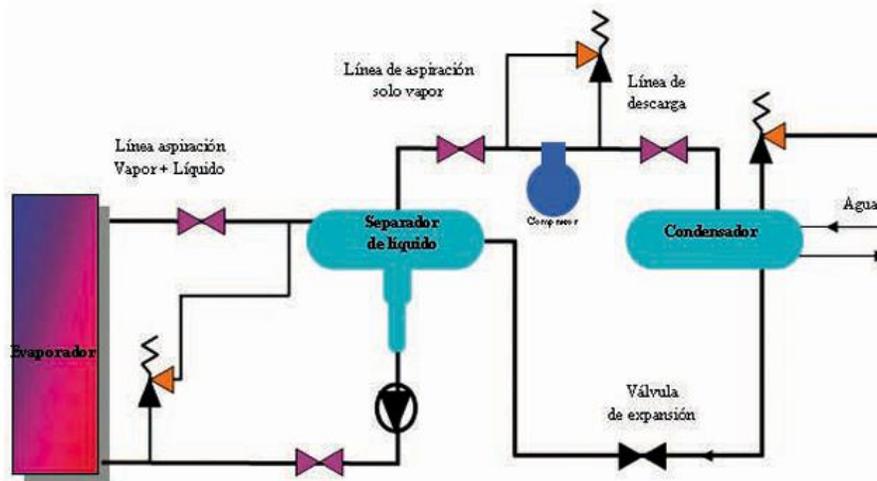


Ilustración 9. Diagrama de un circuito de refrigeración por recirculación de líquido

Fuente: (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014)

Actualmente el sistema de refrigeración de Embotelladora de Sula trabaja con amoníaco, que según González Sierra (2012) se trata de un refrigerante natural con ninguna consecuencia sobre la capa de ozono y sin efecto invernadero, por lo que es considerado como un refrigerante

ecológico. Sin embargo, es imperativo contar con un sistema eficiente para manipularlo ya que el contacto directo con esta sustancia puede traer consecuencias graves para la salud del personal de la empresa.

El proceso de refrigeración en la empresa se desarrolla en un circuito cerrado. Todo comienza con la descarga del compresor. Inmediatamente el refrigerante se dirige hacia el condensador; sin embargo, antes de llegar a esta máquina se encuentran una serie de válvulas que tienen funciones de regulación o de seguridad. El vapor pasa a través de estas válvulas cuando es necesario, y se produce una ligera pérdida de carga o presión en el fluido. Luego llega al condensador, y en este caso el refrigerante se condensa con el agua proveniente de una torre de enfriamiento, de donde sale directo al recipiente de líquido.

Tras pasar por un sistema de expansión donde entra fluido líquido y sale una mezcla de líquido y vapor, el refrigerante llega a un separador de líquido dividiéndose el líquido por la parte inferior, el cual se distribuirá por los distintos evaporadores de la instalación, y el vapor por la parte superior, el cual se conduce a la succión del compresor comprimiéndose para ir a la descarga.

El suministro de líquido al separador mediante sistemas de expansión eléctricos o electrónicos se hace de forma que el nivel de líquido en el separador sea constante. La forma de realizar este control de nivel afecta de manera considerable en la estabilidad de la presión de aspiración.

El líquido acumulado en el separador de líquido se distribuye, por medio de una bomba a los distintos evaporadores. Para que el suministro de líquido a la bomba sea adecuado, es necesario que haya una altura mínima de refrigerante en el separador capaz de generar una presión mínima que evite la cavitación del líquido.

En los evaporadores, el líquido se vaporiza parcialmente, saliendo una mezcla de vapor y líquido que llega al separador de líquido. Aquí la mezcla sale, y el líquido cae al fondo donde vuelve a circular por el evaporador, y el vapor se une al que proviene de la expansión y ambos se dirigen hacia el compresor.

3.2.2 COMPONENTES Y MÁQUINAS

El funcionamiento de los equipos que se emplean para producir frío en la industria se basa en aprovechar la necesidad de un fluido, utilizado como refrigerante, de obtener calor del entorno para pasar del estado líquido al gaseoso al ser introducido en un espacio con una presión más baja (Serrano Pérez & de Oña Baquero, 2012).

En un circuito de refrigeración se encuentran distintos componentes básicos para el funcionamiento del sistema:

- Evaporadores
- Compresores
- Condensadores

3.2.2.1 Evaporadores

Según Balboa (2012) un evaporador es un intercambiador de calor que tiene la capacidad necesaria para conseguir la temperatura deseada en el espacio a enfriar. Los evaporadores se fabrican en una variedad de tipos, formas, tamaños y diseños, dependiendo de la capacidad requerida de refrigeración y de las instalaciones.

Un refrigerante en estado líquido absorbe calor cuando se evapora, y como consecuencia se produce un enfriamiento. El trabajo de un evaporador es simplemente tomar calor de sus alrededores y generar este enfriamiento. (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014).

Un evaporador tiene algunos elementos importantes que a continuación se describen:

- Placas de enfriamiento: el amoníaco líquido circula a través de los canales internos de las placas de enfriamiento. El refrigerante entra por la parte inferior del banco, parte de este es evaporado y una mezcla de líquido – vapor sale por la parte superior.
- Brida de acoplamiento: sirve para montar el banco de placas, permitiendo además establecer una conexión entre el tanque y las placas.
- Control para el evaporador: el control tipo flotador abre y cierra la válvula solenoide manteniendo el nivel de amoníaco

Cada línea de producción cuenta con su propia unidad de evaporación. Las líneas uno y cuatro tienen un evaporador marca VMC. Mientras que las líneas dos, tres y siete utilizan la marca Hansa. Ver Ilustración 10.



Ilustración 10. Evaporador con placas de marca VMC

Fuente: (VMC, s.f.)

3.2.2.2 Compresores

Franco Lijó (2012) manifiesta que la función principal de los compresores consiste en aspirar o cargar el fluido refrigerante a baja presión y temperatura, comprimirlo y finalmente descargarlo a una presión y temperatura que se pueda condensar.

Los compresores más usados en la refrigeración industrial son de tres tipos: reciprocantes, rotatorios y centrífugos. Cada uno de ellos tienen sus propias ventajas en su campo de aplicación; para casi todos los casos el tipo de compresor empleado en cada aplicación específica depende del tamaño y naturaleza de la instalación y del refrigerante utilizado.

Nasimba Guanoliquín (2015) describe que los elementos de seguridad y control más importantes para un compresor son los siguientes:

- Presostato de aceite: tiene como función medir la presión del aceite lubricante y detener el compresor si esta se encuentra por debajo del límite de seguridad.
- Presostato dual (alta y baja): protege al compresor contra presiones de descarga excesivamente altas o presiones de succiones bajas.

- Termómetro: El equipo cuenta con termómetros en la succión, descarga y en el cárter de aceite.
- Separador de aceite: Los compresores de refrigeración por amoníaco permiten aceite en la línea de descarga, un alto porcentaje de aceite es atrapado en el separador y luego es retornado al compresor con lo cual se reduce el consumo en el sistema. Cabe notar que residuos o partículas de aceite presentes en el amoníaco pueden resultar en problemas para todo el sistema de refrigeración.

El sistema de refrigeración de EMSULA está compuesto por nueve compresores de pistón de 8 cilindros con 1200 caballos de fuerza (marca Vilter). Ver Ilustración 11. Todos los compresores se enfrían mediante agua, es decir, el cabezal del cilindro y el aceite utilizado se refrigeran con agua.



Ilustración 11. Compresor tipo VMC 458XL de marca Vilter

Fuente: (Vilter, s.f.)

El factor más importante que regula la capacidad de un compresor es la presión y la temperatura de evaporación del líquido. (González Sierra, 2012). A continuación, se muestra la Tabla 1, en la cual se presentan las variables más relevantes para los compresores.

Tabla 1. Características de funcionamiento de un compresor Vilter

Variable	Valor
Velocidad	1200 rpm
Presión de evaporación	30 – 40 psi
Temperatura de evaporación	-8.7 C – -3.5 C
Presión de condensación	150 – 180 psi
Temperatura de condensación	29 C – 35 C

3.2.2.3 Condensadores

Romero Gómez (2012) sostiene que los condensadores son intercambiadores de calor que se encargan de expulsar el calor del sistema que ha sido absorbido por el evaporador.

Su función es condensar el fluido refrigerante. Después de salir del compresor, el refrigerante está en un estado de vapor recalentado y entra de esta manera al condensador. El vapor le transfiere su calor al agente condensante, produciéndose un enfriamiento del líquido refrigerante, hasta que llegue a la temperatura de condensación y cambie de estado (Franco Lijó, 2012).

Los condensadores son de tres tipos generales: enfriados con aire, enfriados con agua y evaporativos; y el empleo de un condensador en específico va a depender de las capacidades y la aplicación que se le quiera dar.

A continuación se describen algunos de los elementos y sistemas importantes que conforman un condensador evaporativo:

- Sistema de circulación de aire: Es importante que el aire pueda circular libremente a través del condensador.
- Sistema de circulación de agua: El tanque para el agua puede encontrarse instalado aparte o bien puede ser parte del condensador.
- Purgas de gases que no condensan: Gases que no se condensan penetran en el sistema cuando se produce una evacuación insuficiente del sistema o cuando se opera bajo vacío y no se purgan de aire las mangueras de carga de aceite o refrigerante.
- Controles de presión: están conectados a la tubería de descarga del condensador.

Para la refrigeración de EMSULA, el sistema posee dos condensadores evaporativos marca BAC. Ver Ilustración 12. El sistema que brinda esta compañía promete un ahorro de energía proveyendo temperaturas de condensación más bajas que los sistemas convencionales de condensación enfriados por agua o por aire.



Ilustración 12. Condensador evaporativo tipo VC2-1160S de marca BAC

Fuente: (BAC, s.f.)

Algunos de los factores importantes por estudiar en el funcionamiento de los condensadores son la temperatura de condensación y la temperatura de bulbo húmedo. En la Tabla 2 y Tabla 3, se presentan las variables más relevantes para ambos condensadores BAC.

Tabla 2. Características de funcionamiento del condensador #1 de marca BAC

Variable	Valor
Temperatura de condensación	35.7 C
Temperatura de bulbo húmedo	25.6 C
Capacidad	2839 kW

Tabla 3. Características de funcionamiento del condensador #2 de marca BAC

Variable	Valor
Temperatura de condensación	35 C
Temperatura de bulbo húmedo	26.7 C
Capacidad	2519 kW

Aparte de las máquinas descritas anteriormente que juegan un rol fundamental en el proceso de refrigeración, existe de igual manera un conjunto de equipos cuyo funcionamiento es significativo, así que será necesario exponerlos.

3.2.2.4 Intercambiadores de calor

La moderna tecnología detrás de los intercambiadores de calor los ha convertido en equipos cada vez más utilizados en los sistemas de refrigeración.

El intercambiador de calor de placas consiste en el uso de placas para separar a los dos fluidos. Los líquidos calientes y fríos se alternan entre cada una de las placas. Ya que cada una de las placas tiene un área superficial muy grande, las placas proveen un área enorme para la transferencia térmica a cada uno de los fluidos. Por lo tanto, un intercambiador de placas es mucho más eficiente que los otros tipos de intercambiadores (Jaramillo, 2007). Ver Ilustración 13.

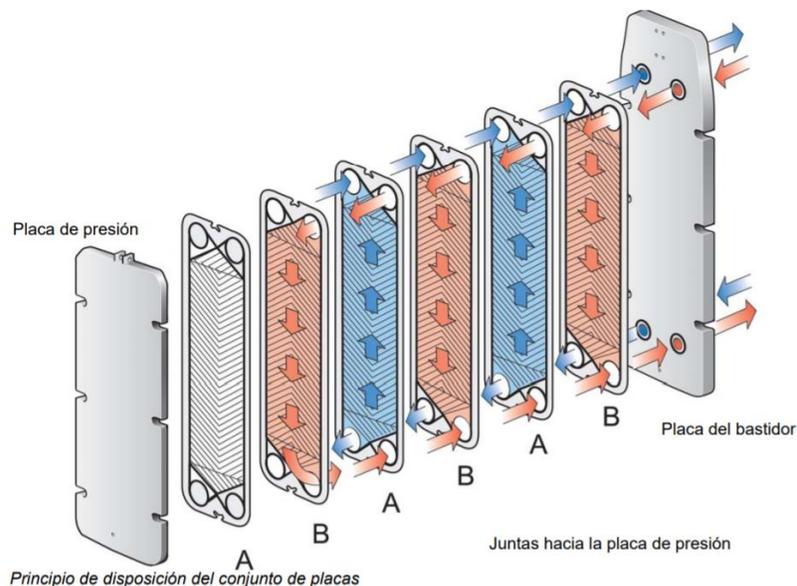


Ilustración 13. Diagrama de distribución de las placas de un intercambiador de calor

Fuente: (Jaramillo, 2007)

Los enfriadores o cargas que pertenecen al sistema de refrigeración de EMSULA son en su mayoría intercambiadores de calor de placa (PHE) de distintas marcas. Las líneas uno y cuatro utilizan la

marca ARAX, mientras que las líneas dos, tres y siete están equipadas con una unidad Alfa Laval. Ver Ilustración 14.



Ilustración 14. Intercambiador de calor de placas de marca Alfa Laval

Fuente: (Alfa Laval, s.f.)

A continuación, se presenta la Tabla 4 y Tabla 5, donde se exponen las variables importantes para cada una de las marcas (ARAX y Alfa Laval) anteriormente presentadas.

Tabla 4. Características de funcionamiento del intercambiador de calor de marca ARAX

Variable	Valor
Temperatura de entrada	19 C
Temperatura de salida	5 C
Capacidad	856 kW

Tabla 5. Características de funcionamiento del intercambiador de calor de marca Alfa Laval

Variable	Valor
Temperatura de entrada	28 C
Temperatura de salida	3 C
Capacidad	871 kW

3.2.2.5 Tanque de alta presión y separador de baja presión

El tanque recibidor o de alta presión está localizado debajo de los condensadores; este tanque es marca Nickell. Ver Ilustración 15. El amoníaco líquido abandona el tanque mediante filtros hacia los consumidores.

El tanque no tiene partes móviles y por lo tanto está libre de problemas. El nivel de refrigerante se puede observar en el tubo de control o visor. Este control es importante para el funcionamiento del circuito en general, recalcando que el tanque debe tener al menos un tercio de su capacidad.

El tanque está equipado con una válvula de seguridad; cuando hay presiones altas en el sistema, esta válvula se abre para liberar el exceso de presión.



Ilustración 15. Tanque recibidor o de alta presión de marca Nickell

El separador de baja presión tiene como función separar el gas del amoníaco líquido que viene de los consumidores, para que los compresores solo succionen refrigerante en estado gaseoso. Ver Ilustración 16.



Ilustración 16. Separador de baja presión

3.2.2.6 Torres de enfriamiento

El calor absorbido por el evaporador tiene que ser expulsado a la atmósfera. En general, los sistemas de refrigeración de alta potencia usan el agua como medio para expulsar el calor, y la mayoría de estas instalaciones utilizan torres de refrigeración para la expulsión del calor al ambiente. La torre de refrigeración es un buen sistema cuando se desea limitar el consumo de energía primaria (González Sierra, 2012).

Actualmente en Embotelladora de Sula existen cuatro torres de enfriamiento de tipo abierto instaladas para enfriar procesos. Es importante mencionar que estas unidades no poseen placas con el nombre del fabricante debido a que fueron instaladas cuando se constituyó la empresa y probablemente con el paso del tiempo se fue desgastando la placa con los datos.

Es por esta razón que una determinación de las condiciones y capacidades de diseño no es posible en este momento. Sin embargo, existe una nueva torre de enfriamiento que se utiliza para la línea cuatro. Es de marca EVAPCO y de acero inoxidable. Ver Ilustración 17.



Ilustración 17. Torre de enfriamiento tipo USS 19-812 de marca EVAPCO

Fuente: (EVAPCO, s.f.)

En la Tabla 6, se muestran las variables más importantes para la torre de enfriamiento EVAPCO.

Tabla 6. Características de funcionamiento de la torre de enfriamiento de marca EVAPCO

Variable	Valor
Temperatura entrante	35.56 C
Temperatura saliente	30 C
Temperatura de bulbo húmedo	27.78 C
Capacidad	1099 kW

3.2.2.7 Válvulas de expansión

Después del condensador evaporativo, el líquido refrigerante pasa por una válvula de expansión, donde su presión y temperatura se reducen hasta alcanzar las condiciones que existen en el evaporador.

El dispositivo de expansión hace posible que el refrigerante, al pasar del lado de alta presión en el condensador al lado de baja presión en el evaporador, se encuentre en condiciones aptas de baja presión y baja temperatura (García Almiñana, 2007).

3.2.3 OPERACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

El sistema de refrigeración de Embotelladora de Sula trabaja continuamente las 24 horas del día los 365 días del año, deteniéndose solo en ciertas ocasiones programadas. Este sistema es un pilar importante tanto en los procesos anteriores como en los siguientes, ya que una falla que se presente en la refrigeración podría ocasionar una suspensión de toda la línea de producción.

3.2.4 CONTROL DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

La búsqueda incesante de soluciones de bajo costo y eficientes ha encaminado a la industria de la refrigeración a la implementación de sistemas enfocados en tener un control semi automático, ofreciendo de esta manera sustentabilidad tanto a los productos como a los equipos.

En los circuitos de refrigeración por recirculación de líquido, el control de nivel de líquido en el separador o recipiente de líquido, es la regulación más importante de estos sistemas, ya que es donde se almacena y acumula la mayor parte de refrigerante líquido de la instalación, y en todo momento se debe evitar que el líquido pueda llegar al compresor (Sanz del Castillo & Sanz del Castillo, 2014).

La refrigeración de Embotelladora de Sula está actualmente controlada por diversos sistemas. Los compresores, condensadores y el receptor de baja presión están controlados por un mismo sistema. Por su parte, los evaporadores tienen su propio sistema de control.

3.2.4.1 Control de compresores

Todos los compresores están controlados por un sistema de control Allen Bradley, proporcionado por la empresa Vilter. Ver Ilustración 18.

Este sistema enciende y apaga constantemente los compresores, así como regula la capacidad de cada uno de ellos. Tiene incluido una alarma y un sistema de monitoreo que va recopilando no solo los datos de los compresores, sino que también cualquier falla que se presente.



Ilustración 18. Interfaz del controlador Allen Bradley para los compresores Vilter

3.2.4.2 Control de evaporadores

El control de los evaporadores se hace mediante un Danfoss EKC361. Este controlador se utiliza cuando existen requerimientos estrictos en cuando a la temperatura del medio. Ver Ilustración 19.



Ilustración 19. Controlador Danfoss EKC361 para los evaporadores VMC y Hansa

3.2.4.3 Control de condensadores

Los condensadores están controlados asimismo por el sistema Allen Bradley de los compresores. Ver Ilustración 20. Las bombas y los ventiladores se pueden encender y apagar utilizando este sistema, pudiéndose de igual manera regular la temperatura de condensación.



Ilustración 20. Interfaz del controlador Allen Bradley para los condensadores BAC

3.3 MANTENIMIENTO

La historia del mantenimiento acompañó el desarrollo técnico e industrial de la humanidad. Fue así como durante la revolución industrial surgió la necesidad de las primeras reparaciones de máquinas.

A lo largo de su ciclo de vida, cada sistema pasa por distintas fases o etapas. Durante la última etapa, llamada fase de operación, que es la única auténticamente productiva, la máquina se somete a fallas que dificultan o inclusive, pueden llegar a interrumpir temporal o indefinidamente el funcionamiento del sistema.

Como en cualquier planta industrial es necesario un programa de mantenimiento efectivo para poder garantizar el correcto funcionamiento de las instalaciones. Esto no solo tiene una repercusión importante en los costos económicos, sino que también el estado de las instalaciones o elementos puede afectar la integridad de las personas que trabajan en dichas compañías.

Es así como se puede concluir que existe una relación directa entre el funcionamiento de la instalación y los costos derivados de la misma. Se deduce entonces que el mantenimiento implica un control técnico y económico.

Generalmente, todo lo que existe, y principalmente si es móvil, se deteriora o falla con el simple uso. Dichas situaciones pueden ocurrir a corto o largo plazo. El paso del tiempo provoca en ciertos sistemas una depreciación de las cualidades de la máquina.

Mora Gutiérrez (2009) manifiesta que el departamento de mantenimiento desarrollado como una unidad estratégica de negocios, generadora de ingresos, se ha constituido en la meta de las empresas durante las últimas décadas en varios países del mundo.

3.3.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) mantenimiento se refiere al control constante de las instalaciones y conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el buen funcionamiento de las plantas de producción (Medrano Márquez, González Ajuech, & Díaz de León Santiago, 2017).

3.3.2 OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO

Franco Lijó (2012) declara que los principales objetivos del mantenimiento son:

- Reducir los costos que causan las paradas de las líneas de producción después de averías o fallas.
- Reducir el deterioro de los elementos, equipos o instalaciones en general.

3.3.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Actualmente existen varios métodos o técnicas para abordar el servicio de mantenimiento de las instalaciones en operación. Algunas de las metodologías no solamente se centran en la tarea de corregir las fallas cuando estas ya han ocurrido, sino que también tratan de actuar antes de que los daños o deterioros sucedan.

En este apartado se enfocará únicamente en el mantenimiento preventivo y correctivo ya que estos dos tipos son los que se implementan en Embotelladora de Sula.

3.3.3.1 Mantenimiento preventivo

Para Franco Lijó (2012) mantenimiento preventivo es aquel que se realiza a intervalos predeterminados u otros criterios prescritos, con el objetivo de reducir las posibilidades de averías. Consiste en realizar ciertas operaciones con una frecuencia de tiempo o de horas de funcionamiento u otros criterios.

González Sierra (2012) sostiene que la aplicación del mantenimiento preventivo se establece en base a un estudio predictivo que contempla:

- Conceptos de limpieza: Filtros (líquido-aspiración), aceites, limpieza de baterías condensadoras, limpieza baterías evaporadoras.
- Conceptos eléctricos: Reaprietes de bornes, consumos, limpieza componentes.
- Conceptos frigoríficos: Niveles de aceite, retorno de refrigerante, ruidos, control del sistema de desescarche, niveles de refrigerante (pérdida de gas).
- Conceptos mecánicos: Compresor (elementos de fricción: rodamientos, casquillos; elementos de estanquidad: platos válvulas, juntas), ventiladores, válvulas (eléctrica, mecánica).
- Conceptos electrónicos. Contactores, niveles térmicos.

El mantenimiento preventivo de las instalaciones frigoríficas es aquel que se ejecuta de acuerdo con un programa de tiempo establecido, calculando previamente la duración teórica de los elementos y componentes de la instalación para reemplazarlos antes de que sobrepasen esta duración (Romero Gómez, 2012).

3.3.3.2 Mantenimiento correctivo

Franco Lijó (2012) define el mantenimiento correctivo como aquel que se realiza cuando la avería o anomalía ya se produjo, para regresar al elemento o equipo a las condiciones normales de utilización.

El tiempo que transcurre desde que se presenta la falla hasta que el personal de mantenimiento intervenga es un factor crítico. Según González Sierra (2012) se deben diferenciar distintos niveles de actuación en el mantenimiento correctivo:

- Nivel de actuación inmediata: Persona de la empresa que instaló el equipo y que le brinda mantenimiento regularmente se encuentra en la planta.
- Nivel de actuación casi inmediata: Actuación de unas tres o cuatro horas; se aplica en situaciones donde el no actuar podría causar graves problemas en el plantel.
- Niveles de actuación entre 24 y 48 horas: Intervención urgente.

No es recomendable que este tipo de mantenimiento se utilice como base en una empresa, ya que las fallas pueden llegar a ser recurrentes, se pueden crear daños en otras máquinas e incrementar el tiempo de reparación, lo que implica un paro en la producción.

A continuación, se presenta la Ilustración 21, donde se muestran los pasos que conlleva un mantenimiento correctivo de una máquina desde la revisión del inventario para comprobar si existen repuestos hasta la entrega del informe y el fin del proceso.



Ilustración 21. Diagrama de los pasos para la ejecución del mantenimiento correctivo

Fuente: (Medrano Márquez et al., 2017)

3.3.4 PLAN DE MANTENIMIENTO

Resulta necesario llevar una programación del mantenimiento de la maquinaria de los equipos de frío, ya que de su buen estado va a depender que el equipo funcione eficazmente (Serrano Pérez & de Oña Baquero, 2012).

El conjunto de tareas que se realizan para mantener una máquina en buen estado y la frecuencia con la que estas labores deberían realizarse constituyen la base de un plan de mantenimiento.

López Riera & Merayo Sánchez (2013) aseguran que se debe realizar una planificación del mantenimiento de una máquina. El resultado será un plan que debe responder a las siguientes preguntas:

- ¿Qué se va a mantener?
- ¿Dónde se debe realizar este mantenimiento?
- ¿Cuándo se debe mantener?
- ¿Cuánto tiempo se necesitará para realizar ese mantenimiento?
- ¿Qué urgencia tiene la tarea de mantenimiento a realizar?
- ¿En qué consiste exactamente la tarea a realizar?
- ¿Qué equipos y/o materiales se van a necesitar?

3.3.5 CONSECUENCIAS DE LA FALTA DE MANTENIMIENTO

Uno de los factores más habituales en los accidentes industriales es la avería de equipos por la falta parcial o total de procedimientos suficientemente efectivos en el área de mantenimiento.

González Sierra (2012) afirma que un defecto de mantenimiento provocara que la instalación trabaje en condiciones de bajo rendimiento. Una instalación con un programa de mantenimiento débil conduce a una insatisfacción del cliente y puede también originar pérdidas de mercancías.

El efecto más substancial de la falta de mantenimiento es la perdida financiera que ocurre cuando las líneas de producción están en paro, ya sea parcial o general.

3.3.6 MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

Como en cualquier planta industrial que cuente con un sistema de refrigeración, es necesario conocer el mantenimiento que se le debe dar a las máquinas para que estas funcionen correctamente.

Cada sistema de refrigeración debe ser sometido a un mantenimiento preventivo de acuerdo con el tipo, las dimensiones y la antigüedad. El mantenimiento debe llevarse a cabo usando los equipos especiales que garanticen la seguridad tanto del personal como de las maquinas.

El mantenimiento y la limpieza de primer nivel de los equipos de frío han de contemplar varios aspectos de los equipos. Por una parte, se debe comprobar a diario el correcto funcionamiento del equipo, para lo cual los equipos disponen de termómetros en lugares visibles para comprobar la temperatura de trabajo (Serrano Pérez & de Oña Baquero, 2012).

Algunos puntos en los cuales se debe tener especial cuidado en el mantenimiento de un sistema de refrigeración son los siguientes:

- Los niveles de aceite utilizados en el compresor se deben verificar. Si el nivel está bajo, se le debe proporcionar más aceite y el compresor se mantendrá bajo observación para controlar que la causa no sea recurrente.
- El compresor debe ser detenido por un cierto tiempo para verificar el estado del sello mecánico, comprobando que no existan fugas de refrigerante.
- El estado de los filtros en los condensadores y evaporadores deben ser limpiados o reemplazados. De igual manera los filtros de las tuberías de agua deben someterse a su respectivo lavado.
- Se debe verificar que los motores y ventiladores tengan una lubricación adecuada y que el estado de operación sea la correcta.
- Para un condensador evaporativo o una torre de enfriamiento se debe verificar las condiciones de las mamparas de succión y de las espreas.
- Las bombas de agua deben ser evaluadas y los tanques deben sopletearse completamente para eliminar cualquier contaminante.
- Los desagües deben estar limpios y ser capaces de transportar toda el agua drenada, sin peligro de inundar el sistema.
- La condición de los contactos eléctricos en todos los arrancadores y controles debe revisarse, tanto los parámetros de operación como el arranque y el paro.

3.4 SISTEMAS DE CONTROL

Ogata (2010) afirma que un sistema de control es un tipo de sistema que se caracteriza por la presencia de una serie de elementos que permiten influir en el funcionamiento del sistema. La finalidad de un sistema de control es conseguir, mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen unos valores establecidos.

Un sistema de control ideal debe ser capaz de conseguir su meta cumpliendo los siguientes requisitos:

- Garantizar la estabilidad y especialmente ser robusto frente a perturbaciones y errores en los modelos.
- Ser tan eficiente como sea posible, según una serie de criterios preestablecidos. Normalmente este criterio consiste en que la acción de control sobre las variables de entrada sea realizable, evitando comportamientos bruscos e irreales.
- Ser fácilmente implementable y cómodo de operar en tiempo real con ayuda de un ordenador.

En la Ilustración 22, se presenta el esquema de funcionamiento de un sistema de control básico.

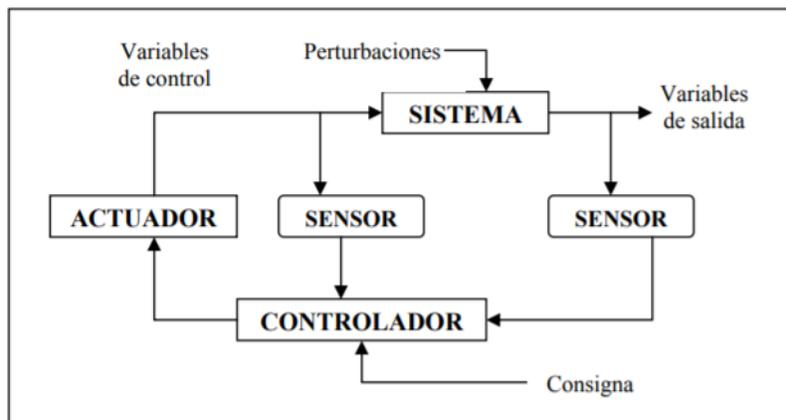


Ilustración 22. Esquema general de un sistema de control

Fuente: (Ogata, 2010)

3.4.1 TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL

Existen múltiples criterios para clasificar los distintos tipos de sistemas de control utilizados en la industria. Sin embargo para el aprovechamiento de este proyecto de investigación, se va a orientar al criterio de estrategia de control.

La estrategia de control hace referencia a la naturaleza y la dirección de los lazos existentes entre las variables medidas y/o controladas y las variables de control.

Se distinguen dos tipos de estrategias en función de la naturaleza de la información utilizada para calcular la acción de control del sistema.

3.4.1.1 Lazo abierto

Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada (Ogata, 2010). Ver Ilustración 23.

Alvarez Brotons (2004) explica que la acción de control en este sistema se calcula conociendo la dinámica del sistema, las consignas y estimando las perturbaciones. Esta estrategia de control puede compensar los retrasos inherentes del sistema anticipándose a las necesidades del usuario. Sin embargo, el lazo abierto generalmente es insuficiente, debido a los errores del modelo y a los errores en la estimación de las perturbaciones.

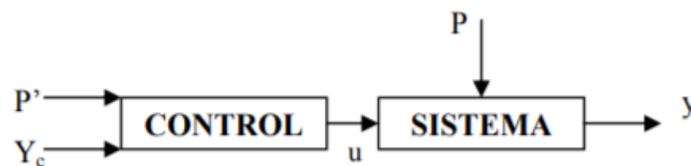


Ilustración 23. Diagrama de un sistema de control de tipo lazo abierto

Fuente: (Ogata, 2010)

3.4.1.2 Lazo cerrado

Según Alvarez Brotons (2004) en un sistema de lazo abierto la acción de control se calcula en función del error medido entre la variable controlada y la consigna deseada. Las perturbaciones, aunque sean desconocidas son consideradas indirectamente mediante sus efectos sobre las variables de salida. Ver Ilustración 24.

En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (Ogata, 2010).

Este tipo de estrategia de control puede aplicarse sea cual sea la variable controlada. La mayoría de los sistemas de control que se desarrollan en la actualidad son en lazo cerrado.

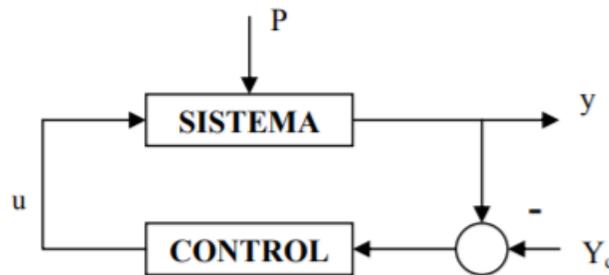


Ilustración 24. Diagrama de un sistema de control de tipo lazo cerrado

Fuente: (Ogata, 2010)

3.5 CONTROLADOR PID

“El regulador industrial de más amplio uso ha sido y es aún el regulador Proporcional Integral Derivativo (PID). Este regulador se encuentra en la mayor parte de plantas industriales, y en 9 de cada 10 aplicaciones industriales” (Ipanaqué, 2012, p.143).

En la actualidad, los sistemas de control utilizados en la industria para refrigeración han tomado el siguiente paso para renovarse, es decir, han dejado de usar sistemas clásicos de tipo ON/OFF para convertirse a sistemas de control basado en PID conocidos como tecnologías Smart Inverter, Digital Inverter o Dual Inverter.

La acción de control por PID es un mecanismo de control por retroalimentación que calcula la desviación o erro entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, con el fin de aplicar una acción correctora que ajuste el proceso (Ogata, 2010).

Para el correcto funcionamiento de un controlador PID que regule un proceso o sistema, es necesario tener los siguientes componentes:

- Un sensor, que determine el estado del sistema.
- Un controlador, que genere la señal que gobierna al actuador.
- Un actuador, que modifique al sistema de manera controlada.

A continuación, se presenta la Ilustración 25, en la cual se muestra el diseño básico del PID.

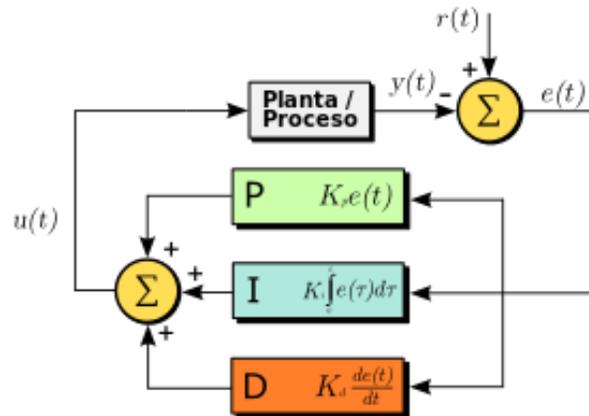


Ilustración 25. Esquema básico de un controlador PID

Fuente: (Ipanaqué, 2012)

Las tres partes que definen a un controlador PID se describen a continuación.

3.5.1 ACCIÓN DE CONTROL PROPORCIONAL (K)

Esta acción corrige la posición de la válvula a una cierta proporción con el cambio en el error o desviación entre la variable de proceso o set point. Es de efecto instantáneo y energético, pero suele presentar desviación permanente.

3.5.2 ACCIÓN DE CONTROL INTEGRAL (Ti)

Esta acción mueve la válvula a una velocidad proporcional a la señal de error o desviación, es decir, proporciona una corrección o reajuste para compensar las variaciones de carga y mantener la variable controlada en el set point.

3.5.3 ACCIÓN DE CONTROL DERIVATIVA (TD)

Esta acción corrige la posición de la válvula en una cantidad proporcional a la velocidad de cambio de la desviación. Esto produce un efecto anticipativo al tener en cuenta la tendencia de la variable controlada con el fin de estabilizarla rápidamente después de cualquier cambio en el proceso.

IV. METODOLOGÍA

El presente proyecto de tesis será una investigación científica aplicada en la industria de bebidas gaseosas; utilizando las tecnologías adecuadas ya existentes para que estas sean adaptadas de la mejor manera con el fin de desarrollar un mejor control de las temperaturas presentes en el mezclador, lugar donde se da el proceso de carbonatación de la bebida.

4.1 HIPÓTESIS Y VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Con la propuesta para la mejora del sistema de refrigeración de Embotelladora de Sula, se tendrá un método más adecuado para la carbonatación de bebidas, la cual logrará satisfacer la precisión, calidad de muestra y los procedimientos a la cual está sujeta.

En este proyecto de tesis, el cual tiene como objetivo constatar la hipótesis, se presentarán variables, las cuales serán estudiadas a fondo con el fin de poder alcanzar los objetivos previamente planteados.

Las variables independientes consisten en las causas que provocan que el sistema de refrigeración de EMSULA no funcione correctamente o no rinda para cada una de las líneas de producción. Dichas causas pueden ser, por ejemplo, la falta de aislamiento térmico en las tuberías o en algunas unidades, la corrosión en las tuberías, falta de un sistema de control en alguna parte del circuito, y la misma antigüedad de los equipos. Por su parte, la variable dependiente es la temperatura del jarabe.

4.2 ENFOQUE Y MÉTODOS

La presente investigación tiene un enfoque mixto. Por una parte, el enfoque cualitativo brinda el estudio de métodos de recolección de datos y de observaciones para describir el funcionamiento del sistema de refrigeración de Embotelladora de Sula. El enfoque cuantitativo, por su parte, provee un análisis de los datos de temperatura para dar solución a las preguntas de investigación propuestas anteriormente y para refutar o verificar la hipótesis.

En esta investigación, los métodos se ejecutarán de manera concurrente, es decir, se aplicarán ambos métodos de manera simultánea (los datos cuantitativos y cualitativos se recolectan y analizan más o menos en el mismo tiempo).

La metodología empleada en la presente investigación está conformada por tres fases. A continuación, se detalla cada una.

Fase 1

- Indagar como se manejan los distintos procesos de elaboración de bebidas carbonatadas en la planta de EMSULA.
- Charlas con los operarios y técnicos para comprender el funcionamiento del sistema de refrigeración de la empresa, así como sus características y otros detalles importantes.

Fase 2

- Inspeccionar el estado de los componentes y la maquinaria utilizada en el circuito de refrigeración, con el fin de verificar si son de óptimas condiciones para un buen funcionamiento.
- Generar información complementaria basada en la experiencia del personal operativo y de mantenimiento.

Fase 3

- Presentar una propuesta de un sistema de control para el intercambiador de calor de la línea de producción número 3.
- Entregar recomendaciones y conclusiones obtenidas a partir de los resultados obtenidos.

4.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población o universo se refiere al conjunto para el cual serán válidas las conclusiones que se obtengan: a los elementos o unidades (personas, instituciones o cosas) involucradas en la investigación (Arias, 2012). En la presente investigación, la población está constituida por siete líneas de producción de bebidas gaseosas de Embotelladora de Sula.

Como muestra se tiene a la línea de producción número tres, la cual será el objeto de estudio en la presente investigación. Cabe destacar que el muestreo es no probabilístico, ya que las unidades de análisis no tienen la misma probabilidad de ser elegidas. Es de tipo intencional o por conveniencia, puesto que el objeto de estudio fue elegido por el investigador. El criterio que se utilizó para la selección de la muestra fue el número de problemas que presentaba cada línea de producción.

4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

En esta investigación se utilizó la observación directa, la cual es un elemento fundamental de todo proceso investigativo, puesto que en ella se apoya el investigador para obtener el mayor número de datos. Dicha información fue almacenada en fotografías.

Asimismo, se usó la charla o entrevista con los operarios y con los técnicos eléctricos y mecánicos para conocer el funcionamiento del sistema de refrigeración, algunas fallas que se hayan presentado en el pasado y sus posibles causas. El método de realización de las charlas consistió en tomar nota de acontecimientos clave y otros datos importantes.

Además se hizo uso de un termógrafo, que es un equipo digital destinado a la medición, registro y el resguardo de datos de temperatura instrumentados. Se utilizó dicho equipo con el fin de recopilar las cifras de la temperatura presente en el intercambiador de calor. La información recopilada por este dispositivo se almacenó en capturas de pantalla.

4.5 UNIDAD DE ANÁLISIS Y RESPUESTA

La unidad de análisis en este proyecto de investigación es el intercambiador de calor de la línea de producción número tres.

4.6 CRONOGRAMA

Actividades y tareas	Semana									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Familiarización con el plantel y los procesos realizados en EMSULA	■									
Organización y planificación del proyecto de tesis		■	■							
Estudio y recopilación de información relevante a la investigación				■	■	■				
Diseño y aplicación de la metodología						■	■	■		
Análisis e interpretación de resultados									■	■
Presentación del informe										■

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 EVALUACIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE EMSULA

En general, una cantidad considerable de tuberías que transportan amoníaco presenta un cierto grado de corrosión, lo cual provoca una pérdida de eficiencia de los equipos y del sistema en general. Asimismo, cabe destacar que esto representa un riesgo para la salud del personal y para la seguridad del plantel. Ver Ilustración 25.

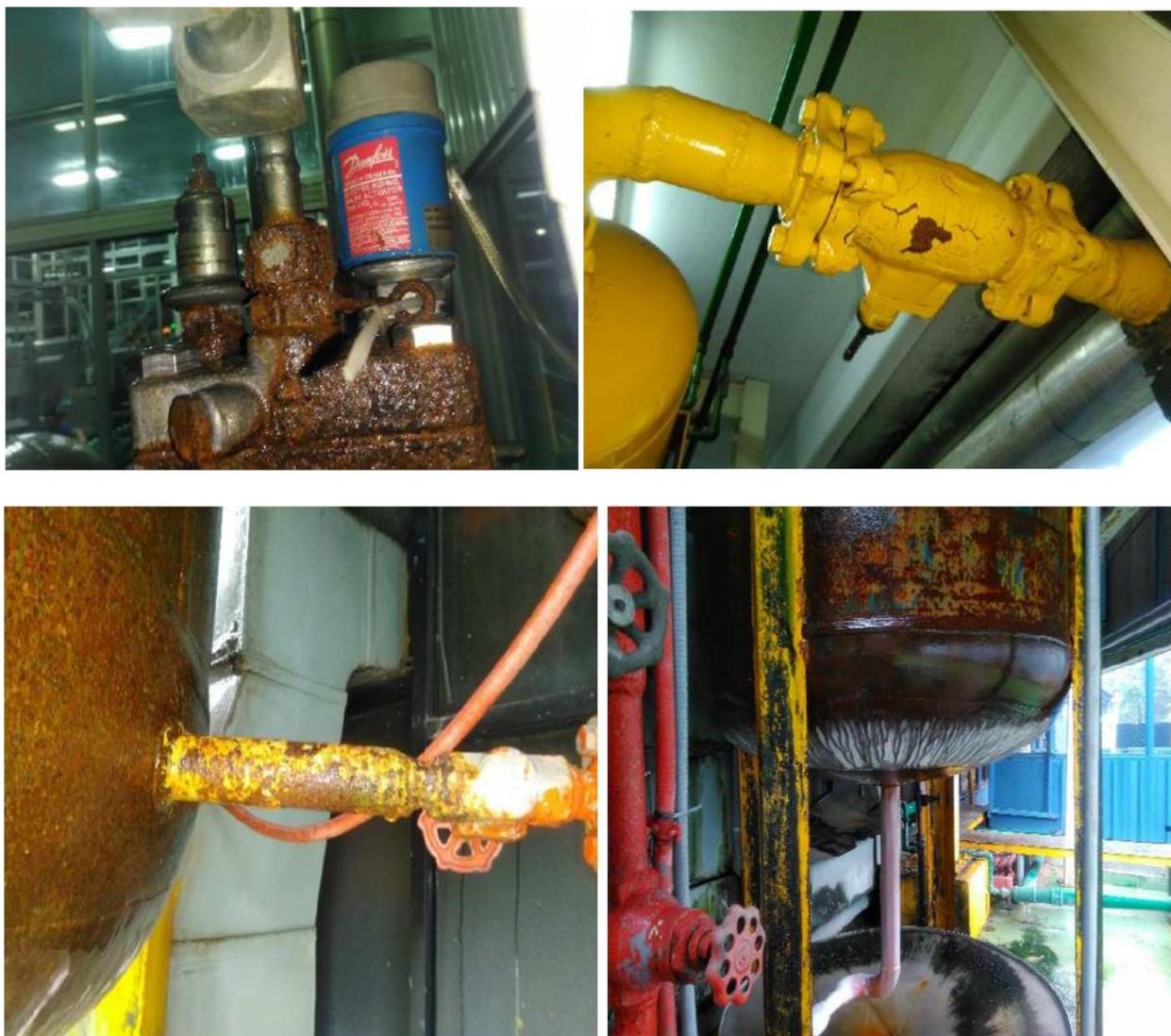


Ilustración 25. Tuberías y unidades que presentan corrosión en Embotelladora de Sula

La falta de aislamiento térmico en varias de las tuberías y unidades causa superficies húmedas e inclusive hasta formación de hielo. Ver Ilustración 26. Esto incrementa el problema de la corrosión y el riesgo de inconvenientes con conexiones eléctricas.



Ilustración 26. Unidad de almacenamiento de amoníaco sin cubrimiento aislante

Los compresores tienen una alta cantidad de horas trabajando. Esto se debe a que es posible tener a los compresores funcionando a una capacidad de 0%. Dicha acción se realiza para mantener la presión del sistema en el setpoint deseado. Como resultado se tiene un mayor desgaste de los compresores, mayor necesidad de mantenimiento y mayor consumo de energía.

A continuación, se muestra las horas trabajadas para cada compresor. Ver Ilustración 27.



Ilustración 27. Horas trabajadas por los compresores Vilter (marzo - septiembre 2018)

Los condensadores no presentan ningún problema y están trabajando de manera óptima, no obstante, se encuentran en condiciones de suciedad moderada. Ver Ilustración 28.

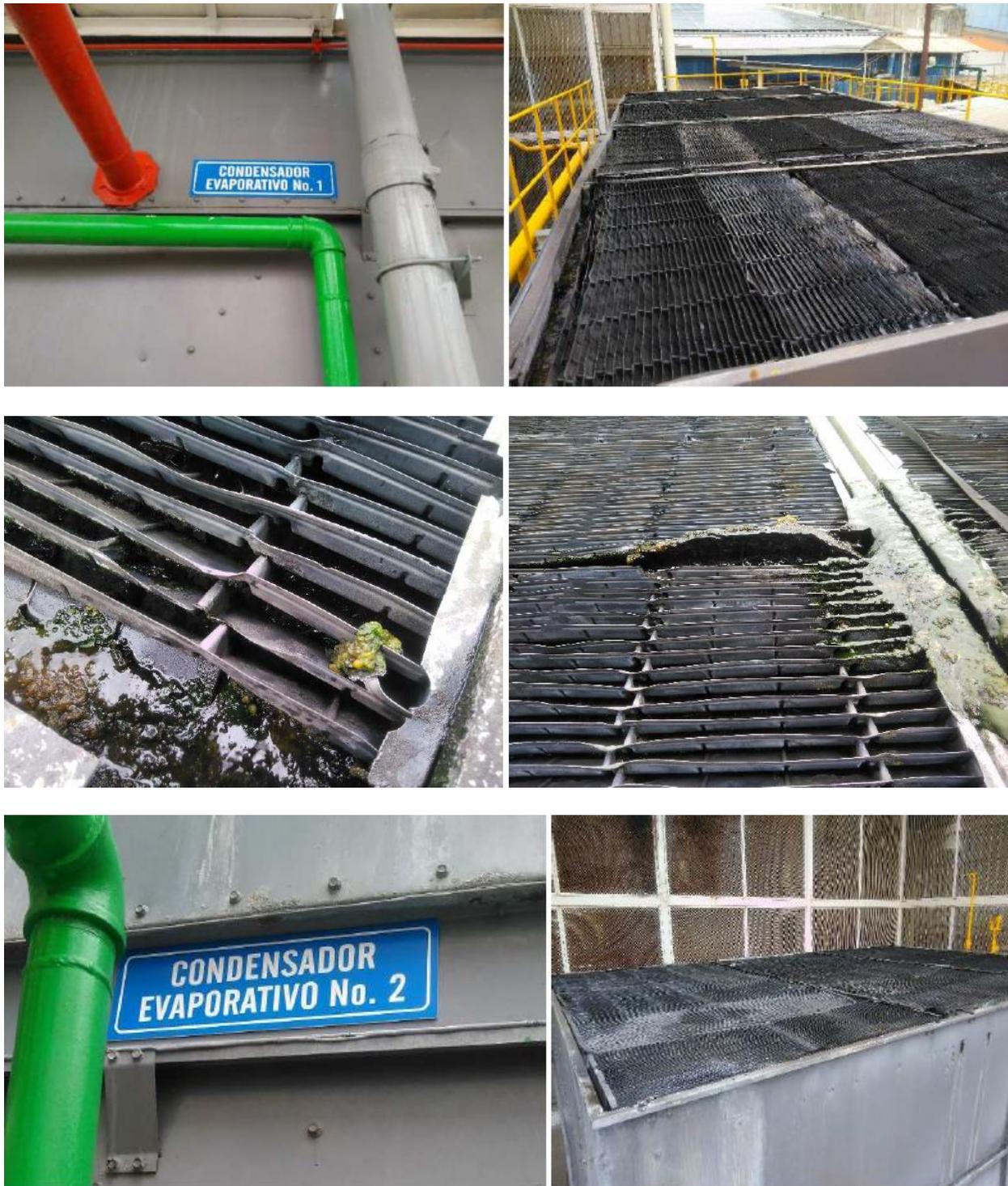


Ilustración 28. Estado de suciedad en los condensadores evaporativos de marca BAC

5.2 DESARROLLO DE SISTEMA DE CONTROL PARA EL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE LA LÍNEA #3

El objeto de estudio de esta investigación es el sistema de refrigeración de la línea tres, como ya se había mencionado en los capítulos anteriores.

5.2.1 CARACTERÍSTICAS Y ESTADO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

Primeramente, cabe destacar que el tanque de almacenamiento de amoníaco no cuenta con un recubrimiento aislador para protegerlo de transferencias de calor no deseadas con el ambiente.

Segundo, la cantidad de amoníaco en el tanque de almacenamiento del intercambiador parece encontrarse a un buen nivel, como lo muestra el medidor. Ver Ilustración 29. Sin embargo, cuando se utiliza un termógrafo, se puede apreciar claramente que el nivel está en el máximo. Esto es ventajoso para la bomba de refrigerante pero presenta ciertas inconveniencias para el receptor de baja presión, que en torno, afecta a todo el sistema.

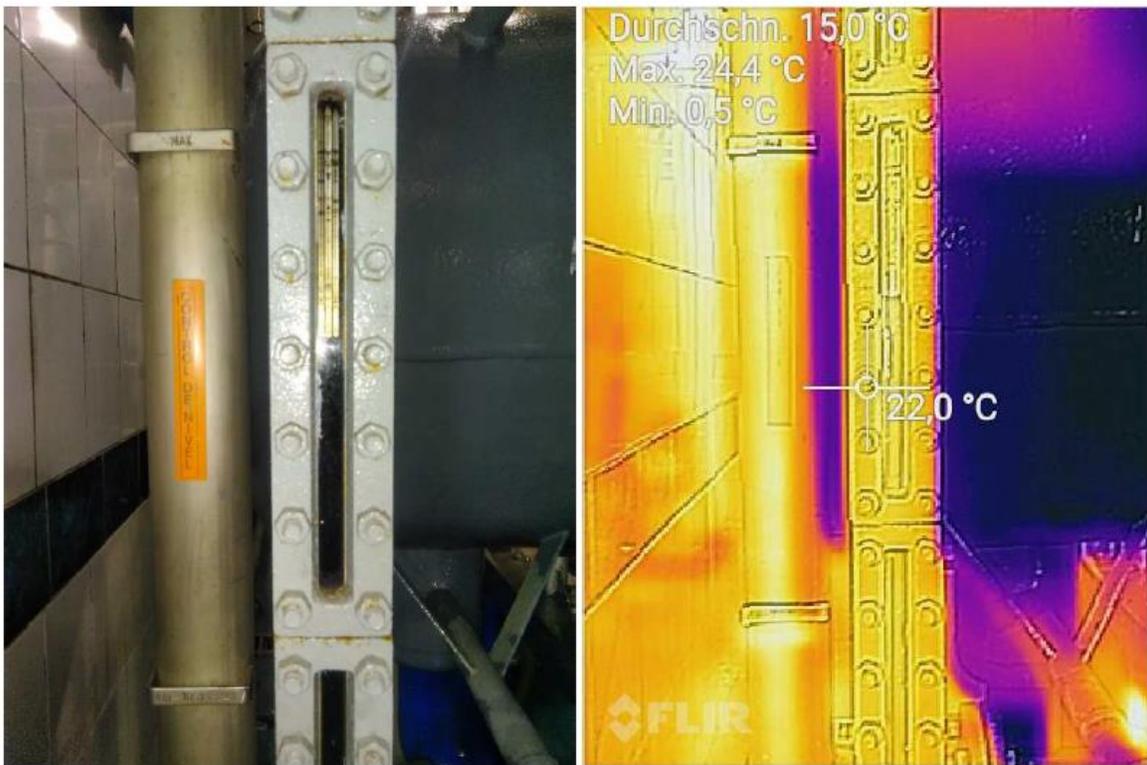


Ilustración 29. Nivel de amoníaco en el tanque de almacenamiento del intercambiador de calor de la línea de producción #3

5.2.2 CONDICIONES ACTUALES DE FUNCIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

El intercambiador de calor tiene dos entradas y dos salidas para el amoniaco y para el jarabe respectivamente. Ver Ilustración 30.



Ilustración 30. Intercambiador de calor de marca Alfa Laval en la línea de producción #3

Primeramente, el intercambiador de calor trabaja en estos momentos con una bomba cuya función es simplemente transportar el refrigerante. Es importante saber que una bomba de refrigerante es sensible a las variaciones de presión. Un cambio mínimo en la presión del sistema provoca la formación de gas en el flujo de la bomba, lo cual a su vez hace que la circulación se obstruya. Como consecuencia, la temperatura de salida del producto es significativamente más alta.

En segundo lugar, es importante destacar que la mayoría de las válvulas piloto con las cuales debería estar trabajando el intercambiador de calor no están instaladas. Esto en torno hace que el sistema opere solo regulando la presión y no la temperatura, que es la variable de salida del producto en este caso.

Tercero, la entrada de amoniaco en el intercambiador de calor de la línea tres está controlada por un sistema ON/OFF. Con este sistema se activa el mando de apertura de la válvula al 100% cuando el mezclador genera la señal para que comience el intercambio de calor. Se procede a cerrar la válvula cuando el mezclador deja de generar dicha señal.

5.2.3 SISTEMA DE CONTROL PROPUESTO

Como se mencionó en el capítulo anterior, para el correcto funcionamiento de un controlador PID es necesario contar con un sensor que determine el estado del sistema, un controlador que genere la señal que gobierna al actuador y un actuador que modifique al sistema de manera controlada.

Con el objetivo de dar una solución a los constantes problemas de temperatura en la línea #3, se propuso un controlador PID para el intercambiador de calor, proporcionando de este modo una acción de regulación a los requerimientos del proceso en específico.

Los elementos del sistema de control propuesto son los siguientes:

- Un sensor de temperatura PT100
- Un PLC SIMATIC S7-1200
- Una válvula piloto de Siemens

5.2.3.1 Sensor de temperatura

Los sensores PT100 son un tipo específico de detector de temperatura RTD (detector de temperatura por resistencia). La característica más importante de los elementos PT100 es que están fabricados con platino con una resistencia eléctrica de 100 ohmios a una temperatura de 0 grados Celsius y es el tipo más común de sensor RTD.

El único factor que se utilizó para seleccionar el sensor de temperatura fue el rango en el cual debía trabajar el sistema. En este caso, dicho rango es entre 3 y 7 grados Celsius.

Algunas características del sensor PT100 son las siguientes:

- Utilizado para mediciones en medios líquidos y pastosos
- Medición de temperatura de alta precisión
- Para utilización en el laboratorio, en la industria y en control de alimentos

- Rango de medición: -80 ... +300 °C
- La sonda de temperatura de precisión digital mide en medios líquidos y pastosos con una exactitud de ± 0.05 °C

A continuación, se muestra una ilustración del sensor propuesto.



Ilustración 31. Sensor de temperatura Pt100

5.2.3.2 Simatic S7-1200

El controlador lógico programable (PLC) S7-1200 ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una variedad grande de dispositivos para las distintas tareas de automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar diversas aplicaciones.

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta, conformando así un potente PLC.

A continuación se muestra la Ilustración 32, donde se muestra el controlador S7-1200 así como sus principales partes.

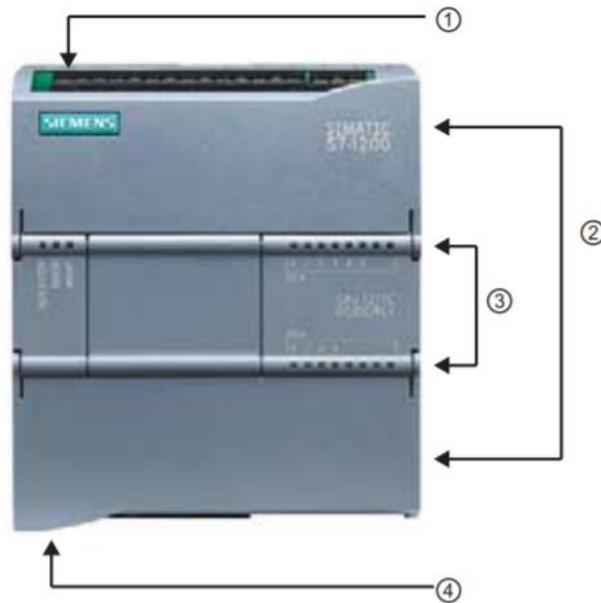


Ilustración 32. PLC Simatic S7-1200 de marca Siemens

- 1) Conector de corriente
- 2) Conectores extraíbles para el cableado de usuario (detrás de las tapas)
- 3) Ranura para Memory Card (debajo de la tapa superior)
- 4) LEDs de estado para las E/S integradas
- 5) Conector PROFINET (en el lado inferior de la CPU)

La gama S7-1200 ofrece diversidad de módulos de señales y signal boards que permiten ampliar las prestaciones de la CPU. También es posible instalar módulos de comunicación adicionales para soportar otros protocolos de comunicación

El Step7, que es el software de Siemens, tiene un comando específico, PID_Temp, que ofrece un regulador PID con la función de encargarse de requerimientos específicos en el control de temperatura, lo cual hace la tarea de programación más fácil. Por consiguiente, solo se debe configurar las entradas y salidas y los rangos de temperatura en los que va a trabajar el sistema.

Los parámetros más importantes de este comando se mencionan a continuación.

- Setpoint: valor ideal del controlador PID en modo automático.
- Input_PER: valor análogo de proceso.

- Output_PWM: valor de salida para modulación por ancho de pulsos.
- Error: detecta y presenta mensajes de error.
- State: modo actual de operación del sistema.

El funcionamiento del sistema de control propuesto es el siguiente:

La temperatura ideal para el proceso de carbonatación es de 5 grados. El nivel máximo de temperatura es en este caso 7 grados Celsius y el nivel mínimo de temperatura es 3 grados Celsius. Se tiene asimismo una acción moduladora que regula la temperatura cuando esta se encuentra fuera del rango aceptable.

A continuación se presenta la interfaz del programa donde se muestra el bloque de programación del controlador PID. Ver Ilustración 33. Se hizo uso de la programación en escalera para este sistema.

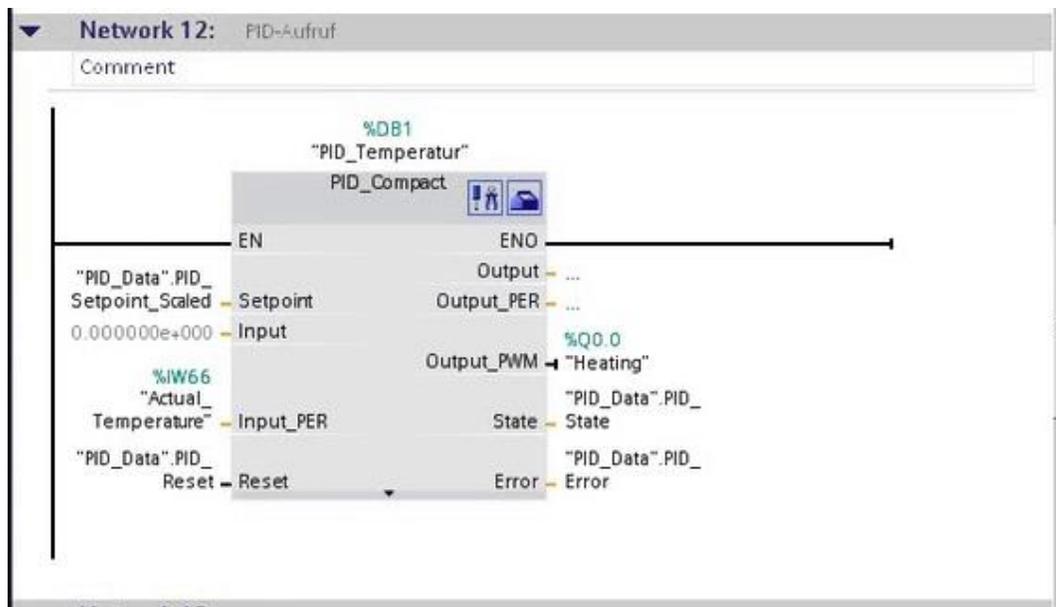


Ilustración 33. Bloque de programación para el controlador PID en el software Step7

A continuación, se muestra la gráfica del comportamiento del PID. Ver Ilustración 34. En esta grafica se puede apreciar como la variable de salida se va aproximando al setpoint a través del tiempo, que es la conducta que se desea en este proceso.

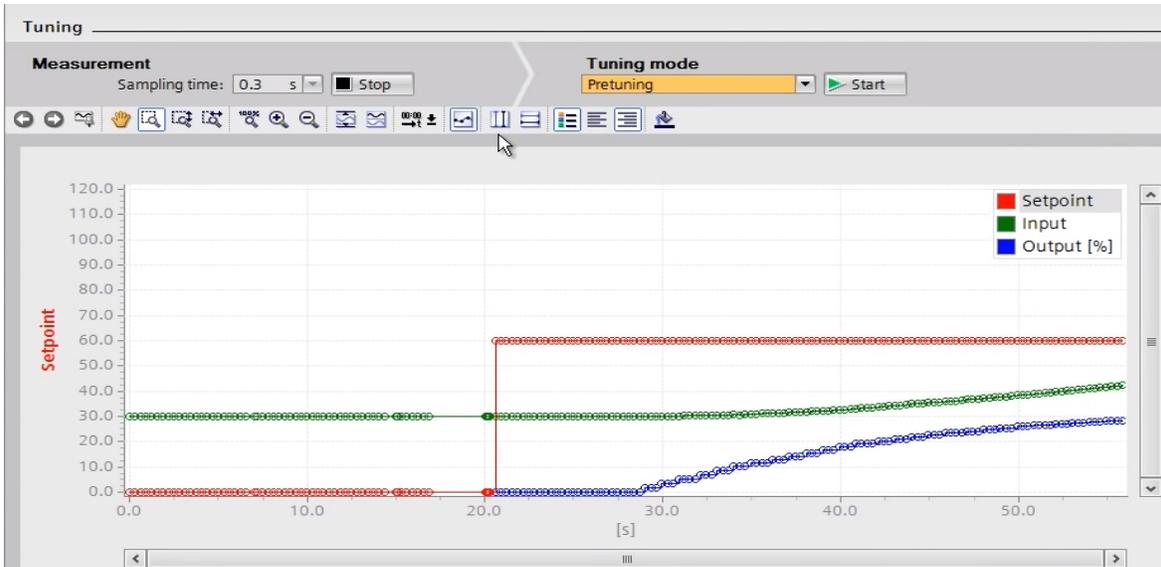


Ilustración 34. Gráfica de comportamiento del controlador PID

En la Ilustración 35, se presenta el HMI realizado para el sistema de control propuesto. Se puede observar las temperaturas y presiones de entrada y salida.

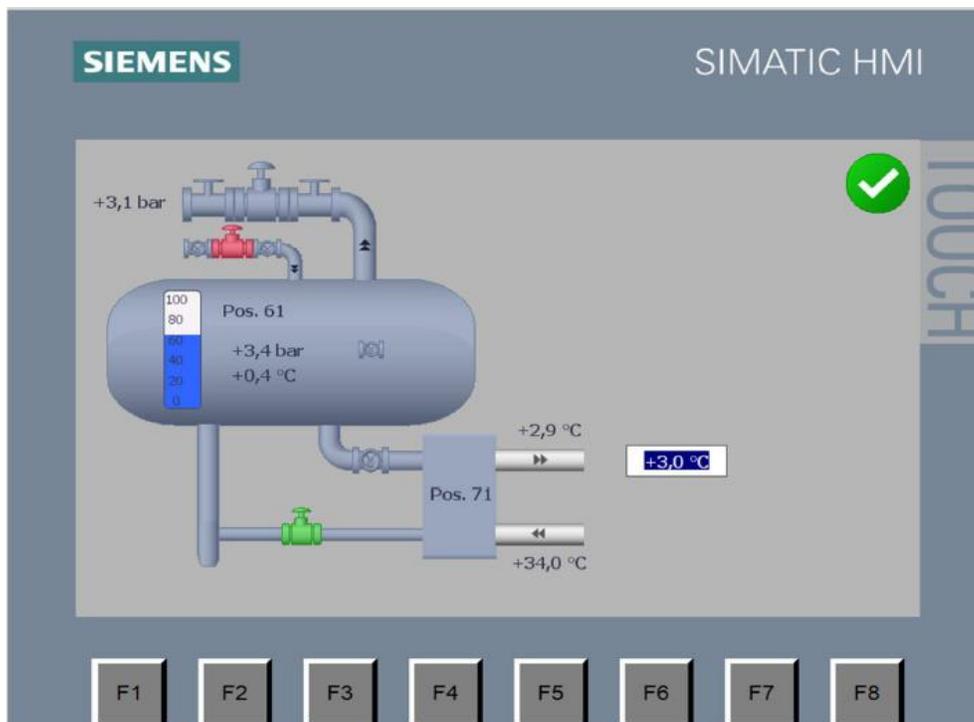


Ilustración 35. Human Machine Interface (HMI) para el sistema de control propuesto

5.2.3.3 Válvula piloto de Siemens

Una válvula de control es el elemento final de control más comúnmente usado. Las válvulas piloto se utilizan con frecuencia en grandes plantas de refrigeración que cuentan con muchos consumidores. Este dispositivo varía el flujo de material o energía a un proceso, ajustando una apertura a través de la cual fluya el líquido.

Los criterios que se emplearon para la selección de la válvula piloto fueron los siguientes:

- Capaz de trabajar con amoníaco, ya que el manejo de este compuesto debe darse de manera cautelosa
- Dimensiones de la tubería donde entra el amoníaco, en este caso, se midió la tubería con un pie de rey encontrando una dimensión de aproximadamente tres pulgadas.

Se seleccionó una válvula accionada por solenoide M2FP03GX de Siemens.

Descrita como una válvula experimental cuyas características se presentan a continuación:

- modulación de dos puertos
- corriente alterna 24 V
- corriente directa 0 - 10 V
- corriente 4 - 20 mA

A continuación, se presenta una ilustración de la válvula piloto propuesta.



Ilustración 36. Válvula piloto M2FP03GX de marca Siemens

5.2.3.4 Costos

A continuación, se presenta la Tabla 7, donde se exponen los costos de los equipos presentados.

Equipo	Costo
Simatic S7-1200 con los módulos de entrada y salida y la pantalla HMI	Lps. 35,000
Sensor de temperatura de precisión Pt100	Lps. 19,000
Siemens válvula piloto M2FP03GX	Lps. 30,000
Total	Lps. 84,000

Tabla 7. Costos de los equipos del sistema de control propuesto para el intercambiador de calor de la línea de producción #3

Cabe destacar que dichos costos son aproximados ya que la empresa al final del día es la que escoge de que proveedor obtener los equipos y maquinas. Es por esta razón que se presentan como costos aproximados, únicamente con el fin de hacerse una idea del presupuesto necesario para dicho proyecto. También es necesario aclarar que en esta parte solo se incluyen los precios de los equipos principales, sin tomar en cuenta la mano de obra u otros costos derivados.

5.3 PLANES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Finalmente en este proyecto de investigación, se elaboró un plan de mantenimiento para las siguientes maquinas:

- Compresores Vilter
- Condensadores BAC

La información necesaria para desarrollar los planes de mantenimiento se recopiló de los manuales de las maquinas de cada uno de los fabricantes, en este caso, Vilter y BAC.

Cabe recalcar que el mantenimiento actual de los compresores está a cargo de terceras partes, es decir, contratistas que proporcionan mantenimiento de acuerdo con sus experiencias o pensamientos y no en base a lo que el fabricante ha propuesto en los manuales. Es por esta razón que se decidió preparar un plan de mantenimiento comprensivo.

Las tareas de mantenimiento por realizar de cada máquina se clasificaron en cuatro categorías:

- Comprobación y ajustes
- Inspección y supervisión
- Lubricación
- Limpieza

Esto se realizó con el fin de hacer el trabajo del personal de mantenimiento más fácil y para mejorar la organización del sistema.

A continuación se presentan los planes desarrollados. Ver Ilustración 37 e Ilustración 38.

5.3.1 PLAN DE COMPRESORES

Plan de mantenimiento preventivo								
Maquina	Descripción del trabajo		Semanal	Mensual	Trimestral	Cada 6 meses	Anual	
Compresores VILTER 458XL	Comprobación y ajustes	Verificar que el sistema no tenga fugas.	X					
		Verificar el nivel de aceite y la condición de este.	X					
		Verificar la presión de aceite. Determinar si el filtro de aceite requiere ser cargado.	X					
		Verificar los niveles de refrigerante en los contenedores.	X					
		Verificar que los filtros en las unidades de manejo de aire estén limpios.	X					
		Verificar que no se halla formado escarcha en tubos capilares.	X					
		Verificar que las lecturas de todos los medidores sean correctas.	X					
		Verificar que los enfriadores de aceite no muestren señales de corrosión, incrustación o cualquier señal de deterioro.						X
		Verificar el estado de los drenajes para asegurar que el agua fluya alejándose del compresor y equipo.						X
		Corregir la tensión de las bandas de transmisión de potencia si esta no es la correcta o reemplazar las bandas de ser necesario.		X				
	Inspección y supervisión	Inspeccionar todo el sistema por fugas. De encontrarlas debe reparar el sistema.						X
		Inspeccionar los ventiladores por danos en el eje, aspas, cojinetes y funcionamiento de los motores						X
		Inspeccionar la operación y condiciones generales de los controles eléctricos						X
		Inspeccionar toda la línea de agua, filtros y estranguladores						X
		Inspeccionar el sistema de transmisión de bandas. Reemplazar las bandas si estas están desgastadas o encuentra cualquier falla o deterioro.						X
		Inspeccionar y limpiar los filtros y estranguladores de succión.						X
	Limpieza	Limpiar todo el oxido de la unidad.						X
		Drenar y limpiar el cárter del compresor.						X
		Realizar un lavado con una mezcla de agua y aceite (flushing) a todo el circuito de aceite. Reemplazar el filtro de aceite. Recargar con un aceite nuevo, limpio y libre de agua.						X
	Lubricación	Lubricar cada pieza de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Como guía general, los cojinetes que requieren aceite deben ser lubricados al menos una vez al mes y lo que requieren grasa, una vez cada 6 meses		X				
	<i>Nota</i>	Cuando el equipo de refrigeración es operado todo el año, un examen anual de todos los componentes del compresor es recomendado. La operación continua y cualquier presencia de suciedad puede ser causa de detrimento de la maquina. Para prevenir paros o colapso, el compresor debe ser abierto anualmente. Las condiciones de todos los componentes internos debe ser completamente inspeccionadas para determinar si las partes deben ser reparadas o reemplazadas.						X

Ilustración 37. Plan de mantenimiento para los compresores de marca Vilter

5.3.2 PLAN DE CONDENSADORES

Plan de mantenimiento preventivo									
Maquina		Descripción del trabajo	Semanal	Mensual	Trimestral	Cada 6 meses	Anual	Parada	
Condensadores BAC	Comprobaciones y ajustes	La balsa de agua fría debe inspeccionarse con regularidad. Deben eliminarse los restos que se hayan acumulado en la balsa o en los filtros.			X				
		Nivel de funcionamiento y llenado. Para comprobar el nivel de funcionamiento, proceda del siguiente modo: 1. Pare los ventiladores pero mantenga las bombas en funcionamiento. 2. Retire la puerta de acceso circular junto a la conexión de llenado. 3. Mida la altura desde la base de la balsa hasta el nivel de agua y compárela con el valor nominal indicado en la tabla. 4. Compruebe si hay fugas en la válvula y reemplácela si es necesario. 5. Compruebe que el brazo del flotador se puede mover libremente y que la bola del flotador flote y que cierra la válvula. 6. Asegúrese de que el suministro de agua de llenado sea adecuado		X					
		Purga. En caso de purga continua con una válvula de regulación en la tubería de purga, asegúrese de que la válvula no tenga obstrucciones y que el agua de purga se vacía libremente. Mida el caudal de purga registrando el tiempo necesario para alcanzar un volumen dado		X					
		Paquete de resistencia de balsa. Las resistencias de la balsa sólo deben funcionar en invierno, para impedir que se congele el agua de la balsa cuando las bombas de agua y los ventiladores están parados					X		
		Tensión de la correa. Compruebe la tensión de la correa del siguiente modo: 1. Pare el(los) ventilador(es). 2. Gire la polea del ventilador media vuelta para distribuir uniformemente la tensión en la correa antes de realizar la medida. 3. Compruebe la tensión de la correa verificando las dos condiciones siguientes: - la deflexión alcanza a 10 mm/m en la longitud de correa libre - La fuerza de desviación requerida está comprendida entre los valores mínimo y máximo			X				
		Alineación de la transmisión. La alineación se comprueba para el accionamiento estándar después de la correcta tensión de la correa colocando una regla a través de ambas poleas. Cuando las transmisiones están correctamente alineadas, la separación medida entre el borde de la regla y la polea no excede de 0,5 mm por cada 100 mm de diámetro de polea del ventilador.							X
		1. Pare el ventilador o ventiladores y extraiga los paneles de acceso lateral 2. Afloje el tornillo de ajuste. 3. Utilizando un punzón, golpee el anillo (en el agujero provisto) tangencialmente en la dirección de giro mientras sujeta el eje. 4. Vuelva a apretar el tornillo. 5. Cierre la puerta de acceso a la unidad bombas y ventiladores.						X	
		Tensión e intensidad del motor. La intensidad no debe superar la indicada en la placa de características. Si el equipo no funciona durante un período prolongado (o si el motor ha estado almacenado con la torre como kit) debe comprobarse el aislamiento del motor con un megóhmetro para medir el aislamiento antes de poner en marcha el motor							X
		Ruido anómalo y/o vibración. El ruido o las vibraciones anómalas son el resultado de la avería de componentes mecánicos o de problemas operativos			X				

Ilustración 38. Plan de mantenimiento para los condensadores de marca BAC

Condensadores BAC	Inspecciones y supervisión	<p>Aspecto general. La inspección debe centrarse en las siguientes áreas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • daños en la protección anticorrosiva • señales de formación de incrustaciones o corrosión • acumulación de polvo y restos • presencia de biofilms 		X				
		<p>Sección de transferencia de calor. El procedimiento de inspección es el siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Parar ventiladores y bombas. 2. Retirar los eliminadores y las puertas de acceso. 3. Inspeccione la batería para detectar <ul style="list-style-type: none"> - obstrucciones - daños - corrosión - incrustaciones 4. Tras la inspección, instale los eliminadores y las puertas de acceso, y ponga en marcha las bombas y los ventiladores. Elimine las obstrucciones de las secciones de transferencia de calor. Las áreas dañadas o con corrosión tienen que repararse. Las incrustaciones pequeñas pueden eliminarse por lo general mediante métodos químicos o cambios temporales en el programa de tratamiento del agua. 				X		
		<p>Eliminadores de gotas. El procedimiento de inspección es el siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Con los ventiladores y bombas en funcionamiento, compruebe las zonas con pérdidas excesivas por gotas. 2. Pare los ventiladores y las bombas y compruebe visualmente los eliminadores por si hay <ul style="list-style-type: none"> - obstrucciones - daños - suciedad - encaje correcto 3. Si se ha observado alguno de los problemas anteriores, pare los ventiladores y las bombas y retire los eliminadores. 4. Limpie los eliminadores de polvo y sustancias extrañas. Retire el polvo y las obstrucciones. Sustituya los eliminadores dañados o ineficaces. 5. Instale los eliminadores y asegúrese de que encajan ajustados sin ranuras. 				X		
		<p>Distribución de agua. El procedimiento de inspección es como sigue:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pare los ventiladores, pero mantenga las bombas en funcionamiento. 2. Compruebe y ajuste la presión de pulverización, si es necesario. (no aplicable para modelos de batería con bombas estándar) 3. Retire los eliminadores. 4. Compruebe si los pulverizadores generan el patrón de pulverización mostrado en las figuras siguientes 5. Pare las bombas y limpie la distribución de agua de suciedad y restos. Asegúrese de que los ramales de pulverización y los pulverizadores estén colocados en su sitio y estén limpios. Reemplace los pulverizadores que falten o estén dañados. 6. Instale los eliminadores y asegúrese de que encajan ajustados sin ranuras. 7. Ponga en marcha los ventiladores y las bombas. 				X		
		<p>Eje del ventilador. Cualquier señal de corrosión en la superficie debe ser tratada. Esto implica:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Eliminar el revestimiento protector con un producto de limpieza adecuado 2. La eliminación de la corrosión superficial con una tela de esmeril 3. Volver a revestir el eje con impermeabilizante suave 			X			
		<p>Motor del ventilador. Compruebe los siguientes elementos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conexiones eléctricas • Dispositivos de protección del motor • Compruebe la intensidad • Ruidos o sobrecalentamiento en los cojinetes del motor • Pernos de anclaje del motor • Signos de corrosión en la superficie externa del motor 			X			
		<p>La bomba de BAC contiene un sello mecánico entre el alojamiento de la bomba y el motor de la bomba. El funcionamiento de este sello debe comprobarse.</p>			X			
		Prueba TAB (rampas sumergidas)	X					
		Calidad del agua en circulación		X				
		Revisión del sistema						X

Condensadores BAC	Lubricación	Rodamientos del eje del ventilador. Los rodamientos solo se deben lubricar con una pistola de engrase manual. No utilice pistolas de engrase de alta presión, ya que podrían romper el sello del rodamiento. Al lubricar, saque la grasa antigua del rodamiento, agregando grasa de forma gradual hasta que aparezca una gota de grasa nueva en el sello. En particular en las líneas de lubricación prolongadas, asegúrese de que se elimina toda la grasa antigua y que la grasa nueva sale del sello.				X		X	
		Cojinetes del motor. Los rodamientos solo se deben lubricar con una pistola de engrase manual. No utilice pistolas de engrase de alta presión, ya que podrían romper el sello del rodamiento. Al lubricar, saque la grasa antigua del rodamiento, agregando grasa de forma gradual hasta que aparezca una gota de grasa nueva en el sello.				X			
		El tornillo de regulación de la bancada del motor debe revestirse regularmente utilizando una grasa inhibidora de la corrosión de buena calidad.				X		X	
	Limpieza	Los procedimientos de limpieza recomendados se describen a continuación: 1. Desconecte los motores del ventilador y la bomba y cierre el suministro de llenado. 2. Retire las pantallas, los eliminadores, los paneles de acceso y las puertas y el sistema de vaciado. No quite el filtro de la balsa. 3. Limpie los restos del exterior y de los ventiladores con un cepillo suave, si es necesario utilice agua y jabón. 4. Limpie el interior con agua (jabón) y un cepillo suave, si es necesario utilice un chorro de agua a presión. 5. Elimine los restos del sistema de distribución de agua y limpie los pulverizadores si están obstruidos. Si es necesario se pueden quitar el pulverizador y las juntas para su limpieza. 6. Limpie los restos de la sección de transferencia de calor (batería). 7. Purgue el sistema con agua limpia y vacíelo para eliminar el polvo acumulado. 8. Extraiga, limpie y sustituya los filtros de la balsa. 9. Limpie los restos de las rejillas y eliminadores con un chorro de agua a presión y vuelva a instalarlos. 10. Elimine los restos de las puertas y paneles de acceso con un cepillo suave y agua (jabón). 11. Cierre la válvula de vaciado y abra el suministro de llenado. Rellene el sistema hasta el nivel con agua limpia.					X	X	
		Desinfección. Puede que sea necesaria la desinfección del sistema de enfriamiento en caso de que haya una alta concentración de bacterias aeróbicas y/o legionela. La desinfección también se recomienda para los sistemas de enfriamiento evaporativo si se sospecha o se sabe que hay un alto nivel de bacterias, antes de efectuar el procedimiento de limpieza.						X	X
		Balsa de desagüe						X	

VI. CONCLUSIONES

Arias (2012) afirma: "Las conclusiones sintetizan los resultados, respuestas a las interrogantes y el cumplimiento de los objetivos de la investigación" (p.139).

En este capítulo se establece el cumplimiento de los objetivos y las respuestas a las preguntas de investigación establecidas en el capítulo dos.

6.1 CONCLUSIÓN GENERAL

El impacto que tendría la implementación de la propuesta de mejora para la refrigeración de la línea de producción #3 anteriormente descrita es relevante e importante ya que actualmente en EMSULA al encontrarse frente a un problema relacionado a las temperaturas del jarabe, la estrategia que se toma consiste en desacelerar la velocidad de producción de la línea, lo cual hace que se atrase el cumplimiento de la demanda. Con el sistema propuesto, se podrá reducir la incidencia de fallas en la línea #3.

6.2 CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

- A través del análisis de los datos recopilados y observaciones se determinaron posibles causas que afectan el rendimiento del sistema de refrigeración de EMSULA. En general, se puede concluir que debido a los problemas presentados en el capítulo anterior, este circuito no trabaja de la manera más eficiente.
- Se diseñó un sistema de control para el intercambiador de calor de la línea #3. El sistema de control PID permite aumentar la escalabilidad del sistema y rendimiento del proceso, debido a que se puede acceder a información crítica del proceso y el operario puede monitorear su correcta ejecución.
- Se elaboró un plan de mantenimiento comprensivo para los compresores Vilter y para los condensadores evaporativos BAC. Contar con un buen plan de mantenimiento preventivo es uno de los mejores métodos de asegurar el funcionamiento de la unidad de refrigeración.

VII. RECOMENDACIONES

Antes de finalizar, se sugieren algunas recomendaciones en base a los resultados y las conclusiones que se encontraron luego del presente estudio.

7.1 A LA EMPRESA

- Realizar las tareas de mantenimiento preventivo sugeridas por los fabricantes de las distintas maquinas en los tiempos establecidos, aun cuando se tenga que parar la producción por una cierta cantidad de tiempo.
- Implementar el sistema de control diseñado para el intercambiador de calor de la línea de producción #3, con el objetivo de reducir los fallos que se producen a causa de las relativamente altas temperaturas

7.2 A LA UNIVERSIDAD

- Implementar una materia de Metodología de la Investigación en la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, de tal manera que se promueva el correcto desarrollo de una tesis o un proyecto de investigación.
- Realizar la práctica profesional antes del proyecto de graduación, ya que esto ayudaría al estudiante a tener una idea más clara de los procesos industriales realizados en la planta y facilitaría las labores de investigación o mejoras requeridas en el proyecto de graduación.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez Brotons, X. (2004). Control predictivo de canales de riego utilizando modelos de predicción de tipo Muskingum (primer orden) y de tipo Hayami (segundo orden). Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- Arias, F. G. (2012). El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica (6.^a ed.). Venezuela: EDITORIAL EPISTEME, C.A.
- Aroca Lastra, S., & Mayoral Esteban, A. (2015). Tecnología frigorífica. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Balboa, J. (2012). Manual de instalaciones frigoríficas. Cano Pina.
- Franco Lijó, J. M. (2012). Manual de refrigeración. Editorial Reverté.
- García Almiñana, D. (2007). Instalaciones de refrigeración y aire acondicionado. España: Editorial UOC.
- García Moreno, E. (1999). Automatización de procesos industriales. Robótica y automática. España: Universidad Politécnica de Valencia.
- González Sierra, C. (2012). Refrigeración industrial. Montaje y mantenimiento de instalaciones frigoríficas. Cano Pina.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2010). Metodología de la investigación (5.^a ed.). México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Ipanaqué, W. (2012). Control Automático de Procesos. Perú: CONCYTEC.

- Jaramillo, O. A. (2007). Intercambiadores de Calor. Centro de Investigación de Energía UNAM.
- López Riera, S., & Merayo Sánchez, A. (2013). Mantenimiento: exposición y consecuencias. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- Medrano Márquez, J. A., González Ajuech, V. L., & Díaz de León Santiago, V. M. (2017). Mantenimiento. Técnicas y aplicaciones industriales (1.^a ed.). México: Grupo Editorial Patria.
- Mora Gutiérrez, L. A. (2009). Mantenimiento. Planeación, ejecución y control (1.^a ed.). México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Nasimba Guanoliquín, J. L. (2015). Diseño de un sistema centralizado de refrigeración por amoníaco de 1200 kg de capacidad para el enfriamiento de la bebida de la empresa Reybec S.A. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.
- Ogata, K. (2010). Ingeniería de control moderna (5.^a ed.). PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Rodríguez González, P. (2013). Manejo de instalaciones para la elaboración de productos alimentarios. INAD0108 (1.^a ed.). España: INNOVACIÓN Y CUALIFICACIÓN, S. L.
- Romero Gómez, S. (2012). Mantenimiento preventivo de instalaciones frigoríficas (1.^a ed.). España: INNOVACIÓN Y CUALIFICACIÓN, S. L.
- Sanz del Castillo, F., & Sanz del Castillo, D. (2014). Control de refrigeración. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Serrano Pérez, D., & de Oña Baquero, C. M. (2012). Mantenimiento básico de máquinas e instalaciones en la industria alimentaria (1.^a ed.). España: INNOVACIÓN Y CUALIFICACIÓN, S. L.